JOSÉ MARIANO AMABIS
GILBERTO RODRIGUES MARTHO

MODERNA PLUS

BIOLOGIA
Amabis & Martho

MANUAL DO PROFESSOR

VOLUME ÚNICO

ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias

Componente curricular:
Biologia

MODERNA

JOSÉ MARIANO AMABIS
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto
de Biociências – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
Doutor e Mestre em Ciências, na área de Biologia (Genética),
pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
Professor aposentado do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do IBUSP.

GILBERTO RODRIGUES MARTHO
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências –
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Professor.

MODERNA PLUS

BIOLOGIA
Amabis & Martho

VOLUME ÚNICO
ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias
Componente curricular: Biologia

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição
São Paulo, 2024

MODERNA

Edição executiva: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira
Edição de texto: Natália Leporo Torcato, Dino Santesso Gabrielli, Ana Carolina Suzuki Dias Cintra, Carolina Rossi, Laís Alves Silva, Tathyana Tumolo Haider, Zanith Cook
Assessoria didático-pedagógica: Ariel Rodrigues Cardoso, Marcelo Pulido
Assistência editorial: Edna Gonçalves dos Santos
Preparação de texto: Adriana Bairrada
Gerência de planejamento editorial e revisão: Maria de Lourdes Rodrigues
Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero, Mônica Rodrigues de Lima
Revisão: Ana Cortazzo, Sirlene Prignolato, Tatiana Malheiro, Aiko Mine, Patrícia Scaravelli Sbrissa
Gerência de *design,* produção gráfica e digital: Patricia Costa
Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite
Projeto gráfico: Mariza de Souza Porto, Bruno Tonel, Vinicius Rossignol
Capa: Everson de Paula, Paula Miranda Santos
Colagem digital: Everson de Paula
Fotos: Comstock/Stockbyte/Getty Images; Peter Schoen/Moment/Getty Images; COLOA Studio/Shutterstock; 3d_hokage/Shutterstock; Luis Molinero/Shutterstock; Anton Ignatenco/500px/Getty Images
Coordenação de produção gráfica: Aderson Oliveira
Coordenação de arte: Alexandre Lugó, Wilson Gazzoni Agostinho
Edição de arte: Simone Zupardo Dias
Editoração eletrônica: SETUP Bureau
Coordenação de pesquisa iconográfica: Sônia Oddi
Pesquisa iconográfica: Cristina Akisino, Roberto Silva
Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues
Tratamento de imagens: Ademir Baptista, Ana Isabela Pithan Maraschin, Denise Feitosa, Vânia Maia
Pré-impressão: Alexandre Petreca, Marcio H. Kamoto
Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro
Impressão e acabamento:

Organização dos objetos digitais: Pâmela Castro
Elaboração dos objetos digitais: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Amabis, José Mariano
Moderna plus biologia Amabis & Martho / José Mariano Amabis, Gilberto Rodrigues Martho. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2024.

Obra em volume único do 1°, 2° e 3° anos do ensino médio.
Componente curricular: Biologia.
Área de conhecimento: Ciências da natureza e suas tecnologias.
ISBN 978-85-16-14035-9 (aluno)
ISBN 978-85-16-14036-6 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Martho, Gilberto Rodrigues. II. Título.

24-228465 CDD-570

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 570

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Todos os direitos reservados.

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Canal de atendimento: 0303 663 3762
www.moderna.com.br
2024
Impresso no Brasil
1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

APRESENTAÇÃO

Prezado estudante,

Nesta obra, cada componente curricular da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias buscou trabalhar conceitos relevantes, priorizar informações científicas, conhecimentos e habilidades que contribuam para uma formação cidadã.

A abordagem de Biologia, Física e Química promove a participação na pesquisa, na reflexão, na interação e no modo de compreender e se apropriar dos conteúdos e de sua aplicação na vida cotidiana.

Atendendo às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, que considera as particularidades de diferentes culturas, as propostas foram construídas com a intenção de mobilizar conhecimentos para resolver problemas e desenvolver a autonomia intelectual e o pensamento crítico.

Ao perceber os esforços necessários para superar os desafios das rápidas transformações da atualidade, esperamos que você valorize a abordagem científica dos fenômenos naturais, compreenda as Ciências da Natureza e o papel do conhecimento científico e da investigação científica na vida contemporânea.

Desejamos contribuir para a conscientização de que apenas com a cooperação e a integração de todas as áreas do conhecimento será possível encontrar soluções globais para diversos problemas enfrentados atualmente. Também é nossa meta favorecer a percepção de que é somente por meio do conhecimento que a sociedade pode avançar de maneira sustentável em direção a um futuro melhor.

Os autores

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONHEÇA SEU LIVRO

Abertura

Apresenta temas relacionados às Ciências da Natureza e os assuntos que serão abordados no capítulo.

CAPÍTULO 10

Algas, protozoários e fungos

Cogumelos são estruturas reprodutivas e fungos basidiomicetos. Nas lamelas, visíveis na parte inferior do chapéu, formam-se esporos que se desprendem e germinam se atingirem locais adequados, originando novos fungos. Na imagem, cogumelos com cerca de 10 cm de comprimento.

A importância do assunto

Este capítulo trata de algas, protozoários e fungos, seres mais ligados à nossa vida do que muitas vezes imaginamos. Quem já andou na praia certamente viu algas macroscópicas que lembram plantas, algumas semelhantes a folhas de alface. A maioria das algas, porém, é invisível a olho nu e flutua na superfície de mares e lagos. As algas microscópicas, junto a bactérias fotossintetizantes, constituem o fitoplâncton, responsável pela produção da matéria orgânica que sustenta a vida nos mares e nos lagos. Além disso, o teor de gás oxigênio (O_2) na atmosfera mantém-se em torno de 21% graças à fotossíntese, processo em que se forma O_2.

Protozoários são seres microscópicos que habitam os mais diversos ambientes, inclusive o corpo de pessoas e de animais. Certas espécies de protozoários causam doenças, como a malária e a doença de Chagas.

Os fungos podem ser microscópicos ou macroscópicos. Entre os primeiros destacam-se as leveduras, ou fermentos, utilizadas na fabricação de bebidas alcoólicas e de pães. Fungos macroscópicos de importância culinária são os cogumelos comestíveis. Os fungos também são importantes na produção de diversas substâncias utilizadas na indústria química e na farmacêutica. Certos fungos podem causar doenças, algumas delas graves, e muitos são responsáveis pela deterioração de alimentos e por estragos em roupas e acessórios de couro guardados em armários.

149

Dialogando com o texto

Informações e atividades que promovem exploração ou aprofundamento de assuntos trabalhados no capítulo.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 15

Ameaças à araucária

A espécie *Araucaria angustifolia* é a árvore predominante das matas naturais de araucárias, presentes em regiões do sul do Brasil. A araucária, também chamada de pinheiro-do-paraná, é uma conífera de grande porte cuja madeira foi muito explorada comercialmente, entre 1910 e 2008, quando o corte e a comercialização da madeira foram proibidos por lei. As sementes da araucária são os pinhões, comestíveis e muito consumidos nos meses de junho e julho nos estados do sul do país. A exploração predatória das araucárias reduziu drasticamente as florestas, havendo risco de extinção dessas áreas de matas.

Seu desafio nesta atividade é pesquisar sobre "ameaças à araucária" em diferentes *sites* na internet. Concentre suas pesquisas em aspectos como:

- Que percentual de redução vem ocorrendo nas matas de araucárias nas últimas décadas?
- Quais seriam os motivos principais para essa redução?
- O que pode ser feito para impedir a destruição das matas de araucárias?

Destaque os aspectos que achar mais importantes ou interessantes em suas pesquisas. Escreva um texto com o título "Por que devemos impedir a extinção das matas de araucárias?". Mobilize diversos tipos de argumentos para embasar seu texto, entre eles a perda da diversidade biológica, com prejuízos a diversas espécies.

Plantas vasculares com sementes e frutos: angiospermas

As **angiospermas** são as plantas predominantes no planeta atualmente. Há desde espécies de grande porte, como certas espécies de eucalipto que atingem mais de 110 m de altura, até espécies com menos de 1 mm. Angiospermas podem ser árvores, arbustos, trepadeiras ou capins, e são capazes de viver em ambientes como o solo, a água ou sobre outras plantas, como parasitas ou como inquilinas.

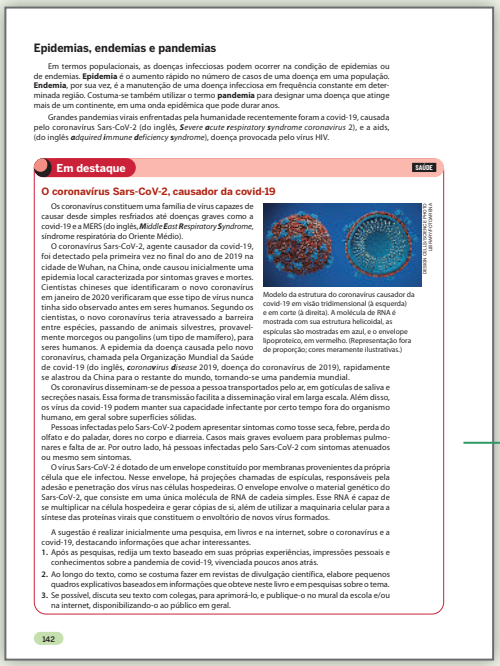
As angiospermas são reunidas no filo **Anthophyta** (do grego *antho*, flor). Apesar da variedade, acredita-se que todas as angiospermas descendam de um mesmo ancestral, sendo portanto um clado monofilético. O número de espécies de angiospermas atuais é estimado entre 250 mil e 400 mil. Na classificação adotada neste livro as angiospermas são divididas em três grupos: **monocotiledôneas**, que reúne cerca de 23% das espécies; **eudicotiledôneas**, com cerca de 75% das espécies, e **dicotiledôneas basais**, com 2% das espécies. (Fig. 11.15)

Figura 11.15. Representantes de dicotiledôneas basais. (A) *Nymphaea* sp., planta aquática conhecida como ninfeia, cujas flores têm aproximadamente 15 cm de diâmetro. (B) *Magnolia soulangiana*, a magnólia, arbusto que chega a 7 m de altura.

179

Em destaque

Textos com informações complementares aos assuntos tratados no capítulo.



Epidemias, endemias e pandemias

Em termos populacionais, as doenças infecciosas podem ocorrer na condição de epidemias ou de endemias. **Epidemia** é o aumento rápido no número de casos de uma doença em uma população. **Endemia**, por sua vez, é a manutenção de uma doença infecciosa em frequência constante em determinada região. Costuma-se também utilizar o termo **pandemia** para designar uma doença que atinge mais de um continente, em uma onda epidêmica que pode durar anos.

Grandes pandemias virais enfrentadas pela humanidade recentemente foram a covid-19, causada pelo coronavírus Sars-CoV-2 (do inglês, ***S**evere **a**cute respiratory **s**yndrome **c**oronavirus* 2), e a aids, (do inglês *a**d**quired **i**mmune **d**eficiency **s**yndrome*), doença provocada pelo vírus HIV.

Em destaque SAÚDE

O coronavírus Sars-CoV-2, causador da covid-19

Os coronavírus constituem uma família de vírus capazes de causar desde simples resfriados até doenças graves como a covid-19 e a MERS (do inglês, ***M**iddle **E**ast **R**espiratory **S**yndrome*, síndrome respiratória do Oriente Médio).

O coronavírus Sars-CoV-2, agente causador da covid-19, foi detectado pela primeira vez no final do ano de 2019 na cidade de Wuhan, na China, onde causou inicialmente uma epidemia local caracterizada por sintomas graves e mortes. Cientistas chineses que identificaram o novo coronavírus em janeiro de 2020 verificaram que esse tipo de vírus nunca tinha sido observado antes em seres humanos. Segundo os cientistas, o novo coronavírus teria atravessado a barreira entre espécies, passando de animais silvestres, provavelmente morcegos ou pangolins (um tipo de mamífero), para seres humanos. A epidemia da doença causada pelo novo coronavírus, chamada pela Organização Mundial da Saúde de covid-19 (do inglês, *coronavirus **d**isease* 2019, doença do coronavírus de 2019), rapidamente se alastrou da China para o restante do mundo, tornando-se uma pandemia mundial.

Os coronavírus disseminam-se de pessoa a pessoa transportados pelo ar, em gotículas de saliva e secreções nasais. Essa forma de transmissão facilita a disseminação viral em larga escala. Além disso, os vírus da covid-19 podem manter sua capacidade infectante por certo tempo fora do organismo humano, em geral sobre superfícies sólidas.

Pessoas infectadas pelo Sars-CoV-2 podem apresentar sintomas como tosse seca, febre, perda do olfato e do paladar, dores no corpo e diarreia. Casos mais graves evoluem para problemas pulmonares e falta de ar. Por outro lado, há pessoas infectadas pelo Sars-CoV-2 com sintomas atenuados ou mesmo sem sintomas.

O vírus Sars-CoV-2 é dotado de um envelope constituído por membranas provenientes da própria célula que ele infectou. Nesse envelope, há projeções chamadas de espículas, responsáveis pela adesão e penetração dos vírus nas células hospedeiras. O envelope envolve o material genético do Sars-CoV-2, que consiste em uma única molécula de RNA de cadeia simples. Esse RNA é capaz de se multiplicar na célula hospedeira e gerar cópias de si, além de utilizar a maquinaria celular para a síntese das proteínas virais que constituem o envoltório de novos vírus formados.

Modelo da estrutura do coronavírus causador da covid-19 em visão tridimensional (à esquerda) e em corte (à direita). A molécula de RNA é mostrada com sua estrutura helicoidal, as espículas são mostradas em azul, e o envelope lipoproteico, em vermelho. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A sugestão é realizar inicialmente uma pesquisa, em livros e na internet, sobre o coronavírus e a covid-19, destacando informações que achar interessantes.

1. Após as pesquisas, redija um texto baseado em suas próprias experiências, impressões pessoais e conhecimentos sobre a pandemia de covid-19, vivenciada poucos anos atrás.
2. Ao longo do texto, como se costuma fazer em revistas de divulgação científica, elabore pequenos quadros explicativos baseados em informações que obteve neste livro e em pesquisas sobre o tema.
3. Se possível, discuta seu texto com colegas, para aprimorá-lo, e publique-o no mural da escola e/ou na internet, disponibilizando-o ao público em geral.

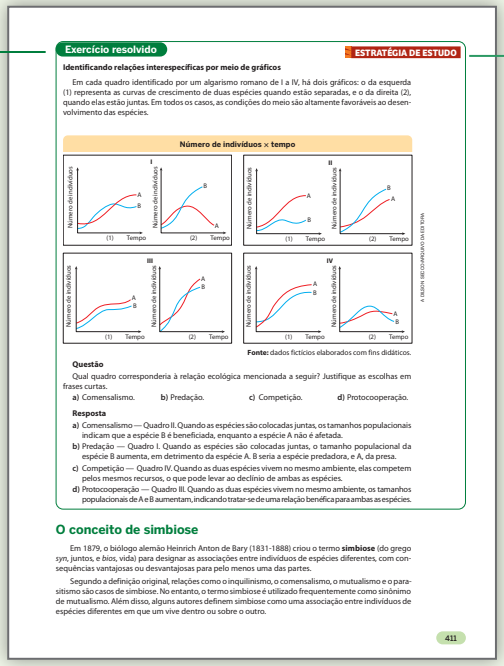
142

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cuide bem deste livro para que outros colegas possam estudar com ele. Lembre-se de fazer anotações e escrever as respostas no caderno.

Exercício resolvido

Exemplos de aplicação da teoria apresentados ao longo do capítulo.



Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Identificando relações interespecíficas por meio de gráficos

Em cada quadro identificado por um algarismo romano de I a IV, há dois gráficos: o da esquerda (1) representa as curvas de crescimento de duas espécies quando estão separadas, e o da direita (2), quando elas estão juntas. Em todos os casos, as condições do meio são altamente favoráveis ao desenvolvimento das espécies.

Número de indivíduos × tempo

I
II
III
IV

Número de indivíduos
Tempo
(1)
(2)
A
B

A. IDEIA DE LUCIANO DA ESTÓRIA

Fonte: dados fictícios elaborados com fins didáticos.

Questão

Qual quadro corresponderia à relação ecológica mencionada a seguir? Justifique as escolhas em frases curtas.

a) Comensalismo. **b)** Predação. **c)** Competição. **d)** Protocooperação.

Resposta

a) Comensalismo — Quadro II. Quando as espécies são colocadas juntas, os tamanhos populacionais indicam que a espécie B é beneficiada, enquanto a espécie A não é afetada.

b) Predação — Quadro I. Quando as espécies são colocadas juntas, o tamanho populacional da espécie B aumenta, em detrimento da espécie A. B seria a espécie predadora, e A, da presa.

c) Competição — Quadro IV. Quando as duas espécies vivem no mesmo ambiente, elas competem pelos mesmos recursos, o que pode levar ao declínio de ambas as espécies.

d) Protocooperação — Quadro III. Quando as duas espécies vivem no mesmo ambiente, os tamanhos populacionais de A e B aumentam, indicando tratar-se de uma relação benéfica para ambas as espécies.

O conceito de simbiose

Em 1879, o biólogo alemão Heinrich Anton de Bary (1831-1888) criou o termo **simbiose** (do grego *syn*, juntos, e *bios*, vida) para designar as associações entre indivíduos de espécies diferentes, com consequências vantajosas ou desvantajosas para pelo menos uma das partes.

Segundo a definição original, relações como o inquilinismo, o comensalismo, o mutualismo e o parasitismo são casos de simbiose. No entanto, o termo simbiose é utilizado frequentemente como sinônimo de mutualismo. Além disso, alguns autores definem simbiose como uma associação entre indivíduos de espécies diferentes em que um vive dentro ou sobre o outro.

411

Estratégia de estudo

Alguns exercícios são destacados como uma estratégia de estudo para os estudantes.

1. Melhoramento genético

OBJETO DIGITAL
Podcast: Genética e agricultura familiar

TRANSCRIÇÃO
Podcast: Genética e agricultura familiar

A maioria das espécies de organismos que utilizamos na alimentação básica foi melhorada por agricultores e criadores de diferentes regiões do mundo ao longo de milhares de anos, bem antes da descoberta dos mecanismos da herança biológica. Antes do advento da Genética, o melhoramento era feito de forma intuitiva. Por exemplo, para obter espigas de milho com maior número de grãos, os agricultores selecionavam para o plantio sementes provenientes de espigas com muitos grãos. Para aumentar o peso médio das galinhas, escolhiam-se como reprodutores galos e galinhas maiores e mais pesados.

Com o advento da Genética, o melhoramento passou a ser realizado com base no conhecimento genético, daí a denominação melhoramento genético. Estudos genéticos revelaram que muitas qualidades de animais e plantas de valor econômico, tais como a fertilidade, o tamanho e a quantidade de grãos produzidos, a produção de carne, de leite e de ovos e a resistência a doenças, são condicionadas por genes, que interagem com fatores ambientais. Os novos conhecimentos genéticos possibilitaram o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de seleção e de melhoramento de características de animais e plantas com importância econômica. (Fig. 19.1)

Figura 19.1. Diversas raças de cães foram obtidas por criadores de animais, que realizavam cruzamentos seletivos para obter características comportamentais e estéticas de interesse.

SALLY ANDERSON-BELL/TETRA/CORBIS

Atividade em grupo CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Pesquisando o melhoramento genético

Forme um grupo de colegas para pesquisar na internet a seguinte questão: "O melhoramento do trigo, do arroz, do gado e de outras espécies tem propiciado aumento na produção e na lucratividade?". Pesquise, por exemplo, "melhoramento genético e lucratividade". O grupo pode resumir a pesquisa em um texto de aproximadamente uma página, se possível acompanhado por dados em forma de tabelas, gráficos etc.

Problemas decorrentes do melhoramento genético

Um dos problemas decorrentes do melhoramento genético é que as linhagens melhoradas têm menor variabilidade genética que linhagens não alteradas, ou seja, os indivíduos da população melhorada apresentam menos diferenças genéticas entre si. Essa maior homogeneidade genética pode reduzir as chances de adaptação a eventuais alterações ambientais. Os antigos agricultores já conheciam o problema. No cultivo de trigo, por exemplo, era comum o plantio de diversas variedades, o que aumentava a chance de preservar ao menos parte da lavoura em caso de seca, enchente ou pragas. Essa técnica milenar tem sido negligenciada e atualmente predominam lavouras de monocultura, em que grandes áreas são ocupadas com uma única variedade da espécie. Apesar de as monoculturas produzirem lucros maiores em curto prazo, há risco maior de uma praga dizimar uma plantação, uma vez que todos os indivíduos são geneticamente semelhantes.

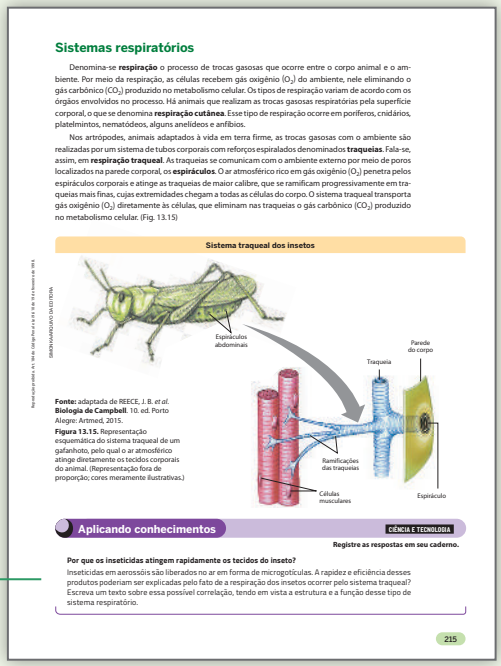
326

Atividade em grupo

Atividades que estimulam o trabalho em grupo e favorecem o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, argumentação, comunicação etc.

Aplicando conhecimentos

Atividades ao longo do capítulo para verificação e assimilação de conceitos trabalhados.



Sistemas respiratórios

Denomina-se **respiração** o processo de trocas gasosas que ocorre entre o corpo animal e o ambiente. Por meio da respiração, as células recebem gás oxigênio (O_2) do ambiente, nele eliminando o gás carbônico (CO_2) produzido no metabolismo celular. Os tipos de respiração variam de acordo com os órgãos envolvidos no processo. Há animais que realizam as trocas gasosas respiratórias pela superfície corporal, o que se denomina **respiração cutânea**. Esse tipo de respiração ocorre em poríferos, cnidários, platelmintos, nematódeos, alguns anelídeos e anfíbios.

Nos artrópodes, animais adaptados à vida em terra firme, as trocas gasosas com o ambiente são realizadas por um sistema de tubos corporais com reforços espiralados denominados **traqueias**. Fala-se, assim, em **respiração traqueal**. As traqueias se comunicam com o ambiente externo por meio de poros localizados na parede corporal, os **espiráculos**. O ar atmosférico rico em gás oxigênio (O_2) penetra pelos espiráculos corporais e atinge as traqueias de maior calibre, que se ramificam progressivamente em traqueias mais finas, cujas extremidades chegam a todas as células do corpo. O sistema traqueal transporta gás oxigênio (O_2) diretamente às células, que eliminam nas traqueias o gás carbônico (CO_2) produzido no metabolismo celular. (Fig. 13.15)

Sistema traqueal dos insetos

Espiráculos abdominais
Traqueia
Parede do corpo
Ramificações das traqueias
Células musculares
Espiráculo

DIMENSÕES FORA DE ESCALA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.15. Representação esquemática do sistema traqueal de um gafanhoto, pelo qual o ar atmosférico atinge diretamente os tecidos corporais do animal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Aplicando conhecimentos CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Registre as respostas em seu caderno.

Por que os inseticidas atingem rapidamente os tecidos do inseto?

Inseticidas em aerossóis são liberados no ar em forma de microgotículas. A rapidez e eficiência desses produtos poderiam ser explicadas pelo fato de a respiração dos insetos ocorrer pelo sistema traqueal? Escreva um texto sobre essa possível correlação, tendo em vista a estrutura e a função desse tipo de sistema respiratório.

215

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Atividades práticas que buscam abordar aspectos das Ciências da Natureza como observação, investigação e formulação de hipóteses.

Atividade prática

Utilizando ovos de codorna para observar a osmose

A principal dificuldade para realizar experimentos envolvendo a osmose é encontrar membranas semipermeáveis que funcionem adequadamente, permitindo a passagem de água, mas não a de solutos. Pode-se superar essa dificuldade técnica utilizando a membrana coquilífera localizada sob a casca dos ovos de aves, que funciona adequadamente como membrana semipermeável. A membrana coquilífera é permeável a sais, mas não a açúcar, e por isso será utilizada nesta atividade uma solução altamente concentrada de sacarose.

Para observar os efeitos da osmose nos ovos, é preciso primeiro remover a casca calcária pela dissolução do carbonato de cálcio da casca pelo ácido acético presente no vinagre. Durante a reação de dissolução, observa-se intenso desprendimento de bolhas de gás carbônico junto à superfície do ovo. Essa reação está esquematizada a seguir.

$$2\,H_3C-COOH + CaCO_3 \rightarrow [Ca^{2+}][H_3COOO^-]_2 + H_2O + CO_2$$

Ácido acético · Carbonato de cálcio · Acetato de cálcio · Água · Gás carbônico

Material

- 4 ovos de codorna
- recipiente de tamanho médio (tigela, prato fundo etc.)
- 2 copos de vidro
- água filtrada
- vinagre branco (de vinho ou de arroz)
- açúcar de cana (sacarose)
- etiquetas de papel

Procedimentos

1. Coloque o vinagre no recipiente e mergulhe os ovos, de modo a cobri-los completamente. Deixe-os assim por cerca de 24 horas ou mais, até a total remoção da casca calcária. Lave os ovos com cuidado em água corrente.
2. Coloque água nos copos até cerca de metade da capacidade. Em um dos copos dissolva a quantidade máxima possível de açúcar (mais ou menos 5 ou 6 colheres de sopa), preparando uma solução altamente concentrada, viscosa como calda de doce. O outro copo ficará apenas com água. Identifique os copos com as etiquetas, escrevendo as soluções que eles contêm.
3. Coloque 2 ovos com a casca calcária removida em cada solução. Observe a forma e a consistência deles a cada 2 horas. Anote os resultados.

ARQUIVO DO AUTOR

Fotografias de ovos submetidos às experiências de osmose descritas nesta atividade. Dois deles estiveram mergulhados em uma solução hipotônica em relação ao conteúdo do ovo, e dois estiveram mergulhados em uma solução hipertônica.

Com base no experimento, responda:

1. Observe a imagem apresentada. Quais estiveram mergulhados na solução hipertônica, os da esquerda ou os da direita? Explique o que ocorreu com eles sob o ponto de vista da osmose.
2. O que se espera que aconteça ao se transferir um dos ovos mostrados à esquerda da foto para um recipiente com água pura?

Transporte em bolsas membranosas

Certas partículas e substâncias podem entrar ou sair da célula utilizando como veículo bolsas membranosas. Quando há entrada de partículas na célula, fala-se em **endocitose** (do grego *endos*, dentro, e *kytos*, célula). Quando bolsas membranosas citoplasmáticas eliminam seu conteúdo para fora da célula, fala-se em **exocitose** (do grego *exos*, fora, e *kytos*, célula).

60

Mundo do trabalho

Propostas de leitura, reflexão e discussão acerca de contextos envolvendo perspectivas e possibilidades profissionais.

MUNDO DO TRABALHO

Escolhas profissionais em prol do ambiente

MEIO AMBIENTE · ODS 13

A adolescência é uma fase marcante da vida, repleta de desafios, mas também com oportunidades únicas de crescimento e desenvolvimento pessoal. É uma época de descoberta e autodescoberta em que os jovens têm a oportunidade de explorar seus interesses, desenvolver habilidades e estabelecer relações que moldarão suas vidas futuras.

LUCY MANNING/WIKIMEDIA COMMONS

Greta Thunberg (de casaco cinza e cachecol branco e preto) em protesto contra as mudanças climáticas em Estocolmo, Suécia, em 2024.

Uma jovem sueca que alcançou destaque internacional é Greta Thunberg (n. 2003), que motivou jovens de todo o mundo a exigir da classe política ações urgentes contra a crise climática.

Atualmente muitos jovens optam por carreiras em áreas como ciências biológicas, engenharia ambiental, gestão ambiental e engenharia florestal, buscando contribuir ativamente para a proteção do ambiente em suas trajetórias profissionais.

Você considera importante levar em conta a preservação do ambiente em suas escolhas profissionais? Lembre-se de que diversos tipos de atuações profissionais possibilitam incluir como meta a sustentabilidade ambiental. Escreva suas reflexões em um texto que relate suas escolhas e opiniões.

Concentração de poluentes ao longo das cadeias alimentares

Desde a década de 1940, o diclorodifeniltricloroetano (DDT) e outros inseticidas do grupo dos organoclorados vêm sendo utilizados nas lavouras por sua alta eficiência contra diversos insetos. Entretanto, esses compostos também apresentam toxicidade aos seres humanos e aos animais. O DDT, por exemplo, se for absorvido pela pele ou contaminar alimentos, pode causar doenças. O emprego desse produto está proibido em diversos países, inclusive no Brasil.

O banimento do uso do DDT foi facilitado pela publicação do livro *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*, em português), escrito pela bióloga e escritora estadunidense Rachel Louise Carson (1907-1964), publicado em setembro de 1962. Esse livro é considerado uma das principais fontes de inspiração para a preocupação pública mundial com os pesticidas e com a poluição ambiental, tendo ajudado no lançamento do movimento ambientalista em diversos países e na criação, em 1970, da *Environmental Protection Agency* (EPA) (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em português).

O DDT e outros inseticidas e poluentes têm capacidade de se concentrar no corpo dos organismos que o absorvem. Animais como os moluscos bivalves, que obtêm alimento filtrando a água circundante, podem acumular grande quantidade de inseticidas no corpo, em concentração até 70 mil vezes maior que na da água contaminada onde vivem. Se consumidos como alimento por pessoas ou por animais, os moluscos contaminados podem provocar graves intoxicações e diversas doenças.

431

Educação midiática

Propostas de estudo e reflexão sobre a veiculação de informações em diferentes mídias.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Campanhas de utilidade pública

Observe as imagens a seguir, de uma campanha publicitária de proteção da fauna.

REPRODUÇÃO/IBAMA

Folheto publicitário de campanha do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), de 2020.

O comércio, a confecção de artesanatos e a utilização ilegais de penas e outros subprodutos de animais silvestres alimentam o tráfico de animais e contribuem com o desaparecimento de várias espécies, além de serem crimes previstos na Lei nº 9.605/98

Campanhas publicitárias como essa envolvem um conjunto planejado de ações para divulgar uma ideia, um produto ou uma marca. No caso de materiais de utilidade pública, os objetivos são alertar, informar, prevenir ou orientar a população para ações e comportamentos que tragam benefícios às pessoas e à comunidade.

Tais campanhas envolvem a produção de textos, fotografias, animações e vídeos, em mídias físicas ou eletrônicas, visando atingir o público-alvo. A descrição a seguir traz algumas questões envolvidas na elaboração de uma campanha publicitária.

1. Qual é o público-alvo da campanha? O público-alvo refere-se às pessoas a serem alcançadas pela publicidade, com destaque para a idade, o gênero, a etnia, a classe social, o nível de escolaridade etc.
2. Qual é o objetivo a ser atingido pela campanha?
3. Que estratégias e mídias serão utilizadas (por exemplo, cartazes impressos e digitais, publicação em redes sociais ou *sites* sobre o assunto)?

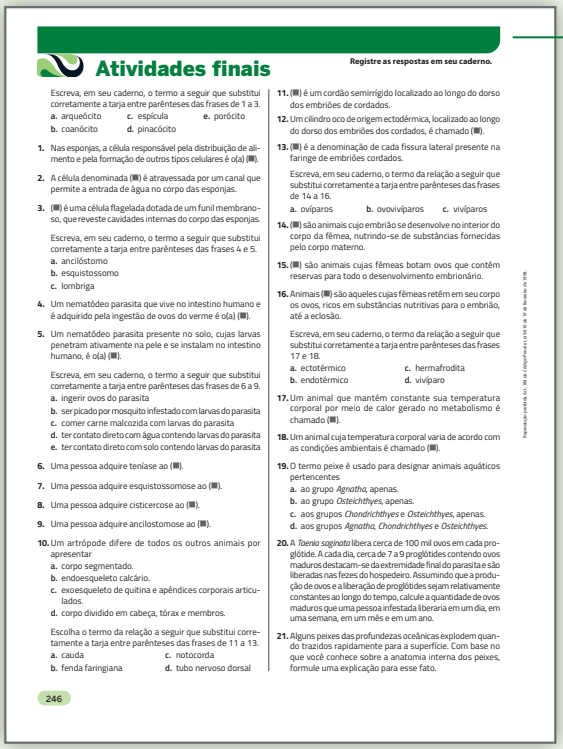
A proposta desta atividade é que você forme um grupo de colegas para elaborar uma campanha publicitária com o objetivo de conscientizar motoristas sobre o atropelamento de animais silvestres em rodovias. O desmatamento faz com que os animais procurem novos habitats e atravessem as rodovias, correndo o risco de atropelamento.

O grupo pode iniciar o trabalho discutindo quais são os perfis dos motoristas que trafegam nas estradas em que a campanha vai atuar. Em seguida pode-se discutir o que pode ser feito para diminuir o índice de atropelamento de animais, desde campanhas de conscientização em diferentes mídias até a localização dos trechos das rodovias em que é maior a frequência de atropelamentos, onde podem ser colocados sinais de atenção e de redução da velocidade.

Após essas discussões o grupo pode elaborar um roteiro detalhado da campanha destinada a reduzir o atropelamento de animais silvestres. Que tipos de peças publicitárias poderiam ser utilizadas? Isso inclui a divulgação em TVs, mídias digitais e redes sociais e a produção de cartazes de alerta a serem colocados nas rodovias.

245

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 3.

a. arqueócito
b. coanócito
c. espícula
d. pinacócito
e. porócito

1. Nas esponjas, a célula responsável pela distribuição de alimento e pela formação de outros tipos celulares é o(a) (■).
2. A célula denominada (■) é atravessada por um canal que permite a entrada de água no corpo das esponjas.
3. (■) é uma célula flagelada dotada de um funil membranoso, que reveste cavidades internas do corpo das esponjas.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 4 e 5.

a. ancilóstomo
b. esquistossomo
c. lombriga

4. Um nematódeo parasita que vive no intestino humano e é adquirido pela ingestão de ovos do verme é o(a) (■).
5. Um nematódeo parasita presente no solo, cujas larvas penetram ativamente na pele e se instalam no intestino humano, é o(a) (■).

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 6 a 9.

a. ingerir ovos do parasita
b. ser picado por mosquito infestado com larvas do parasita
c. comer carne malcozida com larvas do parasita
d. ter contato direto com água contendo larvas do parasita
e. ter contato direto com solo contendo larvas do parasita

6. Uma pessoa adquire teníase ao (■).
7. Uma pessoa adquire esquistossomose ao (■).
8. Uma pessoa adquire cisticercose ao (■).
9. Uma pessoa adquire ancilostomose ao (■).
10. Um artrópode difere de todos os outros animais por apresentar
    a. corpo segmentado.
    b. endoesqueleto calcário.
    c. exoesqueleto de quitina e apêndices corporais articulados.
    d. corpo dividido em cabeça, tórax e membros.

Escolha o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 11 a 13.

a. cauda
b. fenda faringiana
c. notocorda
d. tubo nervoso dorsal

11. (■) é um cordão semirrígido localizado ao longo do dorso dos embriões de cordados.
12. Um cilindro oco de origem ectodérmica, localizado ao longo do dorso dos embriões dos cordados, é chamado (■).
13. (■) é a denominação de cada fissura lateral presente na faringe de embriões cordados.

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 14 a 16.

a. ovíparos
b. ovovivíparos
c. vivíparos

14. (■) são animais cujo embrião se desenvolve no interior do corpo da fêmea, nutrindo-se de substâncias fornecidas pelo corpo materno.
15. (■) são animais cujas fêmeas botam ovos que contêm reservas para todo o desenvolvimento embrionário.
16. Animais (■) são aqueles cujas fêmeas retêm em seu corpo os ovos, ricos em substâncias nutritivas para o embrião, até a eclosão.

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 17 e 18.

a. ectotérmico
b. endotérmico
c. hermafrodita
d. vivíparo

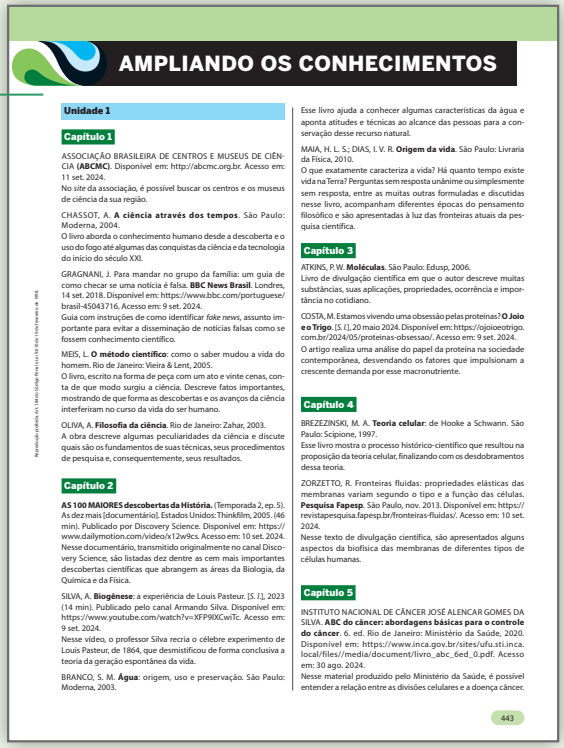
17. Um animal que mantém constante sua temperatura corporal por meio de calor gerado no metabolismo é chamado (■).
18. Um animal cuja temperatura corporal varia de acordo com as condições ambientais é chamado (■).
19. O termo peixe é usado para designar animais aquáticos pertencentes
    a. ao grupo *Agnatha*, apenas.
    b. ao grupo *Osteichthyes*, apenas.
    c. aos grupos *Chondrichthyes* e *Osteichthyes*, apenas.
    d. aos grupos *Agnatha*, *Chondrichthyes* e *Osteichthyes*.
20. A *Taenia saginata* libera cerca de 100 mil ovos em cada proglótide. A cada dia, cerca de 7 a 9 proglótides contendo ovos maduros destacam-se da extremidade final do parasita e são liberadas nas fezes do hospedeiro. Assumindo que a produção de ovos e a liberação de proglótides sejam relativamente constantes ao longo do tempo, calcule a quantidade de ovos maduros que uma pessoa infestada liberaria em um dia, em uma semana, em um mês e em um ano.
21. Alguns peixes das profundezas oceânicas explodem quando trazidos rapidamente para a superfície. Com base no que você conhece sobre a anatomia interna dos peixes, formule uma explicação para esse fato.

246

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Atividades autorais, dos principais vestibulares e do Enem que exploram assuntos abordados no capítulo.



AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS

Unidade 1

Capítulo 1

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CENTROS E MUSEUS DE CIÊNCIA (**ABCMC**). Disponível em: http://abcmc.org.br. Acesso em: 11 set. 2024.
No site da associação, é possível buscar os centros e os museus de ciência da sua região.

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. São Paulo: Moderna, 2004.
O livro aborda o conhecimento humano desde a descoberta e o uso do fogo até algumas das conquistas da ciência e da tecnologia do início do século XXI.

GRAGNANI, J. Para mandar no grupo da família: um guia de como checar se uma notícia é falsa. **BBC News Brasil**. Londres, 14 set. 2018. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45043716. Acesso em: 9 set. 2024.
Guia com instruções de como identificar *fake news*, assunto importante para evitar a disseminação de notícias falsas como se fossem conhecimento científico.

MEIS, L. **O método científico**: como o saber mudou a vida do homem. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.
O livro, escrito na forma de peça com um ato e vinte cenas, conta de que modo surgiu a ciência. Descreve fatos importantes, mostrando de que forma as descobertas e os avanços da ciência interferiram no curso da vida do ser humano.

OLIVA, A. **Filosofia da ciência**. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
A obra descreve algumas peculiaridades da ciência e discute quais são os fundamentos de suas técnicas, seus procedimentos de pesquisa e, consequentemente, seus resultados.

Capítulo 2

AS 100 MAIORES descobertas da História. (Temporada 2, ep. 5). As dez mais [documentário]. Estados Unidos: Think!film, 2005. (46 min). Publicado por Discovery Science. Disponível em: https://www.dailymotion.com/video/x12w9cs. Acesso em: 10 set. 2024.
Nesse documentário, transmitido originalmente no canal Discovery Science, são listadas dez dentre as cem mais importantes descobertas científicas que abrangem as áreas da Biologia, da Química e da Física.

SILVA, A. **Biogênese**: a experiência de Louis Pasteur. [*S. l.*], 2023 (14 min). Publicado pelo canal Armando Silva. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=XFP9IXCwiTc. Acesso em: 9 set. 2024.
Nesse vídeo, o professor Silva recria o célebre experimento de Louis Pasteur, de 1864, que desmistificou de forma conclusiva a teoria da geração espontânea da vida.

BRANCO, S. M. **Água**: origem, uso e preservação. São Paulo: Moderna, 2003.
Esse livro ajuda a conhecer algumas características da água e aponta atitudes e técnicas ao alcance das pessoas para a conservação desse recurso natural.

MAIA, H. L. S.; DIAS, I. V. R. **Origem da vida**. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
O que exatamente caracteriza a vida? Há quanto tempo existe vida na Terra? Perguntas sem resposta unânime ou simplesmente sem resposta, entre as muitas outras formuladas e discutidas nesse livro, acompanham diferentes épocas do pensamento filosófico e são apresentadas à luz das fronteiras atuais da pesquisa científica.

Capítulo 3

ATKINS, P. W. **Moléculas**. São Paulo: Edusp, 2006.
Livro de divulgação científica em que o autor descreve muitas substâncias, suas aplicações, propriedades, ocorrência e importância no cotidiano.

COSTA, M. Estamos vivendo uma obsessão pelas proteínas? **O Joio e o Trigo**. [*S. l.*], 20 maio 2024. Disponível em: https://ojoioeotrigo.com.br/2024/05/proteinas-obsessao/. Acesso em: 9 set. 2024.
O artigo realiza uma análise do papel da proteína na sociedade contemporânea, desvendando os fatores que impulsionam a crescente demanda por esse macronutriente.

Capítulo 4

BREZEZINSKI, M. A. **Teoria celular**: de Hooke a Schwann. São Paulo: Scipione, 1997.
Esse livro mostra o processo histórico-científico que resultou na proposição da teoria celular, finalizando com os desdobramentos dessa teoria.

ZORZETTO, R. Fronteiras fluidas: propriedades elásticas das membranas variam segundo o tipo e a função das células. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, nov. 2013. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/fronteiras-fluidas/. Acesso em: 10 set. 2024.
Nesse texto de divulgação científica, são apresentados alguns aspectos da biofísica das membranas de diferentes tipos de células humanas.

Capítulo 5

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **ABC do câncer: abordagens básicas para o controle do câncer**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document/livro_abc_6ed_0.pdf. Acesso em: 30 ago. 2024.
Nesse material produzido pelo Ministério da Saúde, é possível entender a relação entre as divisões celulares e a doença câncer.

443

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ampliando os conhecimentos

Sugestões diversificadas de pesquisas, visitas, usos de tecnologia e leituras.

ODS — Indica conteúdos e atividades que se relacionam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

TCT — Indica conteúdos e atividades relacionados aos Temas Contemporâneos Transversais.

OBJETO DIGITAL — Indica recursos disponíveis no livro digital.

Indica atenção e cuidados em algumas situações de atividades práticas.

0,18 µm — A barra de escala de 1 cm de comprimento indica a proporção entre o tamanho real da estrutura mostrada e o tamanho na imagem do livro.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Você já ouviu falar da **Agenda 2030**? Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**, com metas desafiadoras para acabar com a pobreza até 2030 e buscar um futuro sustentável para todos. Esses objetivos formam a base da chamada Agenda 2030.

Os 193 países que assinaram o documento, incluindo o Brasil, comprometeram-se a implementar esse plano de ação global, que envolve governos, empresas, instituições e sociedade civil. O monitoramento e a avaliação da agenda são fundamentais nos níveis global, nacional e regional, exigindo cooperação e engajamento de todos os setores da sociedade.

A seguir, apresentamos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ODS 1

ERRADICAÇÃO DA POBREZA

Acabar com a pobreza em todas as formas e em todos os lugares.

ODS 2

FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.

ODS 3

SAÚDE E BEM-ESTAR

Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.

ODS 4

EDUCAÇÃO DE QUALIDADE

Garantir educação inclusiva, de qualidade e equitativa, promovendo aprendizado contínuo para todos.

ODS 5

IGUALDADE DE GÊNERO

Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.

ODS 6

ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO

Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.

ODS 7

ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL

Garantir o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos.

ODS 8

TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO

Promover crescimento econômico inclusivo e sustentável, com emprego pleno e trabalho digno para todos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

ODS 9

INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA

Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

ODS 10

REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países.

ODS 11

CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS

Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

ODS 12

CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS

Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.

ODS 13

AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA

Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.

ODS 14

VIDA NA ÁGUA

Conservar e usar de forma responsável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

ODS 15

VIDA TERRESTRE

Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerindo florestas, combatendo a desertificação, revertendo a degradação dos solos e preservando a biodiversidade.

ODS 16

PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES

Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, garantindo o acesso à justiça e construindo instituições eficazes e responsáveis em todos os níveis.

ODS 17

PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 22 set. 2024.

Neste livro, você encontrará indicações dos ODS quando houver propostas, temas ou conceitos com os quais eles podem estar relacionados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

SUMÁRIO

UNIDADE 1 BIOLOGIA DAS CÉLULAS 13

CAPÍTULO 1 Biologia: ciência e vida 13
1. Procedimentos em ciência 14
- EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Divulgação científica e profissões 18
2. A Biologia como ciência 18
- Em destaque A ciência é masculina? 19
- Em destaque O que é etnociência? 24
- Atividades finais 24

CAPÍTULO 2 A origem da vida na Terra 26
1. A origem do Universo e do Sistema Solar 27
2. Como surgiu a vida na Terra? 29
- Em destaque Um olhar histórico sobre a conservação de alimentos 33
3. Ideias modernas sobre a origem da vida 33
- Atividades finais 36

CAPÍTULO 3 As bases moleculares da vida 38
1. Componentes da matéria viva 39
2. Água e sais minerais 39
3. Glicídios e lipídios 41
- Em destaque Colesterol e placas ateroscleróticas 45
4. Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos 45
- MUNDO DO TRABALHO Suplementos nutricionais 49
- Atividades finais 50

CAPÍTULO 4 A célula viva: membrana e citoplasma 51
1. A descoberta das células 52
- Em destaque Os microscópios 54
2. A membrana plasmática 57
- Em destaque Um pioneiro no estudo das membranas celulares 58
- Atividade prática Utilizando ovos de codorna para observar a osmose 60
3. Organelas citoplasmáticas 62
- Atividades finais 68

CAPÍTULO 5 Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas 70
1. A organização do núcleo celular 71
- Atividade prática Extraindo DNA de cebola 73
- MUNDO DO TRABALHO Jovens aprendizes e inclusão no mercado de trabalho 77
2. A divisão celular: mitose 77
3. Cromossomos em ação: duplicação e transcrição do DNA 81
4. A tradução gênica: síntese de proteínas 82
- Em destaque RNA mensageiro, ciência e saúde 85
- Atividades finais 86

CAPÍTULO 6 O metabolismo energético das células vivas 88
1. Energia para a vida 89
2. Fotossíntese 90
- Atividade prática Liberação de gás oxigênio na fotossíntese 93
3. Quimiossíntese 94
4. Fermentação 95
- Atividade prática Liberação de gás carbônico na fermentação 96
5. Respiração aeróbica 96
- Atividades finais 100

CAPÍTULO 7 Tipos de reprodução, meiose e embriologia animal 102
1. Tipos de reprodução 103
2. Meiose e reprodução sexuada 103
- Em destaque Falhas na meiose e alterações cromossômicas 108
- Atividade prática Simulando os eventos da meiose 109
3. A fecundação nos animais 109
4. Desenvolvimento embrionário animal 110
- Atividades finais 117

CAPÍTULO 8 Reprodução humana 119
1. Sistema genital feminino 120
2. Sistema genital masculino 121
3. Hormônios relacionados à reprodução 122
4. Gravidez e parto 125
5. Métodos anticoncepcionais 128
6. Gêmeos humanos 131
- EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Temas polêmicos e debate democrático 132
- MUNDO DO TRABALHO Gravidez na adolescência e desafios para as jovens mães 132
- Atividades finais 133

UNIDADE 2 BIOLOGIA DOS ORGANISMOS 134

CAPÍTULO 9 Classificação biológica, vírus e bactérias 134
1. Fundamentos da classificação biológica 135
2. Vírus 139
- MUNDO DO TRABALHO A prevenção de doenças 141

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- **Em destaque** O coronavírus Sars-CoV-2, causador da covid-19 ... 142
- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** Prejuízos da desinformação ... 143

3. Bactérias e arqueas ... 144

- **Atividades finais** ... 148

CAPÍTULO 10 Algas, protozoários e fungos ... 149

1. Algas ... 150

- **Em destaque** Entenda o que é a maré vermelha, fenômeno observado no litoral sul de Pernambuco ... 152

2. Protozoários ... 155
3. Fungos ... 160

- **Atividade prática** Observando e documentando algas e fungos macroscópicos ... 165
- **Atividades finais** ... 165

CAPÍTULO 11 A diversidade das plantas ... 167

1. Características das plantas ... 168
2. Os grandes grupos de plantas atuais ... 169

- **Em destaque** A vegetação na época dos dinossauros ... 180
- **MUNDO DO TRABALHO** Os jovens no campo ... 181
- **Atividades finais** ... 181

CAPÍTULO 12 Reprodução, desenvolvimento e fisiologia das angiospermas ... 183

1. A reprodução das angiospermas ... 184

- **Atividade prática** Estudando flores ... 185
- **Atividade prática** Estudando a germinação de sementes ... 189
- **Em destaque** Morte de meio bilhão de abelhas é consequência de agrotóxicos ... 189

2. O desenvolvimento das plantas ... 190
3. A organização corporal das angiospermas ... 194
4. Fisiologia vegetal ... 199

- **Atividade prática** Observando o geotropismo do caule e da raiz ... 203
- **Atividades finais** ... 206

CAPÍTULO 13 Tendências evolutivas nos animais ... 207

1. Os principais grupos animais ... 208

- **Em destaque** Brasil desperdiça o potencial de sua biodiversidade, um ativo único e inigualável ... 213

2. Sistemas corporais dos animais ... 214

- **Atividades finais** ... 222

CAPÍTULO 14 Principais grupos de animais ... 224

1. Poríferos ... 225
2. Cnidários ... 226

- **Em destaque** Colônia ou organismo? ... 227

3. Platelmintos ... 228
4. Nematódeos ... 230
5. Moluscos ... 232
6. Anelídeos ... 233

- **Atividade prática** Construindo um minhocário ... 234

7. Artrópodes ... 235
8. Equinodermos ... 239
9. Cordados ... 239

- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** Campanhas de utilidade pública ... 245
- **Atividades finais** ... 246

CAPÍTULO 15 Nutrição, respiração, circulação e excreção na espécie humana ... 248

1. A nutrição humana ... 249
2. O sistema digestório ... 250
3. O sistema respiratório ... 255
4. O sistema circulatório ... 257

- **Atividade prática** Medindo a frequência cardíaca ... 259
- **Em destaque** A aids ... 262

5. O sistema urinário ... 265

- **Atividades finais** ... 268

CAPÍTULO 16 Integração nervosa e hormonal, revestimento e movimentação do corpo humano ... 270

1. O sistema nervoso ... 271
2. Os sentidos corporais ... 277
3. O sistema endócrino ... 281
4. Estrutura e funções da pele humana ... 284
5. O sistema esquelético ... 286
6. O sistema muscular ... 288

- **MUNDO DO TRABALHO** Dança e esporte ... 290
- **Em destaque** Robôs e próteses robóticas ... 292
- **Atividades finais** ... 293

UNIDADE 3 BIOLOGIA DAS POPULAÇÕES ... 294

CAPÍTULO 17 A herança genética ... 294

1. Mendel e as origens da Genética ... 295

- **Em destaque** Probabilidades aplicadas à Genética ... 298

2. Meiose e segregação genética ... 300
3. Exemplos de herança monogênica ... 301
4. Variações no modelo mendeliano de herança ... 304
5. Herança de grupos sanguíneos na espécie humana ... 306

- **Atividades finais** ... 309

CAPÍTULO 18 As bases cromossômicas da herança ... 311

1. A segregação independente de genes ... 312

- **Atividade prática** Simulando a segregação independente de genes ... 314

2. Interação gênica ... 316
3. Herança ligada ao cromossomo X ... 317
4. Ligação gênica ... 320

- **Atividades finais** ... 323

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 19 Genética e biotecnologia na atualidade ... **325**
1. Melhoramento genético ... 326
2. Engenharia Genética ... 328
- **Em destaque** Separação eletroforética de fragmentos de DNA ... 329
- **Atividade prática** Simulando a identificação de pessoas pelo DNA ... 331
- **Em destaque** Bactérias produzindo proteínas humanas ... 334
3. Organismos transgênicos ... 335
- **MUNDO DO TRABALHO** A Genética na agropecuária brasileira ... 336
- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** Polêmicas envolvendo organismos transgênicos ... 337
4. Desvendando o genoma humano ... 338
- **Atividades finais** ... 339

CAPÍTULO 20 Os fundamentos da evolução biológica ... **341**
1. O pensamento evolucionista ... 342
- **Em destaque** Thomas Malthus e o crescimento de populações ... 345
2. Evidências da evolução biológica ... 346
- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** O contrabando de fósseis ... 347
3. A teoria sintética da evolução ... 349
- **Atividades finais** ... 356

CAPÍTULO 21 A evolução da vida e da espécie humana ... **358**
1. O processo evolutivo e a diversificação da vida ... 359
- **Em destaque** O vigor híbrido ... 360
2. A origem dos grandes grupos de seres vivos ... 362
3. A evolução humana ... 371
- **Em destaque** A fraude do homem de Piltdown ... 373
- **MUNDO DO TRABALHO** A inteligência artificial no futuro ... 380
- **Em destaque** Receita para uma humanidade desracializada ... 380
- **Atividades finais** ... 382

CAPÍTULO 22 Energia e matéria na natureza e a dinâmica das populações ... **385**
1. Energia para a vida ... 386
2. Ciclos biogeoquímicos ... 389
- **Em destaque** Água, um recurso cada vez mais precioso ... 391
- **Em destaque** Adubação verde, plantas leguminosas e rizóbios ... 394
3. Características das populações biológicas ... 395
4. Fatores que regulam o tamanho populacional ... 398
- **Atividades finais** ... 401

CAPÍTULO 23 Relações ecológicas, sucessão e biomas ... **403**
1. Relações ecológicas intraespecíficas ... 404
2. Relações ecológicas interespecíficas ... 406
3. Sucessão ecológica ... 412
4. Biomas e domínios morfoclimáticos do Brasil ... 415
5. Ecossistemas aquáticos ... 418
- **Atividades finais** ... 420

CAPÍTULO 24 Humanidade e ambiente ... **422**
1. O conceito de sustentabilidade ... 423
- **Em destaque** Princípios para uma sociedade sustentável ... 423
2. Poluição e desequilíbrios ambientais ... 425
- **MUNDO DO TRABALHO** Escolhas profissionais em prol do ambiente ... 431
- **Em destaque** O mar não está para peixe #3: Afogando em plásticos ... 433
3. Alternativas para o futuro ... 434
- **Atividades finais** ... 436

RESPOSTAS DAS ATIVIDADES FINAIS ... 438

AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS ... 443

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS ... 447

SUMÁRIO DOS OBJETOS DIGITAIS

Podcast: Uma reflexão sobre a origem da vida... como a conhecemos ... 29
Infográfico clicável: Sexualidade humana ... 123
Vídeo: Fertilização *in vitro* ... 132
Vídeo: A Revolta da Vacina ... 143
Vídeo: Espécies que habitam o mar profundo ... 240
Carrossel de imagens: Reprodução e desenvolvimento dos mamíferos ... 244
Carrossel de imagens: Influências culturais na alimentação brasileira ... 249
Podcast: Genética e agricultura familiar ... 326
Infográfico clicável: Galápagos ... 343
Carrossel de imagens: Diferentes camuflagens, diferentes vantagens ... 353
Infográfico clicável: Sítios arqueológicos ao redor do mundo ... 379
Vídeo: O legado de Johanna Döbereiner ... 393
Infográfico clicável: Dimensões do lazer nas metrópoles ... 399
Podcast: Animais frugívoros e ecologia de comunidades ... 406
Mapa clicável: Parques nacionais brasileiros ... 415
Podcast: Leis ambientais ... 424
Mapa clicável: Ameaças ambientais ... 425

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 1

Biologia: ciência e vida

A importância do assunto

A ciência procura explicar a natureza a partir da observação sistemática e controlada dos fenômenos naturais, embasada no raciocínio lógico. O conhecimento científico do mundo tem possibilitado à humanidade, entre outras coisas, compreender a maneira pela qual os seres vivos se conectam ao ambiente.

Em uma das muitas redes sociais na internet, localizamos um diálogo curioso sobre a ciência, em que um dos interlocutores dizia mais ou menos o seguinte: "Cadê a ciência? Que benefícios ela tem proporcionado à humanidade? Na última década do século XX, dizia-se que, quando o DNA humano fosse totalmente decifrado, 90% das doenças deixariam de existir. Porém, já se passaram três décadas, e nada aconteceu. Por quê? Como acreditar na ciência depois disso?"

Outro interlocutor retrucava: "Não seja tão injusto com a ciência! Não se esqueça de que devemos muito a ela, como a possibilidade de nos comunicarmos com amigos ou familiares que estão do outro lado do planeta, ou prevenir doenças como a poliomielite. Isso sem falar da erradicação praticamente total de uma doença tão perigosa como a varíola. E outra: você sabe como ocorrem as pesquisas científicas? Por exemplo: antes de estarem disponíveis, medicamentos ou tratamentos podem precisar de muitos anos de pesquisas e testes rigorosos. Você sabia disso? Atualize-se e sempre busque informações em fontes confiáveis!".

INCAMERASTOCK/ALAMY/FOTOARENA

Pintura de Maria Sibylla Merian (1647-1717), naturalista e ilustradora alemã considerada pioneira no estudo da Ecologia. Ao invés de retratar apenas os insetos em um fundo branco, Merian revela em suas obras relações desses insetos com plantas e outros animais. Seu trabalho influenciou muitos naturalistas, em diferentes países. (MERIAN. M. S. Ilustração de: **The Caterpillar Book**. 1679. Aquarela e guache sobre pergaminho, 42 cm × 29 cm.

O que você achou desse diálogo? O primeiro interlocutor se referiu ao Projeto Genoma Humano e citou alguns números para justificar sua argumentação, o que foi contestado pelo segundo. Qual é a sua opinião a respeito?

Para entender e discutir a importância da ciência, precisamos conhecer as bases do pensamento científico e os métodos que os cientistas utilizam em seu trabalho. Também é importante conhecer um pouco da história da ciência e estar informado sobre as atualidades científicas mais relevantes para a humanidade.

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 1 de Química e no capítulo 1 de Física desta coleção.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Procedimentos em ciência

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Neste livro, você encontrará indicações dos Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) quando forem trabalhados assuntos relacionados a eles.

O procedimento hipotético-dedutivo em ciência

Você é dessas pessoas curiosas, que observam o mundo atentamente e procuram compreendê-lo? Leva em conta o que já se conhece sobre determinado assunto antes de tirar suas conclusões? Em caso afirmativo, você segue alguns dos princípios do procedimento empregado pelos cientistas para fazer ciência.

Ciência pode ser definida como um método rigoroso de investigação da natureza, cujo objetivo é fornecer explicações para fenômenos naturais. O cientista utiliza procedimentos que se assemelham aos empregados pelos detetives investigativos. A ciência procura explicar a natureza a partir da observação sistemática e controlada dos fenômenos naturais, embasada no raciocínio lógico. O procedimento científico parte do princípio de que toda explicação para um fenômeno natural deve ser submetida a testes e críticas.

Os cientistas observam cuidadosamente os fatos do mundo e tentam explicá-los dentro de determinado contexto. Para a ciência, **fato** é um objeto ou um processo do mundo natural que podemos perceber objetivamente com nossos sentidos ou com o auxílio de instrumentos que os expandem, como microscópios e telescópios. A partir da observação controlada de determinados fatos, os cientistas procuram entender se há relação entre eles e como ou por que determinados fenômenos ocorrem. O método utilizado na atividade científica é uma extensão sofisticada de procedimentos lógicos a que recorremos em nossa vida cotidiana para descobrir como as coisas funcionam ou por que elas acontecem. Por exemplo, quando observamos determinado acontecimento e temos um "palpite" do motivo pelo qual ele está ocorrendo, estamos elaborando o que os cientistas chamam de **hipótese**.

Cotidianamente, o termo "hipótese" é às vezes utilizado como sinônimo de teoria, mas há uma grande diferença entre esses conceitos. Enquanto hipótese é uma tentativa de explicação para determinado fenômeno isolado, **teoria** é uma ideia ampla, uma espécie de modelo que explica coerentemente um conjunto de observações e fatos abrangentes da natureza. A teoria celular, por exemplo, procura explicar a vida com base em informações sobre a estrutura e o funcionamento das células. A teoria da gravitação universal de Newton procura explicar os movimentos dos corpos celestes com base na força de atração gravitacional.

Teorias são visões amplas de como o mundo funciona, dando sentido ao que vemos e permitindo fazer previsões sobre ocorrências futuras. Por exemplo, com base nas teorias recentes sobre o Sistema Solar, pode-se prever a passagem de um asteroide próximo à Terra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Stephen Gould e a natureza da ciência

> [...] E fatos e teorias são coisas diferentes e não degraus de uma hierarquia de certeza crescente. Os fatos são os dados do mundo. As teorias são estruturas de ideias que explicam e interpretam os fatos. Os fatos não se afastam enquanto os cientistas debatem teorias rivais. A teoria da gravitação de Einstein tomou o lugar da teoria de Newton, mas as maçãs não ficaram suspensas no ar, aguardando o resultado [...].

Fonte: GOULD, S. J. Evolution as Fact and Theory. **Hen's Teeth and Horse's Toes**, New York, p. 253-262, 1994. Disponível em: https://wise.fau.edu/~tunick/courses/knowing/gould_fact-and-theory.html. Acesso em: 5 ago. 2024. (Tradução dos autores.)

STEVE HANSEN/THE LIFE IMAGES COLLECTION/GETTY IMAGES

Stephen J. Gould (1941-2002), famoso divulgador científico.

A citação de Stephen J. Gould se refere a uma história, não se sabe se verdadeira, de que foi a queda de uma maçã sobre a cabeça de Isaac Newton que o inspirou a elaborar a Teoria da Gravitação Universal. Seu desafio é descobrir mais detalhes sobre essa história das maçãs a que Gould se refere. Pesquise na internet e, se tiver oportunidade, converse com seus professores de Física ou de História. Depois de conhecer a história das maçãs de Newton, escreva um texto curto explicando o que Gould quis dizer com "as maçãs não ficaram suspensas no ar, aguardando o resultado". Discuta seu texto com colegas para verificar se todos chegaram a conclusões semelhantes.

O paleontólogo estadunidense Stephen J. Gould foi reconhecido internacionalmente como um dos maiores divulgadores de ciência dos últimos tempos. O humor refinado e a ironia de Gould transparecem em seu texto sobre fatos e teorias, publicado em 1981.

Um procedimento científico geralmente se inicia com uma pergunta: "Por que determinado fenômeno ocorre?" ou "Que relação há entre determinado fenômeno e outro?". Quando formulam essas perguntas, os cientistas geralmente já têm uma hipótese sobre elas, apoiando-se em informações existentes sobre o assunto e em teorias científicas vigentes. Para formular uma hipótese, o cientista primeiramente analisa, interpreta e reúne o maior número possível de informações disponíveis sobre o assunto em estudo.

Uma hipótese científica tem que ser testável, ou seja, deve possibilitar um teste lógico ou experimental. O **teste da hipótese** consiste em imaginar uma situação em que determinados fatos e consequências somente ocorrerão se a hipótese testada for verdadeira. Em outras palavras, a partir da hipótese, o cientista faz **deduções**, prevendo o que ocorrerá em determinada situação imaginada se a hipótese for verdadeira. Essa metodologia é denominada **hipotético-dedutiva** e está na base da maioria dos procedimentos científicos.

Em certos casos, os cientistas elaboram situações especiais para testar suas hipóteses, o que se denomina **experimentação**. As situações experimentais, ou experimentos, permitem confirmar ou refutar as deduções elaboradas com base nas hipóteses. Se os resultados de experimentos, de observações controladas e mesmo de simulações matemáticas mostrarem que as deduções são incorretas, o cientista retrocede, modificando ou substituindo a hipótese inicial. Por outro lado, se as deduções se confirmarem, a hipótese ganha credibilidade e é aceita enquanto não houver motivos para se duvidar dela.

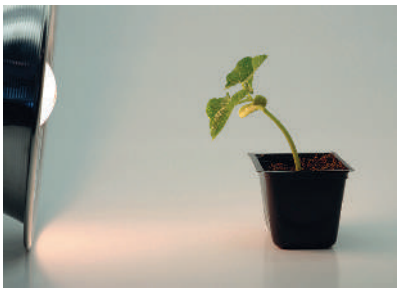
De forma resumida e simplificada, o procedimento adotado pelos cientistas para investigar a natureza geralmente apresenta os seguintes passos lógicos:

1. perguntas sobre determinado assunto;
2. formulação de hipóteses;
3. levantamento de deduções com base nas hipóteses;
4. teste das deduções por meio de novas observações ou de experimentos;
5. conclusões sobre a validade ou não das hipóteses.

Um exemplo histórico de procedimento científico é o conjunto de experimentos realizados pelo naturalista britânico Charles Darwin (1809-1882) e seu filho Francis Darwin (1848-1925) há mais de cem anos. Eles investigaram um fato corriqueiro que você pode já ter notado: as plantas geralmente se curvam em direção a uma fonte dirigida de luz. (Fig. 1.1)

Com base em suas observações, Charles e Francis Darwin formularam a hipótese de que a luz é percebida pela extremidade do caule das plantas. A partir dessa hipótese, eles fizeram a seguinte dedução: se é realmente a extremidade da planta que percebe a luz, plantas que tiverem suas extremidades removidas ou cobertas com uma proteção à prova de luz deixarão de se curvar em direção à fonte luminosa. Para testar essa hipótese, os pesquisadores cortaram as extremidades de algumas plantas jovens de alpiste e as colocaram perto de uma fonte dirigida de luz. Ao lado, plantas intactas serviam de comparação. Passados alguns dias, os cientistas constataram que as plantas intactas haviam se curvado em direção à luz, enquanto as plantas "decapitadas" continuavam eretas, sem se curvar.

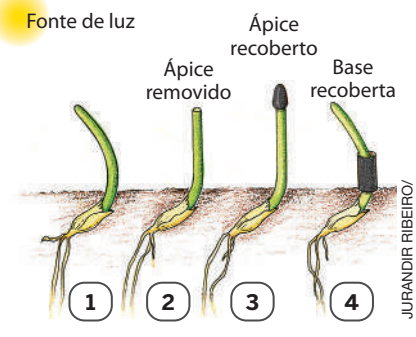
Em outra experiência, os dois cientistas cobriram as extremidades de plantas com papel preto à prova de luz e compararam seu comportamento com o de plantas que tiveram o papel preto colocado sobre outras partes que não as extremidades. As plantas com extremidades cobertas, assim como as decapitadas, cresceram eretas, enquanto as plantas com outras regiões cobertas curvaram-se em direção à fonte de luz. Como o resultado das experiências confirmou a previsão, a hipótese de que é a extremidade da planta que percebe a luz foi validada. (Fig. 1.2)



MARTIN SHIELDS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 1.1. Planta do feijão *Phaseolus vulgaris*, que em média atinge 60 cm de altura, curvada em direção à fonte de luz. É um fato facilmente observável que as plantas percebem a fonte de luz e se curvam em direção a ela. O que você acha que aconteceria se girássemos o vaso da fotografia em 180 graus?

Experimentos de Charles e Francis Darwin



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de KUTSCHERA, U.; NIKLAS, K. J. Evolutionary plant physiology: Charles Darwin's forgotten synthesis. **The Science of Nature**, v. 96 n. 16, nov. 2009.

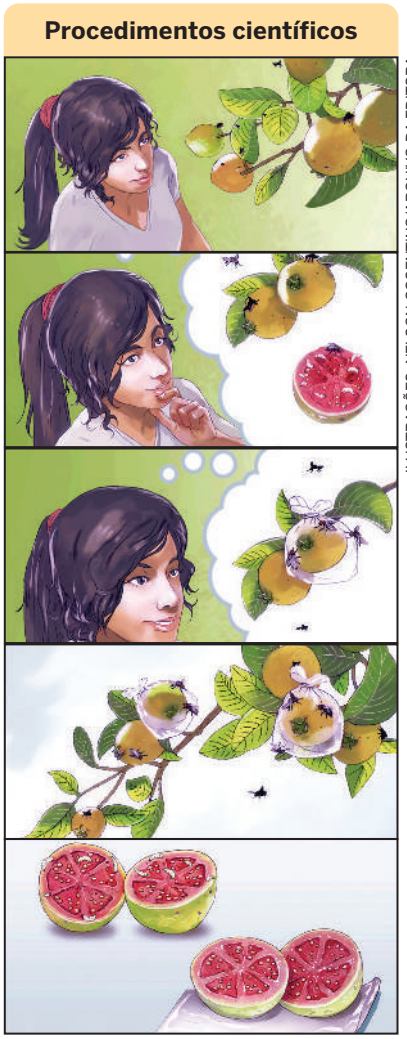
Figura 1.2. Representação esquemática dos experimentos de Charles e Francis Darwin. O desenho 1 representa o grupo de plantas intactas, que se curvam em direção à fonte de luz. O desenho 2 representa as plantas que tiveram as extremidades removidas, crescendo eretas. O desenho 3 representa o grupo de plantas que tiveram suas extremidades cobertas por papel à prova de luz. Elas também creceram eretas, assim como as plantas decapitadas. O desenho 4 representa as plantas que tiveram outras partes do caule que não a extremidade cobertas por papel à prova de luz. Elas se curvaram como as plantas do grupo 1. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando uma hipótese é testada por meio da experimentação, é necessário comparar os resultados obtidos nos **grupos experimentais**, aqueles em que se provoca a alteração, com os obtidos nos **grupos de controle**, nos quais não há nenhuma intervenção. Nos experimentos de Charles e Francis Darwin, por exemplo, os grupos experimentais eram as plantas decapitadas e as que tiveram suas extremidades cobertas com papel à prova de luz. As plantas intactas e as que tiveram partes que não as extremidades cobertas constituíam os grupos de controle. A comparação entre esses grupos possibilitou aos pesquisadores avaliar os resultados da intervenção e validar a hipótese.

Diversas outras perguntas podem ter ocorrido a Francis e Charles Darwin durante o experimento, por exemplo: "De que modo a planta percebe a luz?" ou "Que mecanismo faz a planta se curvar?". Questões como essas ilustram algo que ocorre com frequência em ciência. Os experimentos, além de testarem hipóteses, originam novas questões, para as quais serão elaboradas outras hipóteses, acompanhadas de novos experimentos para testá-las. É assim que o conhecimento científico progride.

Um exemplo corriqueiro de procedimento científico pode ser observado na prática de proteger frutos em desenvolvimento com saquinhos, para evitar a infestação por animais que os inutilizam para o consumo humano. Acompanhe na figura 1.3 as etapas do procedimento científico reveladas nessa atividade comum em fruticultura.



ILUSTRAÇÕES: NELSON COSENTINO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ilustração dos autores.

Figura 1.3. Representação de um experimento que testa a hipótese de que os "bichos de goiaba" são larvas de moscas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

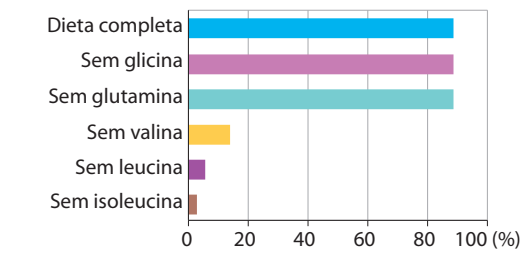
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Procedimentos científicos

1. Todos nós utilizamos procedimentos investigativos em nosso cotidiano. Releia, no texto anterior, as principais etapas da metodologia científica e identifique alguma situação do seu dia a dia em que essa metodologia pode ser aplicada para solucionar um problema. Faça um esquema que sintetize as ações que você imaginou.

2. Dois cientistas realizaram o seguinte experimento: alimentaram larvas de uma espécie de mosca com dietas que se distinguiam quanto à presença de diferentes aminoácidos, os componentes das proteínas. Um grupo de larvas foi alimentado com uma dieta completa, com todos os vinte tipos de aminoácidos naturais, além de água, sais minerais, açúcares e vitaminas. Cinco outros grupos de larvas foram alimentados com dietas nas quais faltava somente um aminoácido. Os resultados obtidos estão representados no gráfico a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: dados fictícios para fins didáticos.

Com base nessas informações, responda:

a. Qual era, provavelmente, a hipótese testada pelos cientistas?

b. Que grupo de larvas representa o grupo de controle e qual é sua importância para o experimento?

c. Qual foi a variável testada nos grupos experimentais?

d. A que conclusões é possível chegar com base nos resultados do experimento?

A comunicação em ciência

Uma das exigências em ciência é que ideias e conclusões de cunho científico se tornem públicas, de modo que possam ser testadas, avaliadas e criticadas por qualquer pessoa. Teorias, hipóteses e leis só passam a fazer parte integrante do corpo da ciência se forem publicadas na forma de artigo em uma revista especializada e credenciada pela comunidade científica. Esse tipo de publicação é imprescindível, pois dá credibilidade às informações levantadas por permitir consultas e críticas.

As revistas científicas são publicações periódicas, geralmente ligadas a sociedades científicas ou instituições de pesquisa. Os editores dessas publicações são pesquisadores renomados em sua área de atuação e sua função é avaliar se os artigos preenchem os requisitos mínimos para a publicação. Eles são auxiliados nesse trabalho por outros cientistas, que atuam como árbitros (em geral anonimamente), com a incumbência de analisar os trabalhos científicos apresentados e recomendar sua aceitação, sugerindo correções, ou mesmo rejeitando-os. A avaliação prévia dos artigos científicos tem por objetivo excluir impropriedades e verificar a qualidade e a relevância da investigação. Esse procedimento, conhecido como **julgamento por pares**, evita, por exemplo, que a fama de um pesquisador influencie aceitação de suas ideias. Qualquer pesquisador, seja ele um iniciante ou um cientista consagrado, passará pelo mesmo processo de julgamento para publicar seus trabalhos e suas ideias em uma revista científica conceituada. (Fig. 1.4)

Artigos publicados em revistas científicas diferem dos veiculados em jornais, em revistas de divulgação científica ou em livros, uma vez que estes não são submetidos ao julgamento por especialistas credenciados. Publicações em jornais e revistas, assim como programas de televisão sobre ciência, desempenham papel importante na popularização do conhecimento científico, mas não trazem conhecimentos científicos novos. Essas publicações são geralmente redigidas por jornalistas especializados, que se empenham em interpretar artigos de revistas científicas para os leitores leigos. Livros didáticos de Ciências, como este com que você estuda, têm o papel de apresentar as ideias centrais em determinada área do conhecimento de forma organizada e coerente, ajudando os estudantes a compreenderem conceitos que lhes permitirão desenvolver uma visão científica do mundo.

Atualmente a ciência está muito associada à **tecnologia**, que pode ser definida como um conjunto de métodos e técnicas para se obterem determinados resultados práticos. Por exemplo, a tecnologia da fermentação e da fabricação de pães surgiu muito antes das descobertas científicas sobre a natureza das leveduras, os fungos microscópicos responsáveis pela fermentação da massa. A tecnologia para produzir ferro já era conhecida por alguns povos há mais de 3 mil anos, mas a compreensão da reação química envolvida nesse processo só ocorreu no século XIX. O divulgador britânico de ciência Simon Lehna Singh (1964-), autor do livro *O último teorema de Fermat*, apresentou uma bem-humorada distinção entre ciência e tecnologia: "[...] tecnologia envolve o que é necessário fazer para tornar a vida humana e mesmo a morte mais cômodas, enquanto ciência é simplesmente um esforço para compreender o mundo". Atualmente as tecnologias e a ciência geralmente caminham associadas, o que traz inúmeros benefícios práticos à humanidade. Por exemplo, conhecimentos científicos da Biologia são empregados em tecnologias de melhoramento de espécies animais e vegetais, o que possibilita, entre outros resultados, maior produção de alimentos.

Figura 1.4. Capas da revista estadunidense *Science*, publicada pela *American Association for the Advance of Science*, e da revista brasileira *Genetics and Molecular Biology*, publicada pela Sociedade Brasileira de Genética. *Science* é uma das mais conceituadas revistas científicas do mundo e publica artigos em diversas áreas das Ciências Naturais. *Genetics and Molecular Biology* é especializada na publicação de artigos na área da Genética.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Divulgação científica e profissões

Os conhecimentos científicos não devem ficar restritos aos laboratórios e às universidades. Eles devem beneficiar a sociedade e, para tanto, é preciso aproximar a ciência das pessoas em geral. Nesse contexto, a divulgação científica acessível e idônea é essencial.

Até meados do século passado, a comunicação científica era restrita a um público limitado, composto principalmente de filósofos e naturalistas. Os textos eram difíceis de serem compreendidos e as pessoas que não faziam parte do mundo acadêmico não tinham acesso a eles.

No século XXI, com a popularização de redes sociais, vídeos e *podcasts*, o acesso ao conhecimento científico foi facilitado. Essas mídias se tornaram as principais fontes de divulgação científica nos dias atuais, alcançando milhões de pessoas. Alguns divulgadores são indivíduos que atuam de maneira independente, e há também instituições de ensino e pesquisa que contratam profissionais para cuidar de suas mídias sociais oficiais.

Essas carreiras fazem parte da chamada economia criativa, um ramo emergente da economia que compreende a geração de propriedade intelectual e outros aspectos criativos. Ela inclui carreiras de produção audiovisual e de mídias sociais, entre outras. Produtores de conteúdo, roteiristas, *streamers*, *podcasters*, *social medias*, *designers* de conteúdo e editores de vídeo são algumas das profissões que se inserem nesse mercado.

Em sua opinião, quais seriam os desafios e as responsabilidades dos divulgadores científicos ao utilizarem mídias sociais para comunicar ciência, considerando o impacto que isso pode ter na formação da opinião pública?

2. A Biologia como ciência

Até o século XVIII, os cientistas ainda não tinham uma visão unificada dos seres vivos e dos processos biológicos, classificando as entidades da natureza em três grandes reinos: animal, vegetal e mineral. Essa separação mostra que os vegetais eram considerados tão diferentes dos animais quanto estes são diferentes dos minerais.

Um grande avanço do conhecimento sobre a natureza ao longo do século XVIII foi mostrar que animais e vegetais compartilham características que os distinguem essencialmente dos minerais. Essas características são, principalmente, a organização corporal complexa e a capacidade de crescer, de se reproduzir e de morrer. Com base nesses parâmetros, o naturalista francês Jean-Baptiste de Lamarck propôs, em 1778, a divisão da natureza em dois grandes grupos: o dos minerais, que ele chamou de **seres inorgânicos** (sem organização), e o dos animais e vegetais, denominados **seres orgânicos** (com organização corporal). Assim surgia a Biologia como ciência. (Fig. 1.5)

A partir do século XIX, a **Biologia** tornou-se um campo de pesquisa reconhecido e independente dentro das Ciências Naturais, passando a incorporar todos os procedimentos que caracterizam a ciência moderna. Atualmente a Biologia ocupa um papel de destaque na busca de soluções para grandes desafios da humanidade. Um dos principais é, sem dúvida, a **sustentabilidade**, que é a capacidade de manter a harmonia entre a nossa espécie, os outros seres e os recursos do planeta, de modo a garantir a sobrevivência e o bem-estar das gerações humanas futuras.

Conhecer a trama da vida é fundamental para atuar conscientemente em soluções que preservem os ambientes naturais da Terra.

CHARLES THÉVENIN - COLEÇÃO PARTICULAR

Figura 1.5. Retrato de Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829). Lamarck utilizou o termo Biologia (do grego *bios*, vida, e *logos*, estudo) para designar a nova ciência que surgia na virada do século XIX, que tinha como objetivo o estudo dos seres vivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Novos campos de pesquisa biológica, como a Biotecnologia e a Engenharia Genética, têm proporcionado à humanidade capacidade de modificar aspectos genéticos dos seres vivos. Por exemplo, atualmente é possível criar variedades de organismos antes inexistentes, além de produzir cópias idênticas de um organismo e até mesmo prevenir doenças. Cabe à sociedade decidir se esses conhecimentos devem ser utilizados ou não, e por isso é importante que as pessoas conheçam os fundamentos das Ciências Naturais.

Neste livro, você encontrará indicações dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) quando forem trabalhados temas relacionados a eles. Oriente os estudantes a consultarem as páginas sobre ODS no início do livro.

Em destaque

CIDADANIA E CIVISMO ODS 5

Neste artigo, Attico Chassot destaca a presença desproporcional de homens na ciência e a compara com o que ocorre em outras áreas da sociedade. Como essa predominância masculina na ciência poderia ser explicada? Quais são as perspectivas de mudança desse quadro, frente às novas ideias sobre a equivalência de gêneros?

A ciência é masculina?

Veja comentários no Suplemento para o professor.

[...] Quando se busca caracterizar a Ciência, há algo que aparece muito naturalmente e que não necessita de muitos esforços para ser evidenciado: o quanto a *Ciência é masculina*. Talvez o que seja muito mais complexo é explicar – ou pelo menos aceitar – o porquê dessa situação. Isso parece não ser diferente quando se fala nas Artes. Quais as mulheres proeminentes que aparecem na constelação de grandes compositores, pintores ou escultores? Também na Filosofia encontramos nomes de poucas mulheres, se comparado com os de homens. A Teologia é uma área de domínio dos homens. Tanto na Academia Brasileira de Ciência como na Academia Brasileira de Letras o número de mulheres é muito pequeno, inclusive nesta só muito recentemente as mulheres puderam estar incluídas entre os assim chamados "40 imortais". Poderíamos acrescentar o quanto são predominantemente masculinos os parlamentos, tanto no mundo ocidental quanto no oriental. São homens os pregadores e líderes religiosos, na maioria das religiões, estas em geral criações masculinas. Na Igreja Católica há muitas ordens religiosas femininas fundadas por homens. Preliminarmente parece que se pode concluir que não é apenas a Ciência que é predominantemente masculina, mas nossa civilização, já há alguns milênios. [...]

Fonte: CHASSOT, A. A ciência é masculina? É, sim senhora! **Contexto & Educação**, [*s. l.*], v. 19, n. 71-72, p. 9-28, 2013.

Características dos seres vivos

O que é vida?

Muitos biólogos têm se empenhado no desafio de definir "vida". Entretanto, nenhuma das definições formuladas até agora é plenamente satisfatória. A dificuldade em definir vida deve-se à própria complexidade do fenômeno da vida, que se manifesta de muitas formas na grande diversidade de espécies biológicas da natureza. Como a vida não tem um traço distintivo único, e sim vários, em diferentes níveis, isso acaba criando definições longas e complexas ao tentar abranger todas ou a maioria das características fundamentais da vida.

Há cientistas eminentes que consideram impossível definir claramente o fenômeno da vida. Dentre eles destaca-se o biólogo alemão naturalizado estadunidense Ernst Mayr (1904-2005), que, em 1982, escreveu: "Tentativas foram feitas repetidamente para definir 'vida'. Esses esforços são um tanto fúteis, visto que agora está inteiramente claro que não há uma substância, um objeto ou uma força especial que possa ser identificada à vida". Apesar de não achar possível definir vida, Ernst Walter Mayr admite a possibilidade de definir o que ele chama de "processo da vida". Diz ele: "O processo da vida, contudo, pode ser definido. Não há dúvida de que os organismos vivos possuem certos atributos que não são encontrados [...] em objetos inanimados". (Fig. 1.6)

Dentre os atributos mais típicos dos seres vivos destacam-se: a) a composição química; b) a organização celular; c) o metabolismo; d) a reação e o movimento; e) o crescimento e a reprodução; f) a hereditariedade; g) a variabilidade genética, a seleção natural e a adaptação. A seguir são comentados esses atributos da vida.

BRUNI MEYA/AKG-IMAGES/NEWSCOM/FOTOARENA

Figura 1.6. Ernst Walter Mayr foi um dos mais importantes biólogos do século XX. Ornitólogo e historiador da ciência, ele contribuiu na difusão de uma das mais conhecidas definições de espécie biológica, além de ter tido participação importante na elaboração da teoria sintética da evolução.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Composição química dos seres vivos

A matéria componente dos seres vivos é constituída por átomos, assim como a matéria que constitui as entidades não vivas. Consequentemente, a matéria viva está sujeita às mesmas leis naturais que regem o universo em geral. Na matéria viva, porém, certos tipos de elementos químicos sempre estão presentes. São eles o **carbono** (C), o **hidrogênio** (H), o **oxigênio** (O) e o **nitrogênio** (N); em menor proporção, o **fósforo** (P) e o **enxofre** (S).

Dezenas, centenas e mesmo milhões de átomos desses e de outros elementos químicos, unidos por meio de ligações químicas, formam as moléculas constituintes dos seres vivos, genericamente chamadas de **moléculas orgânicas**. Essas moléculas são geralmente constituídas por longas sequências de átomos de carbono interligados, aos quais se unem átomos dos outros elementos componentes da molécula. Os principais tipos de moléculas orgânicas são as **proteínas**, os **glicídios**, os **lipídios** e os **ácidos nucleicos**.

Organização celular

Os seres vivos são entidades altamente complexas. No espaço microscópico de uma célula viva podem estar reunidos até 35 elementos químicos diferentes, entre os 89 elementos que ocorrem na natureza. Tais concentrações e organizações de elementos químicos não ocorrem em objetos não vivos. Além disso, os elementos químicos que compõem os seres vivos estão organizados em milhares de substâncias orgânicas diferentes. Essas substâncias, distribuídas e combinadas de forma também altamente organizada, constituem as **células**, as unidades fundamentais da vida.

Metabolismo

A maioria das substâncias presentes nas células é constantemente degradada e substituída por substâncias recém-fabricadas. Essa atividade de montagem e desmontagem de substâncias no interior das células vivas requer energia, obtida pela degradação de certos tipos de moléculas orgânicas, genericamente chamadas de nutrientes energéticos. Além de fornecer a energia necessária à manutenção da vida, esses nutrientes fornecem a matéria-prima necessária para a célula produzir novas moléculas. Em conjunto, todas essas atividades de transformação química que ocorrem nas células constituem o **metabolismo**, palavra de origem grega (*metabole*) que significa mudança ou transformação. (Fig. 1.7)

PHOTOSKY/SHUTTERSTOCK

Figura 1.7. A manutenção da vida de um ser vivo, assim como todas as atividades que ele realiza, faz parte do metabolismo.

Reação e movimento

A maioria dos animais é capaz de perceber o que se passa ao seu redor e de reagir a diferentes tipos de estímulos. A reação animal quase sempre envolve a realização de movimentos. Por exemplo, o cheiro de um leão levado pelo vento é captado pelos antílopes e provoca sua fuga. A capacidade de se movimentar rápida e ativamente, correndo, voando ou nadando, permite à maioria dos animais explorar o ambiente à procura de alimento, de abrigo e de condições adequadas à sobrevivência.

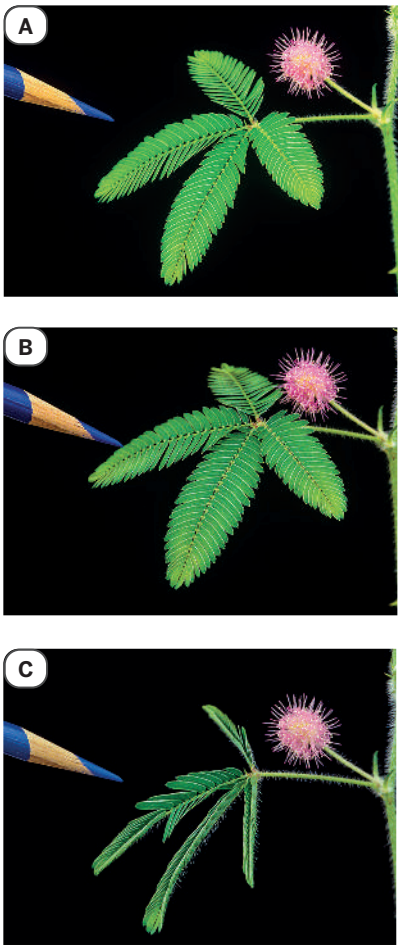
Plantas também reagem a estímulos. As reações vegetais, entretanto, são geralmente mais lentas que as dos animais. A maioria das plantas altera a posição das folhas no decorrer do dia; em certas espécies, as folhas chegam mesmo a acompanhar a trajetória do Sol no firmamento, o que lhes possibilita

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

aproveitar melhor a luminosidade. Poucas espécies de plantas são capazes de reações relativamente rápidas, como ocorre na sensitiva (*Mimosa pudica*, na imagem) e em certas plantas insetívoras, cujas folhas se fecham rapidamente ao serem tocadas e podem aprisionar pequenos insetos. (Fig. 1.8)

Muitos seres microscópicos são capazes de perceber as condições ambientais, movimentando-se ativamente em resposta a determinados estímulos. Certas algas, protozoários e bactérias apresentam filamentos móveis (flagelos ou cílios) que atuam como nadadeiras microscópicas e permitem deslocamento em meio líquido.

Embora a reação a estímulos e a movimentação ativa sejam características da maioria dos seres vivos, sobretudo dos animais, há formas de vida que não reagem a estímulos nem são capazes de se movimentar ativamente. É o caso de certos tipos de bactérias, que não apresentam movimentação própria, deslocando-se passivamente por meio de correntes líquidas, pelo vento ou por outros seres vivos.



FOTOS: DAVID SIEREN/VISUALS UNLIMITED/FOTOARENA

Figura 1.8. A reação das folhas da planta sensitiva *Mimosa pudica* ao toque é um exemplo extremo da resposta das plantas a estímulos. As folhas (A), ao serem tocadas (B), se fecham em fração de segundo (C).

Crescimento e reprodução

Todos os seres vivos crescem. Certos minerais também podem crescer, mas por processos completamente diferentes dos que ocorrem nos seres vivos. Por exemplo, certos cristais podem aumentar de tamanho pela simples agregação de substâncias que os compõem. O crescimento de um ser vivo, por outro lado, sempre ocorre pela produção organizada de substâncias no metabolismo celular.

Seres **unicelulares**, isto é, constituídos por uma única célula, tais como bactérias, protozoários, algumas algas e uns poucos fungos, crescem pelo aumento do volume da célula, que cresce até atingir determinado tamanho e se divide em duas células-filhas menores. A divisão da célula, portanto, constitui o processo de reprodução.

Seres vivos constituídos por mais de uma célula, desde poucas dezenas até bilhões ou trilhões, são chamados de **multicelulares**, ou **pluricelulares**. O ser multicelular origina-se a partir de uma célula que se multiplica ou a partir de um grupo de células que se desprende de um indivíduo multicelular.

Os biólogos distinguem dois modos básicos de reprodução: assexuada e sexuada. **Reprodução assexuada** é aquela em que um novo ser vivo surge a partir de uma célula ou de um grupo de células produzido por um único indivíduo. Nesse caso, os organismos filhos recebem as mesmas instruções genéticas presentes no genitor e são idênticos ou muito parecidos com ele. **Reprodução sexuada**, por sua vez, é aquela em que um novo ser vivo surge a partir da célula originada pela união de duas células sexuais. As células que se unem são os **gametas** e a célula originada da fusão é o **zigoto**, a primeira célula do organismo multicelular. O processo de união dos gametas é denominado **fecundação**. Se os gametas são provenientes do mesmo genitor, fala-se em **autofecundação**. Se os gametas são provenientes de dois indivíduos genitores, fala-se em **fecundação cruzada**.

A reprodução é uma das características essenciais da vida. É por meio da reprodução que a vida vem se perpetuando ininterruptamente desde que surgiu, há mais de 3,5 bilhões de anos.

Hereditariedade

A **hereditariedade** é uma característica essencial da vida, intimamente ligada à reprodução. Um ser vivo, ao se reproduzir, transmite a seus descendentes um conjunto de instruções em código inscritas nas moléculas de seu **material genético**, além de uma estrutura celular básica, a partir da qual o novo ser desenvolverá sua organização típica. Herdamos de nossos pais as instruções genéticas e a organização celular para desenvolvermos nosso corpo de acordo com os padrões típicos de nossa espécie.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As instruções genéticas estão presentes em moléculas da substância química denominada **ácido desoxirribonucleico**, ou **DNA**. Alguns vírus apresentam um outro tipo de ácido nucleico, o **ácido ribonucleico**, ou **RNA**, como material genético. O material genético controla o metabolismo e define as características típicas do organismo. (Fig. 1.9)

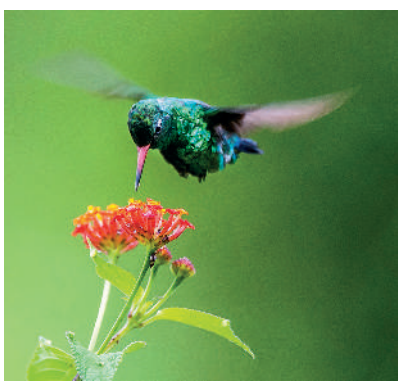
Variabilidade genética, seleção natural e adaptação

O material genético varia ligeiramente entre os membros de uma mesma espécie, o que se denomina **variabilidade genética**. Essa capacidade de variar possibilita que os indivíduos de uma população sejam ligeiramente diferentes uns dos outros. Eventualmente alguns deles podem ter mais chance de sobreviver e de se reproduzir, transmitindo suas características à descendência. As diferentes chances de sobreviver e de deixar descendentes apresentadas, pelos indivíduos de uma população constitui a **seleção natural**. Essa ideia foi proposta em meados do século XIX pelos naturalistas ingleses Charles Darwin e Alfred Wallace (1823-1913).

CYNOCLUB/SHUTTERSTOCK

Figura 1.9. Cadela da raça pastor australiano com seus filhotes. O cão adulto dessa raça mede cerca de 52 cm de altura. A semelhança entre pais e filhos deve-se à transmissão de instruções genéticas inscritas em moléculas de DNA.

A seleção natural é a base da **teoria evolucionista**, segundo a qual os seres vivos se modificam ao longo do tempo, adaptando-se aos ambientes em que vivem. A seleção natural é explicada pela teoria evolucionista da seguinte maneira: considerando a variabilidade existente entre os indivíduos de uma população, alguns se ajustam melhor ao ambiente e, consequentemente, eles têm mais chances de sobreviver e de se reproduzir, transmitindo aos descendentes suas características, inclusive as responsáveis pela adaptação. Em decorrência dessa seleção operada pela natureza, geração após geração, as espécies vivas vão se tornando cada vez mais adaptadas ao meio em que vivem. (Fig. 1.10)



LEONARDO MERCON/SHUTTERSTOCK

Figura 1.10. O bico de um beija-flor é adaptado ao modo como esse pássaro se alimenta. A forma alongada e fina do bico possibilita a entrada nas flores para sugar o néctar. Os biólogos atribuem essa e outras adaptações ao processo evolutivo característico da vida. Na fotografia, beija-flor da espécie *Chlorostilbon lucidus*, que mede cerca de 9 cm de comprimento.

Segundo a teoria evolucionista, as diferentes formas de adaptação levaram à diversificação da vida e ao surgimento da grande variedade de espécies biológicas hoje existentes, cada uma ajustada a seu modo de vida particular.

Níveis de organização biológica

No mundo vivo é possível distinguir níveis hierárquicos de organização biológica, que vão desde o nível submicroscópico até o planetário. Começando no nível submicroscópico, a matéria viva é constituída de **átomos**, que se reúnem quimicamente formando as **moléculas** das diversas substâncias orgânicas. Proteínas, por exemplo, são moléculas constituídas por centenas, milhares ou mesmo milhões de átomos, principalmente dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N).

Continuando a subir na hierarquia da organização biológica, as moléculas orgânicas formam diversos tipos de **organelas celulares**, estruturas especializadas em diversas funções. Por exemplo, mitocôndrias são organelas celulares produtoras de energia para os processos metabólicos. Lisossomos são organelas que atuam na digestão intracelular. As diferentes organelas se integram na constituição das células, as unidades básicas dos seres vivos.

Do nível celular, passamos ao nível seguinte, que ocorre apenas em grupos de organismos multicelulares (animais e plantas). As células desses organismos se especializam e se congregam, originando conjuntos celulares funcionais denominados **tecidos**. O tecido muscular, por exemplo, é formado por células especializadas em se contrair e produzir movimentos.

Diversos tipos de tecidos organizam-se formando **órgãos**, unidades anatômicas e funcionais presentes nos seres multicelulares mais complexos. Por exemplo, o coração é um órgão constituído por diversos tecidos, entre eles o tecido muscular, e sua função é bombear sangue pelo corpo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os órgãos atuam de forma integrada para o desempenho de funções corporais específicas. Um conjunto de órgãos funcionalmente integrados constitui um **sistema corporal**. Um exemplo de sistema corporal é o sistema digestivo, formado por diversos órgãos, como boca, esôfago, estômago, intestino e diversas glândulas que atuam na digestão. Os sistemas corporais, em seu conjunto, compõem o nível do **organismo**.

A hierarquia da organização biológica não para por aí. Os indivíduos geralmente não vivem isolados, mas interagem entre si e com o ambiente. O conjunto de indivíduos de mesma espécie que habita determinada região geográfica constitui uma **população biológica**. Exemplos são as populações humanas dos diversos países.

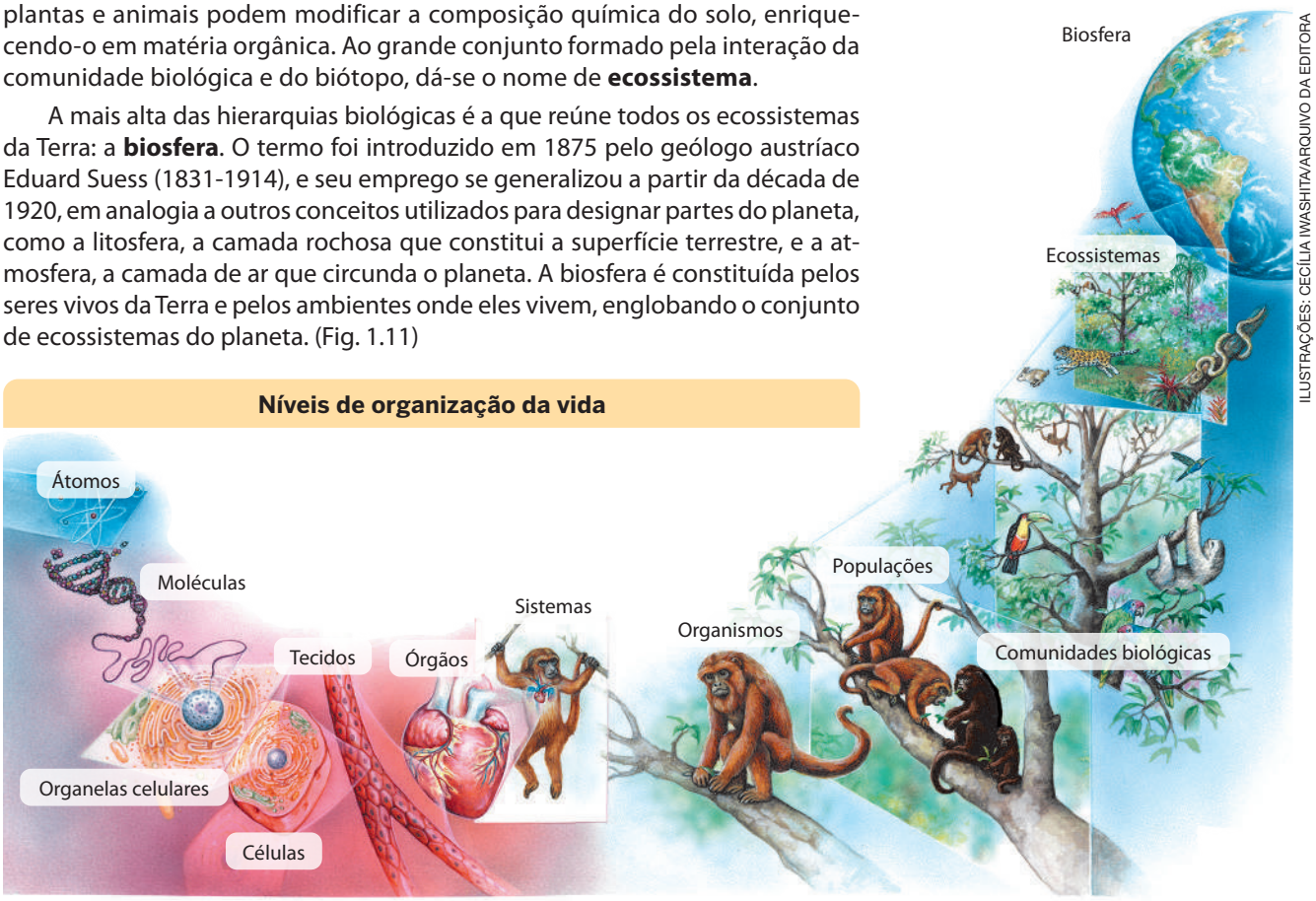
Membros de uma população geralmente interagem com membros de populações de outras espécies que habitam a mesma região geográfica. Ao conjunto de populações diferentes que coexistem em determinada região, interagindo direta ou indiretamente, dá-se o nome de **comunidade biológica**, ou **biocenose**. Por exemplo, a comunidade biológica da qual faz parte uma população de macacos inclui as populações de plantas e de animais com as quais coabitam.

Os membros de uma comunidade biológica, além de interagirem entre si, interagem com o ambiente em que vivem, o **biótopo**. Alguns aspectos do biótopo são a temperatura, a umidade, a luminosidade e os componentes químicos presentes, entre outros. Os organismos vivos são influenciados pelos diferentes fatores do biótopo, tais como a composição química e a temperatura da água dos rios, a umidade do ar e outros fatores climáticos.

Os seres vivos das comunidades também influenciam o ambiente. As plantas de uma região, por exemplo, favorecem a existência de um microclima mais úmido que o proporcionado pelo clima regional. Com o decorrer do tempo, plantas e animais podem modificar a composição química do solo, enriquecendo-o em matéria orgânica. Ao grande conjunto formado pela interação da comunidade biológica e do biótopo, dá-se o nome de **ecossistema**.

A mais alta das hierarquias biológicas é a que reúne todos os ecossistemas da Terra: a **biosfera**. O termo foi introduzido em 1875 pelo geólogo austríaco Eduard Suess (1831-1914), e seu emprego se generalizou a partir da década de 1920, em analogia a outros conceitos utilizados para designar partes do planeta, como a litosfera, a camada rochosa que constitui a superfície terrestre, e a atmosfera, a camada de ar que circunda o planeta. A biosfera é constituída pelos seres vivos da Terra e pelos ambientes onde eles vivem, englobando o conjunto de ecossistemas do planeta. (Fig. 1.11)

Níveis de organização da vida



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

MASON, K. A. *et al.* **Biology**. Nova Iorque: McGraw Hill, 2023. p. 2-3.

Figura 1.11. Representação esquemática de diferentes níveis de organização da vida, do atômico-molecular (à esquerda) ao planetário (à direita). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Integração de conhecimentos nas Ciências Naturais

Nos textos referentes aos subitens *Características dos seres vivos* e *Níveis de organização biológica*, é possível perceber áreas de integração entre a Biologia, a Física e a Química. A integração entre os níveis de organização também nos leva a refletir sobre os ecossistemas e a biosfera, atualmente muito ameaçados por ações humanas destrutivas. Pesquise na internet e converse com seus colegas sobre sustentabilidade ambiental. Aponte e comente os trechos do texto em que isso ocorre, elaborando um texto no caderno.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

O que é etnociência?

O termo **Etnociência**, empregado pioneiramente em 1964 pelo antropólogo norte-americano Willian C. Sturtevant, do Instituto Smithsonian de Etnologia, refere-se a conhecimentos tradicionais desenvolvidos por determinados povos ou etnias. É também chamada de **antropologia cognitiva** e estuda conhecimentos desenvolvidos por determinada cultura, em diferentes áreas. Um exemplo de Etnociência é o estudo científico dos conhecimentos sobre plantas medicinais desenvolvidos por povos originários brasileiros.

A importância da Etnociência é valorizar conhecimentos tradicionais desenvolvidos por grupos culturais, contribuindo para expandir e contextualizar diferentes visões étnicas e integrar conhecimentos tradicionais e modernos.

- Com base no que foi apresentado anteriormente, escreva um texto sobre como a utilização de medicamentos caseiros ou de procedimentos embasados em culturas antigas podem fazer parte da Etnociência.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.a Com o objetivo de testar a eficácia de uma nova vacina contra a febre aftosa, cerca de 20 vacas foram vacinadas enquanto outras 20 não receberam a vacina. Após algum tempo, injetou-se em todas as vacas o vírus causador da febre aftosa. O lote não vacinado constitui

a. o grupo de controle.
b. o grupo experimental.
c. a hipótese.
d. a observação.
e. a conclusão.

2. 2.e O que garante a continuidade da vida em nosso planeta é a capacidade que os seres vivos têm de

a. crescimento.
b. metabolismo.
c. movimentação.
d. reação a estímulos.
e. reprodução.

3. 3.c Venenos como o cianureto matam porque bloqueiam reações químicas intracelulares. Pode-se dizer, assim, que o cianureto atua diretamente sobre o(a)

a. reprodução.
b. evolução.
c. metabolismo.
d. crescimento.
e. reação a estímulos.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 4 a 6.

a. comunidade biológica
b. ecossistema
c. organismo
d. população biológica

4. 4.d Os micos-leões-dourados que habitam a Reserva Biológica Poço das Antas no Rio de Janeiro constituem um(a) (■).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Um lago, com seus habitantes em interação com os fatores físicos e químicos ambientais, é um exemplo de (■). 5.b

6. O conjunto de seres vivos que habita um lago constitui um(a) (■). 6.a

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 7 e 8.

a. dedução
b. fato
c. observação
d. teoria científica

7. Uma explicação abrangente sobre a natureza, que engloba fatos e hipóteses, constituindo um modelo de como o mundo funciona, é um(a) (■). 7.d

8. Com base em uma hipótese, os cientistas fazem uma previsão do que ocorrerá em determinada situação, se aquela hipótese for verdadeira. Isso constitui um(a) (■). 8.a

9. A Astrologia, atividade que realiza previsões sobre o futuro com base na posição de astros e estrelas no céu, não é reconhecida como ciência pela comunidade científica. Alguns consideram a Astrologia uma pseudociência, juntamente com a ufologia, a homeopatia e a acupuntura. Quais seriam os motivos pelos quais a Astrologia não é reconhecida como científica? O que seria uma pseudociência? Pesquise esses assuntos na internet e escreva um texto objetivo que responda às perguntas anteriores.

10. Frequentemente recebemos pelas mídias sociais conselhos de medicamentos caseiros ou procedimentos que podem curar ou preservar a saúde, acompanhados de motivos que os justificam. Seria seguro seguir determinados conselhos somente porque eles contêm justificativas que parecem convincentes? Que precauções devemos ter nesses casos? Escreva um texto argumentativo relacionando suas respostas a essas perguntas com o que aprendeu sobre os procedimentos científicos.

Questões de vestibulares

11. (UGF-RJ) Ao criar uma hipótese científica, o cientista procura 11.b

a. levantar uma questão ou problema.
b. explicar um fato e prever outros.
c. testar variantes.
d. comprovar teorias estabelecidas.
e. confirmar observações.

12. (Fuvest-SP) Observando plantas de milho, com folhas amareladas, um estudante de Agronomia considerou que essa aparência poderia ser devida à deficiência mineral do solo. Sabendo que a clorofila contém magnésio, ele formulou a seguinte hipótese: "As folhas amareladas aparecem quando há deficiência de sais de magnésio no solo". Qual das alternativas descreve um experimento correto para testar tal hipótese? 12.e

a. Fornecimento de sais de magnésio ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados alguns dias depois.
b. Fornecimento de uma mistura de diversos sais minerais, inclusive sais de magnésio, ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados dias depois.
c. Cultivo de um novo lote de plantas em solo suplementado com uma mistura completa de sais minerais, incluindo sais de magnésio.
d. Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e, à outra metade, apenas sais de magnésio.
e. Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e, à outra metade, uma mistura com os mesmos sais, menos os de magnésio.

13. (UFRGS-RS) Numa experiência controlada o grupo controle tem por objetivo 13.d

a. testar outras variantes do resultado previsto.
b. confirmar as conclusões obtidas com o grupo experimental.
c. desmentir as conclusões obtidas com o grupo experimental.
d. servir de referência padrão em face dos resultados fornecidos pelo grupo experimental.
e. testar a eficiência dos equipamentos usados na experiência.

14. (Vunesp) A sequência indica os crescentes níveis de organização biológica: 14.b

célula > I > II > III > população > IV > V > biosfera.

Os níveis I, III e IV correspondem, respectivamente, a

a. órgão, organismo e comunidade.
b. tecido, organismo e comunidade.
c. órgão, tecido e ecossistema.
d. tecido, órgão e bioma.
e. tecido, comunidade e ecossistema.

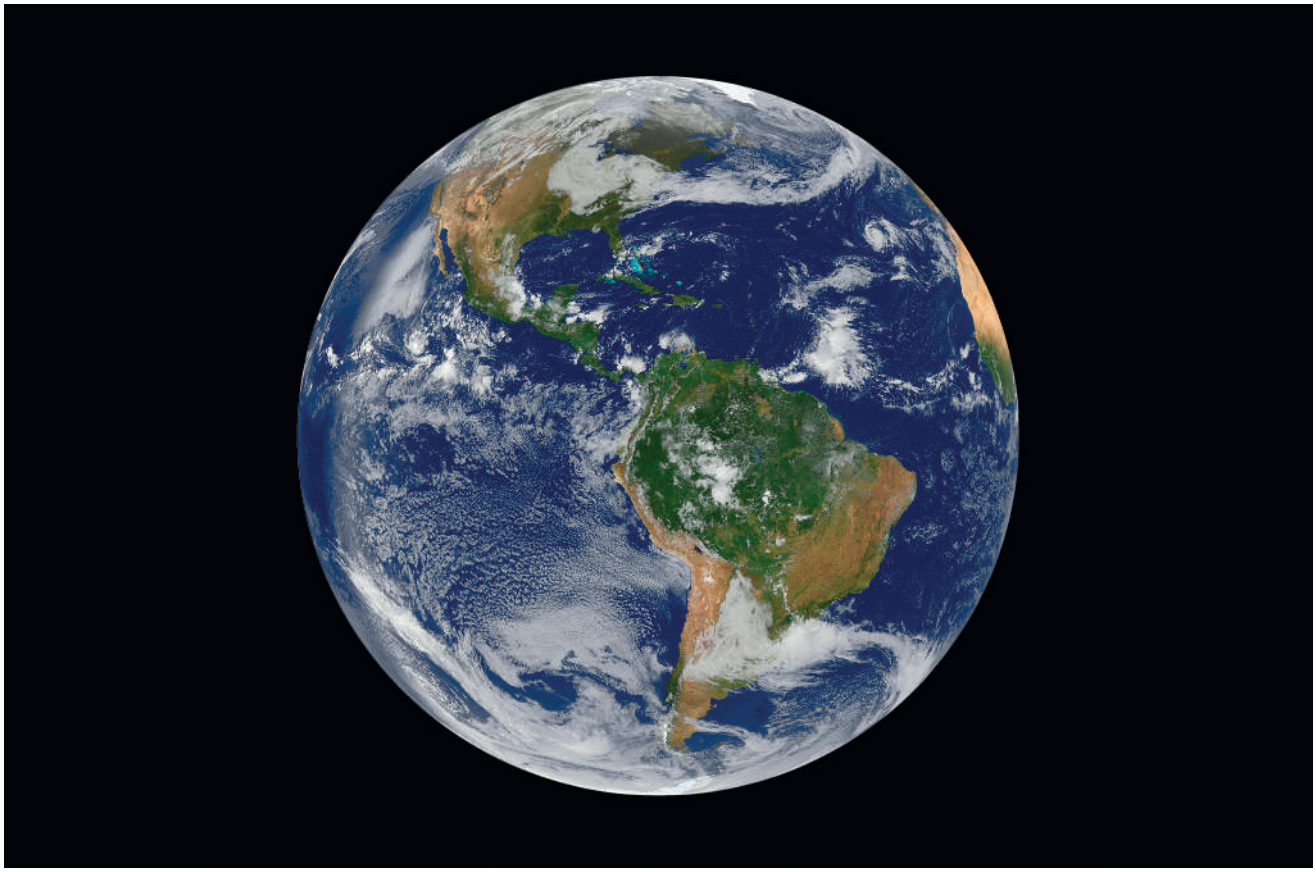
15. (Vunesp) Considere a afirmação: "As populações daquele ambiente pertencem a diferentes espécies de animais e vegetais". Que conceitos estão implícitos nessa frase, se levarmos em consideração

a. somente o conjunto de populações? 15.a Comunidade
b. o conjunto de populações mais o ambiente abiótico? 15.b Ecossistema

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 2

A origem da vida na Terra



NASA GSFC/GOES PROJECT/NOAA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

"A Terra é azul e eu não vi Deus!". O autor dessa frase foi o cosmonauta russo Yuri Gagarin (1934-1968), há mais de 50 anos. Gagarin foi a primeira pessoa a ver o planeta Terra do espaço. Em 1969, o astronauta estadunidense Neil Armstrong (1930-2012) pisou na Lua, de onde descortinou uma visão do planeta azul. De que maneira a vida surgiu na Terra? Haverá vida em outros planetas? Na imagem, foto de satélite do planeta Terra em 2017.

A importância do assunto

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 23 de Física desta coleção.

Até pouco mais de três séculos atrás, as explicações mais comuns para a origem do Universo e da vida eram de caráter religioso. Segundo a maioria delas, o Universo e os seres vivos teriam sido criados por divindades supremamente poderosas.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento da Ciência tem trazido novos dados para essa antiga discussão. Os avanços da Cosmologia, ramo da Ciência que estuda os corpos celestes e o espaço sideral, levaram os cientistas a desenvolver uma teoria para explicar a origem do Universo, que ficou conhecida como teoria da grande explosão, ou teoria do *big bang*. A origem da vida e do Universo são questões que mobilizam aspectos científicos, sociais e culturais. Ao tentar explicar essas questões de forma científica, as respostas esbarram com a dificuldade de obter evidências de fenômenos que ocorreram há bilhões de anos.

Diferentemente de muitas religiões, que consideram a espécie humana o objeto central da criação, a visão científica situa o aparecimento de nossa espécie no grande panorama da evolução cósmica. Para os cientistas, há uma continuidade evolutiva desde o *big bang* até os dias de hoje.

Neste capítulo, são apresentadas resumidamente ideias científicas atuais sobre a formação do Universo, do Sistema Solar e da Terra e a visão científica da origem da vida no planeta que habitamos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MULTICULTURALISMO

1. A origem do Universo e do Sistema Solar

Por que estudar a história da Terra em Biologia e não apenas em Geografia ou Geologia? A razão é que todas as espécies vivas adaptam-se às condições do ambiente onde vivem e, assim, para compreender melhor a história da vida na Terra, é importante conhecer a história e as características físicas, químicas e estruturais do planeta.

Entender a vida do ponto de vista histórico ajuda a compreender a razão das semelhanças e das diferenças entre as espécies biológicas. Além disso, ajuda a explicar a distribuição geográfica das espécies e as interações que elas mantêm entre si e com o ambiente. As visões histórica e evolucionista da vida dão sentido aos fatos biológicos. O biólogo naturalizado estadunidense Theodosius Dobzhansky (1900-1975), famoso por suas ideias sobre a natureza da ciência biológica, escreveu em um artigo:

> Interpretada à luz da evolução, a Biologia é, do ponto de vista intelectual, talvez a mais inspirada e satisfatória das ciências. Sem essa luz, a Biologia torna-se uma miscelânea de fatos, alguns deles interessantes ou curiosos, mas desprovidos de significado quando considerados em conjunto.

Fonte: DOBZHANSKY, T. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, Oakland, v. 35, n. 3, p. 125-129, 1973.

A teoria do *big bang*, ou teoria da grande explosão

Os avanços da Cosmologia e da Física no início do século XX levaram à formulação de uma explicação científica para a origem do Universo: a **teoria da grande explosão**, ou **teoria do *big bang***. Largamente aceita pela comunidade científica, essa teoria propõe que o Universo tenha se originado a partir de um ponto extremamente compacto, com altíssima densidade, que passou a se expandir fortemente cerca de 13,8 bilhões de anos atrás e continua até hoje. Na explosão primordial, denominada *big bang*, teriam surgido simultaneamente o espaço, o tempo, a energia e a matéria que compõem o Universo.

Imediatamente após a explosão primordial, a temperatura teria sido tão alta que impossibilitava existir matéria como hoje a conhecemos. Entretanto, com a expansão rápida do Universo, a temperatura diminuiu, possibilitando o surgimento dos elementos químicos. Ao fim do primeiro minuto de existência, o Universo já teria núcleos atômicos do elemento químico mais simples, o hidrogênio, além de núcleos de hélio e pequenas quantidades de núcleos de lítio. Átomos propriamente ditos só se formariam mais tarde, quase 400 mil anos depois da explosão inicial.

Segundos os cientistas, quando o Universo completou algumas centenas de milhões de anos começaram a surgir as primeiras **estrelas**, corpos celestes de grandes dimensões formados basicamente por átomos de hidrogênio e de hélio. A atração gravitacional teria levado à formação de conjuntos de estrelas e de matéria cósmica: as primeiras **galáxias**.

Atividade em grupo

Entrevista: Como surgiu a vida na Terra?

Forme um grupo com 3 ou 4 colegas para dividir o trabalho de entrevistar pessoas de diferentes formações sobre a origem da vida na Terra. As perguntas a serem feitas aos entrevistados são: "Em sua opinião, como surgiu a vida na Terra?"; "Há quanto tempo isso teria ocorrido?".

O grupo pode elaborar uma planilha, na qual serão registrados os dados de cada entrevistado – nome, idade, grau de instrução escolar, profissão, religião etc. –, deixando um espaço para anotar objetivamente as respostas.

Se possível, e com a autorização dos entrevistados, pode-se gravar um áudio ou um vídeo das entrevistas, que pode ser exibido para a turma ou para a escola. O grupo pode preparar uma apresentação que compartilhe os resultados da pesquisa e também promova uma discussão sobre como diferentes crenças, culturas e formações influenciam as percepções sobre a origem da vida. As entrevistas podem destacar correlações entre as respostas e os dados dos entrevistados. Por exemplo: "... todas as pessoas sem religião acreditam que..." ou "... 70% dos entrevistados com Ensino Superior completo acreditam que...".

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Integrando áreas do conhecimento

Escreva em seu caderno um comentário sobre o seguinte questionamento: "A ideia de que há continuidade evolutiva entre a origem do Universo e a origem dos seres vivos justifica a integração entre os estudos nos diferentes ramos das Ciências Naturais, como a Física, a Química e a Biologia?".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

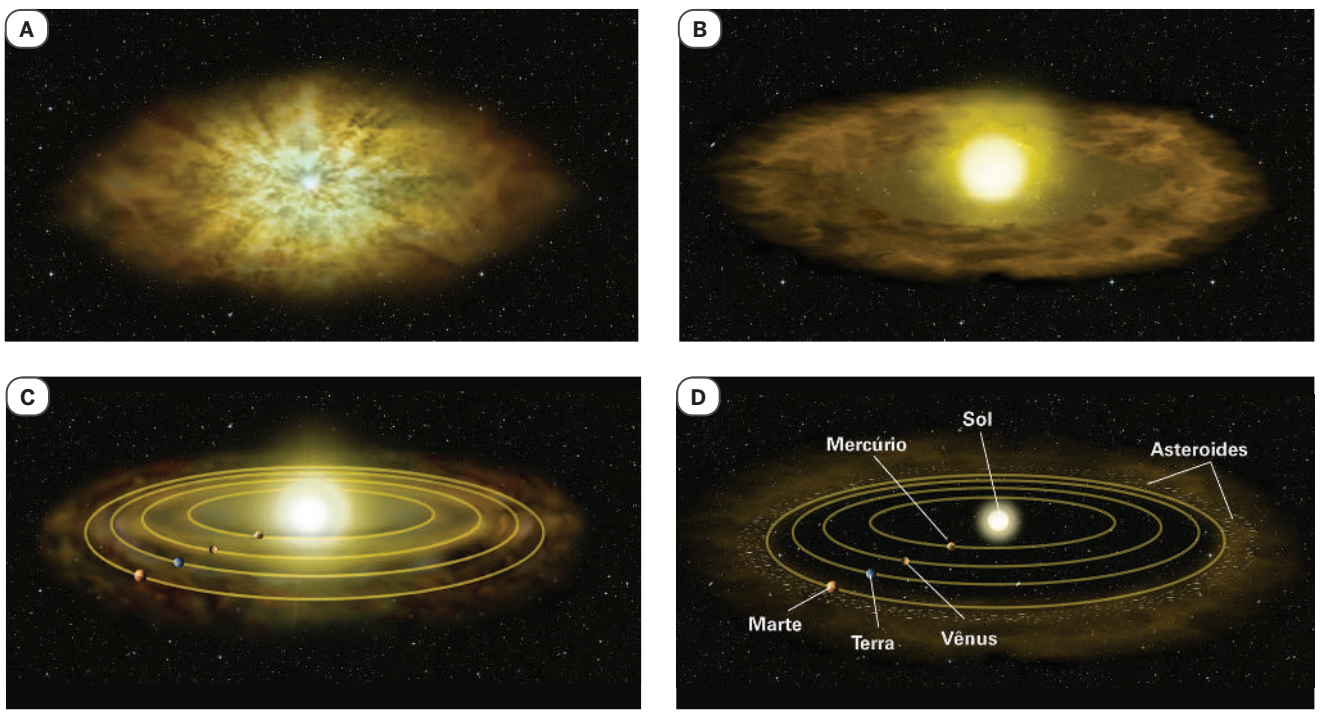
A origem do Sistema Solar

Entre as dezenas de bilhões de galáxias do Universo, está a Via Láctea, onde se situa o **Sistema Solar**. Ele é composto pelo Sol, por oito planetas, diversos satélites naturais, cometas e outros corpos celestes. A formação do Sistema Solar teria ocorrido há cerca de 4,6 bilhões de anos. Acredita-se que os componentes da nebulosa que originou o Sistema Solar eram predominantemente gás hidrogênio (H_2) e gás hélio (He), além de poeira interestelar, constituída principalmente por grânulos de carbono e de silicatos.

A atração gravitacional entre as partículas da nebulosa teria feito com que ela se tornasse cada vez mais compacta. Após milhões de anos de compactação, a temperatura no centro da nebulosa teria atingido cerca de 10 milhões de graus Celsius (10.000.000 °C). A elevada temperatura teria desencadeado fusões nucleares em cadeia, com liberação de muita energia e elevação ainda maior de temperatura. Em determinado momento, a massa central da nebulosa passou a emitir luz. O Sol teria se originado dessa maneira, assim como as mais de 100 bilhões de estrelas presentes na Via Láctea. Os físicos chamam estrelas como o Sol de anãs-amarelas.

Acredita-se que, ao mesmo tempo que o Sol se formava, também ocorriam condensações em pontos periféricos do disco de matéria que girava em torno do centro, originando planetas e outros corpos celestes do Sistema Solar, como satélites, asteroides e cometas. (Fig. 2.1)

Formação do Sistema Solar



SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de TREFIL, J.; HAZEN, R. **The sciences**: an integrated approach. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

Figura 2.1. Concepção artística da formação do Sistema Solar. (A) Nebulosa primordial. (B) Condensação da matéria na região central da nebulosa, originando o Sol, uma estrela amarela. Ao redor do Sol em formação, restaria um disco giratório de matéria. (C) Condensações em pontos periféricos do disco de matéria teriam originado os astros do Sistema Solar. (D) Parte mais interna do Sistema Solar mostrando o Sol e os planetas mais próximos, satélites, asteroides e cometas que orbitam ao seu redor. Os círculos ao redor do Sol em (C) e (D) indicam as órbitas dos planetas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

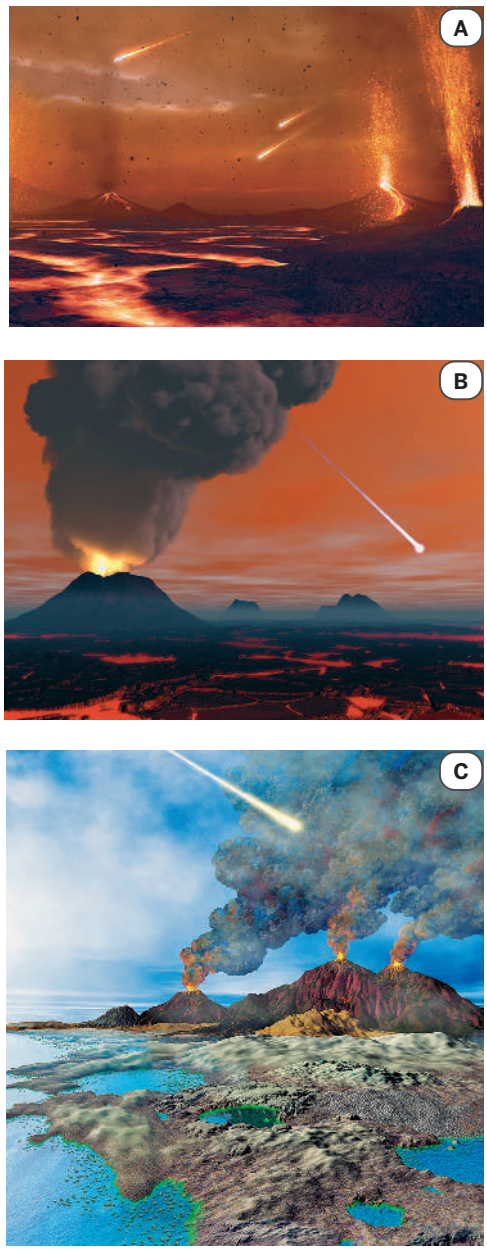
Estima-se que o Sol tenha surgido há pelo menos 4,6 bilhões de anos. Desde então, os processos de fusões nucleares continuam a ocorrer em seu interior. Com base em estudos de estrelas semelhantes, os cientistas acreditam que o Sol consumirá todo o seu hidrogênio em aproximadamente 5 bilhões de anos, quando se expandirá, transformando-se em uma estrela mais fria, do tipo gigante-vermelha.

A formação da Terra

Evidências científicas atuais sugerem que a **Terra** surgiu entre 4,6 bilhões e 4,5 bilhões de anos atrás, a partir da aglomeração de minerais, poeira cósmica e gases do disco de matéria que orbitava o Sol. A agregação progressiva do material constituinte da Terra teria gerado grande pressão, com aumento de temperatura e derretimento dos materiais rochosos mais internos, que escapavam para a superfície terrestre na forma de lava incandescente. Além da intensa atividade interna, a jovem Terra também era continuamente bombardeada por asteroides vindos do espaço, que se chocavam com a superfície terrestre em eventos catastróficos, contribuindo para o aumento da temperatura e da massa do planeta. Nenhum tipo de vida, como a que conhecemos hoje, poderia ter existido em condições tão adversas quanto as reinantes na Terra em seus primeiros 700 milhões de anos de existência.

A superfície da Terra primitiva teria esfriado com o passar do tempo devido à contínua perda de calor para o espaço. O resfriamento possibilitou a formação de uma fina camada de material rochoso sólido em torno do planeta, a **crosta terrestre**. Logo após se formar, a crosta ainda era quente demais para possibilitar o acúmulo de água líquida. Nas camadas superiores da atmosfera, mais frias, haveria muito vapor-d'água formando densas nuvens. Parte do vapor acumulado nas nuvens se precipitava em forma de chuva. Ao cair na superfície terrestre, a água evaporava e se reunia às nuvens, repetindo o processo. Acredita-se que na Terra com 500 milhões de anos ocorreram chuvas torrenciais sem intervalos, por milhões de anos.

Em determinado momento, a superfície da Terra teria esfriado o suficiente para que água líquida pudesse se acumular em depressões da crosta, formando grandes áreas alagadas precursoras dos oceanos. Foi provavelmente em um cenário como esse, há cerca de 3,5 bilhões de anos, que surgiram os primeiros seres vivos, dos quais descendem todas as formas de vida extintas e atuais. (Fig. 2.2)



MARK GARLICK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/GETTY IMAGES

STOCKTREK IMAGES/GETTY IMAGES

LYNETTE COOK/SPL/FOTOARENA

Figura 2.2. Representações artísticas das mudanças que teriam ocorrido gradualmente no ambiente da Terra primitiva. (A) O resfriamento da superfície levou à formação da crosta terrestre. Nessa época, havia intensa atividade vulcânica e bombardeamento da Terra por corpos celestes. (B) A temperatura da crosta é elevada e não possibilita acúmulo de água líquida. (C) Em determinado momento, a crosta esfria o suficiente para permitir a formação dos primeiros mares.

2. Como surgiu a vida na Terra?

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Uma reflexão sobre a origem da vida... como a conhecemos

A teoria da geração espontânea

Até meados do século XVII, predominava a ideia de que os seres vivos haviam sido criados por divindades, doutrina genericamente chamada de **criacionismo**. Admitia-se também que alguns tipos de seres vivos podiam surgir espontaneamente a partir da matéria sem vida, ou mesmo pela transformação de outros seres vivos. Essa era a base da **teoria da geração espontânea**, também chamada de **teoria da abiogênese**.

A teoria da geração espontânea não resistiu à expansão do conhecimento científico e aos rigorosos testes realizados por cientistas criteriosos como Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani e Louis Pasteur. Esses pesquisadores forneceram as primeiras evidências científicas de que os seres vivos surgem somente pela reprodução de seres de sua própria espécie, ideia que ficou conhecida como **teoria da biogênese**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O experimento de Redi

Um dos primeiros experimentos científicos sobre a origem de seres vivos foi realizado em meados do século XVII pelo médico italiano Francesco Redi (1626-1697). Na época, muitos acreditavam que os seres vermiformes sempre presentes em cadáveres surgiam por transformação espontânea da carne em putrefação. Redi não concordava com essa ideia e formulou a hipótese de que os seres vermiformes eram larvas, estágios imaturos de moscas que colocaram ovos na carne.

Em seu livro intitulado *Experimentos sobre a geração de insetos* (em latim, *Experimenta circa generationem insectorum*), Redi conta que teve a ideia do experimento ao ler o poema épico *Ilíada*, de Homero, datado do século IX a.C. ou VIII a.C. No canto XIX da *Ilíada* de Homero, Aquiles exprime o temor de que o corpo de seu amante Pátrocles se torne presa das moscas. Aquiles pede à deusa Tétis que proteja o corpo contra os insetos, que poderiam originar vermes e corromper a carne do morto. Redi notou que os antigos gregos já sabiam que as larvas encontradas nos cadáveres originavam-se de moscas, que pousavam sobre eles e colocavam seus ovos. (Fig. 2.3)

GIOVANNI ANTONIO PELLEGRINI - MUSEU MUNICIPAL DE SOISSONS, FRANÇA

Figura 2.3. PELLEGRINI, G. A. **Aquiles contemplando o corpo de Pátrocles**. *c.* 1700. Óleo sobre tela, 152,5 cm × 195,5 cm. Museu Municipal de Soissons, França. A cena retrata uma passagem do poema **Ilíada**, atribuído a Homero, que serviu de inspiração para Redi idealizar seu experimento.

Seguindo os procedimentos da ciência moderna, Redi raciocinou que, se os seres vermiformes surgem a partir de ovos colocados por moscas – essa é a hipótese –, então não surgirão vermes se as moscas forem impedidas de pousar na carne – essa é uma dedução a partir da hipótese. Para testar sua hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: distribuiu animais mortos em diversos frascos de boca larga, deixando alguns abertos e fechando outros com uma gaze muito fina. Nos frascos abertos, nos quais as moscas podiam entrar, logo surgiram os seres vermiformes. Nos frascos tampados com gaze, onde as moscas não conseguiam entrar, não apareceu nenhum ser vermiforme, mesmo após muitos dias. Desse modo, a dedução foi confirmada, e a hipótese, aceita. (Fig. 2.4)

O experimento de Redi

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de SPONTANEOUS generation. *In*: ENCYCLOPEDIA Britannica, 13 set. 2024. Disponível em: https://www.britannica.com/science/spontaneous-generation. Acesso em: 19 out. 2024.

Figura 2.4. Representação do experimento de Redi que descartou a hipótese da geração espontânea dos vermes (larvas de moscas), que surgem na carne em putrefação. No frasco à esquerda, tampado com gaze, não surgiram larvas. No frasco à direita, no qual as moscas podiam entrar livremente, surgiram larvas, que se alimentavam da carne. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Integrando conhecimentos

Francesco Redi declarou ter se inspirado na leitura do canto XIX da *Ilíada*, relativo aos heróis gregos Aquiles e Pátrocles, ao conceber sua hipótese sobre a origem das larvas da carne em decomposição. Sugerimos que você pesquise sobre o assunto na internet, eventualmente pedindo orientações a seus professores de História ou de Literatura. Elabore um texto que ressalte a importância de estabelecer ligações entre diferentes tipos de conhecimento para o progresso intelectual da humanidade.

Needham *versus* Spallanzani

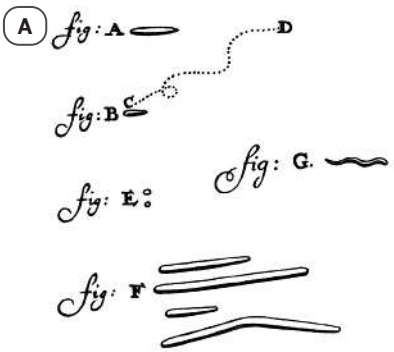
A teoria da geração espontânea, que havia perdido credibilidade com os experimentos de Redi, voltou a ser utilizada para explicar a origem dos seres microscópicos, ou **microrganismos**, descobertos em meados do século XVII pelo holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723). (Fig. 2.5)

A teoria da geração espontânea parecia adequada para explicar a origem dos microrganismos, pois era difícil imaginar que seres aparentemente tão simples, presentes em quase todos os lugares, pudessem surgir por meio de reprodução. Alguns estudiosos, entretanto, estavam convencidos de que não ocorria geração espontânea de seres microscópicos.

Em 1745, o inglês John Needham (1713-1781) realizou um experimento sobre a geração espontânea em que diversos frascos com caldo nutritivo, adequado à proliferação de microrganismos, foram fervidos por 30 minutos e imediatamente fechados com rolhas de cortiça. Depois de alguns dias, os caldos estavam repletos de seres microscópicos. Assumindo que a fervura teria eliminado todos os seres eventualmente presentes no caldo, e que nenhum ser vivo poderia ter penetrado pelas rolhas, Needham creditou à geração espontânea a presença de microrganismos nos frascos.

O pesquisador italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) refez os experimentos de Needham, preparando oito frascos com caldos nutritivos. Após fervê-los prolongadamente, Spallanzani fechou quatro deles com rolhas de cortiça, como fizera Needham, e derreteu os gargalos dos outros quatro frascos, fechando-os hermeticamente. Após alguns dias, haviam surgido microrganismos apenas nos frascos arrolhados com cortiça, mas não nos frascos cujos gargalos tinham sido fechados no fogo. Spallanzani concluiu que a vedação ineficiente ou o tempo curto de fervura utilizados por Needham, ou ambos, tinham possibilitado a contaminação do caldo por microrganismos vindo de fora.

Em resposta a Spallanzani, Needham alertou que a fervura prolongada poderia ter levado os caldos nutritivos a perderem sua força vital, um suposto princípio imaterial que seria indispensável ao surgimento de vida. Spallanzani respondeu quebrando os gargalos fundidos de frascos sem microrganismos, expondo seu conteúdo ao ar. Em pouco tempo, os caldos desses frascos ficaram repletos de microrganismos, mostrando que a fervura prolongada não havia destruído a força vital do caldo. Needham novamente contra-argumentou, sugerindo a hipótese de que o princípio ativo, embora deteriorado pelo longo tempo de fervura, restabeleceram-se com a entrada de ar fresco, o que possibilitou a geração espontânea de microrganismos. Spallanzani não conseguiu propor um experimento para descartar o novo contra-argumento de Needham, e a controvérsia não foi resolvida.



ANTONIE VAN LEEUWENHOEK/ COLEÇÃO PARTICULAR

ANTONIE VAN LEEUWENHOEK - MUSEU BOERHAAVE, LEIDEN, HOLANDA

Figura 2.5. (A) Desenhos realizados por Leeuwenhoek, em 1683, de seres microscópicos, então popularmente chamados de micróbios, hoje denominados microrganismos. (B) Retrato de Antonie van Leeuwenhoek, filósofo, naturalista e zoólogo, em 1680. (VERKOLJE, J. **Retrato de Antonie van Leeuwenhoek**, *c.* 1680, óleo sobre tela, 56 cm × 47,5 cm. Museu Boerhaave, Holanda.)

Pasteur e a derrubada da abiogênese

No início da década de 1860, a Academia Francesa de Ciências ofereceu um prêmio em dinheiro para quem realizasse um experimento definitivo sobre a origem dos microrganismos. Estimulado pelo desafio, o pesquisador francês Louis Pasteur (1822-1895) começou a trabalhar no assunto.

Em um de seus muitos experimentos sobre o tema, Pasteur distribuiu caldo nutritivo em quatro frascos de vidro, cujos gargalos foram amolecidos ao fogo, esticados e curvados na forma de um pescoço de cisne. O cientista francês aqueceu o caldo dos frascos até sair vapor pelas extremidades dos gargalos curvos. O objetivo de Pasteur, ao curvar os gargalos dos frascos, era manter livre a entrada de ar, mas fazer com que partículas em suspensão ficassem retidas nas paredes do gargalo curvo, que funcionaria como um filtro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Apesar de o caldo estar em contato direto com o ar, não surgiram microrganismos nos frascos com pescoço de cisne preparados por Pasteur. Microrganismos presentes no ar eram retidos nas curvas do gargalo e não atingiam o líquido do frasco. Para confirmar sua hipótese, Pasteur quebrou o gargalo de alguns frascos, verificando que, em poucos dias, seus conteúdos ficaram repletos de microrganismos. O experimento demonstrou que o surgimento de microrganismos em caldos nutritivos ocorre pela contaminação por germes provenientes do ambiente externo, e não por geração espontânea. (Fig. 2.6)

O experimento de Pasteur

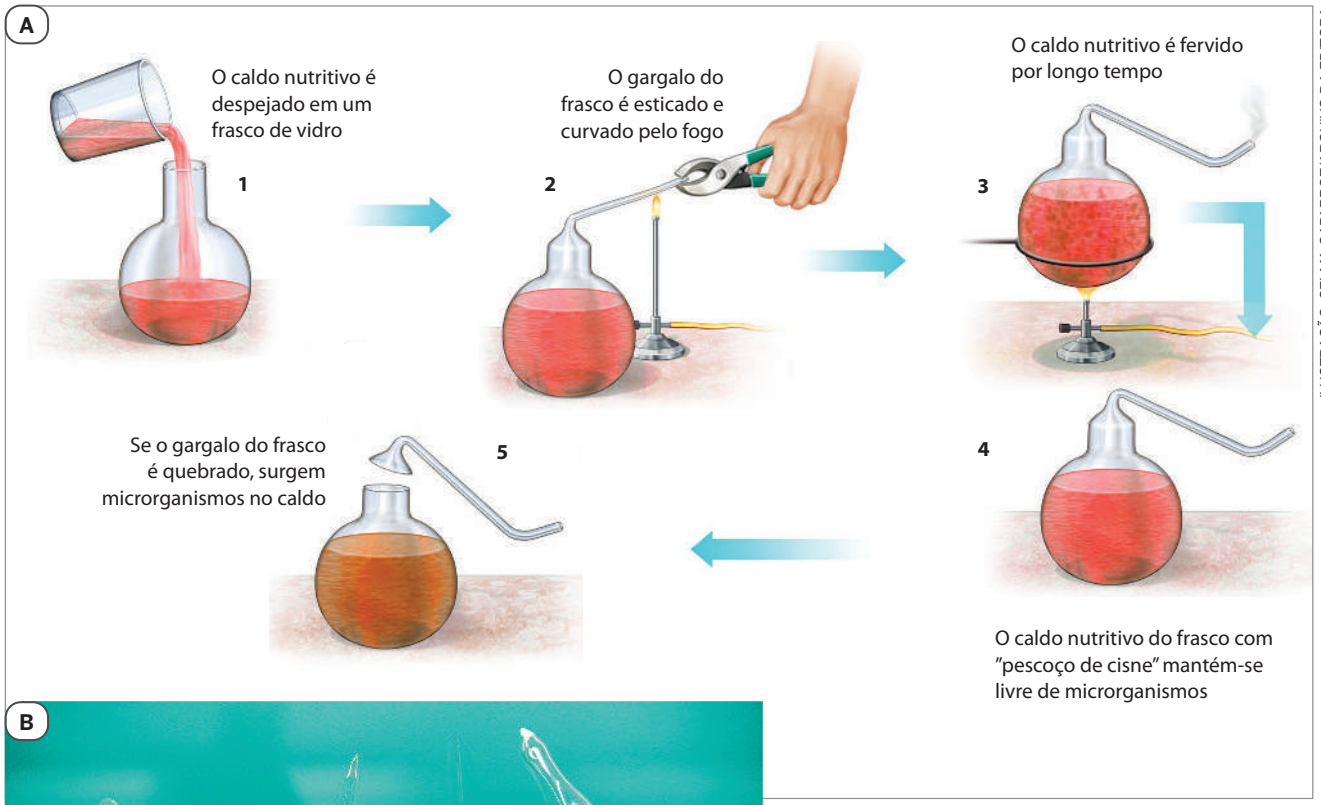


ILUSTRAÇÃO: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

BSIP/UIG/GETTY IMAGES

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

Figura 2.6. (A) Etapas do experimento realizado por Pasteur que sepultou definitivamente a teoria da geração espontânea. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Os frascos preparados por Pasteur em seus experimentos mantêm-se até hoje isentos de microrganismos no Museu do Instituto Pasteur, em Paris, França.

Pesquisas sobre geração espontânea e tecnologias para conservação de alimentos

Em 1850, Louis Pasteur, já famoso por seus estudos sobre os microrganismos, interessou-se pelo problema de deterioração do vinho que afetava a indústria vinícola de Arbois (França), sua terra natal. Em experimentos anteriores, Pasteur já havia demonstrado que a transformação do suco de uvas em vinho era resultado da atividade de microrganismos denominados leveduras, ou fermentos. Sua hipótese, agora, era que a deterioração do vinho decorria da contaminação por outro tipo de microrganismo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao observar ao microscópio amostras de vinhos estragados, Pasteur encontrou diversos microrganismos além das leveduras, o que reforçava sua hipótese. Como eliminar os micróbios invasores sem alterar o sabor do vinho? Este não podia ser fervido, o que afetaria suas qualidades. Pasteur descobriu que bastava aquecer o vinho por alguns minutos a 57 °C para eliminar os microrganismos indesejáveis, sem alterar o sabor da bebida. Assim, Pasteur desenvolveu uma nova tecnologia de esterilização que, em sua homenagem, recebeu o nome de pasteurização.

A **pasteurização**, tecnologia para a eliminação seletiva de microrganismos pelo aquecimento brando, é largamente empregada atualmente na indústria de alimentos. Em diversos países, incluindo o Brasil, é obrigatório pasteurizar o leite e seus derivados antes de comercializá-los. A pasteurização do leite consiste em mantê-lo a 62 °C por 30 minutos. Esse tratamento elimina a bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, microrganismo presente no gado bovino e que pode causar tuberculose em seres humanos. A pasteurização elimina ainda outros microrganismos responsáveis pela deterioração do leite, o que prolonga sua vida útil.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Um olhar histórico sobre a conservação de alimentos

Os experimentos pioneiros de Spallanzani sobre geração espontânea abriram caminho para o desenvolvimento da indústria de alimentos enlatados. Ao saber das pesquisas e das controvérsias sobre a origem dos microrganismos, o confeiteiro francês Nicolas Appert (1749-1841) suspeitou que os seres microscópicos podiam ser responsáveis pela deterioração rápida dos alimentos, problema enfrentado pelos fabricantes de produtos alimentícios. Partindo do princípio de que caldos nutritivos previamente fervidos podiam ser guardados sob vedação hermética sem estragar, como Spallanzani havia demonstrado, Appert desenvolveu uma tecnologia para produzir alimentos em conserva que podiam ser armazenados por longo tempo, sem sofrer deterioração.

Tente imaginar como era a situação alimentar da humanidade antes de se saber que os microrganismos causam a deterioração dos alimentos. Pesquise na internet sobre o início dos processos de refrigeração e explique a relação entre microrganismos, geladeiras domésticas e a preservação dos alimentos por mais tempo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Ideias modernas sobre a origem da vida

A origem pré-biológica dos precursores da vida

Com o descrédito da teoria da geração espontânea e consolidação da teoria da biogênese, uma nova questão surgiu: se os seres vivos não se originam de matéria inanimada, mas apenas por reprodução de outros seres vivos, como surgiram os primeiros seres vivos na Terra?

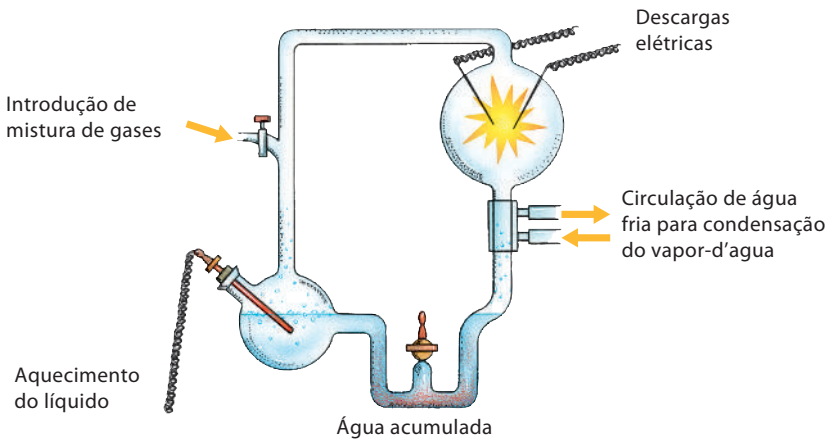
Ainda não há resposta definitiva para a origem da vida na Terra. Uma das possibilidades, embasada em descobertas recentes, é que substâncias precursoras da vida tenham vindo do espaço sideral, trazidas por cometas e asteroides. Por outro lado, alguns experimentos demonstraram que moléculas orgânicas podem ter se originado pela combinação química de substâncias inorgânicas presentes na Terra primitiva.

A primeira experiência sobre a produção de substâncias orgânicas a partir de substâncias inorgânicas, nas supostas condições da Terra primitiva, foi realizada pelo químico estadunidense Stanley Lloyd Miller (1930-2007). Essa experiência estabeleceu as bases experimentais da teoria da evolução molecular para a origem da vida. Em 1953, Stanley Miller construiu um aparelho que simulava as condições supostamente existentes na Terra primitiva. Nesse simulador, formado por tubos e balões de vidro interligados, Miller colocou uma mistura de metano (CH_4), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2) e vapor-d'água (H_2O), supostamente os principais constituintes da atmosfera da Terra primitiva. A mistura gasosa foi submetida, durante alguns dias, a calor e a descargas elétricas, condições atmosféricas que Miller considerava que existiam no início na primitiva Terra.

No simulador, havia um condensador onde a mistura de gases era resfriada. O vapor-d'água presente na mistura se condensava e escorria para a parte inferior do aparelho, onde se acumulava. Com isso, Miller simulava as chuvas e o acúmulo de água nos mares e lagos da Terra primitiva.

Por fim, um aquecedor fazia ferver a água acumulada, que voltava a se transformar em vapor, simulando a evaporação da água na superfície quentíssima da Terra primitiva. Após deixar o simulador funcionando por cerca de uma semana, Miller realizou testes químicos no líquido avermelhado que se acumulara na parte inferior do aparelho. No líquido acumulado, Miller encontrou substâncias ausentes no início do experimento, entre elas os aminoácidos alanina e glicina, além de substâncias orgânicas mais simples. (Fig. 2.7)

O experimento de Miller



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 2.7. Esquema do simulador utilizado por Miller em seu experimento sobre a origem da vida. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O experimento de Miller tem atualmente significado apenas histórico, pois novos dados sugerem que a composição atmosférica da Terra primitiva era diferente da mistura de gases empregada pelo pesquisador. Evidências recentes indicam que a atmosfera terrestre, entre 4 e 3,5 bilhões de anos atrás, seria constituída por 80% de gás carbônico (CO_2), 10% de metano (CH_4), 5% de monóxido de carbono (CO) e 5% de gás nitrogênio (N_2), além de vapor-d'água.

Seguindo os passos de Miller, diversos pesquisadores fizeram experimentos para simular as condições supostamente existentes na Terra primitiva. Em alguns desses experimentos, foram obtidas substâncias orgânicas presentes nos seres vivos. Isso dá sustentação à hipótese de que, nas condições reinantes nos primórdios da Terra, a matéria precursora da vida poderia ter surgido por um processo abiogênico.

A teoria da evolução molecular

Uma questão que ainda desafia os cientistas é como ingredientes precursores simples, como seriam os gases atmosféricos, puderam originar seres vivos, altamente complexos e dotados de metabolismo e de reprodução?

A maioria dos cientistas acredita que a vida surgiu por um longo processo de evolução molecular. Segundo a **teoria da evolução molecular**, compostos inorgânicos presentes na Terra primitiva teriam reagido entre si, originando moléculas orgânicas relativamente simples, como aminoácidos, pequenos açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc. Em seguida, essas primeiras moléculas orgânicas teriam se recombinado de várias maneiras, produzindo moléculas mais complexas, como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. Finalmente, essas moléculas orgânicas teriam se reunido, desenvolvendo a capacidade de controlar suas próprias reações químicas e de se autoduplicar. Tais atributos seriam os primeiros esboços de metabolismo e de reprodução, duas características fundamentais dos seres vivos.

Entretanto, há cientistas que defendem a ideia de que a vida na Terra pode ter surgido a partir de substâncias precursoras provenientes de outros locais do Universo. Essa é a base da **hipótese da panspermia**, que voltou a ganhar força nos últimos anos com a descoberta de substâncias orgânicas em meteoritos, asteroides e cometas. (Fig. 2.8)

NASA/ZUMA PRESS/KEYSTONE BRASIL

Figura 2.8. Astrobióloga analisando amostras em Pilot Valley (Utah, EUA, 2021). Essas análises visam a conhecer melhor a vida na Terra e no Universo, investigando sua origem, evolução e futuro.

Uma das dificuldades para estudar a origem da vida é a falta de vestígios dos primeiros seres vivos, quase totalmente destruídos pelas drásticas transformações ocorridas na crosta

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

da Terra primitiva. Entretanto, já foram encontrados vestígios de atividade biológica em rochas datadas de 2,7 bilhões de anos, provavelmente deixados por ancestrais das cianobactérias. Acredita-se que a vida na Terra teve início muito antes disso, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, embora não se conheçam evidências fósseis desse período.

A origem das primeiras células vivas

Nos seres vivos atuais, os processos bioquímicos vitais ocorrem no interior de células, compartimentos isolados do ambiente externo por uma finíssima película envolvente, a membrana celular. Esse envoltório permite a manutenção de um ambiente celular interno diferenciado em relação ao meio externo e adequado aos processos e às reações bioquímicas essenciais à vida. A importância da membrana das células levou os cientistas a imaginar que uma etapa fundamental na origem da vida possa ter sido o surgimento de membranas delimitando sistemas moleculares complexos. Tais sistemas podem ter se formado em charcos, lagos e oceanos primitivos, seja a partir de aglomerados de moléculas orgânicas originadas na própria Terra, como acreditam os defensores da **hipótese da evolução molecular**, seja a partir de moléculas vindas do espaço em corpos celestes que atingiram a Terra, como pensam os defensores da **hipótese da panspermia**.

O salto definitivo rumo aos seres vivos teria ocorrido há cerca de 3,5 bilhões de anos ou antes, quando glóbulos microscópicos de moléculas orgânicas, delimitados por membranas, adquiriram estabilidade e capacidade de produzir seus próprios componentes, podendo crescer e se reproduzir. Como teria se dado esse passo crucial na evolução da vida? Essa é uma pergunta para a qual os pesquisadores ainda não têm resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As hipóteses heterotrófica e autotrófica

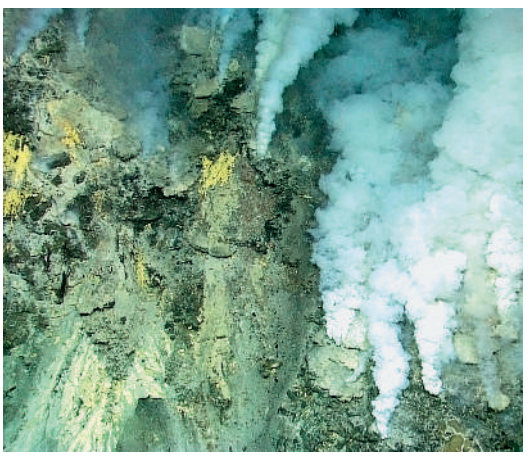
De que se alimentavam os primeiros seres vivos? Nos dias de hoje, os seres vivos têm duas estratégias alimentares básicas: ou eles mesmos produzem seu alimento ou o obtêm do meio onde vivem. No primeiro caso, fala-se em **seres autotróficos** (do grego *autós*, próprio, e *trophos*, alimento), capazes de produzir substâncias orgânicas a partir de gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e energia do ambiente. São autotróficos alguns tipos de bactérias, as algas e as plantas. Por sua vez, seres **heterotróficos** (do grego *heteros*, diferente) não produzem seu próprio alimento, tendo de obtê-lo do meio externo na forma de moléculas orgânicas produzidas por outros seres vivos. São heterotróficos os fungos, diversas bactérias, quase todos os protozoários e os animais.

Durante muito tempo, predominou a **hipótese heterotrófica** para a origem da vida, segundo a qual os primeiros seres vivos eram heterotróficos. As mesmas substâncias que teriam originado os primeiros seres vivos também teriam sido utilizadas por eles como alimento. A energia dessas substâncias nutritivas seria mobilizada por um processo semelhante à fermentação realizada por certos fungos e certas bactérias atuais.

Atualmente predomina a **hipótese autotrófica** para a origem da vida, segundo a qual os primeiros seres vivos eram autotróficos. Os primeiros habitantes da Terra teriam sido **quimiolitoautotróficos** (do grego *litós*, rocha), sendo capazes de produzir suas próprias substâncias nutritivas a partir da energia liberada em reações químicas inorgânicas.

A hipótese autotrófica é apoiada pela descoberta de microrganismos capazes de viver em ambientes inóspitos, como fontes de água quente e vulcões submarinos. Há microrganismos quimiolitoautotróficos vivendo ao redor de fendas vulcânicas submersas, onde ocorre liberação de sulfeto de hidrogênio (H_2S). A existência de organismos em condições tão extremas reforça a ideia de que a vida pode ter surgido em ambientes como esses, supostamente abundantes na Terra primitiva. (Fig. 2.9)

De acordo com a hipótese autotrófica, a partir dos primeiros seres quimiolitoautotróficos teriam surgido os outros tipos de seres vivos. Inicialmente teriam surgido seres fermentadores, em seguida os seres fotossintetizantes e, por fim, os seres que respiram gás oxigênio, denominados aeróbicos.



NOAA OKEANOS EXPLORER PROGRAM/SPL/FOTOARENA

Figura 2.9. Fonte termal submarina na Indonésia, no Oceano Pacífico, fotografada em 2020. A descoberta de comunidades biológicas mantidas por bactérias quimiolitoautotróficas, na escuridão nas profundezas oceânicas, reforça a hipótese de que seres como esses podem ter sido as primeiras formas de vida na Terra.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Construindo uma escala de tempo geológico

Forme um grupo de colegas para esta atividade. O objetivo é desenhar uma linha do tempo para representar, em escala, alguns eventos ocorridos desde a grande explosão primordial até os dias de hoje. Sugerimos utilizar uma folha grande de papel quadriculado ou milimetrado, ou uma folha de cartolina na qual serão medidas as divisões do tempo com uma régua. Deve-se desenhar uma linha horizontal e marcar, na extremidade à esquerda, "15 bilhões de anos atrás". Na extremidade à direita da linha, deve ser escrito "zero", que corresponde ao tempo atual. A linha será dividida em 15 partes, cada uma correspondendo a 1 bilhão de anos. O grupo deve pesquisar sobre a época aproximada em que ocorreram os seguintes eventos:

a. grande explosão;
b. origem do elemento hidrogênio;
c. origem das primeiras estrelas;
d. origem do Sistema Solar;
e. origem da Terra;
f. surgimento dos primeiros oceanos;
g. surgimento dos primeiros seres vivos.

Cada um dos acontecimentos mencionados anteriormente deve ser marcado na linha do tempo. É importante distribuir os eventos em escala, o que ajuda a concretizar as diferenças temporais entre eles. Pode-se ilustrar a linha do tempo com imagens representativas, no estilo dos infográficos usados em jornais e revistas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 6.

a. célula
b. hipótese autotrófica
c. hipótese da panspermia
d. hipótese heterotrófica
e. quimiolitoautotrófico
f. teoria da evolução molecular

1. 1.e A denominação (■) aplica-se a organismos capazes de obter energia a partir de reações químicas entre componentes minerais.

2. 2.a (■) é considerada a unidade dos seres vivos, onde ocorrem as reações químicas essenciais à vida.

3. 3.c A frase "A Terra foi colonizada por vida proveniente do espaço" resume o(a) (■).

4. 4.b A descoberta de bactérias capazes de obter energia a partir de componentes inorgânicos da crosta terrestre reforça o(a) (■).

5. 5.f A ideia de que substâncias originalmente presentes na Terra primitiva formaram substâncias precursoras da vida e os primeiros seres vivos resume o(a) (■).

6. 6.d Os primeiros seres vivos obtinham alimento de substâncias orgânicas presentes no meio em que tinham surgido. Essa frase resume o(a) (■).

7. 7.d Os cientistas acreditam que a vida na Terra surgiu há aproximadamente

a. 10 mil anos.
b. 5 milhões de anos.
c. 65 milhões de anos.
d. 3,5 bilhões de anos.
e. 4,6 bilhões de anos.

8. 8.c A importância do trabalho de Miller foi ter demonstrado, pela primeira vez, que

a. os primeiros seres vivos vieram do espaço.
b. a vida surgiu nos mares primitivos.
c. moléculas orgânicas poderiam ter se formado de gases da atmosfera primitiva.
d. os primeiros seres vivos eram heterotróficos.
e. os seres vivos se originavam apenas de outros seres vivos.

9. 9.a A descoberta de microrganismos quimiossintetizantes capazes de viver em locais inóspitos, obtendo energia das rochas, constitui uma evidência a favor da

a. hipótese autotrófica.
b. hipótese da panspermia.
c. hipótese heterotrófica.
d. teoria da evolução molecular.
e. teoria do *big bang*.

10. Alimentos preparados adequadamente e guardados em frascos hermeticamente fechados conservam-se inalterados por muito tempo. Um exemplo é o leite longa vida, que se conserva fora da geladeira por vários meses. Na embalagem de algumas marcas de leite, podem ser lidos

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

os seguintes avisos: "Após a abertura da embalagem, deve ser conservado sob refrigeração"; "Tratado pelo processo UHT (***u**ltra **h**igh **t**emperature*) à temperatura de 150 °C por 2-4 segundos, tornando-se estéril". Responda:

a. O que significa dizer que o processo UHT torna o leite estéril?

b. Qual é a razão da recomendação do fabricante para conservar o leite longa vida sob refrigeração depois de abrir a embalagem?

c. Neste capítulo, foram explicados os princípios da técnica de pasteurização, que também é utilizada para conservar o leite. Em que a pasteurização difere do processo UHT?

Questões de vestibulares

11. (Unifal-MG) Do início da vida na Terra até o aparecimento dos seres vivos atuais, aconteceram vários eventos, como, por exemplo:

11.d

I. formação das primeiras células;

II. formação de moléculas orgânicas complexas;

III. aparecimento de organismos capazes de produzir alimentos pela fotossíntese;

IV. surgimento dos primeiros organismos aeróbicos.

Determine a alternativa que indica a ordem mais aceita atualmente para o acontecimento desses eventos.

a. I; II; IV; III.
b. II; III; IV; I.
c. I; IV; III; II.
d. II; I; III; IV.

12. (UFMG) Recentes pesquisas espaciais constataram a existência, na Via Láctea, de sistemas solares com planetas cuja atmosfera é semelhante à atmosfera primitiva da Terra. Essa atmosfera primitiva caracteriza-se pela ausência de

12.d

a. amônia.
b. gás carbônico.
c. metano.
d. oxigênio.
e. vapor-d'água.

13. (UFRGS-RS) A primeira coluna apresenta o nome de teorias sobre a evolução da vida na Terra; a segunda, afirmações relacionadas a três dessas teorias.

13.e

1 – Abiogênese

2 – Biogênese

3 – Panspermia

4 – Evolução química

5 – Hipótese autotrófica

(■) Os primeiros seres vivos utilizaram compostos inorgânicos da crosta terrestre para produzir suas substâncias alimentares.

(■) A vida na Terra surgiu a partir de matéria proveniente do espaço cósmico.

(■) Um ser vivo só se origina de outro ser vivo.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

a. 4 – 2 – 1.
b. 4 – 3 – 2.
c. 1 – 2 – 4.
d. 5 – 1 – 3.
e. 5 – 3 – 2.

14. (UEL-PR) Charles Darwin, além de postular que os organismos vivos evoluíam pela ação da seleção natural, também considerou a possibilidade de as primeiras formas de vida terem surgido em algum lago tépido do nosso planeta. Entretanto, existem outras teorias que tentam explicar como e onde a vida surgiu. Uma delas, a panspermia, sustenta que

14.e

a. as primeiras formas de vida podem ter surgido nas regiões mais inóspitas da Terra, como as fontes hidrotermais do fundo dos oceanos.

b. compostos orgânicos simples, como os aminoácidos, podem ter sido produzidos de maneira abiótica em vários pontos do planeta Terra.

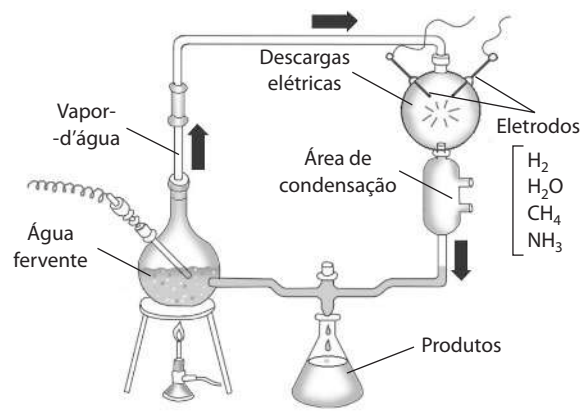
c. bactérias ancestrais podem ter surgido por toda a Terra, em função dos requisitos mínimos necessários para a sua formação e subsistência.

d. a capacidade de replicação das primeiras moléculas orgânicas foi o que permitiu que elas se difundissem pelos oceanos primitivos da Terra.

e. a vida se originou fora do planeta Terra, tendo sido trazida por meteoritos, cometas ou então pela poeira espacial.

15. (Uerj) A procura de formas de vida em nosso Sistema Solar tem dirigido o interesse de cientistas para Io, um dos satélites de Júpiter, que é coberto por grandes oceanos congelados. As condições na superfície são extremamente agressivas, mas supõe-se que, em grandes profundidades, a água esteja em estado líquido e a atividade vulcânica submarina seja frequente. Considerando que tais condições são similares às do bioma abissal da Terra, aponte o tipo de bactéria que poderia ter se desenvolvido em Io e indique como esse tipo de bactéria obtém energia para a síntese de matéria orgânica.

16. (Unicamp-SP) Em 1953, Miller e Urey realizaram experimentos simulando as condições da Terra primitiva: supostamente altas temperaturas e atmosfera composta pelos gases metano, amônia, hidrogênio e vapor-d'água, sujeita a descargas elétricas intensas. A figura a seguir representa o aparato utilizado por Miller e Urey em seus experimentos.



PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

(Esquema simplificado.)

a. Qual a hipótese testada por Miller e Urey nesse experimento?

b. Cite um produto obtido que confirmou a hipótese.

c. Como se explica que o O_2 tenha surgido posteriormente na atmosfera?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 3

As bases moleculares da vida

GREGG SEGAL/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

GREGG SEGAL/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

(A) Kawakanih Yawalapiti, 9 anos, com os alimentos que costuma comer (Alto Xingu, MT, 2018).
(B) Ademilson Francisco dos Santos, 10 anos, com os alimentos que costuma consumir na comunidade remanescente de quilombo onde vive (Comunidade Vão de Almas, Cavalcante, GO, 2018).
Essas imagens fazem parte de um projeto do fotógrafo estadunidense Gregg Segal. Ao comparar as fotografias e refletir sobre nossa própria alimentação, constatamos que os alimentos não são apenas fontes de nutrientes, mas também representam dimensões culturais e sociais dos povos.

O assunto deste capítulo também é trabalhado nos capítulos 6 e 22 de Química desta coleção.

A importância do assunto

O desenvolvimento da Bioquímica revelou que as células vivas são constituídas por grande variedade de substâncias orgânicas. Estas passam ininterruptamente por centenas de transformações moleculares que ocorrem no interior celular. Uma única célula bacteriana, por exemplo, produz mais de 3 mil tipos de proteína no decorrer de sua curta existência, que pode ser de apenas 20 minutos.

Se considerarmos a variedade de elementos químicos e de substâncias reunidos no espaço microscópico de uma célula, chegaremos à conclusão de que os seres vivos são provavelmente os entes mais complexos do Universo. E é exatamente essa complexidade que caracteriza a vida. Conhecer as principais substâncias que constituem os seres vivos e seus processos bioquímicos essenciais é fundamental para que se possa compreender o fenômeno vida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Componentes da matéria viva

O corpo humano, assim como toda matéria viva, é constituído por átomos, livres ou organizados em moléculas. Todos os átomos que compõem uma pessoa foram obtidos por meio da alimentação, pela qual os seres heterotróficos obtêm substâncias nutrientes, necessárias ao funcionamento do corpo. A organização corporal depende do rearranjo constante de moléculas.

Um passo importante para o progresso da Química e da Biologia foi o desenvolvimento da **teoria atômica**, segundo a qual todas as substâncias existentes na natureza, inclusive as que formam os seres vivos, são constituídas por átomos dos elementos químicos naturais. Isso estabelece uma ligação entre os seres vivos e outros componentes do Universo, sugerindo que nossa origem é parte da evolução universal.

Na matéria que constitui os seres vivos, predominam átomos de certos elementos químicos, como **carbono** (**C**), **hidrogênio** (**H**), **oxigênio** (**O**), **nitrogênio** (**N**), **fósforo** (**P**) e **enxofre** (**S**). Esses elementos constituem cerca de 98% da massa corporal da maioria das espécies biológicas. Além desses, há diversos outros elementos químicos nos seres vivos, como **cálcio** (**Ca**), **potássio** (**K**), **ferro** (**Fe**) etc. O carbono é o elemento químico presente em todas as moléculas orgânicas. Os átomos de carbono são capazes de se ligar entre si e com átomos de diversos outros elementos, possibilitando a grande variedade de moléculas orgânicas.

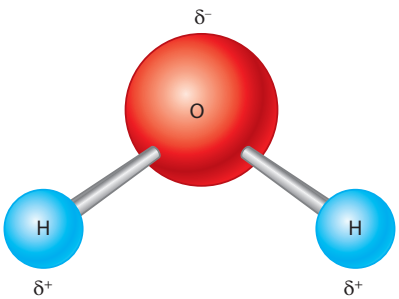
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Água e sais minerais

A **água** é a substância mais abundante nos seres vivos, constituindo cerca de 75% a 85% de sua massa corporal. O restante se distribui entre **proteínas** (10% a 15%), **lipídios** (2% a 3%), **glicídios** (1%) e **ácidos nucleicos** (1%), além de cerca de 1% de **sais minerais**. Se pudéssemos eliminar totalmente a água de uma pessoa de 60 kg, ela ficaria reduzida a apenas 12 kg, sendo aproximadamente 8,5 kg de proteínas, 1,8 kg de lipídios, 0,5 kg de açúcares, 0,5 kg de ácidos nucleicos e 0,5 kg de outras substâncias e minerais diversos.

A molécula de água (H_2O) é constituída por um átomo de oxigênio unido por ligações covalentes a dois átomos de hidrogênio. Muitas das propriedades da água se devem ao fato de a molécula de água ser polar. (Fig. 3.1)

Molécula de água



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3.1. A molécula de água é polarizada. A região da molécula em que se localiza o átomo de oxigênio tem carga elétrica parcialmente negativa, representada por δ^-, e a região em que se localizam os átomos de hidrogênio tem carga elétrica parcialmente positiva, simbolizada por δ^+. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Importância da água para a vida

Atividades essenciais à vida, como o transporte de substâncias e a maioria das reações químicas enzimáticas, necessitam que as moléculas reagentes estejam dissolvidas em meio aquoso. Substâncias cujas moléculas têm afinidade por água são chamadas de **hidrofílicas** (do grego *hydro*, água, e *philos*, amigo). Essas substâncias são solúveis porque suas moléculas apresentam regiões eletricamente carregadas, capazes de interagir com as moléculas polarizadas da água. Exemplos de substâncias orgânicas hidrofílicas são glicídios e proteínas.

Substâncias que não se dissolvem em água são chamadas de **hidrofóbicas** (do grego *hydro*, água, e *phobos*, medo, aversão). Essas substâncias são insolúveis porque suas moléculas são **apolares**, ou seja, as cargas negativas e positivas intramoleculares se equivalem, o que resulta em neutralidade elétrica em relação ao meio. Por isso, elas não conseguem interagir com as moléculas polarizadas da água e agregam-se entre si, sem se dissolver, como ocorre com uma gota de óleo colocada em água. Exemplos de substâncias hidrofóbicas são os óleos e as gorduras.

Nos seres vivos, ocorrem continuamente muitos tipos de reações químicas, por meio das quais as células obtêm energia e produzem substâncias necessárias à sua vida. A água participa de muitos desses processos. Em certas reações químicas, ocorre união entre moléculas, com formação de água como produto. Reações desse tipo são chamadas reações de **condensação**, ou reações de **síntese por desidratação**. Há reações químicas em que moléculas orgânicas são rompidas com participação da água como reagente. Reações desse tipo são chamadas reações de **hidrólise** (do grego, *hydro*, água, e *lise*, quebra), que significa "quebra pela água". (Fig. 3.2)

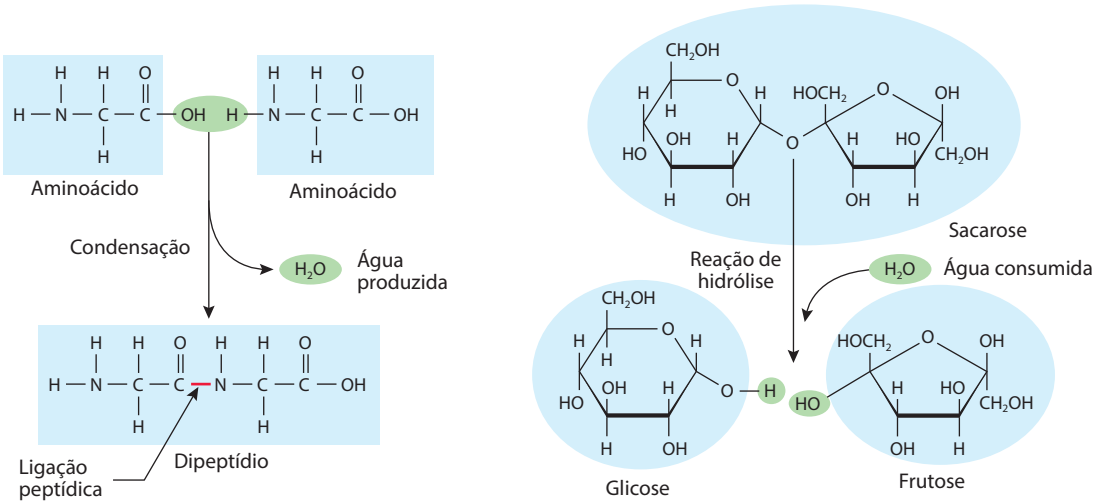


Figura 3.2. À esquerda, reação de condensação entre dois aminoácidos, uma síntese por desidratação. À direita, uma reação de hidrólise, em que a água participa como reagente na quebra molecular. No caso, a reação é a digestão do açúcar sacarose, que resulta em glicose e frutose.

A água como moderador de temperatura

A maioria dos seres vivos só consegue viver em certo intervalo de temperatura. A água ajuda a evitar variações bruscas na temperatura dos organismos porque apresenta, do ponto de vista físico, elevado valor de **calor específico**. Isso significa que a água é capaz de absorver ou ceder quantidades relativamente grandes de calor com pequena variação de temperatura.

A água também apresenta elevado **calor latente de vaporização**, o que significa que ela precisa absorver quantidades relativamente grandes de calor para passar do estado líquido ao gasoso. A vaporização, ou evaporação da água, é importante para os seres vivos, pois, graças a ela, organismos que vivem em terra firme evitam o superaquecimento. As folhas das plantas, por exemplo, não se aquecem demais durante um dia de sol intenso porque a maior parte do calor que elas recebem leva à evaporação de água, em um processo denominado **transpiração foliar**. A evaporação do suor ajuda a resfriar a superfície de nosso corpo em um dia quente ou ao realizarmos atividades físicas intensas, que geram calor em excesso.

Importância biológica da coesão e da adesão da água

Duas propriedades importantes das moléculas de água são a **coesão** entre suas moléculas e a **adesão** das moléculas de água a diferentes superfícies. Coesão é união entre moléculas de água por meio de **ligações de hidrogênio**, também chamadas de **pontes de hidrogênio**. (Fig. 3.3)

Adesão é a propriedade de as moléculas de água aderirem a superfícies constituídas por substâncias polarizadas. A adesão é o que faz com que a água molhe diversos materiais, como tecidos de algodão, papel etc. A adesão também possibilita à água subir pelas paredes internas de tubos muito finos, fenômeno denominado **capilaridade**. As propriedades de coesão e de adesão da água permitem o deslocamento da seiva mineral pelos finíssimos vasos lenhosos das plantas, desde as raízes, onde a água é absorvida do solo, até as folhas.

Ligações de hidrogênio

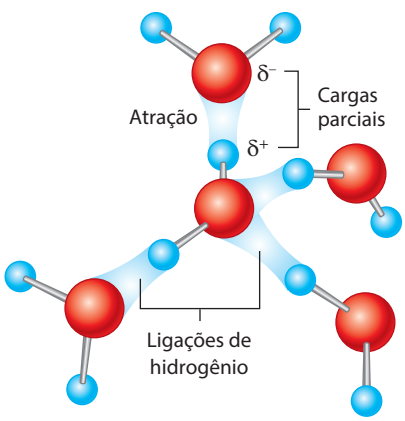


Figura 3.3. As regiões eletricamente positivas de uma molécula de água atraem a região eletricamente negativa de outras, formando ligações de hidrogênio (pontes de hidrogênio). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância biológica dos sais minerais

Sais minerais são substâncias inorgânicas formadas por íons, muitos deles fundamentais às atividades metabólicas dos seres vivos. A falta de certos minerais pode afetar o metabolismo e até mesmo causar a morte. Nos animais vertebrados, por exemplo, os íons de cálcio (Ca^{2+}) participam das reações de coagulação do sangue e da contração muscular, além de serem componentes fundamentais dos ossos. Os íons de magnésio (Mg^{2+}), de manganês (Mn^{2+}) e de zinco (Zn^{2+}), entre outros, participam de reações químicas vitais às células. Os íons de sódio (Na^{+}) e de potássio (K^{+}) são responsáveis, entre outras funções, pela atuação das células nervosas. Os íons fosfato $(PO_4)^{3-}$ e carbonato $(CO_3)^{2-}$ são importantes para o controle da acidez do ambiente interno das células.

A acidez de um meio resulta da concentração de íons hidrogênio (H^{+}), que os químicos denominam **potencial hidrogeniônico**, ou **pH**. Quanto maior a concentração de H^{+} em um meio, maior é sua acidez e mais baixo o valor do pH. Por outro lado, quanto menor a concentração de H^{+} em um meio, menor é sua acidez e mais alto o valor do pH. Muitas reações químicas essenciais à vida somente ocorrem se as condições de pH do meio forem favoráveis.

A escala de pH é definida entre valores 0 e 14. O valor neutro do pH é 7. Nesse valor, a quantidade de íons H^{+} no meio contrabalança a quantidade de íons hidroxila (OH^{-}) presentes. Quando a quantidade de íons H^{+} predomina em relação aos íons OH^{-} em um meio, os valores de pH são menores que 7 e o meio é mais **ácido**. Quando a quantidade de íon H^{+} é relativamente menor que a de íons hidroxila, os valores de pH são maiores que 7 e o meio é mais **básico**, ou **alcalino**. Sais como os fosfatos e os carbonatos são capazes de neutralizar o excesso de íons H^{+}, diminuindo a acidez de um meio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Glicídios e lipídios

Características gerais dos glicídios

Glicídios, também chamados de **carboidratos** ou **hidratos de carbono**, são moléculas orgânicas constituídas fundamentalmente por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Os glicídios são a principal fonte de energia para os seres vivos e estão presentes em diversos tipos de alimentos. Por exemplo, farinhas de trigo, de milho e de mandioca contêm o glicídio amido. O açúcar de cana, largamente utilizado em nosso dia a dia, compõe-se basicamente do glicídio sacarose. O leite contém o açúcar lactose, e frutos adocicados contêm glicídios como a frutose e a glicose.

Além de seu papel energético, os glicídios também desempenham papel importante na estrutura corporal dos organismos. A celulose, por exemplo, é o principal constituinte da parede das células vegetais e contribui para a sustentação do corpo das plantas. Outro glicídio estruturalmente importante nos seres vivos é a quitina, componente do exoesqueleto dos artrópodes (insetos, aranhas, camarões etc.) e da parede celular dos fungos. (Fig. 3.4)

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

GERRY BISHOP/SHUTTERSTOCK

Figura 3.4. (A) Plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), vegetal que produz grandes quantidades do glicídio sacarose, amplamente utilizado na alimentação humana (Santa Rita do Passa Quatro, SP, 2024). (B) O exoesqueleto que a cigarra está abandonando, bem como o novo exoesqueleto formado, são constituídos pelo polissacarídio nitrogenado denominado quitina, um tipo de glicídio. A cigarra do gênero *Magicicada* mede cerca de 2,5 cm de comprimento.

Glicídios como a desoxirribose e a ribose fazem parte da estrutura dos ácidos nucleicos. O ATP (trifosfato de adenosina), a principal substância envolvida nos processos energéticos biológicos, também apresenta o glicídio ribose em sua composição.

Os glicídios podem ser classificados em três grupos, de acordo com o tamanho e a organização de sua molécula: monossacarídios, dissacarídios e polissacarídios. **Monossacarídios** são glicídios com 3 a 7 átomos de carbono na molécula e fórmula geral $C_n(H_2O)_n$. Exemplos de monossacarídios são a glicose e a galactose. **Dissacarídios** são glicídios constituídos por dois monossacarídios unidos por uma ligação química. Exemplos de dissacarídios são a sacarose (açúcar da cana) formada pela união entre glicose e frutose, e a lactose (açúcar do leite), constituída pela união entre glicose e galactose. (Fig. 3.5)

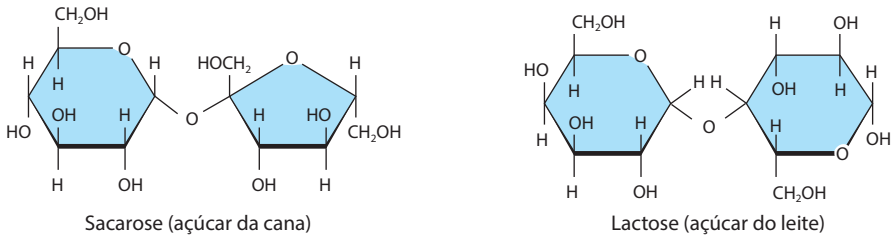


Figura 3.5. Fórmulas dos dissacarídios sacarose e lactose.

Polissacarídios são moléculas formadas pelo encadeamento de dezenas, centenas ou milhares de monossacarídios. Exemplos de polissacarídios são o amido, o glicogênio e a celulose, constituídos por unidades de glicose, e a quitina, cuja unidade constituinte é a N-acetilglucosamina.

Características gerais dos lipídios

O termo **lipídio** designa certos tipos de substâncias orgânicas como óleos, ceras e gorduras, cuja principal característica é a insolubilidade em água e a solubilidade em certos solventes orgânicos. Você provavelmente já notou que óleos e gorduras são insolúveis em água. A razão dessa insolubilidade é que as moléculas dos lipídios são apolares e, assim, não têm afinidade pelas moléculas polares da água. (Fig. 3.6)

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

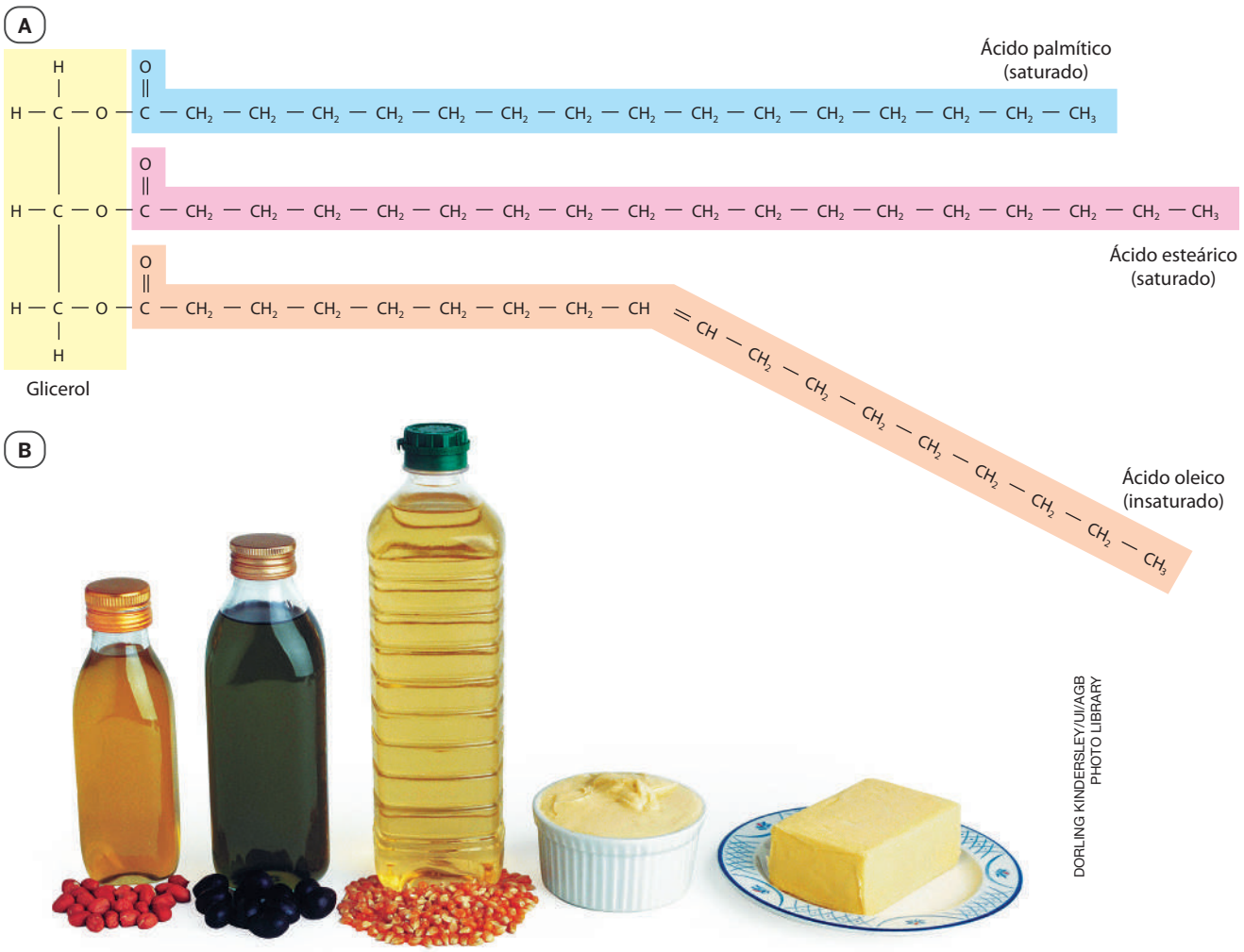
KACHALKIN OLEG/SHUTTERSTOCK

ALFRED PASIEKA/SPL/FOTOARENA

Figura 3.6. (A) Gotas de gordura sobre a água. Óleos e gorduras não são solúveis em água, uma vez que suas moléculas são apolares e não têm afinidade pelas moléculas polarizadas da água. (B) As aves aquáticas lubrificam as penas com substâncias oleosas produzidas por uma glândula especial localizada na cauda, a glândula uropigiana. A lubrificação faz as penas repelirem a água, impedindo que a pele da ave se molhe. Na foto, pato do gênero *Anas*, que mede cerca de 60 cm de comprimento. (C) No detalhe, superfície de uma pena molhada com aumento aproximado de 20x.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os principais tipos de lipídios são os glicerídios, os esteroides, os fosfolipídios, os carotenoides e as ceras. **Glicerídios** são constituídos por moléculas do álcool glicerol ligadas a uma, duas ou três moléculas de ácidos graxos. O **glicerol** ($C_3H_8O_3$) é um álcool cujas moléculas têm três átomos de carbono, cada um deles unido a grupos hidroxila (—OH). **Ácidos graxos** são lipídios formados por longas cadeias de átomos de carbono com um grupo terminal denominado carboxila (—COOH). Óleos e gorduras são glicerídios que diferem quanto à temperatura de fusão. Óleos são líquidos à temperatura ambiente, enquanto as gorduras são sólidas. (Fig. 3.7)



DORLING KINDERSLEY/UI/AGB PHOTO LIBRARY

Figura 3.7. (A) Fórmula estrutural de um glicerídio constituído por três ácidos graxos distintos. (B) Alimentos ricos em lipídios.

Como se explica o fato de as gorduras serem sólidas à temperatura ambiente, enquanto os óleos são líquidos? A explicação físico-química reside na forma das cadeias de ácidos graxos que compõem o glicerídio. Se esses ácidos tiverem cadeias retas, as moléculas lipídicas podem se aproximar mais umas das outras, o que resulta em um arranjo mais compacto, sólido à temperatura ambiente, como ocorre nas gorduras. Se uma ou mais das cadeias de ácidos graxos apresentarem curvaturas, as moléculas lipídicas mantêm-se mais distantes umas das outras, resultando em um arranjo menos compacto e líquido à temperatura ambiente, como ocorre nos óleos. A curvatura nas moléculas de ácidos graxos deve-se à presença de uma dupla ligação química entre dois átomos de carbono da cadeia molecular.

Os seres vivos utilizam glicerídios como substâncias de reserva de energia. Por exemplo, certas plantas armazenam grande quantidade de óleo em suas sementes, cuja função é alimentar o embrião durante o início do desenvolvimento. A soja, o girassol e o milho, entre outras plantas, têm sementes oleaginosas. Aves e mamíferos armazenam gordura em células especiais localizadas em uma camada sob a pele. Além de servir de reserva energética, a camada gordurosa subdérmica atua como isolante térmico, ajudando a manter a temperatura corporal constante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esteroides diferem acentuadamente dos glicerídios e das ceras (estudadas mais adiante), constituindo uma categoria especial de lipídios. As moléculas de esteroides são compostas de átomos de carbono interligados, formando quatro anéis carbônicos aos quais estão ligadas cadeias carbônicas, grupos hidroxila ou átomos de oxigênio. (Fig. 3.8)

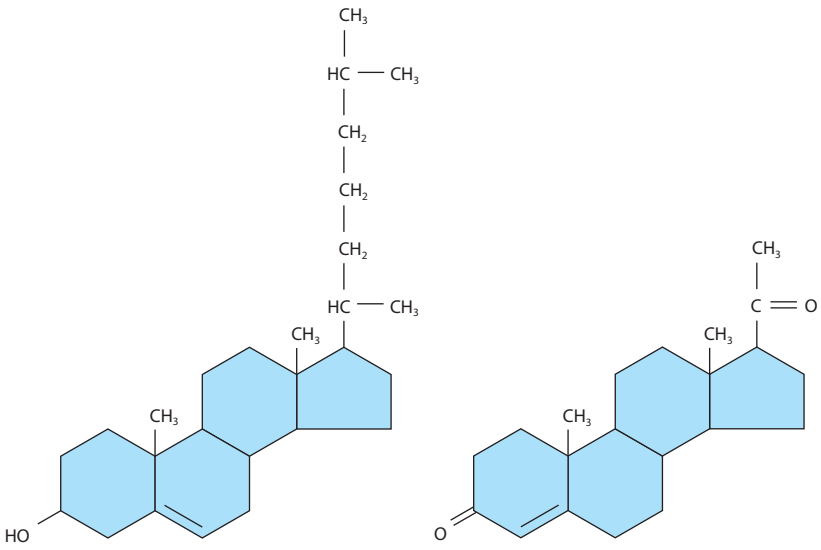


Figura 3.8. Fórmulas de dois esteroides, o colesterol e a progesterona. Os hexágonos e os pentágonos são representações simplificadas da fórmula: em cada vértice, há um átomo de carbono ligado a átomos de hidrogênio, não mostrados. Note que esses dois esteroides têm o mesmo esqueleto básico, formado por quatro anéis moleculares interligados.

Um exemplo de esteroide é o colesterol, importante componente das membranas das células animais, sendo também precursor de hormônios esteroides como a progesterona e a testosterona. Curiosamente, as membranas das células de plantas e de bactérias não apresentam colesterol. Nos seres humanos, o colesterol é produzido principalmente no fígado ou obtido em alimentos de origem animal.

Fosfolipídios são os principais componentes das membranas biológicas, sendo constituídos por um glicerídio combinado quimicamente a um grupo fosfato. (Fig. 3.9)

Carotenoides são pigmentos de cor vermelha, laranja ou amarela, insolúveis em água e solúveis em óleos e solventes orgânicos. Estão presentes nas células de todas as plantas, nas quais desempenham papel importante no processo de fotossíntese. A molécula de caroteno é a matéria-prima utilizada pelos animais na produção da vitamina A.

Ceras são substâncias formadas por uma molécula de álcool (diferente do glicerol) unida a uma ou mais moléculas de ácidos graxos. As ceras são importantes para animais e plantas. As folhas de muitas espécies vegetais têm sua superfície recoberta de ceras, o que as torna altamente impermeáveis, reduzindo a perda de água por transpiração. Ceras também estão presentes no revestimento corporal de diversos insetos e são utilizadas pelas abelhas na construção de suas colmeias.

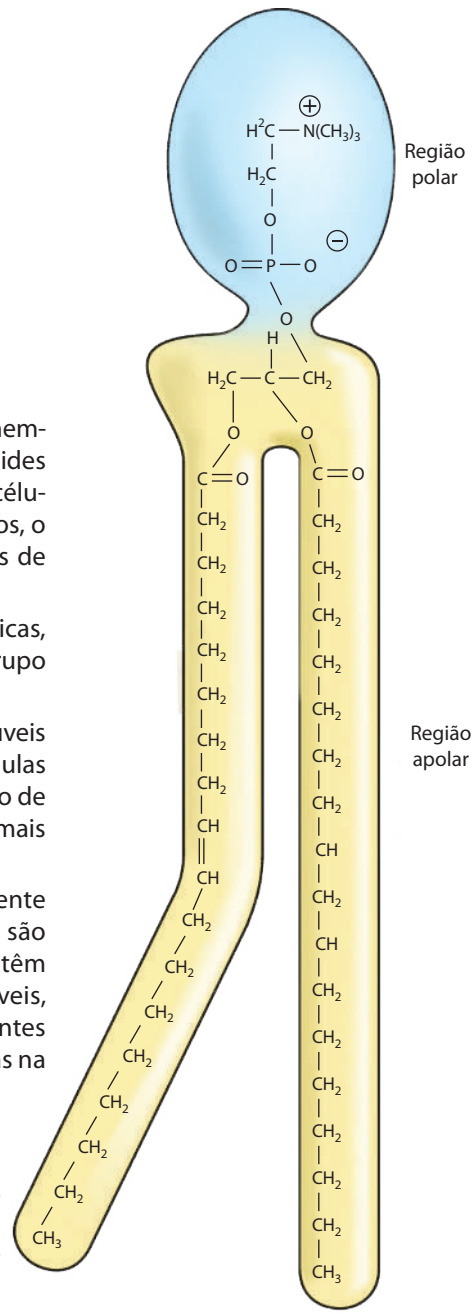


Figura 3.9. Estrutura molecular da fosfatidilcolina (lecitina), fosfolipídio componente das membranas das células vivas. A molécula de fosfolipídio apresenta uma extremidade polar unida a duas cadeias carbônicas apolares. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

SAÚDE ODS 3

Colesterol e placas ateroscleróticas

O colesterol sintetizado no fígado ou absorvido de alimentos de origem animal é transportado pelo sangue combinado a certas proteínas, denominadas LDL. O complexo colesterol-LDL é englobado pelas células e o colesterol é utilizado como matéria-prima para a síntese das membranas celulares.

Concentrações muito elevadas de colesterol no sangue diminuem o processo de captação do complexo colesterol-LDL pelas células, e este pode se acumular na parede das artérias, formando **placas ateroscleróticas**. O crescimento dessas placas pode levar ao entupimento da artéria, bloqueando o fluxo de sangue. Se isso ocorrer em artérias do coração ou do cérebro, o resultado pode ser um infarto do miocárdio ou uma isquemia cerebral, respectivamente. Por isso, o colesterol associado ao LDL é chamado colesterol ruim e não deve estar em excesso no sangue.

Outro tipo de proteína, chamada de HDL, captura colesterol em excesso no sangue e o transporta até o fígado, que o elimina na bile. Por isso, o complexo colesterol-HDL é chamado de colesterol bom. Acredita-se que a ingestão de óleos vegetais insaturados, como os presentes no azeite de oliva, contribua para normalizar o colesterol no sangue e para aumentar a produção de HDL. Exames laboratoriais modernos permitem estimar os níveis de colesterol-HDL e de colesterol-LDL e tendem a substituir os antigos exames em que se avaliava apenas o colesterol total. De acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia, o desejável é que o nível de colesterol-HDL (bom) seja maior do que 60 mg/dL de sangue e que o de colesterol-LDL (ruim) seja menor do que 100 mg/dL de sangue para as pessoas em geral. Pessoas com alto risco de doenças cardiovasculares devem manter a taxa de LDL em torno de 70 mg/dL, ou menor.

Após a leitura do texto, pesquise na internet mais informações sobre o tema e responda em seu caderno às questões a seguir.

1. Como você responderia a alguém que afirmasse: "há dois tipos de moléculas de colesterol, uma boa e outra ruim para o organismo"?
2. Por que o colesterol em níveis normais é necessário ao nosso organismo?
3. Qual é a relação entre o excesso de colesterol sanguíneo e a formação de placas ateroscleróticas? Qual é a consequência disso para a saúde?
4. Com base no que foi discutido no texto, você acha que os exames individualizados dos níveis de LDL e HDL forneceriam informações mais detalhadas sobre o metabolismo da pessoa que o exame do colesterol total no sangue? Por quê?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos

Proteínas

Arquitetura das proteínas

Proteínas são constituídas por **polipeptídios**, como são denominadas as cadeias de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. A sequência linear de aminoácidos em uma cadeia polipeptídica é denominada **estrutura primária**. A maioria das cadeias polipeptídicas apresenta um enrolamento helicoidal denominado **estrutura secundária**. A cadeia polipeptídica enrolada helicoidalmente geralmente se dobra sobre si mesma, formando a **estrutura terciária** do polipeptídio. Algumas proteínas são compostas de duas ou mais cadeias polipeptídicas associadas, que os bioquímicos denominam **estrutura quaternária**.

A temperatura, o grau de acidez, a concentração de sais e a polaridade do meio podem afetar a estrutura espacial das proteínas, fazendo com que suas moléculas se desenrolem e se modifiquem em relação à configuração original. A alteração causada na estrutura espacial de uma proteína é chamada **desnaturação**. (Fig. 3.10)

HIKOPHOTOGRAPHY/ SHUTTERSTOCK

SERGIY KUZMIN/ SHUTTERSTOCK

Figura 3.10. Comparação do conteúdo de um ovo cru e de um ovo cozido. O cozimento do ovo causa a desnaturação de suas proteínas, que se aglomeram, endurecendo a clara e a gema.

O **aminoácido** é a unidade da cadeia polipeptídica e, portanto, da proteína. Um aminoácido é formado por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio unidos entre si de maneira característica. Alguns aminoácidos podem conter também átomos de enxofre.

Se compararmos as fórmulas dos vinte aminoácidos naturais que entram na composição das proteínas corporais, notaremos que todos apresentam um átomo de carbono ao qual se ligam um grupo amina (—NH_2), um grupo carboxila (—COOH), um átomo de hidrogênio (—H) e um quarto grupo genericamente denominado R (de radical), que varia nos diferentes aminoácidos e caracteriza cada um deles. Por exemplo, no aminoácido glicina, o grupo R é um átomo de hidrogênio (—H); na alanina, R é —CH_3; na cisteína, R é —CH_2SH. (Fig. 3.11)

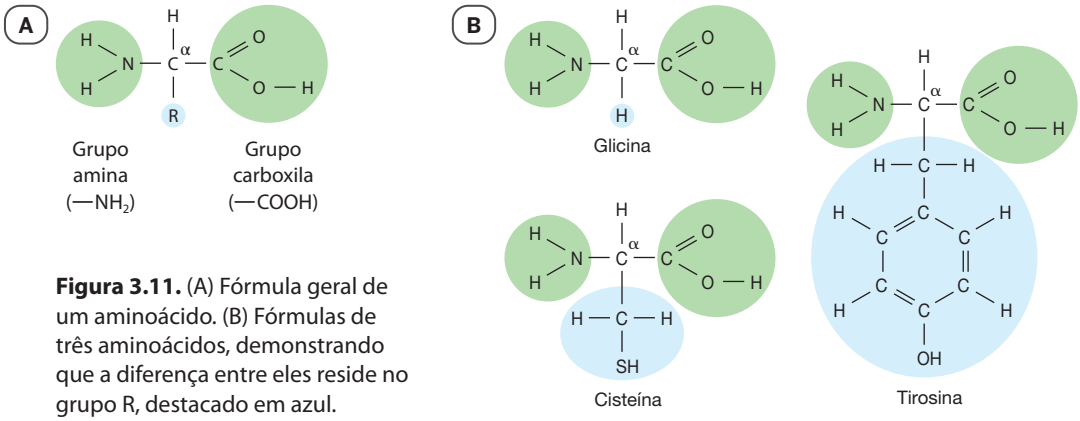


Figura 3.11. (A) Fórmula geral de um aminoácido. (B) Fórmulas de três aminoácidos, demonstrando que a diferença entre eles reside no grupo R, destacado em azul.

A ligação entre dois aminoácidos em um polipeptídio é denominada **ligação peptídica**. Essa ligação é sempre entre o grupo amina de um aminoácido e o grupo carboxila de outro aminoácido. (Fig. 3.12)

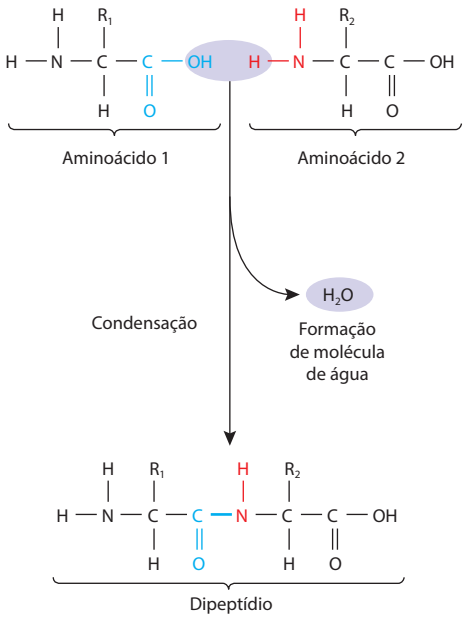


Figura 3.12. Representação esquemática da formação de uma ligação peptídica entre dois aminoácidos.

Funções das proteínas

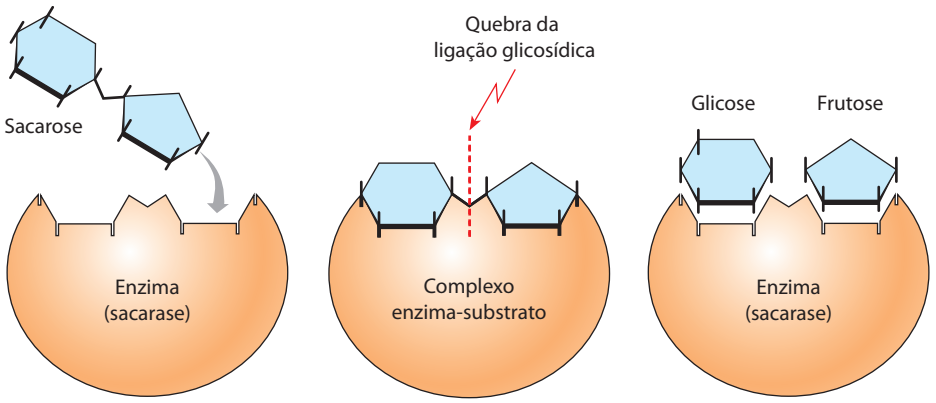
Proteínas são substâncias de fundamental importância na estrutura e no funcionamento dos seres vivos. A forma das células, por exemplo, deve-se à presença de um esqueleto interno constituído por filamentos proteicos, o citoesqueleto. As proteínas também fazem parte da estrutura de todas as membranas celulares e dão consistência ao citoplasma. Além dessas funções estruturais, um grupo de proteínas denominadas **enzimas** participa como catalisador de praticamente todas as reações químicas vitais. **Catalisador** é uma substância que aumenta a velocidade de uma reação química sem ser consumida no processo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma molécula enzimática apresenta saliências e reentrâncias que permitem seu encaixe com as substâncias sobre as quais ela atua, genericamente chamadas de **substratos da enzima**. Os locais da enzima que propiciam o encaixe nos substratos são chamados de **centros ativos**. Enzimas são altamente específicas: uma enzima atua apenas em uma ou em poucas reações biológicas. O encaixe com a enzima possibilita a modificação dos substratos, originando os produtos da reação. Ao final da reação, a enzima é recuperada intacta e pode se ligar a novos substratos, sobre os quais volta a atuar. (Fig. 3.13)

Ação enzimática

PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: VOET, Donald; VOET, Judith G.; PRATT, Charlotte W. **Fundamentals of biochemistry**: life at the molecular level. 5th. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

Figura 3.13. Representação esquemática de ação enzimática. A enzima sacarase liga-se a uma molécula de sacarose, promovendo a ruptura da ligação entre seus dois componentes: a glicose e a frutose. (Representação fora de proporção; meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na nomenclatura das enzimas, é comum utilizar o nome do substrato sobre o qual elas atuam acrescido do sufixo *ase*. Por exemplo, enzimas que digerem proteínas são chamadas de proteases. Enzimas que digerem lipídios são chamadas de lipases. O sufixo *ase* também é utilizado em denominações mais específicas, como na enzima lactase, que transforma a lactose em galactose e glicose.

Cofatores e coenzimas

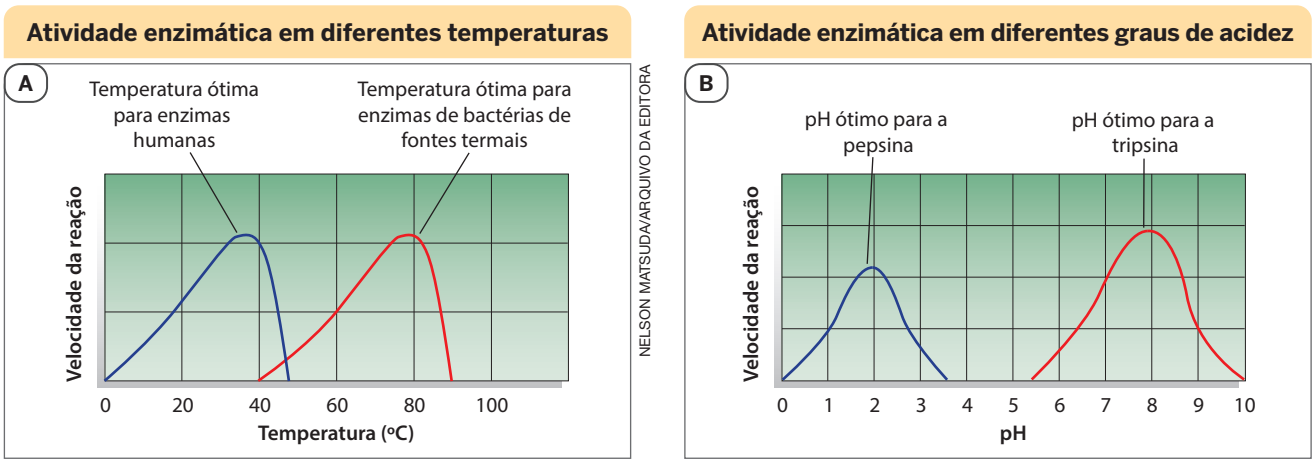
Certas enzimas são proteínas simples, constituídas apenas por cadeias polipeptídicas. Outras enzimas, entretanto, são proteínas constituídas por uma ou mais cadeias polipeptídicas combinadas a uma parte não proteica, denominada **cofator**. Para algumas enzimas, os cofatores são íons metálicos. A maioria dos íons que necessitamos ingerir na dieta – entre eles os de cobre, de zinco e de manganês – atua como cofatores de enzimas. O cofator enzimático também pode ser uma substância orgânica, nesse caso denominada **coenzima**. A maioria das vitaminas de que necessitamos na dieta atua como coenzima.

Fatores que afetam a atividade das enzimas

A temperatura é um fator importante na atividade enzimática. Dentro de certos limites, a velocidade de uma reação enzimática aumenta com a elevação da temperatura devido ao aumento da movimentação das moléculas, o que possibilita um número maior de encontros moleculares e maior chance de reação. Entretanto, se for ultrapassada certa temperatura limite, a agitação molecular pode levar à desnaturação da enzima, com perda de sua atividade. A maioria das enzimas humanas tem temperatura ótima de atuação entre 35 °C e 40 °C, que corresponde à faixa de temperatura de nosso corpo. Por sua vez, as enzimas de bactérias que vivem em fontes de água quente apresentam temperatura ótima de atuação ao redor de 70 °C ou mais. (Fig. 3.14A)

Outro fator que interfere na atividade das enzimas é o grau de acidez do meio, o pH. Uma enzima manifesta sua máxima atividade em determinado pH, denominado pH ótimo para aquela enzima. A maioria das enzimas intracelulares tem pH ótimo ao redor de 7, próximo ao neutro. Entretanto, enzimas como a pepsina estomacal, que atua na digestão das proteínas do alimento, manifesta sua ação máxima em valores de pH ácidos, em torno de 2, condição em que a maioria das outras enzimas deixa de funcionar.

Por sua vez, a enzima tripsina, que atua no intestino delgado digerindo proteínas, tem seu pH ótimo de atuação em torno de 8, ligeiramente alcalino. (Fig. 3.14B)



Fonte: adaptada de REECE, J. B. et al. Biologia de Campbell. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 3.14. Curvas de atividade de algumas enzimas em diferentes condições de temperatura (A) e de grau de acidez (pH) (B). Cada enzima manifesta sua atividade máxima em determinadas temperaturas e graus de pH ótimos para sua atuação.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Enzimas e catalisadores

Localize a definição de catalisador e justifique por que as enzimas se encaixam nessa categoria. Pesquise na internet sobre a utilização de catalisadores em aspectos não biológicos, inclusive na indústria. Redija um texto curto que integre aspectos tratados no capítulo com suas pesquisas.

Vitaminas

O termo **vitamina** não se refere a uma classe particular de substâncias, mas a qualquer substância orgânica de que um organismo necessita, mas não consegue produzir, tendo que obtê-la por meio da dieta. Por exemplo, o ácido ascórbico, conhecido como vitamina C, é essencial ao metabolismo humano e de outros primatas. Entretanto, como esses animais não produzem ácido ascórbico, ele tem que ser obtido nos alimentos. As vitaminas atuam normalmente como cofatores em reações enzimáticas, sendo necessárias em quantidades relativamente baixas. Se faltar na dieta a vitamina específica para a ação de determinada enzima, esta reduz sua atividade, alterando negativamente o metabolismo celular. Nesse caso, surgem os sintomas específicos da **avitaminose**, como são chamadas as doenças resultantes da falta de vitaminas.

Os alimentos são as fontes naturais de vitaminas. A importância da alimentação variada começou a ser reconhecida na época das grandes navegações à vela. A dieta da tripulação dos navios era pobre, constituída basicamente por biscoitos secos e carne salgada. Após algumas semanas no mar, os marinheiros desenvolviam, por exemplo, o **escorbuto**, caracterizado por fraqueza e hemorragias nasais e das gengivas. Entretanto, bastava que os doentes ingerissem frutas e verduras frescas para que esses sintomas desaparecessem. O escorbuto é causado pela deficiência nutricional de ácido ascórbico, a vitamina C.

Para que os alimentos não percam seu valor vitamínico, são necessários certos cuidados, pois algumas vitaminas são facilmente destruídas pelo calor ou pela exposição ao gás oxigênio (O_2) do ar. Uma regra geral para preservar o valor vitamínico de verduras e legumes é consumi-los crus ou pouco cozidos, em pequena quantidade de água. Vegetais para saladas e frutas só devem ser cortados no momento do consumo, para evitar a oxidação destrutiva de suas vitaminas pelo ar. Atualmente, são encontradas no comércio vitaminas em formas purificadas, que são prescritas pelos médicos para eliminar deficiências vitamínicas geralmente causadas por uma dieta pobre ou desbalanceada, ou por algum tipo de disfunção metabólica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Suplementos nutricionais

SAÚDE ODS 3

O Brasil tem cerca de 10 milhões de pessoas matriculadas em academias, segundo dados recentes da *FIA Business School* e da *Health & Fitness Association*. Parte desse número é composto de adolescentes de 15 a 19 anos que frequentam esses locais especialmente em centros urbanos.

Esses números podem ser analisados de diferentes maneiras. Inicialmente, indica que parte da população tem preocupação em realizar atividades físicas, hábito necessário para uma boa saúde. No entanto, também levanta algumas preocupações, que podem impactar negativamente a saúde, como a procura por suplementação nutricional sem orientação profissional.

Há um mercado especializado em suplementos alimentares voltados para pessoas que frequentam academias, com diferentes tipos de produtos: aminoácidos, glicídios, creatina, vitaminas, sais minerais e outros, geralmente relacionados a melhorias de saúde e obtenção de corpos musculosos. Muitas vezes, esses suplementos são indicados pelos instrutores de exercícios ou mesmo por colegas e familiares. Porém, como saber se esses produtos são saudáveis, bem como se podem levar aos efeitos prometidos em suas propagandas? Esses suplementos podem fazer mal à saúde?

A suplementação nutricional deve ser orientada por profissionais como nutricionistas, nutrólogos ou médicos. A orientação é necessária para indicar os suplementos a serem utilizados e informar sobre os efeitos positivos e negativos que podem gerar. Se mal utilizados, certos suplementos podem levar a problemas nos rins, fígado e coração.

Sugerimos realizar uma pesquisa sobre suplementos alimentares cuja propaganda indica melhora na prática de atividades físicas. As instruções desses produtos orientam sobre sua utilização correta e possíveis efeitos negativos à saúde? Escreva um texto com os aspectos que considera mais importantes encontrados em sua pesquisa.

NEW AFRICA/SHUTTERSTOCK

As fontes naturais de substâncias nutricionais são os alimentos. Entretanto, em certas condições e de acordo com algumas necessidades, a suplementação alimentar pode ser útil, desde que orientada por profissionais da área de nutrição.

Ácidos nucleicos

Os **ácidos nucleicos** recebem essa denominação porque apresentam caráter ácido e foram originalmente encontrados no núcleo das células. Os ácidos nucleicos foram descobertos em meados do século XIX e passaram a ser detalhadamente estudados a partir da década de 1940, quando se descobriu que eles constituem o material genético, informações responsáveis pela herança biológica.

Há dois tipos de ácidos nucleicos: o **ácido desoxirribonucleico**, conhecido pela sigla **DNA** (do inglês, *desoxirribonucleic acid*), e o **ácido ribonucleico**, conhecido pela sigla **RNA** (do inglês, *ribonucleic acid*). Esses nomes referem-se ao fato de o DNA e o RNA apresentarem, respectivamente, os glicídios desoxirribose e ribose em suas moléculas. Os ácidos nucleicos serão estudados com mais detalhes no capítulo 5 deste livro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Alimentos do dia a dia

Escreva em seu caderno comentários sobre os alimentos que você consome cotidianamente e que são ricos em pelo menos uma das seguintes substâncias: glicídios, lipídios, proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos. Se você ou algum conhecido já tiver ingerido algum tipo de vitamina encontrada em farmácias, relate a situação (causas, prescrição médica etc.) em que isso ocorreu.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. As substâncias orgânicas de um ser vivo são, em ordem decrescente de abundância:
1.d
a. ácidos nucleicos > proteínas > glicídios > lipídios.
b. lipídios > glicídios > proteínas > ácidos nucleicos.
c. proteínas > glicídios > ácidos nucleicos > lipídios.
d. proteínas > lipídios > glicídios > ácidos nucleicos.

2. Para degradar uma proteína em seus aminoácidos constituintes, precisamos quebrar
2.a
a. ligações peptídicas, o que consome água como reagente.
b. ligações peptídicas, o que consome gás oxigênio como reagente.
c. ligações de hidrogênio, o que consome água como reagente.
d. ligações de hidrogênio, o que não consome reagentes.

3. Quando uma proteína se desnatura, ela
3.b
a. tem sua estrutura primária modificada.
b. tem sua estrutura espacial modificada.
c. sofre hidrólise.
d. tem suas ligações peptídicas quebradas.

4. "Quando separamos as quatro cadeias polipeptídicas que constituem uma molécula de hemoglobina, porém sem alterar a estrutura espacial de cada uma delas, estamos modificando apenas a estrutura (■) da proteína." Qual das alternativas completa corretamente a frase?
4.d
a. primária
b. secundária
c. terciária
d. quaternária

5. A explicação para a especificidade de uma enzima por seu substrato recebe a denominação de modelo chave-fechadura. Com base no que estudou no capítulo, redija um texto objetivo sobre o porquê dessa denominação.

Questões de vestibulares

6. (PUC-RJ) Na preparação do meio de cultura para células animais, o técnico de um determinado laboratório esqueceu-se de adicionar o suprimento de aminoácidos.
6.d
Que moléculas terão sua formação imediatamente prejudicada?
a. lipídeos
b. glicídeos
c. nucleotídeos
d. proteínas
e. ácidos nucleicos

7. (Fuvest-SP) Leia o texto a seguir, escrito por Jacob Berzelius em 1828. "Existem razões para supor que, nos animais e nas plantas, ocorrem milhares de processos catalíticos nos líquidos do corpo e nos tecidos. Tudo indica que, no futuro, descobriremos que a capacidade de os organismos vivos produzirem os mais variados tipos de compostos químicos reside no poder catalítico de seus tecidos." A previsão de Berzelius estava correta, e hoje sabemos que o "poder catalítico" mencionado no texto deve-se
7.d
a. aos ácidos nucleicos.
b. aos carboidratos.
c. aos lipídios.
d. às proteínas.
e. às vitaminas.

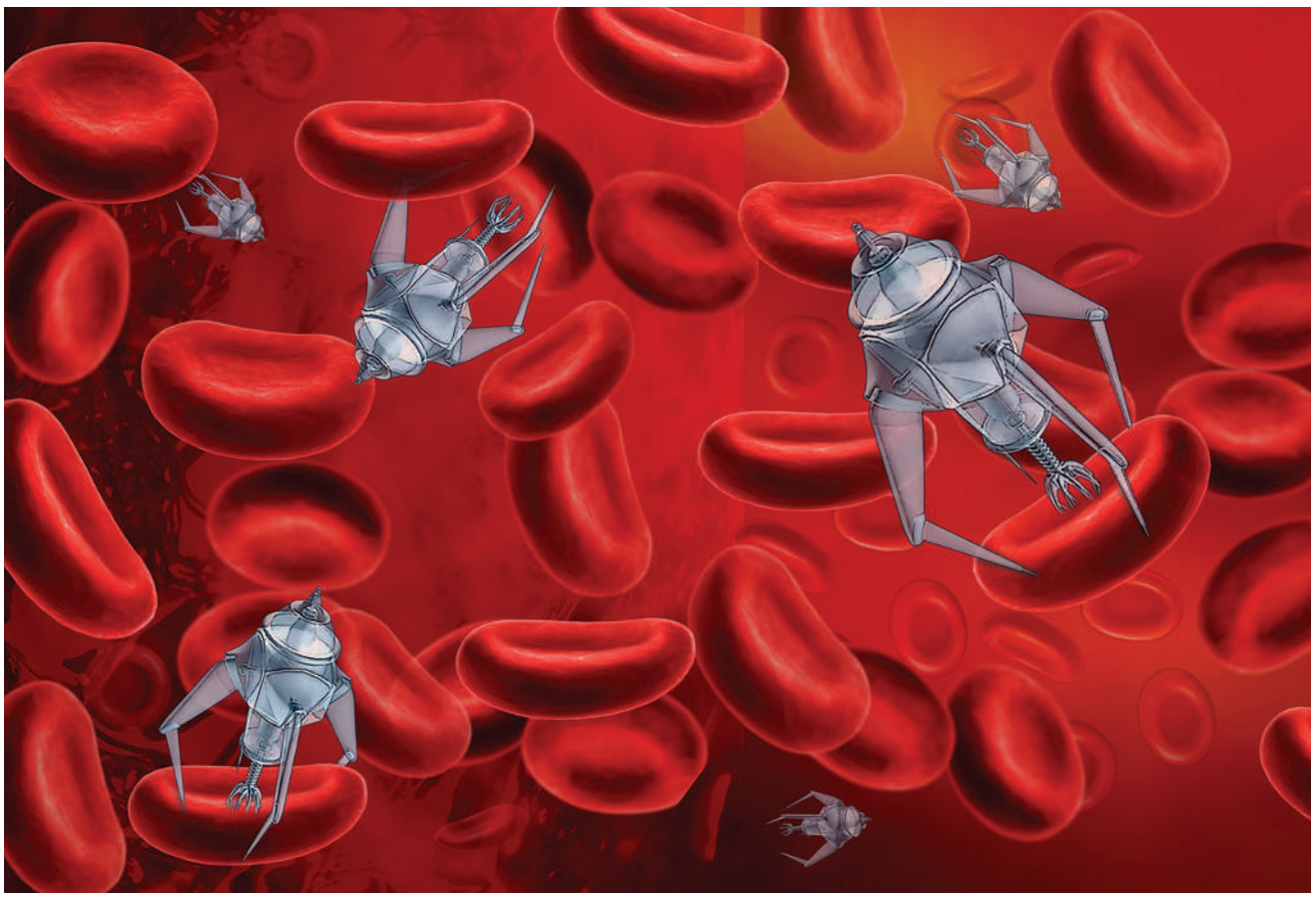
8. (UFMA) As enzimas biocatalisadoras da indução de reações químicas reconhecem seus substratos através da
8.b
a. temperatura do meio.
b. forma tridimensional das moléculas.
c. energia de ativação.
d. concentração de minerais.
e. reversibilidade da reação.

9. (Unicamp-SP) Os lipídios têm papel importante na estocagem de energia, estrutura de membranas celulares, visão, controle hormonal, entre outros. São exemplos de lipídios: fosfolipídios, esteroides e carotenoides.
a. Como o organismo humano obtém os carotenoides? Que relação têm com a visão?
b. A quais das funções citadas no texto os esteroides estão relacionados? Cite um esteroide importante para uma dessas funções.
c. Cite um local de estocagem de lipídios em animais e um em vegetais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 4

A célula viva: membrana e citoplasma



SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ilustração futurista que representa uma das possibilidades imaginadas para a nanotecnologia: construir nanoaparelhos para levar terapias diretamente às células do sangue. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A importância do assunto

O mundo microscópico do interior das células vivas foi desvendado, passo a passo, pelas descobertas e contribuições de muitos cientistas pioneiros. Em 1665, Robert Hooke observou a cortiça ao microscópio, verificando que sua baixa densidade se devia à constituição porosa, formada por milhares e milhares de "caixinhas" microscópicas ocas, dispostas lado a lado. Hooke chamou de "célula" cada uma das caixinhas microscópicas da cortiça. Logo essa denominação passou a ser empregada para designar também as cavidades constituintes das partes vivas das plantas, preenchidas por fluidos. As cavidades da cortiça foram células que, após a morte, perderam o conteúdo interno, restando apenas a parede celular. Transcorreram mais de 150 anos até que o conceito de célula passasse a fazer sentido para a Biologia. No início do século XIX, os biólogos reconheceram que as células são os constituintes fundamentais de todos os seres vivos (exceto os vírus), sendo postulada, assim, a teoria celular.

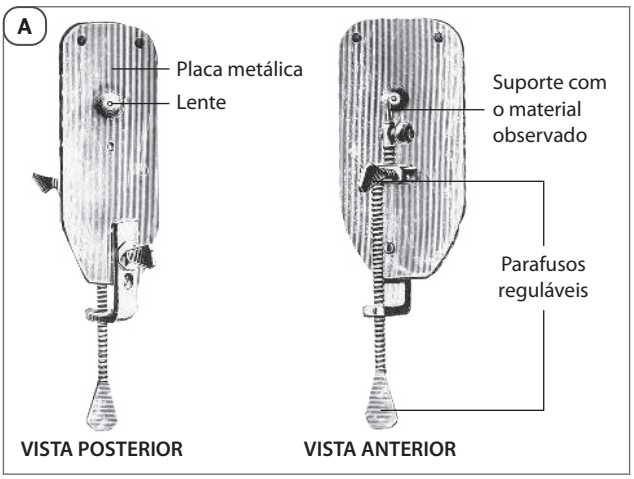
Muitos aspectos da vida somente podem ser compreendidos no mundo microscópico das células vivas. Este capítulo é a porta de entrada para o micromundo celular, invisível a olho nu. Para descobrir essa realidade, os cientistas têm recorrido a diversos instrumentos e ferramentas, como microscópios, micrótomos, corantes etc. Contudo, é importante ressaltar que uma ferramenta fundamental ao sucesso no desvendamento do mundo microscópico foi a imaginação.

1. A descoberta das células

De que são feitos os seres vivos? Uma resposta correta seria que os seres vivos são feitos de átomos. Essa resposta está correta, pois toda matéria da natureza, inclusive a matéria viva, é formada por átomos. Entretanto, a resposta mais adequada seria: os seres vivos são constituídos por células.

A descoberta das células somente foi possível após a invenção do **microscópio**, instrumento capaz de ampliar imagens. Pesquisas históricas sugerem que o primeiro microscópio foi construído por Zacharias Janssen (1580-1638) e seu pai Hans, dois fabricantes holandeses de óculos. Entretanto, os primeiros registros de observações microscópicas em materiais biológicos foram realizados pelo comerciante holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723). Ele tinha uma pequena loja de tecidos na cidade de Delph e controlava a qualidade dos produtos com a ajuda de lentes de aumento, construídas por ele mesmo a partir do polimento de pedaços de vidro. Em 1675, Leeuwenhoek utilizou uma lente de vidro polido, encaixada em uma peça metálica, para examinar a água de um lago, constatando a presença de inúmeros seres microscópicos. Leeuwenhoek também examinou materiais biológicos diversos, como embriões de plantas, espermatozoides de animais e glóbulos vermelhos do sangue. (Fig. 4.1)

BETTMANN/GETTY IMAGES



DANITA DELIMONT/GALLO IMAGES/GETTY IMAGES

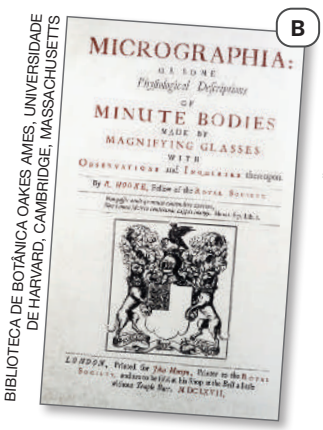
Figura 4.1. (A) Os microscópios construídos por Leeuwenhoek consistiam em uma pequena lente de vidro inserida em uma placa de metal. O observador mantinha a lente próxima ao olho e examinava através dela objetos mantidos na ponta de um parafuso. (B) Retrato de Antonie van Leeuwenhoek em 1686. Gravura feita em 1686 pelo artista holandês Jan Verkolje (1650-1693).

Influenciado pelas descobertas de Leeuwenhoek, o físico inglês Robert Hooke (1635-1703) idealizou e construiu um microscópio dotado de duas lentes de vidro, ajustadas às extremidades de um tubo de metal. O observador olhava por uma das lentes, a **lente ocular**, enquanto focalizava o objeto observado aproximando dele a lente da outra extremidade, chamada de **lente objetiva**. Por apresentar duas lentes, o microscópio idealizado por Hooke é denominado **microscópio composto**, enquanto microscópios como os de Leeuwenhoek, dotados de uma só lente, são chamados de **microscópios simples**.

Um dos materiais observados por Hooke em seu microscópio foi a cortiça, extraída da casca de certas árvores e utilizada na fabricação de rolhas. Hooke constatou a constituição microscópica altamente porosa da cortiça, o que explica sua baixa densidade. Hooke utilizou o termo inglês "*cell*", que significa "cela", ou "cavidade", para designar cada poro microscópico presente na cortiça. Daí vem o termo "**célula**", diminutivo de cela em português, utilizado para designar a unidade constituinte dos seres vivos. (Fig. 4.2)

SSPL/GETTY IMAGES

BIBLIOTECA DE BOTÂNICA OAKES AMES, UNIVERSIDADE DE HARVARD, CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS



ROBERT HOOKE/COLEÇÃO PARTICULAR

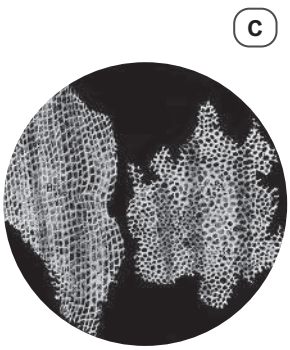


Figura 4.2. (A) Réplica do microscópio composto de Robert Hooke. (B) Imagem da capa do livro *Micrographia* (1667), no qual Hooke descreve suas observações microscópicas. No livro, há o desenho das fatias de cortiça (C), cujas cavidades microscópicas foram denominadas células.

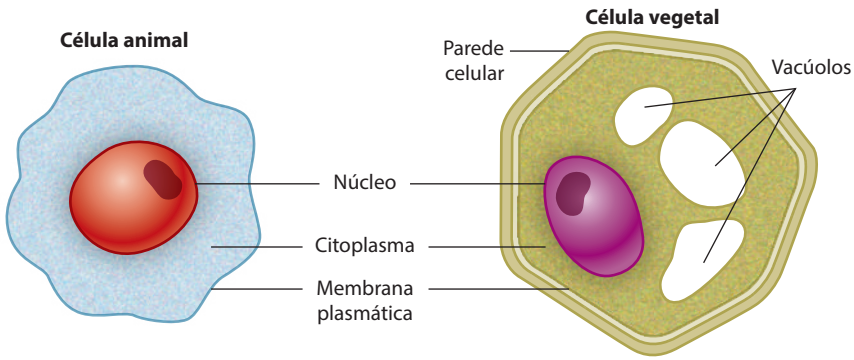
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ainda no início das investigações microscópicas, verificou-se que as partes internas e suculentas de plantas eram formadas por cavidades semelhantes às descritas por Hooke na cortiça. Entretanto, em vez de serem vazias, nas partes vivas das plantas, as cavidades estavam preenchidas por um fluido gelatinoso semitransparente. Logo em seguida, descobriu-se que os animais também eram constituídos por bolsas gelatinosas semelhantes às das plantas, porém destituídas do envoltório espesso característico das células vegetais.

A observação de células em diversas condições levou os cientistas a concluírem que tanto as células das plantas quanto as dos animais deviam ser delimitadas por uma finíssima película, invisível nos microscópios da época. A hipotética película foi denominada **membrana plasmática**. As células vegetais apresentavam um envoltório externo espesso e bem visível ao microscópio, a **parede celular**. Em 1833, o botânico escocês Robert Brown (1773-1858) verificou que a maioria das células, tanto as de animais quanto as de plantas, apresentava em seu interior um corpo esférico ou ovoide, que ele denominou **núcleo**. O fluido celular em que estava mergulhado o núcleo passou a ser chamado de **citoplasma**.

Além dessas três partes fundamentais das células – membrana plasmática, citoplasma e núcleo –, descobriu-se que o citoplasma contém estruturas equivalentes a pequenos órgãos celulares, denominadas **organelas** (ou orgânulos) celulares. No interior do núcleo das células, foram descobertos filamentos denominados **cromossomos** e estruturas globosas denominadas **nucléolos**. (Fig. 4.3)

Estruturas celulares conhecidas no século XIX



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4.3. Esquemas das células animal e vegetal na concepção dos citologistas do século XIX. Os vacúolos, bolsas repletas de uma solução aquosa, são organelas típicas de células vegetais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A teoria celular

Reunindo seus próprios estudos aos de diversos botânicos, o cientista alemão Mathias Schleiden (1804-1881) lançou, em 1838, a ideia de que todas as plantas são constituídas por células. Em 1839, o zoólogo alemão Theodor Schwann (1810-1882) chegou à mesma conclusão para os animais. Começava assim a se estruturar a **teoria celular**, segundo a qual as células são as unidades constituintes de todos os seres vivos. (Fig. 4.4)

BIBLIOTECA NACIONAL DA DINAMARCA, DINAMARCA

UNIVERSIDADE DE LEUVEN - BÉLGICA

Figura 4.4. Retratos de Mathias Schleiden (A) e de Theodor Schwann (B), os dois principais elaboradores da teoria celular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As três premissas básicas da teoria celular, consolidadas ao longo do século XIX, são:

- todos os seres vivos são formados por células e por estruturas que as células produzem, portanto, as células são **unidades morfológicas** dos seres vivos;
- as atividades essenciais que caracterizam a vida ocorrem sempre no interior de células, portanto, as células são as **unidades funcionais**, ou fisiológicas, dos seres vivos;
- novas células surgem somente pela reprodução de células preexistentes, em um processo denominado **divisão celular**.

A teoria celular é uma das mais importantes generalizações da Biologia. Ela propõe que todos os seres vivos têm em comum o fato de serem constituídos por células. Apesar das diferenças que apresentam, seres tão distintos como uma planta, uma ameba e um ser humano são constituídos pelo mesmo tipo de tijolo básico, a célula. Há seres constituídos por uma única célula, por isso denominados **unicelulares**. Exemplos de seres unicelulares são as bactérias, os protozoários e alguns fungos. A maioria dos seres vivos é **multicelular**, ou **pluricelular**, sendo constituídos por dezenas, centenas e até trilhões de células. Por exemplo, uma pessoa adulta é constituída por cerca de 30 trilhões (3×10^{13}) de células.

A descoberta da célula e o desenvolvimento da teoria celular abriram um novo campo de estudo na área da Biologia: a **Citologia** (do grego *kytos*, célula, e *logos*, estudo), que se dedica à compreensão da estrutura e do funcionamento das células.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

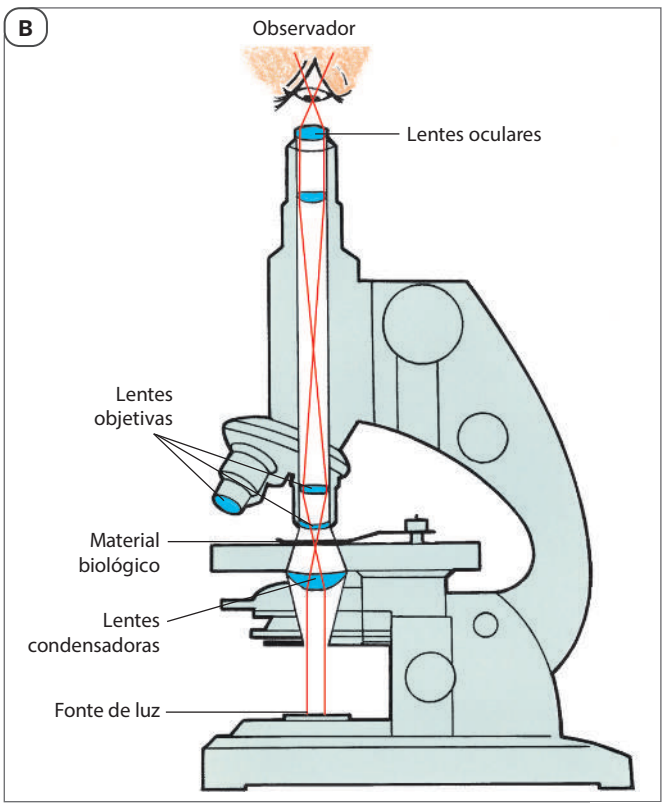
Os microscópios

Os **microscópios ópticos**, ou **microscópios fotônicos** (do grego *photos*, luz), são assim chamados porque utilizam luz em seu funcionamento. Nesse aparelho, há três conjuntos principais de lentes de vidro: o condensador, a objetiva e a ocular. A luz é concentrada pelas lentes condensadoras e transmitida através do material em observação. Em seguida, passa pelas lentes da objetiva e da ocular, que ampliam a imagem observada. O valor total da ampliação da imagem resulta da multiplicação do aumento da objetiva pelo aumento da ocular. Microscópios fotônicos modernos propiciam aumentos médios entre 100 e 1.500 vezes.

A

WAVEBREAKMEDIA/SHUTTERSTOCK

B



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Cientista observando material em um microscópio fotônico moderno. (B) Representação esquemática das partes fundamentais de um microscópio fotônico, mostrando o caminho percorrido pela luz no interior do aparelho (em vermelho). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

CONTINUA

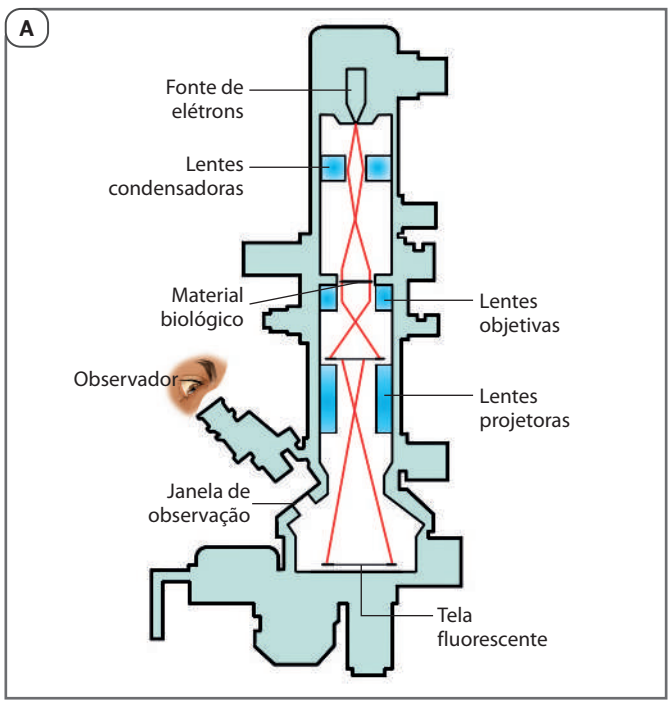
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **microscópios eletrônicos** são assim chamados porque utilizam feixes de elétrons em vez de luz. O primeiro microscópio eletrônico foi construído na década de 1930, mas seu emprego no estudo das células começou mais tarde, na década de 1950. Nesse meio-tempo, os citologistas desenvolveram diversas técnicas de preparação do material biológico apropriadas à observação em microscópios eletrônicos.

Há dois tipos básicos de microscópios eletrônicos: de transmissão e de varredura. No primeiro tipo, o feixe de elétrons é transmitido através do material observado, enquanto no segundo o material observado é submetido a uma varredura completa por um feixe eletrônico. Os microscópios eletrônicos de transmissão possibilitam observar cortes de detalhes internos de células e de suas partes, enquanto os microscópios de varredura possibilitam observar aspectos tridimensionais da superfície do material observado.

O microscópio eletrônico de transmissão consiste basicamente em um tubo de metal com cerca de 1 m de altura por 20 cm de diâmetro conectado a uma bomba de vácuo que extrai o ar de seu interior. Na parte superior do tubo, há um filamento de tungstênio, que é submetido a uma tensão elétrica de aproximadamente 60 mil volts para emitir elétrons. Estes se propagam como um feixe em direção à parte inferior do tubo do microscópio, passando através de bobinas elétricas (lentes eletrônicas) capazes de criar fortes campos eletromagnéticos. Uma lente eletrônica interage com o feixe de elétrons, condensando-o. O feixe eletrônico é, então, projetado sobre o material biológico, no qual algumas estruturas permitem a passagem de elétrons e outras não. Depois de atravessar o material biológico, o feixe de elétrons deixa de ser homogêneo e constitui uma "imagem" eletrônica das estruturas que atravessou. Essa imagem é ampliada por lentes objetivas e projetada por lentes projetoras em um monitor de vídeo ou em uma chapa fotográfica, na qual é registrada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

CROWN COPYRIGHT/HEALTH SAFETY LABORATORY/SPL/FOTOARENA

(A) Representação esquemática das partes fundamentais de um microscópio eletrônico de transmissão, mostrando o caminho percorrido pelo feixe de elétrons no interior do aparelho (em vermelho). (B) Cientista manipulando um microscópio eletrônico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A microscopia eletrônica revolucionou a Citologia graças à sua capacidade de mostrar aspectos muito detalhados da estrutura interna das células. Os microscópios eletrônicos têm alta resolução, isto é, alta capacidade de detalhamento das imagens e propiciam aumentos entre 5 mil e 100 mil vezes, ou mais.

1. Pesquise informações sobre relação entre conhecimentos de óptica, microscopia e descobertas biológicas. Escreva um pequeno texto sobre o que descobriu.

2. Pesquise na internet sobre aplicações da microscopia eletrônica na saúde humana. Pesquise, por exemplo, sobre a análise microscópica de tecidos doentes, células infectadas por vírus etc. Reúna os resultados de suas pesquisas em um texto ilustrado que ressalte o impacto da microscopia eletrônica na saúde.

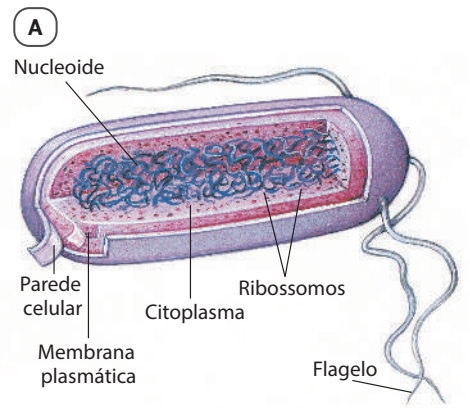
Células procarióticas e eucarióticas

O microscópio eletrônico revelou a existência de dois tipos básicos de células: a **célula procariótica**, típica de bactérias e arqueas, e a **célula eucariótica**, presente em todos os demais seres vivos: protozoários, fungos, algas, plantas e animais.

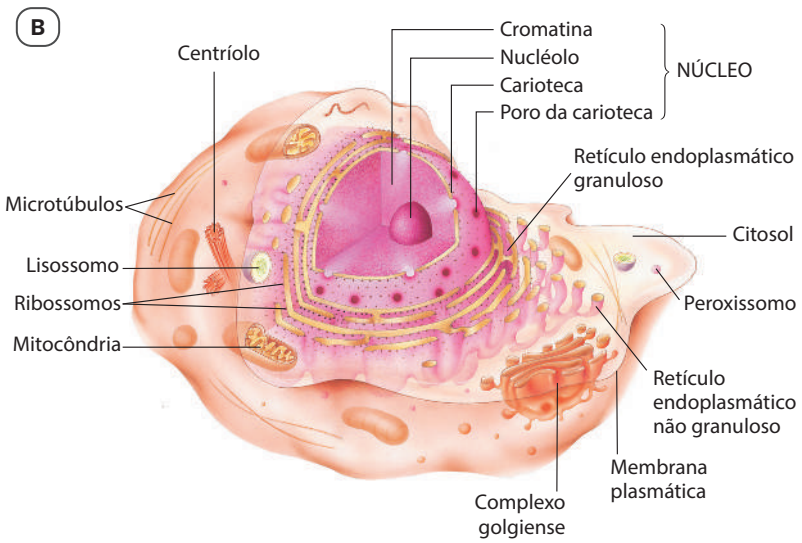
Células procarióticas (do grego *protos*, primitivo, e *karyon*, núcleo) são relativamente mais simples do que as células eucarióticas. No citoplasma de células procarióticas, não há núcleo nem estruturas membranosas. O cromossomo bacteriano é um filamento de DNA altamente enovelado denominado **nucleoide**, sem qualquer membrana envoltória. Células eucarióticas (do grego *eu*, verdadeiro, e *karyon*, núcleo) apresentam núcleo delimitado por uma membrana dupla. Dentro do núcleo há um aglomerado de filamentos denominados **cromossomos**. O citoplasma das células eucarióticas, ao contrário das procarióticas, apresenta grande número de canais, bolsas e outras estruturas membranosas.

Quando se observam fotografias de cortes de células ao microscópio, o que se vê é bem diferente das ilustrações de células em livros didáticos, que utilizam cores para evidenciar diferenças entre as organelas e entre regiões especializadas do citoplasma. As técnicas e os aparelhos de observação microscópica têm limitações, superadas pela capacidade imaginativa humana de compor cenários microscópicos tridimensionais. (Fig. 4.5)

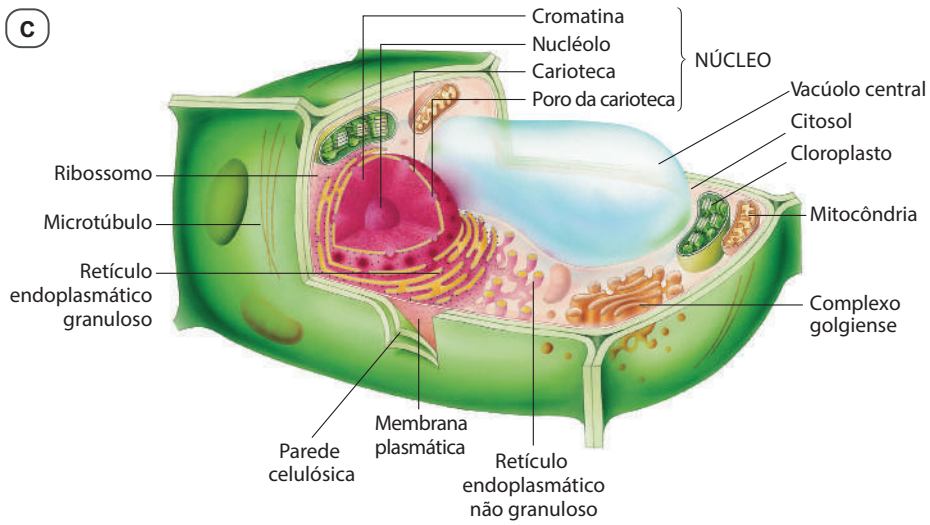
Célula procariótica bactéria



Célula eucariótica animal



Célula eucariótica vegetal



Fonte: MADER, S. S. **Biology**. 8. ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

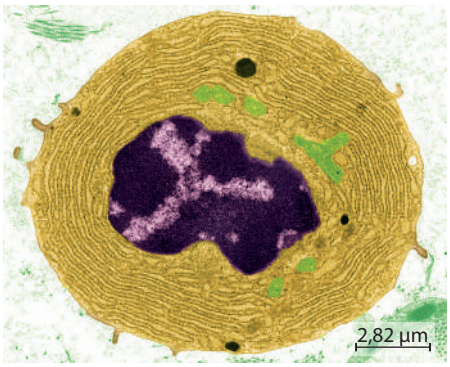
Figura 4.5. Representações esquemáticas da célula procariótica de uma bactéria (A) e de células eucarióticas animal (B) e vegetal (C). O tamanho da célula procariótica equivale aproximadamente ao de uma mitocôndria da célula eucariótica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA
EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA
EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. A membrana plasmática

A membrana que delimita a célula é denominada **membrana celular**, ou **membrana plasmática**. Devido à sua pequena espessura, não é visível em microscópios fotônicos e somente foi visualizada no microscópio eletrônico. A espessura da membrana celular é da ordem de apenas 5 nanômetros (nm), o que equivale a 5 milionésimos de milímetro (0,000005 mm). Cortes muito finos de células, observados ao microscópio eletrônico, mostram que a membrana plasmática é formada por duas camadas mais densas separadas por uma camada central menos densa. Estudos bioquímicos da membrana mostraram que sua composição é **lipoproteica**, ou seja, constituída por lipídios e proteínas.

A microscopia eletrônica revelou também que o citoplasma das células eucarióticas é repleto de membranas com estrutura semelhante à da membrana plasmática. O sistema membranoso citoplasmático é um labirinto de tubos e bolsas membranosas imersos em um fluido aquoso, no qual há finos túbulos e filamentos proteicos, além de diversos tipos de partículas. Atualmente os biólogos utilizam o termo **biomembrana** para designar tanto a membrana plasmática como as membranas presentes no citoplasma celular. (Fig. 4.6)



STEVE GSCHMEISSNER/SPL/FOTOARENA

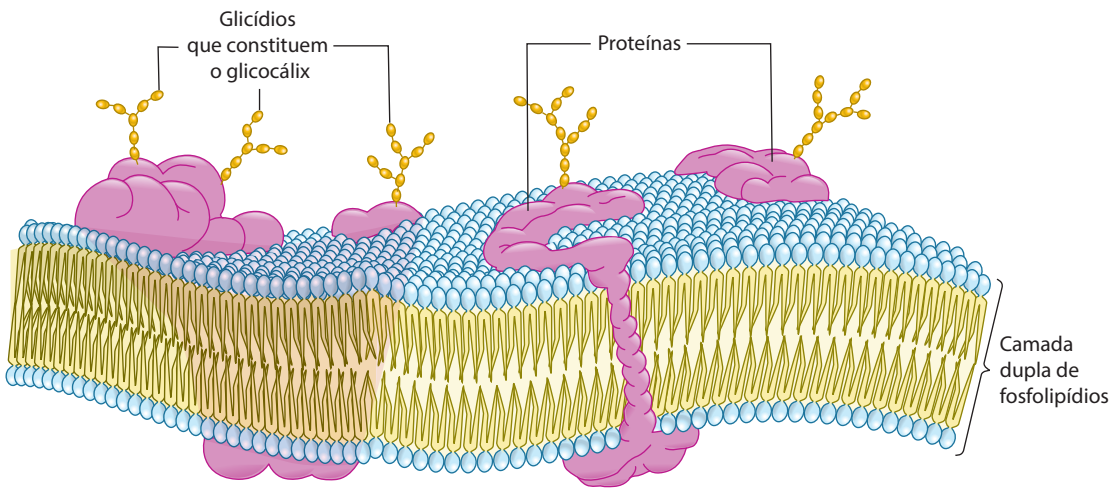
Figura 4.6. Fotomicrografia de um corte de um linfócito, mostrando o núcleo, em roxo, e as estruturas membranosas citoplasmáticas, em amarelo. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 3.600×; cores meramente ilustrativas.)

Estrutura molecular das biomembranas

Os principais componentes das biomembranas são fosfolipídios e proteínas. As membranas das células animais apresentam ainda colesterol, um tipo de lipídio ausente em células vegetais.

Em 1972, os pesquisadores estadunidenses Jonathan Singer (1924-2017) e Garth Nicolson (1943-) propuseram um modelo molecular para explicar a estrutura das membranas celulares. Segundo esse modelo, as biomembranas consistiriam em uma camada dupla de fosfolipídios com proteínas incrustadas, lembrando um mosaico. Algumas dessas proteínas estariam localizadas em posição superficial na dupla camada lipídica, enquanto outras a atravessariam de um lado a outro. As proteínas se movimentariam na camada lipídica fluida, o que explicava diversas propriedades das biomembranas. Essas ideias de Singer e Nicolson constituem o **modelo do mosaico fluido** para as membranas celulares. (Fig. 4.7)

Membrana plasmática



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.7. Representação esquemática da estrutura das biomembranas de acordo com o modelo do mosaico fluido. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Integrando conhecimentos

O modelo de Singer e Nicolson para a membrana plasmática mostra como conhecimentos advindos dos campos da Química e da Física podem ser integrados ao mundo vivo para explicar as capacidades e as funções da membrana celular. O transporte de substâncias através da membrana plasmática sem que haja dispêndio de energia pela célula é denominado transporte passivo. Quando há dispêndio de energia pela célula, fala-se em transporte ativo.

Escreva um texto em seu caderno sobre essa ideia.

Permeabilidade celular

A vida da célula depende do constante intercâmbio de substâncias entre o citoplasma e o meio extracelular, o que se denomina **permeabilidade celular**. O transporte de substâncias através da membrana plasmática sem que haja dispêndio de energia pela célula é denominado **transporte passivo**. Quando há dispêndio de energia pela célula, fala-se em **transporte ativo**.

Certas substâncias são capazes de atravessar a membrana plasmática por **difusão**, um tipo de transporte passivo em que há maior fluxo das substâncias da região em que elas estão mais concentradas para as regiões em que sua concentração é menor. Moléculas de água, certos tipos de íons e pequenas moléculas hidrossolúveis podem atravessar espontaneamente a membrana celular por difusão.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Um pioneiro no estudo das membranas celulares

Ernest Everett Just (1883-1941), biólogo estadunidense pioneiro no estudo das membranas celulares, foi um dos primeiros negros a concluir doutorado em seu país. Seu trabalho destacou a importância da membrana celular na fecundação, no desenvolvimento embrionário e em outros processos biológicos.

IGORGOLOVNIOV/SHUTTERSTOCK

Selo postal estadunidense em homenagem a Ernest Just, lançado em 1996.

Apesar da importância de seus trabalhos, reconhecidos internacionalmente, Just tinha poucas chances de trabalho em alguma universidade que não fosse para negros. Ele procurou contornar a discriminação e a dificuldade em conseguir financiamento para suas pesquisas, emigrando para a Europa em 1938, com a intenção de continuar ali seus trabalhos científicos. Entretanto, em 1940, com a invasão da França pelos nazistas, Just foi feito prisioneiro de guerra. Resgatado pelo Departamento de Estado estadunidense, ele retornou aos Estados Unidos e trabalhou na Universidade Howard, uma das poucas que contratavam cientistas negros. Pouco tempo depois, em outubro de1941, Just faleceu de câncer de pâncreas.

Just é atualmente homenageado em importantes universidades estadunidenses, na forma de prêmios e simpósios que levam seu nome, sendo considerado um estímulo para que outras pessoas negras ingressem no meio científico.

Sobre o texto anterior, responda: em sua opinião, destacar o papel de personalidades relevantes em suas áreas de atuação contribui para atrair outras pessoas para essas áreas? Elabore argumentos sobre o assunto em seu caderno.

Osmose

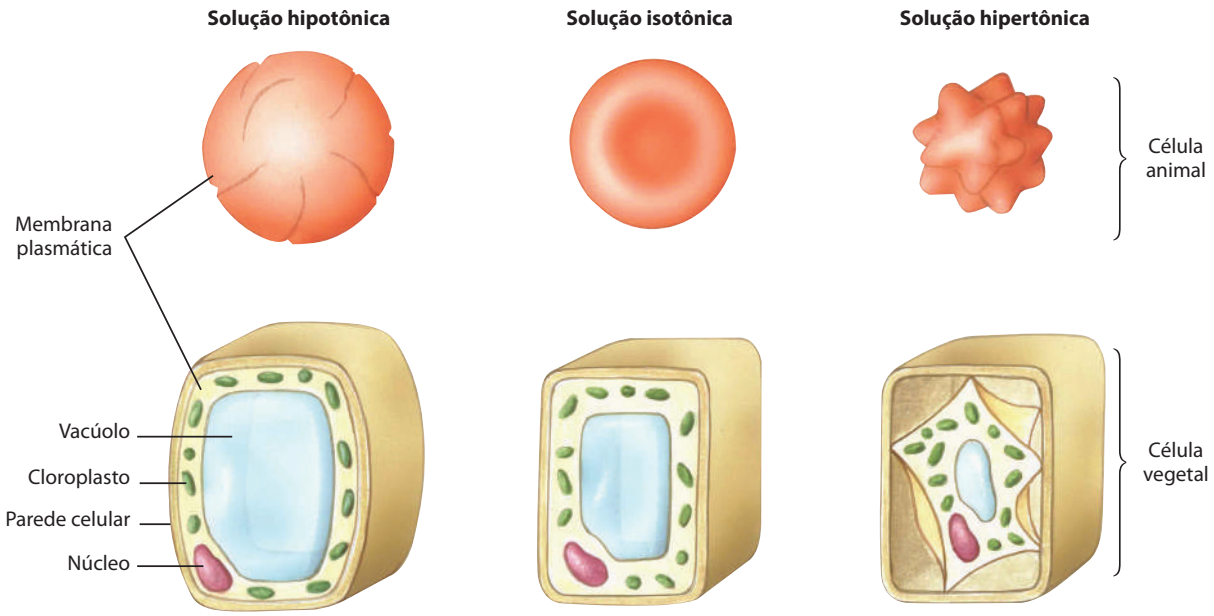
O citoplasma celular é uma solução aquosa cujo **solvente** é a água e os **solutos** são moléculas solúveis em água, tais como glicídios, proteínas, sais etc. As moléculas de água são capazes de atravessar a membrana com facilidade, o que não ocorre com a maioria dos solutos. Pode-se dizer, assim, que a membrana plasmática é **semipermeável**, sendo permeável à água e menos permeável, ou mesmo impermeável, à passagem de diversos solutos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando uma célula é mergulhada em água pura, a concentração de moléculas de água no meio externo é maior que no interior da célula, onde a água divide espaço com diversos tipos de solutos. Consequentemente, a água tende a se difundir em maior quantidade para dentro da célula, fazendo-a inchar. Por outro lado, se uma célula for mergulhada em uma solução mais concentrada em solutos que o citoplasma, a tendência é ocorrer maior passagem de água para fora da célula, que tende a murchar. Essa difusão diferencial de água através de uma membrana semipermeável que separa duas soluções com diferentes concentrações em solutos é denominada **osmose**.

Na terminologia química, quando se comparam duas soluções quanto à concentração em solutos, diz-se que a solução mais concentrada é **hipertônica** (do grego *hyper*, superior) em relação à outra, denominada solução **hipotônica** (do grego *hypo*, inferior). Se duas soluções apresentam concentrações equivalentes em solutos, elas são denominadas **isotônicas** (do grego *iso*, igual, semelhante). (Fig. 4.8)

Células em soluções de diferentes concentrações



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.8. Comportamento de uma célula animal e de uma célula vegetal em soluções de diferentes concentrações. Na solução isotônica (coluna central), não ocorre alteração do volume celular. Na solução hipertônica (coluna da direita), as células perdem água e murcham. Na solução hipotônica (coluna da esquerda), as células absorvem água, tornando-se inchadas, ou túrgidas. Células animais podem arrebentar se forem mergulhadas em soluções altamente hipotônicas, como água pura. Células vegetais não se arrebentam graças à parede celular. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Bomba de sódio e potássio

As células mantêm uma concentração de íons potássio (K^+) cerca de 20 a 40 vezes maior dentro da célula que no meio extracelular. Por outro lado, a concentração do íon de sódio (Na^+) é cerca de 8 a 12 vezes maior no meio extracelular que dentro da célula. Como os íons K^+ e Na^+ se difundem facilmente através da membrana celular, suas concentrações dentro e fora da célula tenderiam a se manter equivalentes, o que não ocorre porque há um bombeamento contínuo de K^+ para dentro da célula e de Na^+ para fora dela.

Esse bombeamento se dá com gasto de energia pela célula, sendo um tipo de transporte ativo, realizado por um complexo proteico presente na membrana plasmática denominado **bomba de sódio e potássio**, cujo funcionamento demanda gasto de energia pela célula. A manutenção da diferença iônica entre o interior da célula e o meio externo é importante porque gera um potencial elétrico entre as faces externa e interna da membrana, necessária a diversas atividades celulares, entre elas a transmissão de impulsos nervosos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Utilizando ovos de codorna para observar a osmose

A principal dificuldade para realizar experimentos envolvendo a osmose é encontrar membranas semipermeáveis que funcionem adequadamente, permitindo a passagem de água, mas não a de solutos. Pode-se superar essa dificuldade técnica utilizando a membrana coquilífera localizada sob a casca dos ovos de aves, que funciona adequadamente como membrana semipermeável. A membrana coquilífera é permeável a sais, mas não a açúcar, e por isso será utilizada nesta atividade uma solução altamente concentrada de sacarose.

Para observar os efeitos da osmose nos ovos, é preciso primeiro remover a casca calcária pela dissolução do carbonato de cálcio da casca pelo ácido acético presente no vinagre. Durante a reação de dissolução, observa-se intenso desprendimento de bolhas de gás carbônico junto à superfície do ovo. Essa reação está esquematizada a seguir.

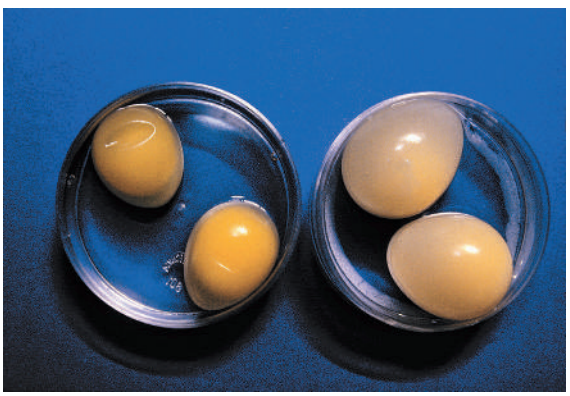
$$\underset{\text{Ácido acético}}{2\,H_3C{-}COOH} + \underset{\text{Carbonato de cálcio}}{CaCO_3} \rightarrow \underset{\text{Acetato de cálcio}}{[Ca^{2+}][H_3COOO^{-}]_2} + \underset{\text{Água}}{H_2O} + \underset{\text{Gás carbônico}}{CO_2}$$

Material

- 4 ovos de codorna
- recipiente de tamanho médio (tigela, prato fundo etc.)
- 2 copos de vidro
- água filtrada
- vinagre branco (de vinho ou de arroz)
- açúcar de cana (sacarose)
- etiquetas de papel

Procedimentos

1. Coloque o vinagre no recipiente e mergulhe os ovos, de modo a cobri-los completamente. Deixe-os assim por cerca de 24 horas ou mais, até a total remoção da casca calcária. Lave os ovos com cuidado em água corrente.
2. Coloque água nos copos até cerca de metade da capacidade. Em um dos copos dissolva a quantidade máxima possível de açúcar (mais ou menos 5 ou 6 colheres de sopa), preparando uma solução altamente concentrada, viscosa como calda de doce. O outro copo ficará apenas com água. Identifique os copos com as etiquetas, escrevendo as soluções que eles contêm.
3. Coloque 2 ovos com a casca calcária removida em cada solução. Observe a forma e a consistência deles a cada 2 horas. Anote os resultados.



ARQUIVO DO AUTOR

Fotografias de ovos submetidos às experiências de osmose descritas nesta atividade. Dois deles estiveram mergulhados em uma solução hipotônica em relação ao conteúdo do ovo, e dois estiveram mergulhados em uma solução hipertônica.

Com base no experimento, responda:

1. Observe a imagem apresentada. Quais estiveram mergulhados na solução hipertônica, os da esquerda ou os da direita? Explique o que ocorreu com eles sob o ponto de vista da osmose.
2. O que se espera que aconteça ao se transferir um dos ovos mostrados à esquerda da foto para um recipiente com água pura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Transporte em bolsas membranosas

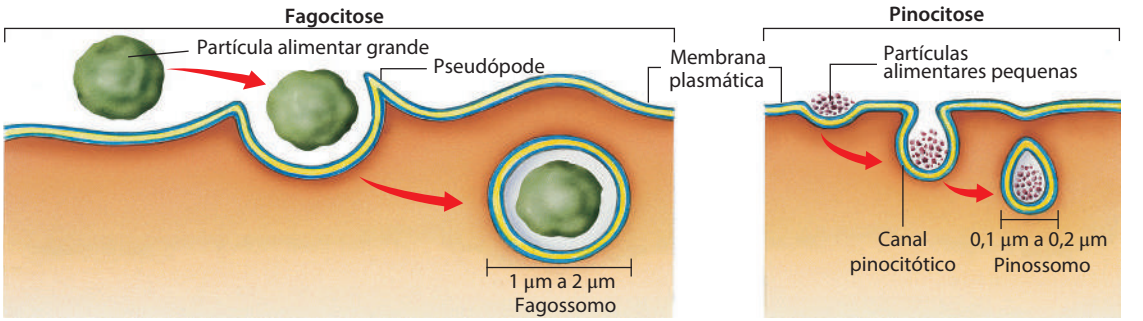
Certas partículas e substâncias podem entrar ou sair da célula utilizando como veículo bolsas membranosas. Quando há entrada de partículas na célula, fala-se em **endocitose** (do grego *endos*, dentro, e *kytos*, célula). Quando bolsas membranosas citoplasmáticas eliminam seu conteúdo para fora da célula, fala-se em **exocitose** (do grego *exos*, fora, e *kytos*, célula).

Pinocitose e fagocitose

Pinocitose (do grego *pinein*, beber, e *kytos*, célula) é o tipo de endocitose em que a célula captura líquidos e pequenas partículas do meio externo. É por pinocitose, por exemplo, que as células do revestimento interno do intestino capturam gotículas de lipídios do alimento digerido. Na pinocitose, a membrana plasmática aprofunda-se no citoplasma formando canais, que se estrangulam nas bordas liberando pequenas bolsas membranosas para o interior da célula. Essas bolsas contêm os materiais englobados e são chamadas de **pinossomos** (do grego *pinein*, beber, e *soma*, corpo).

Fagocitose (do grego *phagein*, comer, e *kytos*, célula) é o tipo de endocitose em que a célula emite expansões citoplasmáticas denominadas **pseudópodes** (do grego *pseudos*, falso, e *podos*, pés), que envolvem e capturam partículas relativamente grandes do meio externo. As partículas capturadas ficam em bolsas membranosas, que se desprendem da membrana e passam a circular no citoplasma. Essas bolsas recebem o nome de **fagossomos** (do grego *phagein*, comer, e *soma*, corpo). Os protozoários utilizam a fagocitose para se alimentar. (Fig. 4.9)

Fagocitose e pinocitose



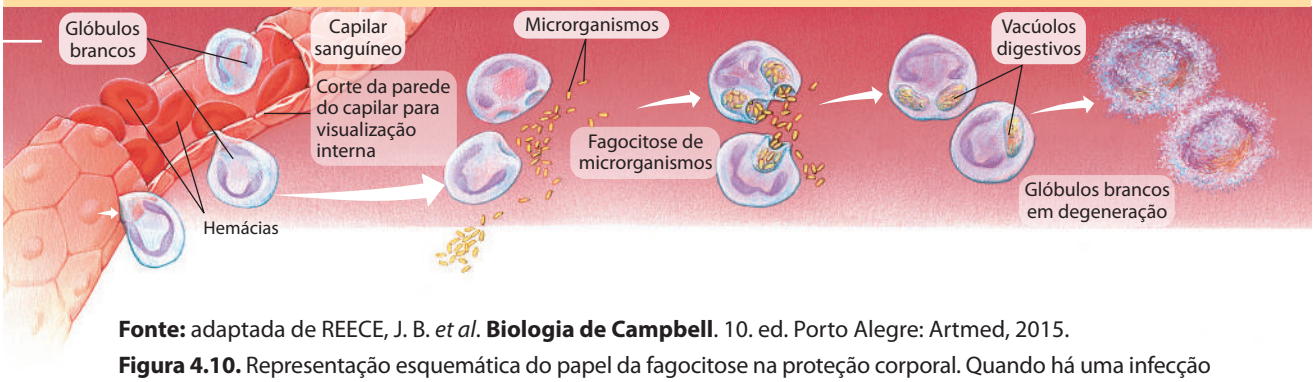
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.9. Esquemas de cortes na borda de uma célula que comparam a fagocitose e a pinocitose. As principais diferenças entre os dois processos são o modo de captura e o tamanho das partículas capturadas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Algumas células de animais pluricelulares realizam fagocitose para combater a invasão do corpo por partículas estranhas. Por exemplo, quando bactérias penetram no corpo humano, as primeiras linhas de defesa são certas células do sangue, os macrófagos e os neutrófilos, que atravessam as paredes dos capilares sanguíneos e vão até o local da infecção, onde passam a fagocitar os invasores, que são digeridos no interior de bolsas membranosas citoplasmáticas chamadas de **vacúolos digestivos**. (Fig. 4.10)

Papel da fagocitose na proteção contra infecções



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.10. Representação esquemática do papel da fagocitose na proteção corporal. Quando há uma infecção bacteriana em nosso corpo, certos tipos de células do sangue saem dos capilares sanguíneos e se deslocam até o local infectado, onde fagocitam os agentes invasores. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exocitose

Certas substâncias citoplasmáticas podem permanecer armazenadas temporariamente em bolsas membranosas antes de serem eliminadas para o meio externo. Em determinado momento, as bolsas se aproximam da membrana plasmática e fundem-se a ela, eliminando seu conteúdo para fora da célula. Esse processo é denominado **exocitose**. A exocitose é utilizada por certos tipos de células para eliminar restos da digestão intracelular. É também o processo pelo qual as células glandulares secretam seus produtos.

3. Organelas citoplasmáticas

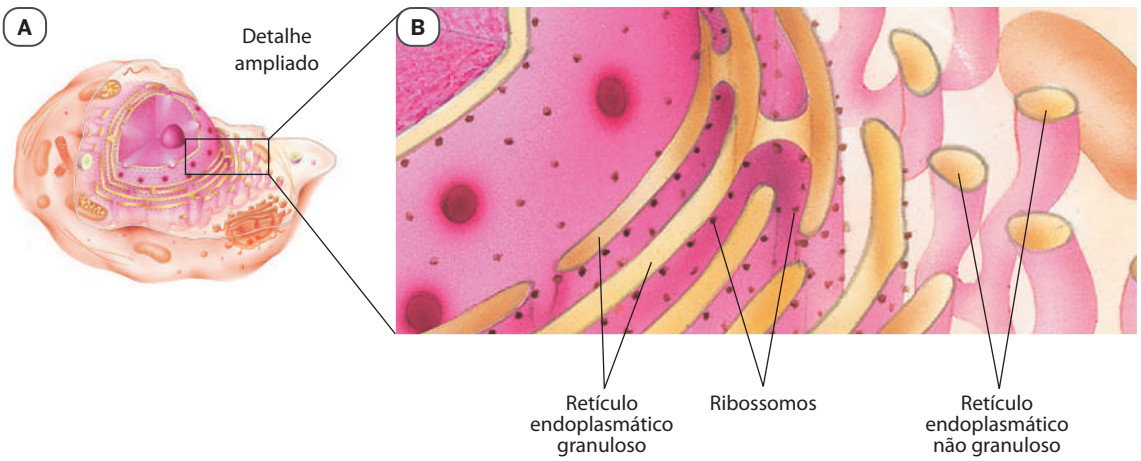
Retículo endoplasmático

O **retículo endoplasmático** é um complexo membranoso constituído por bolsas achatadas e canais tubulares interligados mergulhados no **citosol**, a solução aquosa citoplasmática. Nas cavidades internas do retículo, circulam diversos tipos de moléculas, como íons, aminoácidos, proteínas etc.

Há dois tipos de retículo endoplasmático. Um deles é constituído por bolsas e canais de membranas lisas, sendo chamado de **retículo endoplasmático liso**, ou **retículo endoplasmático não granuloso**. O outro tipo é chamado de **retículo endoplasmático granuloso**, ou **retículo endoplasmático rugoso**, por apresentar grânulos denominados **ribossomos** aderidos à face da membrana voltada para o citosol. O grau de desenvolvimento de cada em desses tipos de retículo varia de acordo com as funções desempenhadas pela célula.

O retículo endoplasmático liso é responsável pela síntese de ácidos graxos, de fosfolipídios e de esteroides, sendo bem desenvolvido em células do fígado, as quais atuam sobre toxinas, álcool e outras drogas, inativando-as e facilitando sua eliminação. O retículo endoplasmático granuloso é a sede da fabricação de certos tipos de proteínas, o que ocorre nos ribossomos. (Fig. 4.11)

Retículo endoplasmático granuloso e retículo endoplasmático não granuloso



EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de MADER, S. S. **Biology**. 8. ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

Figura 4.11. (A) Célula animal em corte. (B) Representação tridimensional do retículo endoplasmático granuloso e do retículo endoplasmático não granuloso. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

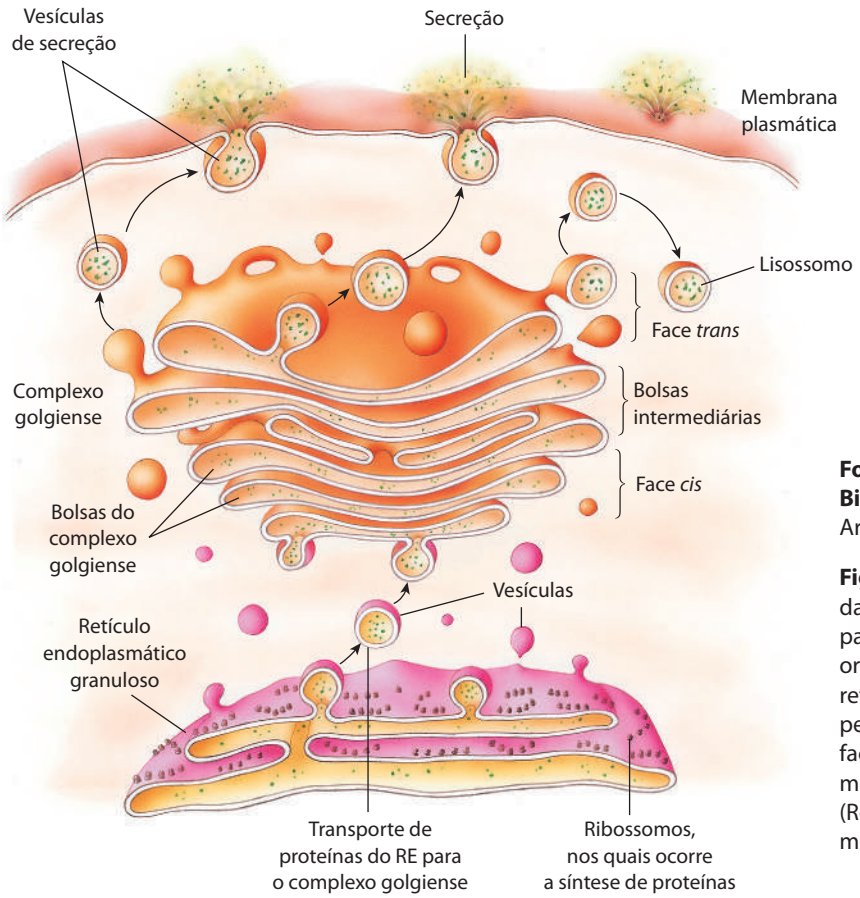
A síntese das proteínas na célula eucariótica tem início em ribossomos livres no citosol. Dependendo do tipo de proteína produzida, o ribossomo pode aderir à membrana do retículo endoplasmático, introduzindo a proteína em produção na bolsa do retículo. Essas proteínas são utilizadas na construção das membranas celulares ou exportadas para fora da célula na forma de secreções, enquanto proteínas produzidas em ribossomos livres atuam no próprio citosol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Complexo golgiense

O **complexo golgiense**, ou **complexo de Golgi**, é constituído por bolsas membranosas achatadas e empilhadas. No interior dessas bolsas, ocorrem modificações em proteínas provenientes do retículo endoplasmático granuloso, que são selecionadas e empacotadas em vesículas membranosas. O destino dessas vesículas pode ser o próprio citoplasma ou o meio extracelular. (Fig. 4.12)

Complexo golgiense e secreção celular



EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.12. Representação esquemática da estrutura do complexo golgiense parcialmente cortado para mostrar sua organização. Proteínas provenientes do retículo endoplasmático rugoso (RE) penetram no complexo golgiense pela face *cis* e saem pela face *trans*. A ilustração mostra um instante "congelado" do processo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Muitas das substâncias que passam pelo complexo golgiense saem da célula e atuam em diferentes locais do organismo. É o que ocorre, por exemplo, com enzimas produzidas e eliminadas pelas células do pâncreas, que atuam na digestão intestinal. Substâncias de natureza proteica, como certos hormônios e muco, também são empacotadas e despachadas para o meio extracelular pelo complexo golgiense. A eliminação de substâncias úteis ao organismo pelo complexo golgiense é denominada **secreção celular**.

O complexo golgiense origina o **acrossomo** dos espermatozoides (do grego *acros*, topo, e *somatos*, corpo). O acrossomo é uma bolsa repleta de enzimas digestivas que ocupa o ápice da cabeça do espermatozoide. As enzimas contidas no acrossomo têm por função perfurar os envoltórios do óvulo, permitindo a penetração do gameta masculino.

Lisossomos e digestão intracelular

Os **lisossomos** (do grego *lise*, quebra, e *somatos*, corpo) são bolsas membranosas que contêm enzimas capazes de digerir grande variedade de substâncias orgânicas. As enzimas lisossômicas são sintetizadas no retículo endoplasmático granuloso, de onde migram para o complexo golgiense. Ali as enzimas são empacotadas em vesículas membranosas e liberadas no citosol, constituindo os **lisossomos primários**. Estes podem se fundir a bolsas com material a ser digerido (fagossomos ou pinossomos), originando **vacúolos digestivos**, ou **lisossomos secundários**, onde a digestão intracelular ocorre.

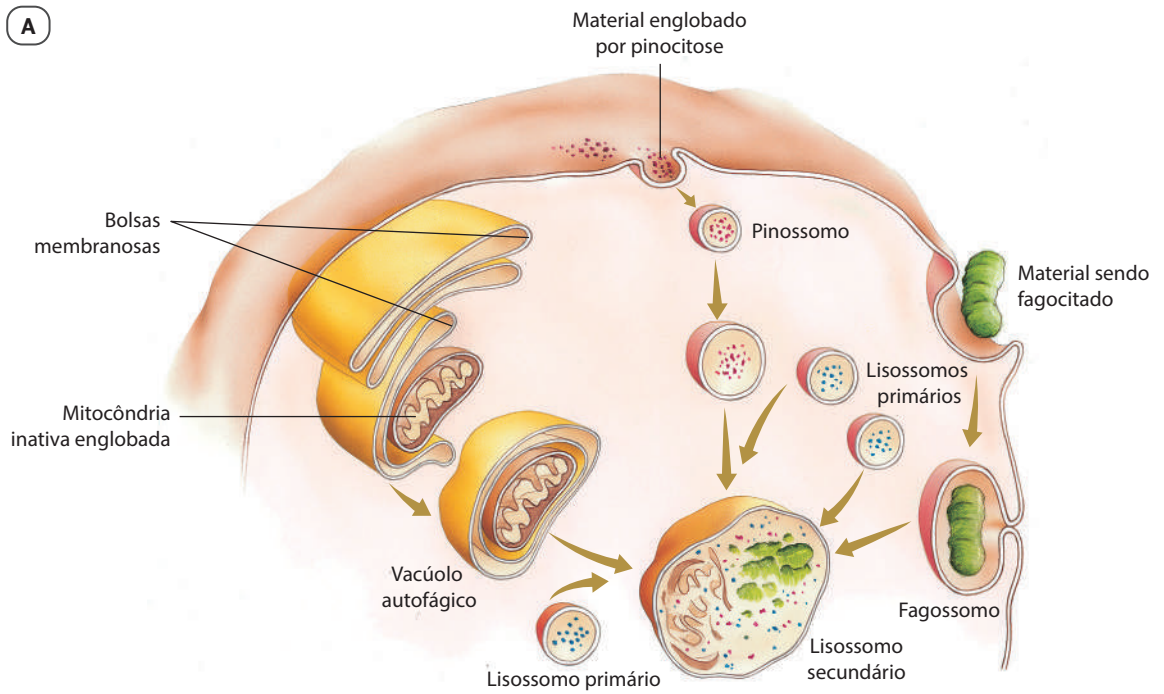
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Protozoários que capturam partículas alimentares por meio da fagocitose digerem o material capturado em lisossomos secundários. Os macrófagos e os neutrófilos são células com grande atividade lisossômica, que capturam bactérias e outros agentes invasores do corpo e os digerem em lisossomos secundários, defendendo o organismo de infecções.

Substâncias resultantes da digestão intracelular atravessam a membrana do vacúolo digestivo e passam para o citosol, onde podem ser utilizadas como fonte de energia ou como matéria-prima para a produção de novos componentes celulares. Restos não digeridos, inaproveitáveis, permanecem no vacúolo digestivo, que passa a ser chamado de **vacúolo residual**. Este geralmente se funde à membrana celular, eliminando seu conteúdo para fora da célula, processo denominado **clasmocitose**, ou **defecação celular**.

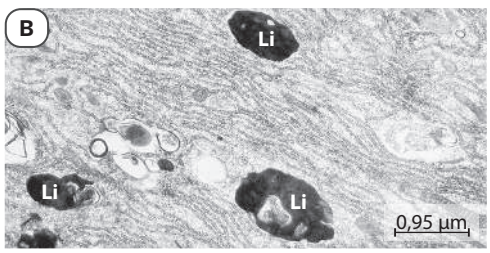
A ação dos lisossomos na digestão de substâncias vindas de fora da célula é denominada **função heterofágica** (do grego, *hetero*, diferente, e *fagos*, comer). Os lisossomos também atuam na digestão de partes da própria célula, reciclando componentes. Nesse caso, fala-se em **função autofágica** (do grego *autos*, próprio, e *fagos*, comer). A estrutura celular a ser digerida é envolvida por membranas do retículo endoplasmático, formando uma bolsa membranosa denominada **autofagossomo**. Este se funde a um ou mais lisossomos primários, originando o chamado **vacúolo autofágico**, no interior do qual ocorre a digestão. (Fig. 4.13)

Ação dos lisossomos



EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.



CORTESIA DO PROF. ALBERTO RIBEIRO/IBUSP

Figura 4.13. (A) Esquema das funções heterofágica e autofágica dos lisossomos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de um corte de célula animal em que são visualizados lisossomos secundários (Li), alguns deles digerindo partes da própria célula. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 10.500×.)

A autofagia realizada pelos lisossomos permite eliminar partes desgastadas das células e reaproveitar alguns de seus componentes. Células nervosas do cérebro, por exemplo, que se formam na fase embrionária e podem perdurar por toda a vida humana, têm a maioria de seus componentes digeridos e reciclados a cada mês. A autofagia, nesse caso, permite às células manter uma condição de juventude por longo tempo. Situações em que um organismo é privado de alimento podem levar certas células a digerir partes de si mesmas como estratégia de sobrevivência.

Exercício resolvido

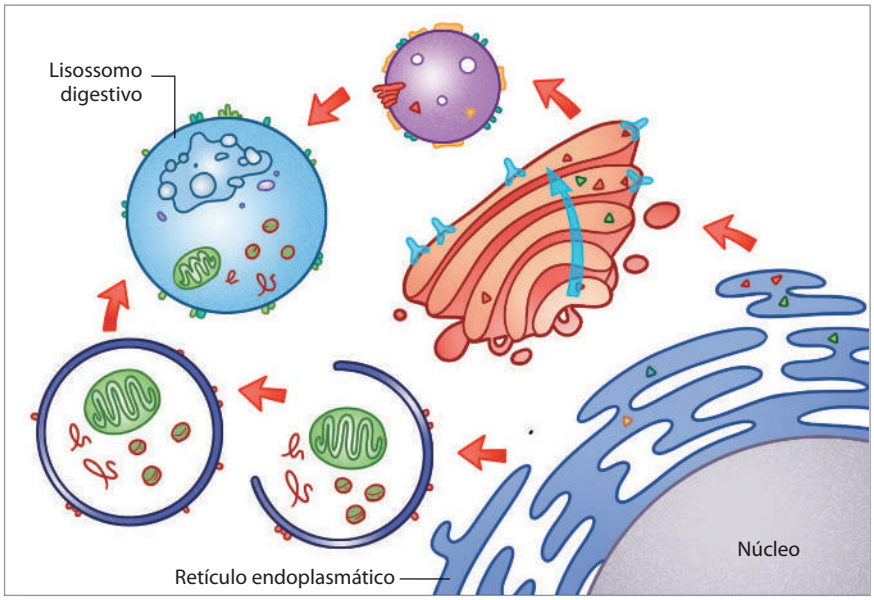
ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Antes de responder a uma questão, é interessante observar três aspectos: 1) identificar com clareza o que é solicitado na questão; 2) selecionar as informações necessárias para responder; 3) analisar os conhecimentos a serem mobilizados para a resposta. Confira esses itens na questão resolvida a seguir.

Resolvendo uma questão do vestibular da Unicamp de 2024

Questão

Os lisossomos são organelas que desempenham funções importantes para a homeostase celular. Assinale a alternativa que descreve corretamente a função dos lisossomos representada na figura a seguir.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de YANG, C.; WANG, X. **Journal of Cell Biology**, Nova Iorque, v. 220, p. e202102001, maio 2021.

a. Heterofagia por pinocitose, o que permite à célula degradar fragmentos de microrganismos, fragmentos esses importantes na apresentação de antígenos.

b. Autofagia, que permite à célula empacotar, modificar e exportar proteínas sintetizadas no lúmen das cisternas do retículo endoplasmático.

c. Autofagia, que permite à célula eliminar porções envelhecidas ou danificadas do citoplasma, incluindo organelas e moléculas.

d. Heterofagia por fagocitose, o que permite à célula capturar macromoléculas, utilizando-as nas diferentes vias biossintéticas.

Resolução

A questão solicita interpretar a função dos lisossomos mostrada no esquema. O texto introdutório da questão é irrelevante para a resolução. Analisando as alternativas, pode-se notar que as opções se referem às funções autofágicas e heterofágicas do lisossomo.

Pode-se notar, na parte mais à direita da figura, o processo de formação dos lisossomos, cujas enzimas são produzidas no retículo e empacotadas no complexo golgiense. Não está representada na figura a entrada de partículas na célula, e sim a digestão de partes do retículo endoplasmático e das mitocôndrias celulares pelos lisossomos. No lisossomo digestivo, mais apropriadamente chamado de vacúolo digestivo, ou lisossomo secundário, ocorre a digestão autofágica de componentes celulares.

Assim, analisando as alternativas, temos:

a. Define a ação como heterofágica, o que é incorreto.

b. Define a ação como autofágica, mas a ação citada (modificar, empacotar e sinalizar proteínas) não ocorre nos lisossomos, e sim no complexo golgiense.

c. Define a ação como autofágica, descrevendo-a adequadamente. Essa é a alternativa correta.

d. Define a ação como heterofágica, o que é incorreto.

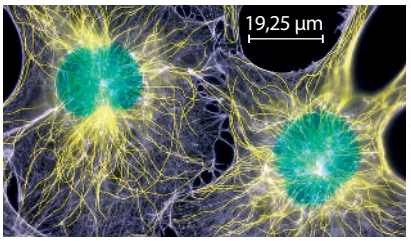
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Citoesqueleto

As células eucarióticas apresentam, no citosol, uma estrutura de sustentação constituída por túbulos e filamentos proteicos. Essa estrutura, chamada de **citoesqueleto**, define a forma da célula e sua organização interna, participa da adesão entre células vizinhas e do deslocamento de materiais pelo citoplasma. Além dessas funções, o citoesqueleto também atua em movimentos celulares, entre eles a contração muscular e a movimentação dos cromossomos durante as divisões celulares.

Um dos componentes do citoesqueleto são os **microtúbulos**, constituídos pela proteína **tubulina** e com cerca de 25 nm de diâmetro por alguns micrômetros de comprimento. Outros componentes proteicos do citoesqueleto são os **microfilamentos de actina**, com cerca de 7 nm de espessura e que podem se agrupar lado a lado formando feixes, ou se entrelaçar formando redes. (Fig. 4.14).

O citoesqueleto é uma estrutura dinâmica. Microtúbulos surgem e se desfazem continuamente pela organização e desorganização das proteínas que os compõem. Microfilamentos de actina aumentam e diminuem de comprimento, e seus feixes e redes modificam-se continuamente. Filamentos da proteína miosina deslizam sobre filamentos de actina, levando a célula a mudar de forma, a criar pseudópodes e a expulsar as secreções, entre outros movimentos.



DR TORSTEN WITTMANN/ SPL/FOTOARENA

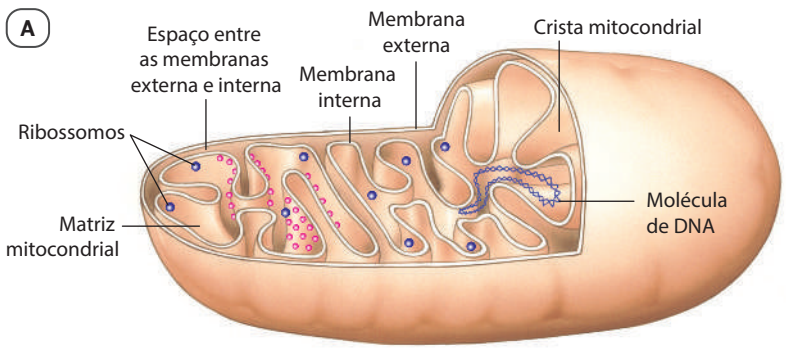
Figura 4.14. A fotomicrografia mostra dois fibroblastos, células do tecido conjuntivo, cujos citoesqueletos foram evidenciados por uma técnica denominada imunofluorescência. Microtúbulos estão coloridos em amarelo, e microfilamentos de actina coloridos em azul. O núcleo celular está colorido em verde. (Microscópio fotônico iluminado com luz ultravioleta; aumento ≈ 900×; cores artificiais.)

Mitocôndrias

Com exceção de um pequeno grupo de protozoários, todos os organismos eucarióticos apresentam **mitocôndrias**, organelas membranosas com cerca de 2 µm de comprimento por 0,5 µm de diâmetro, em média. O número de mitocôndrias em uma célula pode variar de dezenas a centenas, dependendo do tipo de célula e do seu grau de atividade.

A mitocôndria é delimitada por duas membranas lipoproteicas semelhantes às demais biomembranas celulares. A membrana mitocondrial externa é lisa, enquanto a membrana mitocondrial interna apresenta dobras para o interior da organela, denominadas **cristas mitocondriais**. O espaço interno das mitocôndrias é preenchido por um fluido viscoso denominado **matriz mitocondrial**, onde há enzimas, DNA, RNA e ribossomos semelhantes aos das bactérias. (Fig. 4.15)

Estrutura da mitocôndria



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

PROFESSORS P. MOTTA T. NAGURO/ SPL/FOTOARENA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.15. (A) Esquema de mitocôndria com uma parte removida para visualizar seus componentes internos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.). (B) Micrografia de uma mitocôndria em corte, colorida em vermelho, e tubos e bolsas membranosos do citoplasma, coloridos em verde. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 54.500×; cores meramente ilustrativas.)

Mitocôndrias surgem exclusivamente por autoduplicação de mitocôndrias preexistentes. Quando uma célula se divide por mitose, originando duas células-filhas, cada uma delas recebe aproximadamente metade das mitocôndrias da célula-mãe. À medida que as células crescem, suas mitocôndrias se autoduplicam e restabelecem o número original.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Há evidências de que as mitocôndrias possam ter surgido pela evolução de seres procarióticos primitivos, que teriam se instalado no citoplasma de células eucarióticas primitivas e se transformado evolutivamente em mitocôndrias. Essa hipótese é denominada **hipótese endossimbiótica**.

Em animais com reprodução sexuada, as mitocôndrias presentes na descendência são provenientes exclusivamente da mãe. Apesar de os gametas masculinos também possuírem mitocôndrias, estas degeneram logo após a fecundação de modo que todas as mitocôndrias do zigoto e consequentemente de todas as células do novo indivíduo descendem das mitocôndrias do gameta feminino.

As mitocôndrias são responsáveis pela **respiração celular**, processo em que moléculas ricas em energia, principalmente glicídios e lipídios, reagem com gás oxigênio (O_2), produzindo gás carbônico (CO_2) e liberando energia, que é armazenada em moléculas de ATP.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

SAÚDE

Mitocôndrias, lisossomos e doenças

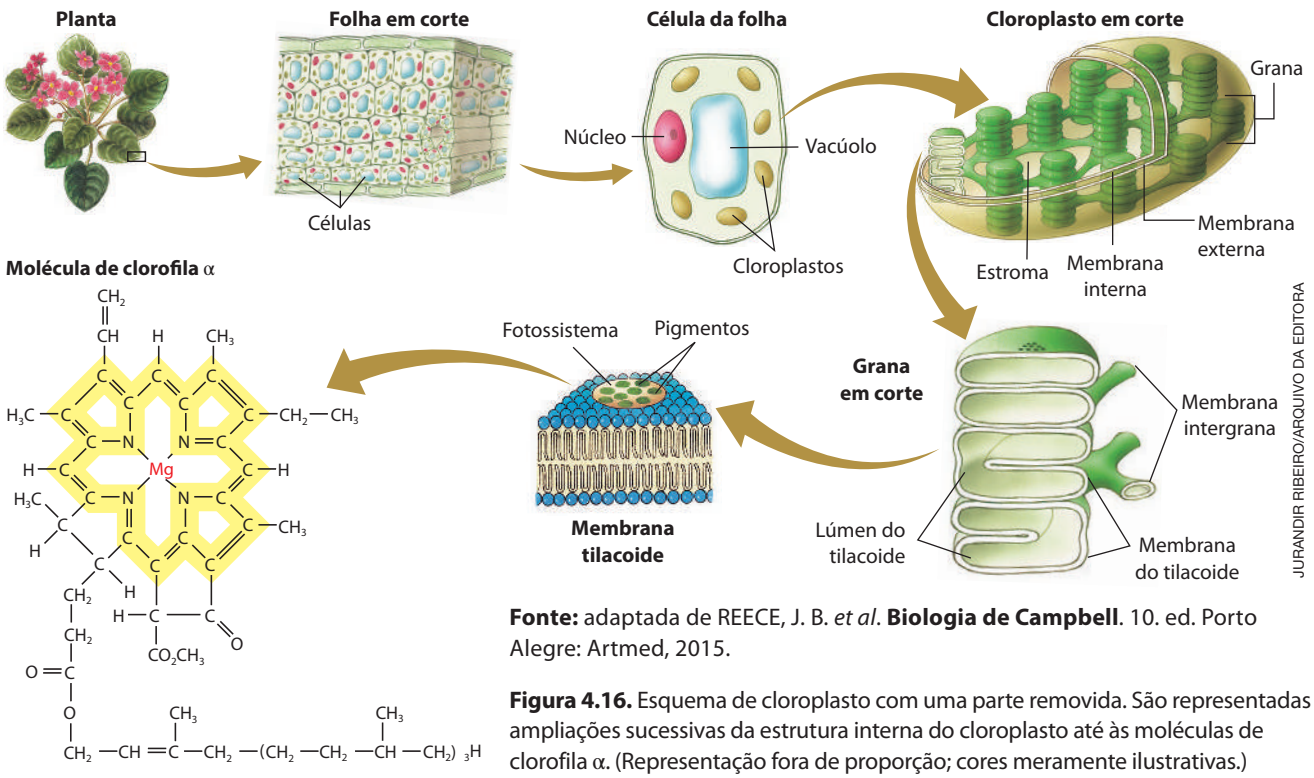
Pesquise na internet e em livros sobre doenças mitocondriais e doenças lisossômicas. Escreva em seu caderno um texto objetivo com os resultados de suas pesquisas.

Cloroplastos

Os **cloroplastos** estão presentes apenas em células de algas e de plantas. Essas organelas têm geralmente forma elíptica achatada, com cerca de 4 µm de comprimento por 1 a 2 µm de espessura. A célula de uma folha pode conter entre 40 e 50 cloroplastos.

Os cloroplastos são delimitados externamente por duas membranas lipoproteicas. Em seu interior, há um complexo membranoso formado por bolsas discoidais achatadas e empilhadas, os **tilacoides**, onde se localiza o pigmento **clorofila** (do grego *chloros*, verde). As moléculas de clorofila dispõem-se organizadamente nas membranas do tilacoide formando estruturas denominadas **complexos de antena**. Esses complexos são altamente eficientes na captação de energia luminosa utilizada na fotossíntese. O espaço interno do cloroplasto, entre os tilacoides, é preenchido por um fluido denominado **estroma**, que contém DNA, RNA e ribossomos semelhantes aos das células bacterianas, além de vários tipos de enzimas. (Fig. 4.16)

Localização e estrutura do cloroplasto



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 4.16. Esquema de cloroplasto com uma parte removida. São representadas ampliações sucessivas da estrutura interna do cloroplasto até às moléculas de clorofila α. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nos cloroplastos ocorre a fotossíntese, processo em que as plantas e as algas produzem matéria orgânica a partir de gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), utilizando para essa produção energia luminosa do Sol. A hipótese endossimbiótica também se aplica aos cloroplastos: eles descenderiam de seres procarióticos fotossintetizantes que teriam se instalado no citoplasma de primitivas células eucarióticas que já abrigavam mitocôndrias, originando as células vegetais.

Cílios e flagelos

Certas células apresentam em sua superfície estruturas filamentosas móveis. Dependendo do tamanho e do tipo de movimentação, esses filamentos são classificados como flagelos ou como cílios. **Flagelos** são geralmente mais longos que os cílios e ocorrem em menor número por célula. O espermatozoide humano, por exemplo, cuja cabeça mede 5 µm de comprimento por 3 µm de largura, tem sua cauda formada por um único flagelo de aproximadamente 41 µm de comprimento. Os movimentos flagelares são ondulações, que se propagam da base do flagelo para a extremidade livre. **Cílios** são mais curtos que os flagelos e ocorrem em número relativamente maior por célula, entre dezenas ou centenas. Os movimentos ciliares assemelham-se aos de um chicote, podendo executar entre 10 e 40 batimentos por segundo.

As funções de flagelos e cílios são a movimentação da célula em meios líquidos, como ocorre com gametas e certos protozoários, e a movimentação de líquidos em relação à célula, como ocorre com certos protozoários, cujos cílios criam correntes que trazem partículas alimentares para perto de si. A traqueia humana e de outros mamíferos é revestida internamente por células ciliadas. O muco, produzido por células especiais, acumula-se sobre o revestimento e retém bactérias e partículas inaladas com o ar. O batimento dos cílios das células traqueais varre esse muco em direção à faringe, onde ele é engolido e posteriormente digerido, o que elimina microrganismos potencialmente infecciosos.

Cílios e flagelos se originam a partir do alongamento de **centríolos**, estruturas citoplasmáticas formadas por nove feixes de três microtúbulos arranjados em círculo. A estrutura interna de flagelos e cílios é idêntica. Ambos apresentam nove duplas de microtúbulos periféricos e um par de microtúbulos centrais, mantidos juntos por proteínas adesivas. O conjunto de microtúbulos de cílios e flagelos é revestido pela membrana plasmática. (Fig. 4.17)

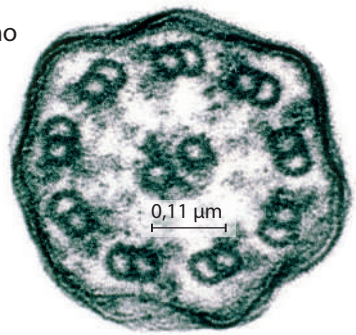


Figura 4.17. Eletromicrografia de um cílio cortado transversalmente. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 90.000×.)

DR. GOPAL MURTI/SPL/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.d De acordo com a teoria celular, apesar das diferenças no nível macroscópico, todos os seres vivos são semelhantes em sua constituição fundamental, uma vez que
- **a.** contêm moléculas orgânicas.
- **b.** se originam de gametas.
- **c.** são capazes de se reproduzir sexualmente.
- **d.** são constituídos por células.

2. 2.b As duas principais substâncias orgânicas constituintes das biomembranas são
- **a.** glicídios e ácidos nucleicos.
- **b.** lipídios e proteínas.
- **c.** glicídios (polissacarídios) e proteínas.
- **d.** lipídios e ácidos nucleicos.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 3 a 6.
- **a.** hipertônica
- **b.** hipotônica
- **c.** isotônica
- **d.** transporte ativo
- **e.** transporte passivo

3. 3.e Quando uma substância passa através da membrana plasmática sem gasto de energia por parte da célula, fala-se em (■).

4. 4.d Processos de passagem de substâncias através da membrana plasmática que dependem da energia celular são genericamente chamados (■).

5. 5.b,a Quando comparamos duas soluções, dizemos que a menos concentrada em solutos é (■) e que a mais concentrada em solutos é (■).

6. 6.c Uma solução com a mesma concentração em solutos que outra é (■) em relação a ela.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 7 a 11.

a. acrossomo
b. complexo golgiense
c. lisossomo
d. retículo endoplasmático não granuloso
e. retículo endoplasmático granuloso

7. O conjunto de bolsas membranosas com grânulos aderidos à face voltada para o citosol, presente nas células eucarióticas, é o (■). 7.e

8. O (■) é uma bolsa membranosa citoplasmática que contém enzimas capazes de digerir diversos tipos de substâncias orgânicas. 8.c

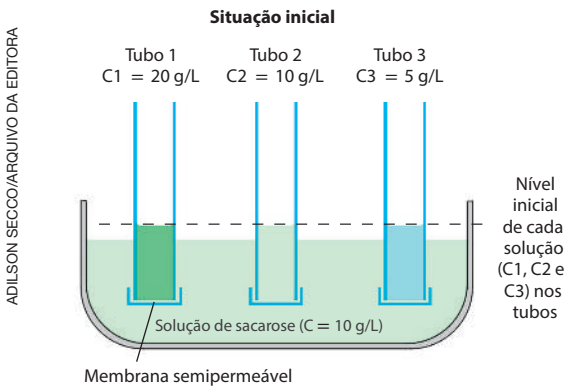
9. O (■) é constituído por um conjunto de bolsas membranosas achatadas e empilhadas, cuja função é empacotar e despachar substâncias produzidas pela célula. 9.b

10. A bolsa repleta de enzimas digestivas que os espermatozoides apresentam na "cabeça" é chamada de (■) e tem origem no (■). 10.a,b

11. O sistema formado por tubos e bolsas membranosos interligados e sem grânulos aderidos, presente no interior das células eucarióticas, é chamado de (■). 11.d

12. Três tubos de vidro têm, na extremidade inferior, membranas semipermeáveis (permeáveis à água e impermeáveis ao soluto) e foram mergulhados em um recipiente contendo uma solução aquosa de sacarose de concentração C = 10 g/L. Os tubos apresentavam, inicialmente, volumes iguais de soluções de sacarose de diferentes concentrações: C1 = 20 g/L (tubo 1); C2 = 10 g/L (tubo 2); C3 = 5 g/L (tubo 3).

O que se espera que ocorra com o nível de líquido em cada um dos tubos após algum tempo? Por quê?



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Questões de vestibulares

13. (UFPA) A descoberta da célula foi feita em 1665 por (■). Em 1838 e 1839, (■) e (■), através de observações de estruturas de muitas plantas e animais, concluíram que os seres vivos são constituídos por células. 13.d

Qual é a alternativa que completa corretamente as frases?

a. Hooke, Weismann, Schwann
b. Virchow, Schleiden, Schwann
c. Schleiden, Hooke, Schwann
d. Hooke, Schleiden, Schwann
e. Virchow, Weismann, Hooke

14. (UnB-DF) Quando se usa o microscópio, é importante saber de quanto o instrumento ampliou a imagem do objeto. Se, por exemplo, na ocular estiver marcado 5× e na objetiva 12×, a ampliação é de 14.c

a. 17 diâmetros (12× + 5×).
b. 7 diâmetros (12× – 5×).
c. 60 diâmetros (12× · 5×).
d. 2,4 diâmetros (12× ÷ 5×).

15. (Uerj) Em um experimento realizado em um laboratório escolar, duas tiras de batata foram mergulhadas por 10 minutos, uma na solução A e a outra na solução B. Os resultados, após este tempo, estão resumidos na tabela abaixo. 15.c

Solução	Condição da tira de batata
A	Amolecida
B	Rígida

Em relação à tonicidade do citoplasma das células de batata, as soluções A e B são, respectivamente, classificadas como

a. hipotônica e isotônica.
b. isotônica e hipertônica.
c. hipertônica e hipotônica.
d. hipotônica e hipertônica.

16. (UFC-CE) Células animais com função secretora apresentam abundância de retículo endoplasmático granuloso (rugoso) e complexo golgiense, estruturas que se localizam próximas uma à outra e que trabalham em conjunto. Nesse trabalho em parceria, o retículo endoplasmático granuloso 16.c

a. libera proteínas digestivas em vesículas denominadas lisossomos, que atuarão em conjunto com os tilacoides do complexo golgiense.
b. produz fosfolipídios de membrana que serão processados no complexo golgiense e liberados no citoplasma para formação de novos ribossomos.
c. sintetiza proteínas e as transfere para o complexo golgiense, que as concentra e as libera em vesículas, que terão diferentes destinos na célula.
d. funde-se ao complexo golgiense para formar o acrossomo dos espermatozoides, responsável pela digestão da parede do óvulo e pela penetração nele.
e. acumula os polissacarídios de parede celular, produzidos no complexo golgiense, e os processa, antes de liberar as vesículas que se fundirão com a membrana plasmática.

17. (UFU-MG) Explique como os lisossomos são formados na célula e descreva a sua função, relacionando-a com a fagocitose.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 5

Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

LOVELYDAY12/SHUTTERSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O crescimento de uma planta é um evento complexo, com diversos processos relacionados. Em última análise, o crescimento é coordenado pelos genes, localizados no núcleo celular. A compreensão de determinados aspectos do funcionamento gênico foi fundamental para o desenvolvimento de técnicas que revolucionaram a agricultura.

A importância do assunto

Este capítulo apresenta conceitos importantes sobre o núcleo das células e seus principais compo nentes, os cromossomos, estruturas nas quais se localizam os genes. O conjunto de genes de cada núcleo celular contém todas as informações genéticas necessárias ao desenvolvimento das caracte-rísticas de cada espécie, além das informações particulares para cada indivíduo ser único e original.

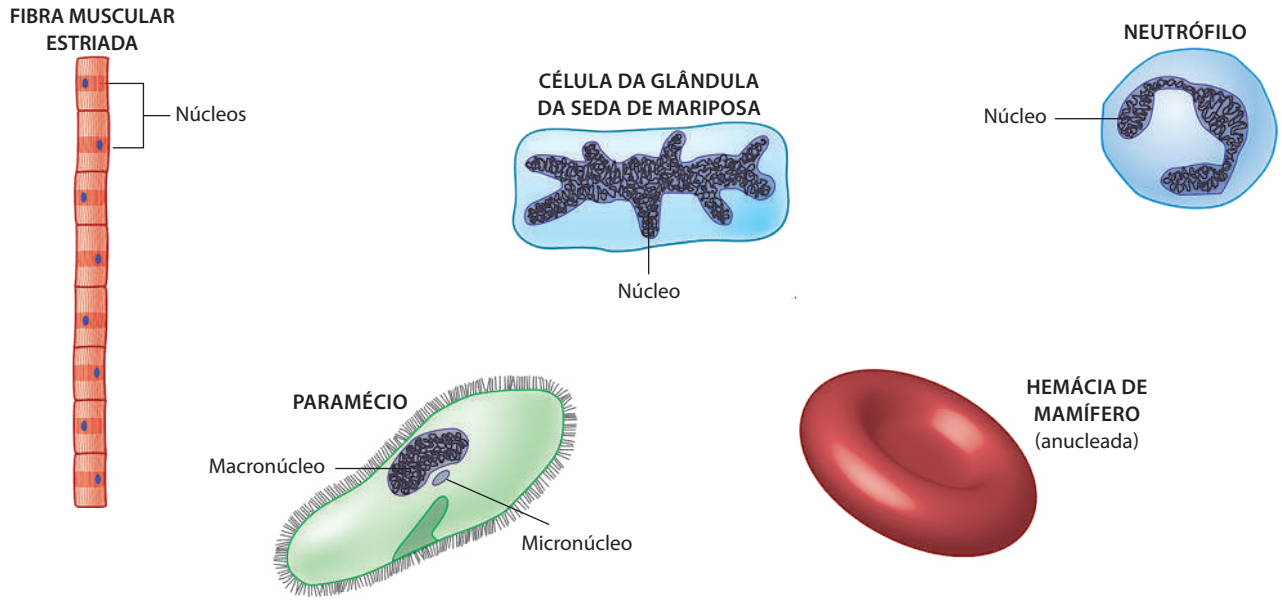
O capítulo trata também da natureza das informações genéticas e apresenta o processo pelo qual essas informações se multiplicam e a forma como elas se expressam.

O estudo dos cromossomos revela importantes adaptações das células para se reproduzir e transmitir seus genes às células-filhas. O processo pelo qual uma célula origina duas células idên-ticas é a mitose. Conhecer e compreender a mitose ajuda a entender aspectos fundamentais sobre a continuidade da vida.

1. A organização do núcleo celular

O **núcleo celular** está presente em células eucarióticas e ausente em células procarióticas. A maioria das células eucarióticas apresenta um único núcleo, geralmente com forma arredondada. Certas células, entretanto, podem ter dois ou mais núcleos. As células vermelhas do sangue (hemácias) dos mamíferos não apresentam núcleo, o qual é eliminado no processo de maturação dessas células. (Fig. 5.1)

Células e núcleos celulares



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015; LI, Q. *et al*. Autophagy, apoptosis, and ecdysis-related gene expression in the silk gland of the silkworm (*Bombyx mori*) during metamorphosis. **Can. J. Zool**. 88: 1169 -1178, 2010.

Figura 5.1. Fibras musculares estriadas apresentam muitos núcleos. Células da glândula salivar de mariposas têm núcleo ramificado. Neutrófilos do sangue de mamíferos têm núcleos com lóbulos. Protozoários ciliados têm dois núcleos de tamanhos diferentes, um deles grande, o macronúcleo, e outro menor, o micronúcleo. Hemácias de mamíferos não apresentam núcleo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

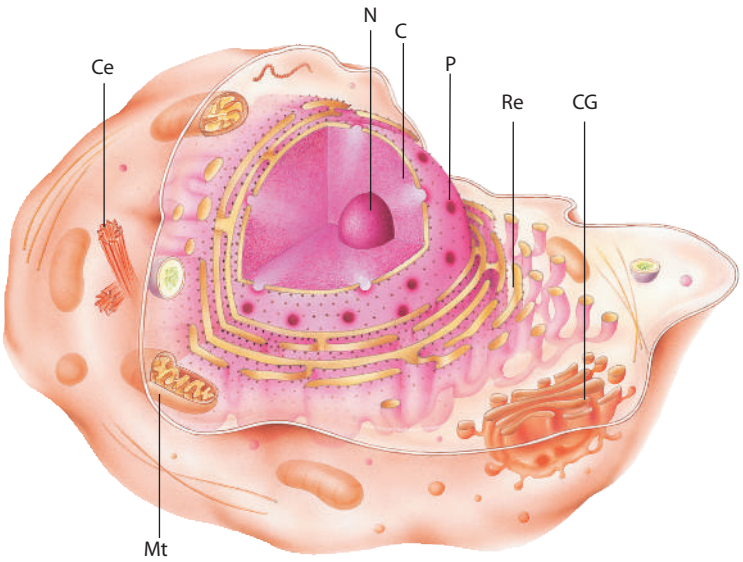
O núcleo celular é delimitado pela **carioteca**, ou **envelope nuclear**, constituído por duas membranas lipoproteicas. Em certos pontos da carioteca, as membranas externa e interna se fundem e formam **poros**, através dos quais ocorrem trocas de substâncias entre o núcleo e o citoplasma.

Os antigos citologistas criaram o termo **cromatina** (do grego *chromatos*, cor) para designar o conteúdo altamente corável do núcleo celular. Na época, quando o poder de resolução dos microscópios ainda era pequeno, a cromatina era considerada uma massa de material amorfo. Mais tarde verificou-se que a cromatina é, na verdade, um emaranhado de filamentos, denominados **cromossomos** (do grego *chromatos*, cor, e *soma*, corpo = corpos coráveis), constituídos por ácido desoxirribonucleico (DNA) e proteínas. Os núcleos geralmente apresentam em seu interior uma ou mais estruturas globulares denominadas nucléolos.

O **nucléolo** é constituído pela aglomeração de ribossomos em processo de formação e maturação. **Ribossomos** são grânulos constituídos por proteínas e por um tipo especial de ácido ribonucleico, o RNA ribossômico, produzido por determinados cromossomos. Tanto a cromatina quanto os nucléolos estão mergulhados em uma solução aquosa que preenche o núcleo, o **nucleoplasma**, ou cariolinfa, onde circulam íons e substâncias como ATP, nucleotídios e enzimas. (Fig. 5.2)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação esquemática de célula e do núcleo celular



EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: a MADER, S. S. **Biology**. 8. ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

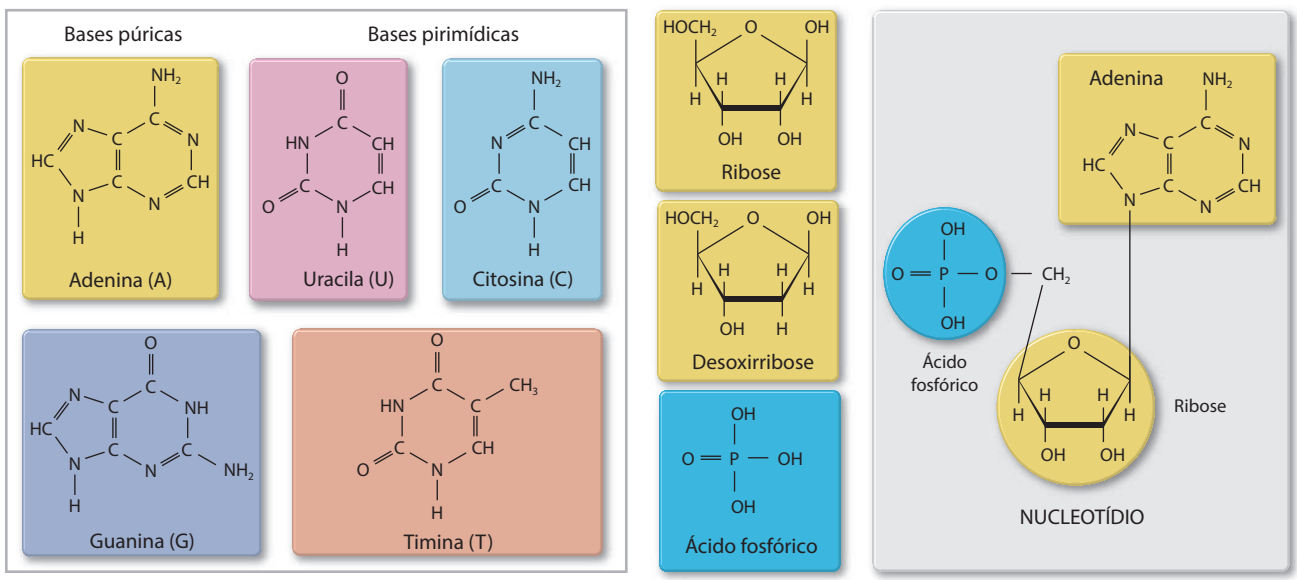
Figura 5.2. Desenho de uma célula parcialmente cortada mostrando o núcleo, envolto pela carioteca (C), na qual há diversos poros (P). O interior do núcleo é preenchido pela cromatina e um ou mais nucléolos (N). No citoplasma, podem ser vistos os centríolos (Ce) e diversas estruturas membranosas, como o retículo endoplasmático (Re), o complexo golgiense (CG) e mitocôndrias (Mt). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A composição dos ácidos nucleicos

As células apresentam dois tipos de ácidos nucleicos: **DNA** (sigla do inglês ***d**eoxyribo**n**ucleic **a**cid*, ácido desoxirribonucleico) e **RNA** (sigla do inglês ***ribo**n**ucleic** **a**cid*, ácido ribonucleico). Ambos são constituídos por três tipos de componentes: glicídios com 5 carbonos (pentoses), ácido fosfórico e bases nitrogenadas. A pentose no DNA é a **desoxirribose** e no RNA é a **ribose**. Outra diferença entre esses ácidos nucleicos refere-se às bases que eles apresentam. Dos cinco tipos de bases nitrogenadas presentes nos ácidos nucleicos, três ocorrem tanto no DNA quanto no RNA: **adenina** (**A**), **citosina** (**C**) e **guanina** (**G**). A base **timina** (**T**) ocorre apenas no DNA, enquanto a base **uracila** (**U**) ocorre apenas no RNA.

Os componentes dos ácidos nucleicos organizam-se em um trio molecular denominado **nucleotídio**. Tanto o DNA como o RNA são constituídos por nucleotídios ligados em sequência, formando cadeias polinucleotídicas. (Fig. 5.3)

Componentes dos ácidos nucleicos



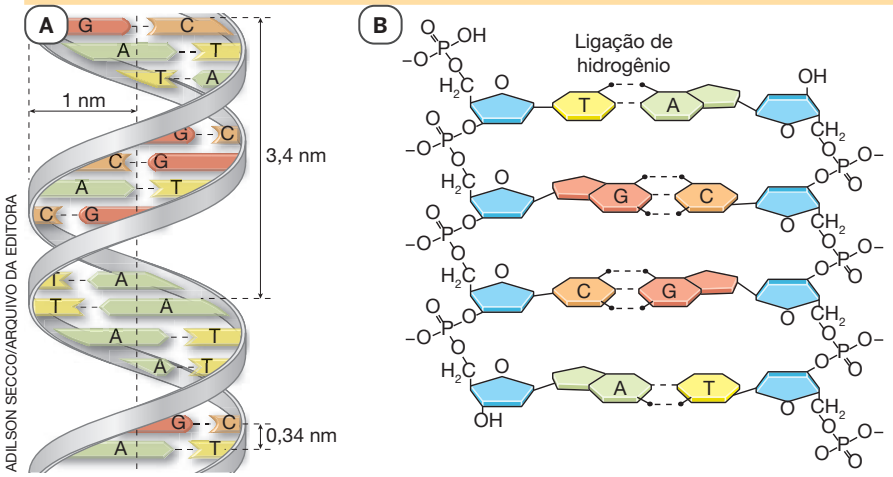
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5.3. O açúcar desoxirribose e a base nitrogenada timina ocorrem exclusivamente no DNA. O açúcar ribose e a base uracila são exclusivos do RNA. Os demais componentes ocorrem no DNA e no RNA.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As moléculas de DNA são constituídas por duas cadeias polinucleotídicas orientadas em sentido inverso uma em relação à outra, sendo por isso ditas antiparalelas. As duas cadeias enrolam-se em espiral, lembrando uma escada helicoidal. As cadeias polinucleotídicas do DNA mantêm-se unidas por ligações de hidrogênio que se estabelecem entre pares de bases específicos: a adenina emparelha-se com a timina, enquanto a guanina emparelha-se com a citosina. Por sua vez, moléculas de RNA são geralmente formadas por uma única cadeia polinucleotídica. (Fig. 5.4)

Esquemas da estrutura do DNA



Fonte: adaptada de ALBERTS, B. *et al*. **Molecular Biology of the Cell**. 6th ed. New York: Garland Science, Taylor and Francis Group, 2015.

Figura 5.4. (A) Esquema tridimensional do DNA mostrando as duas cadeias polinucleotídicas unidas pelas bases nitrogenadas (A-T e C-G) e enroladas em forma de dupla hélice. (B) Representação molecular plana das duas cadeias polinucleotídicas de um segmento de DNA mostrando os nucleotídios e as ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas das duas cadeias. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As moléculas de DNA geralmente são constituídas por milhões de nucleotídios unidos em sequência. Alguns cromossomos humanos contêm moléculas de DNA que chegam a atingir mais de 10 centímetros de comprimento, embora sejam finíssimas, com cerca de apenas 0,000002 milímetro, ou 2 nanômetros (nm) de diâmetro.

A elaboração do modelo da molécula de DNA exigiu a utilização conjunta de conhecimentos físicos, químicos e biológicos. Ao conhecer o padrão de espalhamento, ou de difração, sofrido por um feixe de raios X que incide em uma amostra cristalina de DNA, foi possível deduzir a disposição de átomos na molécula e concluir que a molécula era uma dupla hélice.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Extraindo DNA de cebola

Apresentamos aqui uma técnica simples para extrair DNA do bulbo de uma cebola. Apesar de simplificados, os procedimentos empregados são equivalentes aos utilizados em laboratórios bioquímicos.

Material

- uma cebola grande
- faca de cozinha
- 3 copos
- 1 colher de sopa e 1 colher de café
- panela de água em banho-maria (cerca de 60 °C)
- água filtrada
- sal de cozinha
- detergente de lavar louça
- álcool etílico a 95% gelado (mantido por uma noite no congelador)
- bastão fino de vidro ou de madeira
- coador de café de papel
- gelo moído

CONTINUA

Procedimentos

1. Pique a cebola em pedaços bem pequenos, com menos de 0,5 cm^2.
2. Coloque quatro colheres (de sopa) de detergente e uma colher (de café) de sal em meio copo com água, mexendo até os componentes se dissolverem completamente.
3. Coloque a cebola picada no copo com a solução de detergente e sal e leve-o ao banho-maria por cerca de 15 minutos.
4. Retire a mistura do banho-maria e resfrie-a rapidamente, colocando o copo no gelo durante cerca de 5 minutos.
5. Coe a mistura no coador de café, coletando o filtrado em um copo limpo.
6. Cuidadosamente, adicione ao filtrado cerca de meio copo de álcool gelado. Despeje o álcool fazendo-o escorrer vagarosamente pela borda do copo. Será possível observar a formação de duas fases, a superior, alcoólica, e a inferior, aquosa.
7. Mergulhe o bastão no copo e, com movimentos circulares leves, misture lentamente as fases. Formam-se fios esbranquiçados, que são nada menos que aglomerados de moléculas de DNA.

Cuidado ao manusear a faca! Fique atento e proteja as mãos.

Discussão

O papel do detergente no procedimento é desestruturar as moléculas de lipídio das membranas biológicas, desintegrando as membranas das células da cebola. O dodecil (ou lauril) sulfato de sódio, presente na fórmula do detergente, desnatura as proteínas componentes dos cromossomos.

Qual a importância dessas ações químicas para a análise do DNA?

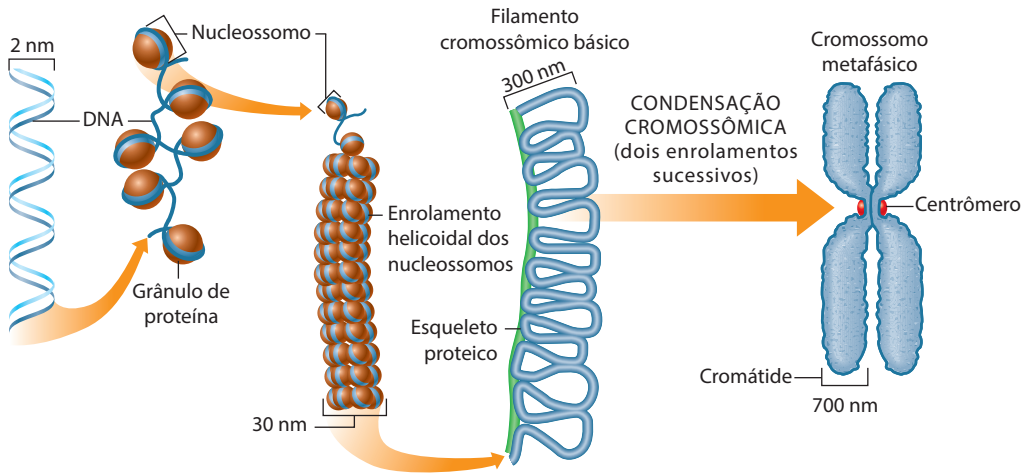
Características gerais dos cromossomos

Praticamente todas as informações para o funcionamento das células estão inscritas no DNA que constitui os cromossomos; essas informações codificadas são os **genes**. Os cromossomos de um núcleo celular diferem quanto aos tipos de genes que apresentam. O número de cromossomos no núcleo varia entre as espécies. Por exemplo, células corporais de um ser humano (*Homo sapiens*) têm 46 cromossomos no núcleo; células corporais do chimpanzé (*Pan troglodytes*) têm 48 cromossomos; células corporais da mosca *Drosophila melanogaster* têm 8 cromossomos.

Cada cromossomo de uma célula eucariótica é constituído por uma longa molécula de DNA que, a espaços regulares, dá duas voltas sobre um grânulo de proteínas. O grânulo proteico com um segmento de DNA enrolado constitui um **nucleossomo**, a unidade estrutural que se repete ao longo do filamento cromossômico.

A associação entre nucleossomos vizinhos leva o filamento cromossômico a se enrolar como uma mola helicoidal compacta, originando um fio mais grosso, com cerca de 30 nm de espessura. A esse fio estão associadas certas proteínas que fornecem sustentação esquelética ao cromossomo. A espessura do fio cromossômico associado ao esqueleto proteico é da ordem de 300 nm. Durante as divisões celulares, o cromossomo enrola-se sobre si mesmo, assumindo um estado ainda mais condensado e compacto, com cerca de 700 nm de espessura. (Fig. 5.5)

Níveis de organização do cromossomo eucariótico



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

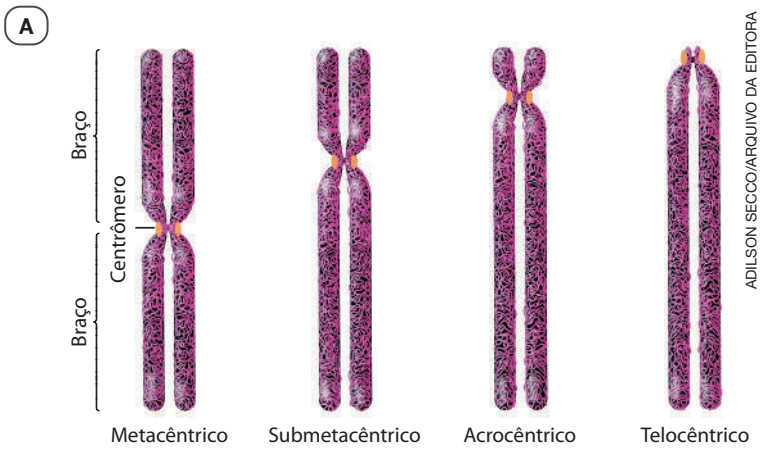
Figura 5.5. Representação esquemática dos níveis de organização de um cromossomo em seres eucarióticos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

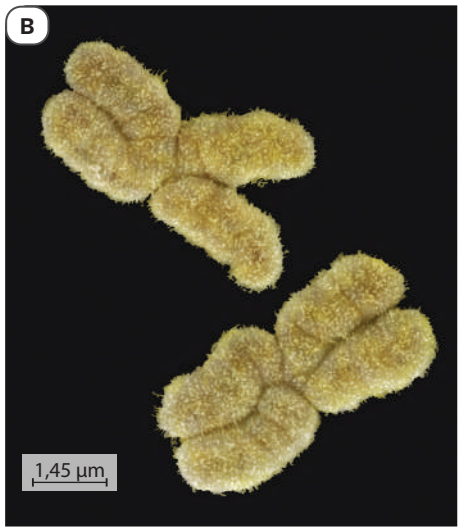
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cromátides-irmãs e centrômero

Células que não estão se dividindo estão em **interfase**, uma das fases do ciclo de vida celular. É na interfase que ocorre a duplicação dos cromossomos, preparativo para a futura divisão celular. Ao se duplicar, o filamento cromossômico origina dois filamentos cromossômicos-filhos idênticos que permanecem juntos, ligados por uma região denominada **centrômero**. Enquanto ainda estão unidos, os dois filamentos do cromossomo duplicado são denominados **cromátides-irmãs**. Em uma fase específica da divisão celular, como será visto adiante, o centrômero se divide e ocorre a separação das cromátides-irmãs, que passam a ser chamadas **cromossomos-irmãos**. (Fig. 5.6)

Fotomicrografia e esquemas de cromossomos duplicados





Fonte: adaptada de ALBERTS, B. *et al*. **Molecular Biology of the Cell**. 6th ed. New York: Garland Science, Taylor and Francis Group, 2015.

Figura 5.6. (A) Tipos de cromossomo quanto a posição do centrômero no filamento cromossômico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de dois cromossomos humanos condensados, mostrando suas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 6.900×; cores meramente ilustrativas.)

Autossomos e cromossomos sexuais

A espécie humana apresenta 24 tipos de cromossomos. Desses, 22 tipos estão presentes nas células de ambos os sexos e são denominados **autossomos**, identificados por números de 1 a 22. Os outros dois tipos cromossômicos são chamados de **cromossomos sexuais** e identificados pelas letras X e Y. Os cromossomos sexuais diferenciam as células masculinas das femininas.

Cada célula do corpo de uma pessoa, com exceção dos gametas, apresenta um par de cada tipo de autossomo (22 pares de autossomos) e um par de cromossomos sexuais, totalizando 46 cromossomos. Nas células femininas, há um par de cromossomos sexuais X, enquanto nas células masculinas, há um cromossomo sexual X e um cromossomo sexual Y.

Os gametas femininos da espécie humana, os **óvulos**, apresentam 23 cromossomos, metade do número de cromossomos das células corporais, denominadas células somáticas. O óvulo contém 22 autossomos, um de cada tipo cromossômico, e um cromossomo sexual X. Os gametas masculinos humanos, os **espermatozoides**, apresentam também 23 cromossomos, sendo 22 autossomos e um cromossomo sexual, que pode ser o X ou o Y. Aproximadamente metade dos espermatozoides produzidos por um homem apresenta o cromossomo X, enquanto a outra metade apresenta o cromossomo Y.

A fecundação de um óvulo por um espermatozoide origina a primeira célula do novo organismo, denominada **zigoto**. O zigoto humano contém 46 cromossomos: 23 provenientes do óvulo (22 autossomos e um cromossomo X) e 23 provenientes do espermatozoide (22 autossomos e um cromossomo sexual, X ou Y). O sexo do novo indivíduo é determinado pelo espermatozoide que fecunda o óvulo. Se o espermatozoide apresentar o cromossomo X, o zigoto será do sexo feminino (44 autossomos e um par de cromossomos X). Se o espermatozoide apresentar o cromossomo Y, o zigoto será do sexo masculino (44 autossomos, um cromossomo X e um cromossomo Y).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pouco antes da primeira divisão celular, ocorre a duplicação dos cromossomos do zigoto e cada célula-filha recebe réplicas dos 46 cromossomos. Assim, o zigoto e suas células-filhas terão 23 cromossomos herdados da mãe e 23 herdados do pai. Os representantes de cada par cromossômico são chamados de **cromossomos homólogos** (do grego *homoios*, igual, semelhante).

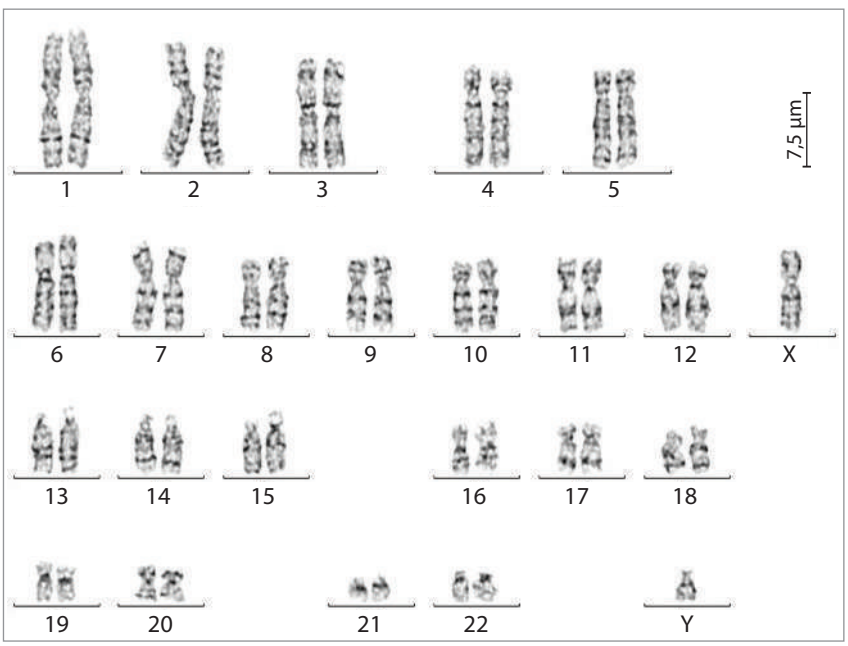
Células diploides e células haploides

O zigoto e as células que dele se originam têm pares de cromossomos homólogos, sendo por isso chamadas de células **diploides** (do grego *diplos*, duplo), ou células **2*n***. Na fase adulta do indivíduo, um tipo especial de células diploides presente nas gônadas (testículos e ovários), denominadas **células germinativas**, dividem-se por **meiose**, gerando os gametas. A meiose é um tipo especial de divisão celular em que o número de cromossomos é reduzido à metade. As células resultantes da divisão meiótica apresentam apenas um lote de cromossomos, no caso humano, 22 autossomos (um de cada tipo) e 1 cromossomo sexual. Células com apenas um lote de cromossomos são denominadas células **haploides** (do grego *haplos*, simples), ou células ***n***.

Os cromossomos de um par de homólogos são morfologicamente indistinguíveis: têm mesmo tamanho, mesma forma e genes equivalentes, localizados nas mesmas posições relativas no filamento cromossômico. Por exemplo, se em determinado local de um cromossomo houver um gene com a informação para produzir determinada proteína, em seu homólogo, no local correspondente, haverá um gene com a informação para uma proteína idêntica ou muito parecida.

O conjunto de cromossomos de uma célula constitui seu **cariótipo** (do grego *karyon*, núcleo, e *typos*, forma). Na espécie humana, como já foi dito, mulheres e homens diferem quanto aos cromossomos sexuais. O cariótipo de células femininas consiste de 22 pares de autossomos e um par de cromossomos sexuais X. O cariótipo de células masculinas consiste dos 22 pares de autossomos e de um cromossomo X e um cromossomo Y.

Alguns cromossomos humanos são facilmente identificados pelo tamanho e pela forma, mas há cromossomos morfologicamente semelhantes, indistinguíveis na análise microscópica mais básica. Entretanto, quando as preparações citológicas são submetidas a certos tratamentos especiais, os cromossomos mostram faixas transversais típicas de cada tipo de cromossomo, o que possibilita identificar cada um dos 23 pares de cromossomos do cariótipo humano. (Fig. 5.7)



PR PHILIPPE, ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 5.7. Conjunto de cromossomos de uma célula masculina humana. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 1.500×). As faixas transversais típicas de cada cromossomo são obtidas por tratamento químico especial. O padrão de faixas permite identificar cada um dos 22 pares de autossomos e os cromossomos sexuais X e Y.

Indivíduos portadores de variações no cariótipo podem ocorrer em todas as espécies. Essas variações podem ser na estrutura de um ou mais cromossomos do cariótipo (alterações estruturais), ou no número de cromossomos (alterações numéricas). Uma das alterações cromossômicas mais frequentes na espécie humana é a **trissomia do cromossomo 21**. Essa condição caracteriza a **síndrome de Down**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Jovens aprendizes e inclusão no mercado de trabalho

De acordo com o censo demográfico realizado em 2022, há cerca de trezentas mil pessoas com síndrome de Down no Brasil. Essas pessoas apresentam graus variados de comprometimento cognitivo. Algumas conseguem viver com autonomia, enquanto outras necessitam de apoio para suas necessidades.

Há políticas públicas que visam garantir o direito ao trabalho das pessoas com deficiência (PcD), o que inclui portadores da síndrome de Down e de outras alterações cromossômicas. Um exemplo é a Lei de Cotas para Pessoas com Deficiência (n. 8.213/91), que determina que as empresas com 100 funcionários ou mais destinem uma porcentagem de suas vagas para PcD.

Outra iniciativa importante é a chamada Lei do Jovem Aprendiz (n. 10.097/2000), criada para incentivar a entrada de jovens entre 14 e 24 anos no mercado de trabalho. Voltada para toda a população nessa faixa etária, a Lei do Jovem Aprendiz incentiva a qualificação profissional dos jovens sem comprometer seus estudos. Traz também determinações específicas para a introdução de PcD no mercado de trabalho.

Forme um grupo de colegas para pesquisar sobre as duas leis comentadas no texto e para discutir as seguintes questões:

1. Essas leis ajudam jovens e pessoas com deficiência a entrar no mercado de trabalho?
2. Em muitas cidades, farmácias, mercados e outras empresas contratam PcD e jovens aprendizes. Por que é importante a criação de leis de trabalho voltadas a esses grupos específicos?

2. A divisão celular: mitose

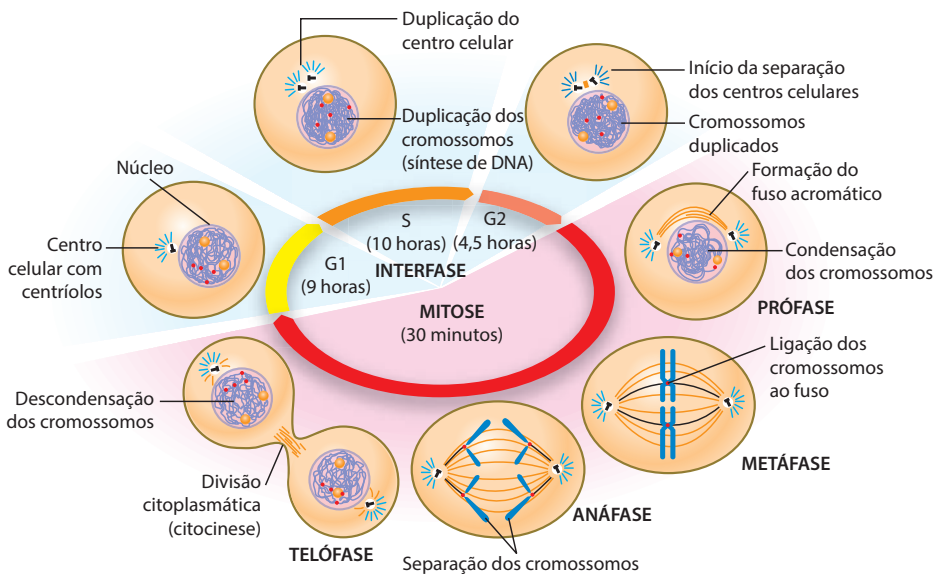
Neste momento milhões de células de seu corpo estão se reproduzindo. Na pele há células que se multiplicam continuamente, substituindo as camadas celulares mais externas, que vão morrendo e se soltando. No interior de certos ossos, células em contínua multiplicação originam os glóbulos brancos e as hemácias do sangue. Cabelos e unhas crescem pela multiplicação de células presentes no folículo piloso e na base ungueal, respectivamente.

O primeiro passo na reprodução de uma célula é a duplicação de seus cromossomos, ou seja, de cada uma das moléculas de DNA presentes no núcleo celular. Depois de duplicados, os cromossomos se condensam e se separam, distribuindo-se em seguida equitativamente para as células-filhas.

O ciclo celular

Ciclo celular é o período entre o surgimento de uma célula por divisão da célula-mãe até o momento em que a própria célula se divide. O ciclo celular pode ser dividido em duas grandes etapas: a interfase e a divisão celular. (Fig. 5.8)

Representação esquemática do ciclo celular



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

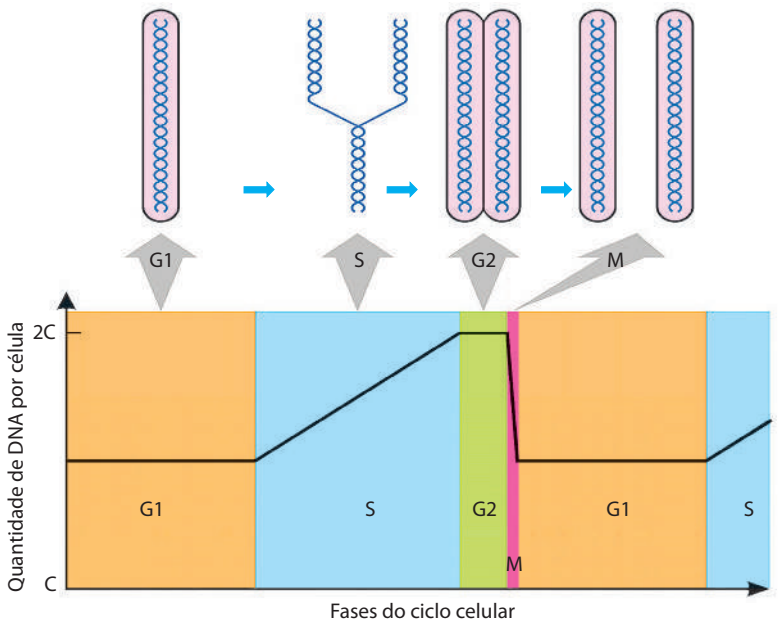
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.8. Note, no círculo central, que as áreas de cada fase do ciclo celular não correspondem aos respectivos tempos de duração mostrados entre parênteses. Em um ciclo celular de 24 horas, a mitose representa, em geral, pouco mais de 30 minutos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como mencionado anteriormente, **interfase** é o período compreendido entre duas divisões celulares consecutivas. A divisão celular, por sua vez, compreende dois processos: a **mitose**, quando ocorre a duplicação do núcleo, e a **citocinese**, que é a divisão do citoplasma. A interfase consiste de três subfases: **G1**, **S** e **G2**. As siglas G1 e G2 vêm da palavra inglesa *gap* (intervalo) e designam os períodos anterior (G1) e posterior (G2) à duplicação cromossômica. A sigla S vem do inglês *synthesis*, em referência à fase em que ocorre a síntese de DNA e a duplicação dos cromossomos. (Fig. 5.9)

Variação da quantidade de DNA no ciclo celular



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de ALBERTS, B. *et al*. **Molecular Biology of the Cell**. 6th ed. New York: Garland Science, Taylor and Francis Group, 2015.

Figura 5.9. A parte superior do esquema mostra a relação entre a quantidade de DNA e os cromossomos nas diversas fases do ciclo celular. Em G1, cada cromossomo apresenta apenas uma molécula de DNA; em S, ocorre duplicação do DNA; em G2, o cromossomo está constituído por duas cromátides-irmãs, que contêm moléculas de DNA idênticas. As cromátides-irmãs separam-se na mitose (M). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) Embaixo, gráfico da variação da quantidade de DNA em uma célula durante o ciclo celular.

Fases da mitose

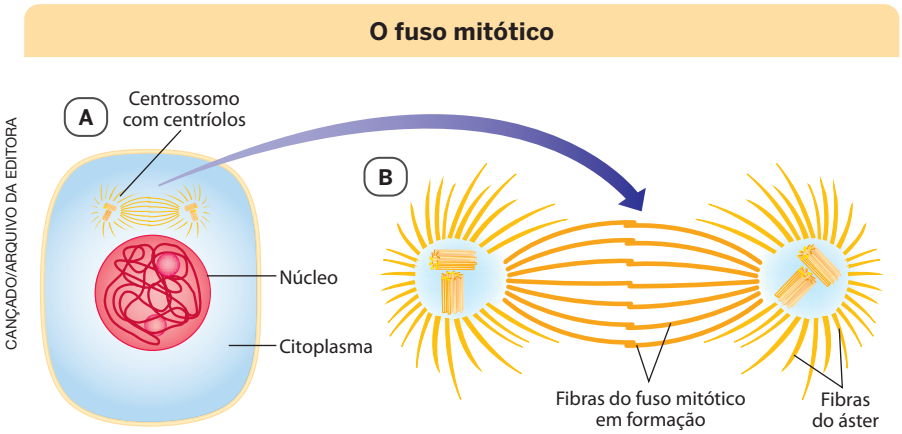
O termo **mitose** deriva da palavra grega *mitos* (filamento), em alusão ao fato de os filamentos cromossômicos tornarem-se mais espessos e individualizados durante a divisão celular. Ao longo da mitose, ocorrem eventos marcantes, escolhidos pelos cientistas para dividir o processo em quatro fases: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

Prófase

A **prófase** (do grego *pro*, antes, em frente) caracteriza-se pela condensação dos cromossomos, que se tornam mais curtos e grossos, podendo ser visualizados individualmente. Ao se condensar, o cromossomo torna-se inativo devido à compactação da estrutura cromossômica, que impede as moléculas de DNA de produzirem RNA. A inativação cromossômica explica o desaparecimento dos nucléolos na prófase. Ao se condensar, a região cromossômica que organiza o nucléolo deixa de produzir RNA ribossômico, o principal componente nucleolar.

Outro evento característico da prófase é a formação do **fuso mitótico**, também chamado de **fuso acromático**. O fuso mitótico constitui-se de um conjunto de fibras formadas por microtúbulos, que se organizam a partir de regiões especiais do citoplasma, denominadas **centrossomos**, e se posicionam orientadas de um polo a outro da célula. A função das fibras do fuso é capturar e distribuir os cromossomos-irmãos para as duas células-filhas que se formarão. (Fig. 5.10)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

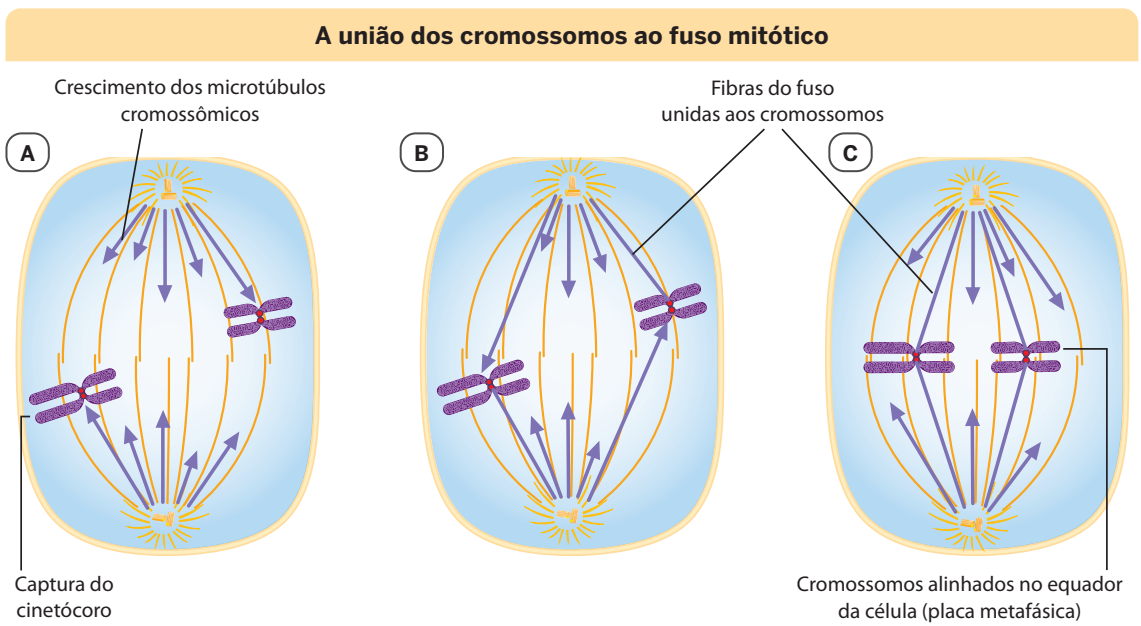
Figura 5.10. (A) Representação esquemática de uma célula animal em início de prófase, quando se inicia a formação do fuso mitótico. (B) Organização geral do fuso em maior aumento, mostrando as fibras que vão de um polo a outro e as fibras do áster, ao redor dos centrossomos, onde se localizam os centríolos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas).

O fim da prófase é marcado pela fragmentação da carioteca em pequenas bolsas membranosas. Os cromossomos, já em grau avançado de condensação, espalham-se pelo citoplasma.

Metáfase

A **metáfase** (do grego *meta*, meio) é a fase da divisão que sucede a prófase. Sua principal característica é o posicionamento dos cromossomos na região equatorial da célula, entre as fibras do fuso acromático. Microtúbulos provenientes dos centros celulares alongam-se e chegam aos cromossomos, capturando-os pelo centrômero. Quando o centrômero de uma cromátide é capturado por microtúbulos de um polo celular, o centrômero da cromátide-irmã volta-se para o polo oposto, sendo então capturado por microtúbulos provenientes desse polo. Dessa forma, cada cromátide de um cromossomo prende-se a polos celulares opostos.

Os cromossomos, tensionados pelas fibras de polos opostos do fuso, estacionam na região mediana da célula, onde constituem o que os citologistas chamam de **placa metafásica**, ou **placa equatorial**. A denominação de metáfase para essa fase da mitose refere-se ao alinhamento cromossômico na região mediana da célula. A metáfase termina quando os centrômeros se dividem e as cromátides-irmãs se separam, passando a ser chamadas de **cromossomos-irmãos**. (Fig. 5.11)



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.11. (A) Captura dos cromossomos por microtúbulos de um dos polos do fuso. (B) Ligação de microtúbulos do polo oposto ao centrômero da cromátide-irmã. (C) Alinhamento dos cromossomos com formação da placa metafásica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Anáfase

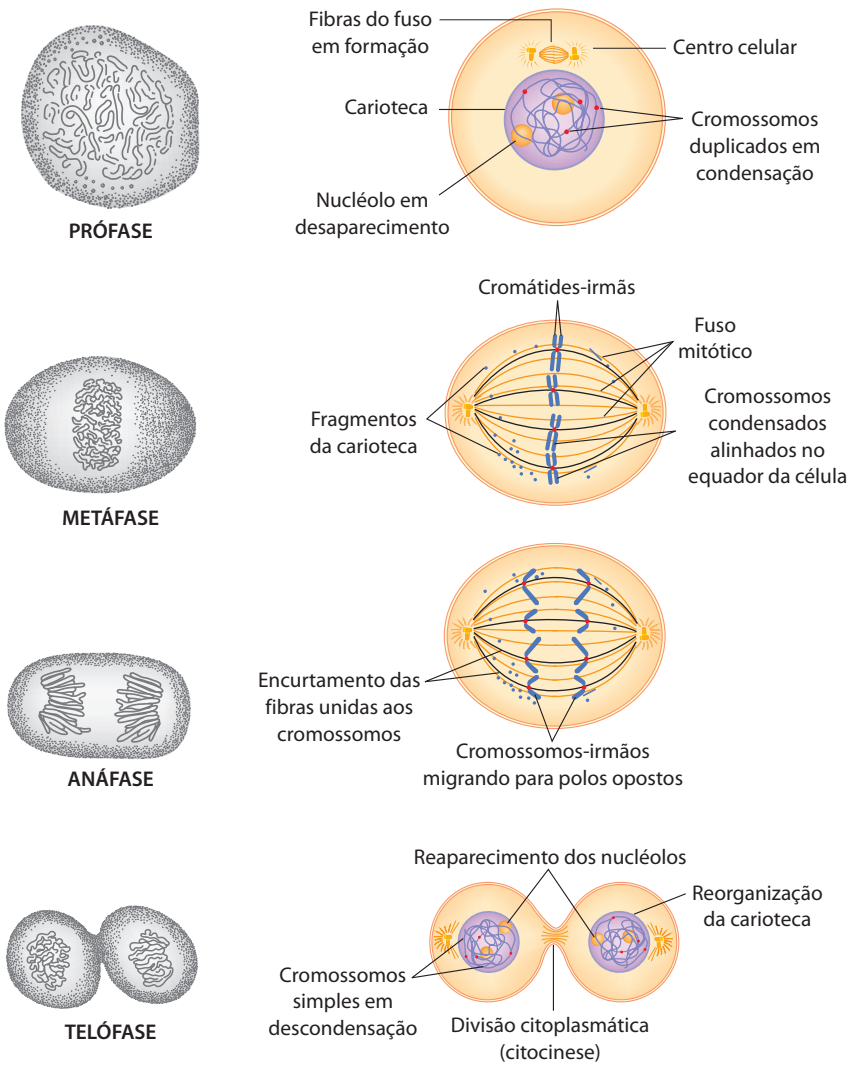
Na **anáfase** (do grego *ana*, separação) ocorre a separação dos cromossomos-irmãos para polos opostos da célula. A migração dos cromossomos ocorre devido ao encurtamento das fibras do fuso ligadas aos centrômeros, que puxam os cromossomos-irmãos em sentidos opostos. A anáfase se completa quando os cromossomos chegam aos polos da célula.

Telófase

A **telófase** (do grego *telos*, fim) é a última fase da mitose. Os cromossomos, que chegaram aos polos celulares, se descondensam, os nucléolos reaparecem e uma nova carioteca organiza-se ao redor de cada conjunto cromossômico, reconstituindo dois novos núcleos. Estes apresentam o mesmo número e os mesmos tipos de cromossomos presentes na célula-mãe. Durante a reorganização dos núcleos-filhos também ocorre desagregação dos microtúbulos do fuso acromático. No fim da mitose, a célula apresenta dois núcleos idênticos dos pontos de vista cromossômico e genético.

Ocorre, então, a **citocinese**, que consiste na divisão do citoplasma, com a formação das duas células-filhas. (Fig. 5.12)

A união dos cromossomos ao fuso mitótico



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.12. De cima para baixo, representação esquemática da sequência de fases da mitose. Os esquemas à direita representam fenômenos descobertos apenas com o emprego da microscopia eletrônica e de técnicas especiais de coloração. À esquerda são reproduzidos os desenhos publicados em 1882 pelo citologista alemão Walther Flemming (1843-1905), considerado o descobridor da mitose. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: CANÇADO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Cromossomos em ação: duplicação e transcrição do DNA

A síntese do DNA: duplicação gênica

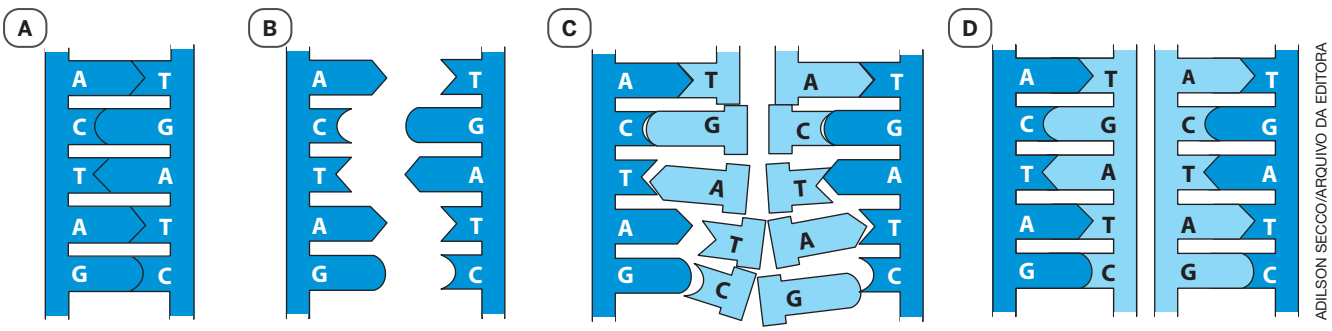
Como vimos anteriormente, uma molécula de DNA é constituída por duas cadeias de nucleotídios que se mantêm unidas por ligações de hidrogênio (ou pontes de hidrogênio) entre as bases nitrogenadas das duas cadeias polinucleotídicas. Essas ligações ocorrem sempre entre pares de bases específicos: uma base adenina de uma das cadeias se liga a uma base timina (A ⇔ T) da outra cadeia, enquanto a base citosina se liga à base guanina (C ⇔ G). As duas cadeias de um DNA são, portanto, complementares. Por exemplo, se a sequência de bases em uma das cadeias for ATTGCATGCGCATTACG, a região correspondente da cadeia complementar apresentará a sequência TAACGTACGCGTAATGC.

Replicação semiconservativa do DNA

O modelo para a molécula de DNA, proposto originalmente em 1953 pelo pesquisador estadunidense James Watson (1928-) e pelo pesquisador britânico Francis Crick (1916-2004), foi bem aceito pela comunidade científica porque, além de ser coerente com as propriedades físicas e químicas da molécula, explicava a duplicação do DNA. De acordo com o modelo de Watson e Crick, as duas cadeias de uma molécula de DNA separam-se no momento da duplicação e cada uma delas orienta a formação de uma cadeia complementar. A duplicação do DNA é denominada **semiconservativa** porque cada molécula conserva uma das cadeias originais da "molécula-mãe" e tem uma cadeia nova, complementar à antiga que serviu de molde.

O processo de duplicação do DNA é catalisado por diversas enzimas. A enzima **helicase**, por exemplo, promove o desemparelhamento das duas cadeias do DNA, enquanto as **polimerases do DNA** promovem o encaixe de desoxirribonucleotídios livres às cadeias separadas, seguindo a regra de emparelhamento: A com T e C com G. Os desoxirribonucleotídios que se encaixam vão se unindo, originando uma nova cadeia polinucleotídica complementar à que serve de molde. Ao final do processo de duplicação, haverá duas moléculas de DNA idênticas, cada uma com uma cadeia da molécula original e uma cadeia nova recém-sintetizada. (Fig. 5.13)

A duplicação semiconservativa do DNA



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.13. Representação esquemática da duplicação do DNA. (A) DNA intacto que será duplicado; (B) Separação das cadeias polinucleotídicas; (C) União dos nucleotídios às cadeias do DNA; (D) Moléculas formadas com metade de uma cadeia antiga e uma cadeia nova. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

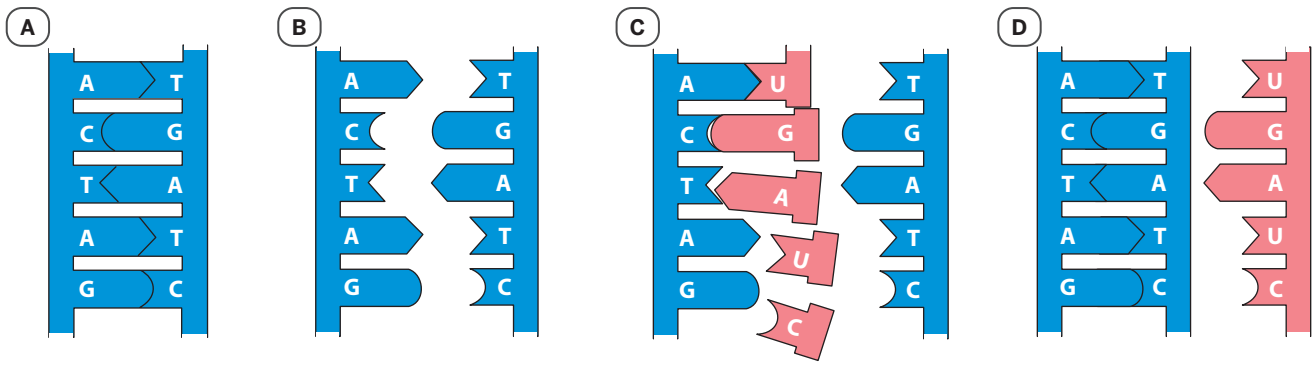
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A síntese de RNA: transcrição gênica

Muitas das informações gênicas codificadas em moléculas de DNA são traduzidas em proteínas, que controlam praticamente todos os processos celulares. A síntese das proteínas é mediada por moléculas de RNA (ácido ribonucleico), para as quais as informações do DNA são transcritas. As moléculas de DNA orientam a síntese de RNA em um processo denominado **transcrição gênica**.

Na transcrição gênica, a sequência de bases do DNA serve de molde para a síntese do RNA, processo catalisado pela enzima **polimerase do RNA**. Essa enzima atua na separação das duas cadeias do segmento do DNA sendo transcrito e na união entre os ribonucleotídios emparelhados a uma das cadeias do DNA, que serve de molde para o RNA; a outra cadeia do DNA não atua na transcrição. (Fig. 5.14)

A transcrição gênica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.14. Representação esquemática da síntese de RNA a partir do DNA. A sequência de bases nitrogenadas do RNA reflete fielmente a sequência de bases da cadeia de DNA que serviu de molde. Por exemplo, uma cadeia de DNA formada pela sequência de bases TAGGCTAATGCTCGTA produz um RNA com sequência de bases AUCCGAUUACGAGCAU. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

4. A tradução gênica: síntese de proteínas

A função primordial das moléculas de RNA é comandar a síntese de proteínas celulares. Proteínas são formadas por **polipeptídios** que, como já mencionado, são cadeias de aminoácidos. Nos seres vivos há vinte tipos de aminoácidos que podem formar proteínas. Na síntese de proteínas participam três tipos de RNA: o RNA mensageiro, o RNA transportador e o RNA ribossômico.

RNA mensageiro: o portador da instrução genética

Os **RNA mensageiros** (**RNAm** ou **mRNA**) são os portadores das instruções codificadas para a síntese das proteínas. É a sequência de nucleotídios de um RNAm que determina o número, os tipos e a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica que será formada. Essa informação, por sua vez, está originalmente codificada na sequência de nucleotídios do DNA responsável pela síntese do RNA mensageiro.

O sistema de codificação genética dos seres vivos é denominado **código genético**. Nessa codificação, cada trinca de nucleotídios do RNA mensageiro, denominada **códon**, corresponde a um aminoácido na proteína. Combinados três a três, os quatro tipos de bases nitrogenadas dos ribonucleotídios (A, G, C e U) podem formar 64 trincas, ou códons diferentes. Esses códons codificam os 20 tipos de aminoácidos que entram na composição das proteínas. Certos aminoácidos são codificados por mais de um códon (seriam como sinônimos; confira na tabela mais adiante). Há também três trincas de bases que não correspondem a nenhum aminoácido e sua função é pontuar a mensagem genética, indicando o fim da mensagem para a codificação de um polipeptídio. (Tab. 5.1)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tabela 5.1 Código genético

Primeira base do códon	Segunda base do códon: U		Segunda base do códon: C		Segunda base do códon: A		Segunda base do códon: G		Terceira base do códon
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	pare*	UGA	pare*	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	pare*	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Tabela 5.1. As letras da coluna azul correspondem às bases que ocupam a primeira posição na trinca de bases do códon. As letras da linha superior, vermelha, correspondem às bases que ocupam a segunda posição na trinca. As letras da coluna verde correspondem às bases que ocupam a terceira posição na trinca. Apenas dois aminoácidos – a metionina e o triptofano – são codificados por uma única trinca de bases; para todos os outros aminoácidos, há códons sinônimos. Por isso, os geneticistas costumam dizer que o código genético é "degenerado". Três trincas sem sentido (UAA, UAG e UGA), chamadas códons "pare", sinalizam o fim da mensagem genética.

Abreviatura dos aminoácidos:
Phe = fenilalanina; Leu = leucina;
Ile = isoleucina; Met = metionina;
Val = valina; Ser = serina;
Pro = prolina; Thr = treonina;
Ala = alanina; Tyr = tirosina;
His = histidina; Gln = glutamina;
Asn = aspargina; Lys = lisina;
Asp = ácido aspártico;
Glu = ácido glutâmico;
Cys = cisteína; Trp = triptofano;
Arg = arginina; Gly = glicina.
A palavra *pare* corresponde aos códons de parada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O código genético é o mesmo em praticamente todos os seres vivos, o que constitui uma evidência do parentesco evolutivo entre as diversas espécies biológicas. A universalidade do código genético sugere que ele foi estabelecido antes da grande diversificação pela qual passou a vida na Terra no curso da evolução. Um sistema semelhante de codificação devia estar presente no ser vivo ancestral de todas as espécies hoje existentes.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Façam seus códigos

A ideia de transmitir informações codificadas é atualmente bem compreendida pelo público em geral, haja vista o alto grau de informatização das sociedades contemporâneas. Nesta atividade a proposta é concretizar a codificação genética, estabelecendo um sistema em que as letras do alfabeto correspondam ao código genético utilizado pelos seres vivos, com trincas (códons) formadas pela sequência das bases adenina, uracila, citosina e guanina (AAA, AAU, AUG etc.).

Nossa sugestão é que você e alguns colegas formem um grupo para estabelecerem seu próprio sistema de codificação. Por exemplo, pode-se definir que AAA signifique a letra ***a*** do alfabeto, que AAC corresponda à letra ***b***, e assim por diante. Alguns códons podem ter funções de pontuação (pontos, vírgula etc.), como também ocorre na codificação genética. Uma vez elaborada a tabela completa de codificação, os membros do grupo podem trocar mensagens codificadas, decifradas segundo os princípios previamente definidos. Escreva um texto objetivo em seu caderno justificando por que é importante que o código seja "universal" entre todos os estudantes do grupo. Se possível, tente estabelecer códigos compartilhados também por todos os grupos da classe.

RNA transportador: o captador dos aminoácidos

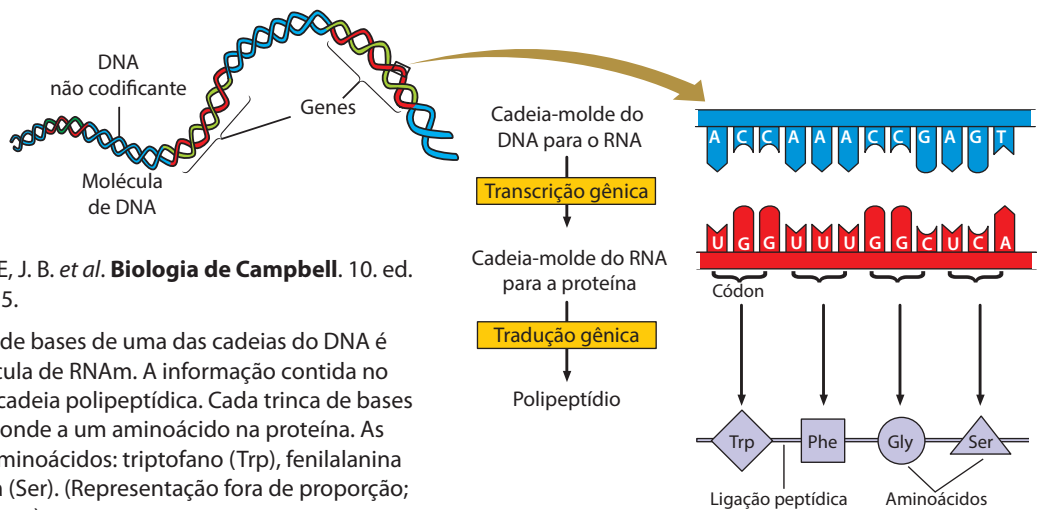
Os RNA transportadores (RNAt) são moléculas relativamente pequenas em relação aos outros tipos de RNA. Cada RNAt apresenta cerca de 75 a 90 ribonucleotídios. Uma trinca especial de bases nitrogenadas da molécula de RNAt é capaz de se emparelhar a um códon complementar no RNAm. Por isso essa trinca é denominada **anticódon**. O anticódon está relacionado ao aminoácido com o qual o RNAt é capaz de se ligar e transportar. Por exemplo, moléculas de RNAt com anticódon AAA ou AAG ligam-se sempre ao aminoácido fenilalanina. Moléculas de RNAt com anticódons CCA, CCG, CCU ou CCC ligam-se à glicina. A função das moléculas de RNAt é capturar aminoácidos livres na célula e ordená-los sobre moléculas de RNAm, de acordo com a sequência de códons que este apresenta.

RNA ribossômico: constituinte dos ribossomos

O processo de acoplamento entre um RNAm e os RNAt que transportam os aminoácidos ocorre no ribossomo, estrutura constituída por RNA ribossômico e por diversos tipos de proteína.

A síntese da cadeia polipeptídica ocorre no ribossomo e consiste na união de aminoácidos de acordo com a sequência de códons do RNAm. Essa sequência é determinada pela sequência de bases do DNA, que foi transcrita para o RNAm. A síntese de proteínas a partir das informações codificadas no RNAm constitui a **tradução gênica**, processo em que a informação originalmente codificada no DNA é traduzida na sequência de aminoácidos da proteína. (Fig. 5.15)

Transcrição e tradução da informação genética



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

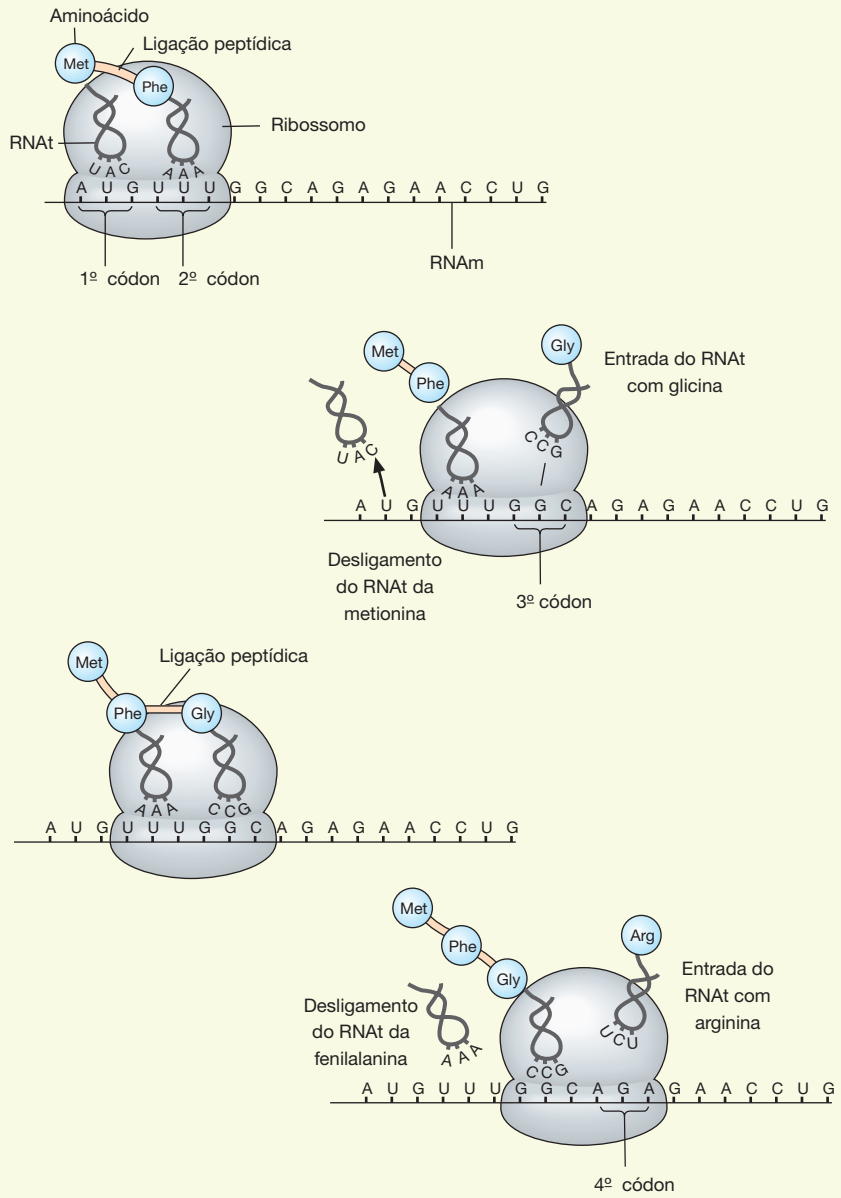
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 5.15. A sequência de bases de uma das cadeias do DNA é transcrita para uma molécula de RNAm. A informação contida no RNA é traduzida em uma cadeia polipeptídica. Cada trinca de bases no RNAm (códon) corresponde a um aminoácido na proteína. As abreviaturas indicam os aminoácidos: triptofano (Trp), fenilalanina (Phe), glicina (Gly) e serina (Ser). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

No processo de tradução gênica, um ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm, deslocando-se sobre ele em direção à outra extremidade. À medida que o deslocamento ocorre, os RNAt vão trazendo os aminoácidos a serem encaixados, na sequência definida pela ordem dos códons do RNAm. Assim, uma informação codificada na sequência de bases do RNAm vai sendo traduzida em uma sequência específica de aminoácidos na proteína. (Fig. 5.16)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estágios da tradução gênica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. **Campbell Biology**. 5. ed. Menlo Park, CA: Benjamin Cummings, 1999.

Figura 5.16. De cima para baixo, representação dos estágios sucessivos do encadeamento dos aminoácidos para formar a proteína. A sequência de códons do RNAm determina a ordem em que os aminoácidos se unem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A síntese de uma proteína termina quando o ribossomo encontra um **códon de parada**. Esses códons especiais não estão associados a RNA transportadores, o que leva à separação do ribossomo, do RNAm e da cadeia polipeptídica formada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

SAÚDE | CIÊNCIA E TECNOLOGIA | ODS 3

RNA mensageiro, ciência e saúde

Durante a pandemia da covid-19, o mundo testemunhou a queda das infecções pelo vírus SARS-CoV-2 graças à aplicação de vacinas. Uma das vacinas desenvolvidas utilizam como agente imunizador moléculas de RNA mensageiro (RNAm).

Pesquisas envolvendo a utilização de RNAm ganharam destaque também no desenvolvimento de outros tipos de tratamento, como no combate ao câncer. Leia a notícia a seguir sobre alguns usos dessa tecnologia e como ela pode ser promissora no campo da saúde pública.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

O uso de RNA mensageiro em tratamentos é um campo em expansão na ciência

O uso de RNA mensageiro na ciência representou um dos maiores sinais de esperança contra a covid-19, já que a tecnologia foi usada na produção de algumas vacinas. Apesar de já ser estudada há décadas, a aplicação dessa tecnologia só teve repercussão mundial nesse cenário pandêmico. Desde então, novos estudos envolvendo o uso de RNA mensageiro foram e estão sendo feitos para produzir vacinas e tratamentos contra diversos tipos de doenças.

De acordo com João Agostinho Machado Neto, professor do Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) da Universidade de São Paulo, o RNA mensageiro — ou mRNA — é uma molécula de suma importância no processo de expressão gênica. "O RNA mensageiro funciona como intermediário entre o DNA, que contém as informações, as instruções genéticas e as proteínas, que é quem desempenha uma variedade de funções do nosso organismo", comenta.

O docente explica que a compreensão do funcionamento do RNA mensageiro ajudou a ciência a explicar como o fluxo da informação genética funciona e como as informações contidas no DNA são transmitidas e traduzidas em características de um indivíduo, seja no contexto da saúde ou de doenças. Segundo ele, um processo importante do ácido nucleico durante as pesquisas é a sua etapa de transcrição — mecanismo pelo qual a informação contida no DNA é transmitida. [...]

"O RNA mensageiro tem se mostrado uma ferramenta promissora e versátil para o desenvolvimento de vacinas e outros tratamentos por causa da sua capacidade única de instruir as células a produzirem proteínas específicas. Esse sucesso se deve, em parte, pela facilidade e rapidez de se produzir uma molécula de RNA mensageiro para os alvos de interesse", afirma.

Apesar da sua repercussão no uso de vacinas, o professor conta que sua função na ciência vai muito além disso, devido à sua versatilidade. Dentre as suas outras possíveis aplicações, está o uso dessa tecnologia em terapias gênicas, nas quais o RNA mensageiro é modificado para corrigir mutações genéticas ou para codificar proteínas terapêuticas específicas e estimular a sua produção. [...]

Na oncologia, o docente explica que há estudos sobre maneiras de usar o RNA mensageiro para induzir células do sistema imunológico a reconhecer e atacar as células cancerosas. Dessa forma, o mRNA ficaria responsável por codificar proteínas específicas [...], com potencial de inibir o crescimento tumoral ou induzir a morte das células cancerosas. [...]

CALDAS, D. O uso de RNA mensageiro em tratamentos é um campo em expansão na ciência. **Jornal da USP**, São Paulo, 15 maio 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/radio-usp/o-uso-de-rna-mensageiro-em-tratamentos-e-um-campo-em-expansao-na-ciencia/. Acesso em: 14 jun. 2024.

Destaque os aspectos que achou mais interessantes no texto apresentado, se possível relacionando-os aos assuntos estudados no capítulo.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.c Cromossomos homólogos são aqueles que
a. diferem entre os sexos.
b. estão presentes tanto em machos quanto em fêmeas.
c. apresentam genes equivalentes, localizados nas mesmas posições relativas.
d. distinguem células somáticas de gametas.

2. 2.c O evento denominado fase S da interfase é definido pelo(a)
a. condensação dos cromossomos.
b. desaparecimento dos nucléolos.
c. duplicação do DNA cromossômico.
d. síntese de RNA ribossômico.

Relacione cada uma das fases do ciclo celular, listadas a seguir, a um evento característico, apresentado nas frases 3 a 9.
a. anáfase
b. fase S da interfase
c. metáfase
d. prófase
e. telófase

3. 3.e Um dos eventos típicos da (■) é a reconstituição das cariotecas, com formação dos núcleos-filhos.

4. 4.d A (■) tem início com a condensação dos cromossomos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. O evento que caracteriza a (■) da mitose é a separação das cromátides-irmãs para polos celulares opostos.
5.a

6. O desaparecimento dos nucléolos ocorre na (■).
6.d

7. A placa equatorial, em que os cromossomos estão alinhados na região mediana da célula, é característica da (■).
7.c

8. O que caracteriza a (■) é a duplicação do DNA dos cromossomos.
8.b

9. Os nucléolos, que desaparecem no início da mitose, reaparecem na (■).
9.e

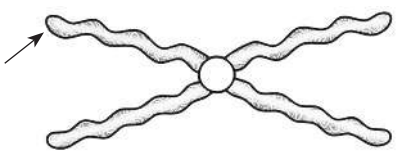
10. O cariótipo humano normal apresenta
10.b
a. 23 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
b. 22 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
c. 45 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
d. 44 pares de autossomos e 2 pares de cromossomos sexuais.

11. Um pesquisador descobriu que a sequência de bases de um trecho de uma molécula de DNA é ATTACGAGGTACATTCG. Qual será a sequência de bases na cadeia complementar no mesmo trecho?
11.c
a. ATTACGAGGTACATTCG.
b. GCCGTAGAACGTGCCTA.
c. TAATGCTCCATGTAAGC.
d. Não pode ser determinada.

Questões de vestibulares e do Enem

12. (UFRGS-RS) O desenho abaixo representa um cromossomo da espécie humana.
12.a

OSVALDO SEQUETIN/ ARQUIVO DA EDITORA



(Esquema simplificado.)

Como se chama a região indicada pela seta? De que substância ela é formada?
a. cromátide – DNA.
b. centrômero – RNA.
c. cromátide – RNA.
d. cromossomos – RNA.
e. centrômero – DNA.

13. (Fuvest-SP) No processo de divisão celular por mitose, chamamos de célula-mãe aquela que entra em divisão e de células-filhas as que se formam como resultado do processo. Ao final da mitose de uma célula, têm-se
13.a
a. duas células, cada uma portadora de metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
b. duas células, uma delas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra célula com material genético recém-sintetizado.
c. três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas com metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
d. três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas contendo material genético recém-sintetizado.
e. quatro células, duas com material genético recém-sintetizado e duas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora.

14. (UFPA) Em 1953, Watson e Crick decifraram que a estrutura da molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico) é uma dupla-hélice, responsável pelas características dos organismos. Com os conhecimentos atuais, julgue as afirmativas sobre a molécula de DNA.
14.d
I. Na autoduplicação da molécula de DNA, cada filamento original serve de molde para a síntese de um novo filamento (duplicação semiconservativa).
II. A base nitrogenada adenina emparelha-se com a citosina, enquanto a timina emparelha-se com a guanina.
III. As bases nitrogenadas dos dois filamentos estão unidas por ligações denominadas pontes de hidrogênio.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)
a. I somente.
b. II somente.
c. I e II.
d. I e III.
e. II e III.

15. (Enem-MEC) Um fabricante afirma que um produto disponível comercialmente possui DNA vegetal, elemento que proporcionaria melhor hidratação dos cabelos.
15.a

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Sobre as características químicas dessa molécula essencial à vida, é correto afirmar que o DNA
a. de qualquer espécie serviria, já que tem a mesma composição.
b. de origem vegetal é diferente quimicamente dos demais, pois possui clorofila.
c. das bactérias poderia causar mutações no couro cabeludo.
d. dos animais se encontra sempre enovelado e é de difícil absorção.
e. de características básicas assegura sua eficiência hidratante.

16. (UFC-CE) Sobre os diferentes papéis dos ácidos nucleicos na síntese de proteínas, podemos afirmar corretamente que
16.a
a. a sequência de bases no DNA determina a sequência de aminoácidos na cadeia polipeptídica.
b. a posição dos aminoácidos na cadeia polipeptídica depende da sequência de bases do RNAt.
c. o transporte de aminoácidos para o local da síntese é feito pelo RNAm.
d. a sequência de bases do RNAr é transcrita a partir do código do RNAm.
e. a extremidade livre dos diversos RNAt tem sequências de bases diferentes.

17. (UFSCar-SP) Um pesquisador, interessado em produzir em tubo de ensaio uma proteína nas mesmas condições em que essa síntese ocorre nas células, utilizou ribossomos de células de rato, RNA mensageiro de células de macaco, RNA transportador de células de coelho e aminoácidos ativos de células de sapo. A proteína produzida teria uma sequência de aminoácidos idêntica à do
17.d
a. rato.
b. sapo.
c. coelho.
d. macaco.
e. macaco e do rato.

18. (UFRJ) Num laboratório, o núcleo de uma célula da espécie A foi retirado e implantado numa célula-ovo da espécie B, cujo núcleo havia sido previamente removido. Caso essa célula-ovo se desenvolvesse até a formação de um novo indivíduo, ele teria as características da espécie A ou da espécie B? Justifique sua resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 6

O metabolismo energético das células vivas

BARBARAJO/SHUTTERSTOCK

Diversos povos, em diferentes lugares e épocas, desenvolveram suas próprias receitas de pão. Esse alimento, tão simbólico e popular, requer em seu preparo o processo de fermentação realizado por leveduras.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Este capítulo estuda uma atividade corriqueira na natureza, executada pelas plantas, pelas algas e por certas bactérias: a fotossíntese. Trata-se de um processo bioquímico que leva à produção de matéria orgânica, na qual fica armazenada parte da energia originalmente proveniente da luz solar. A fotossíntese é responsável pelo fornecimento de energia metabólica à quase totalidade dos seres vivos. Outro assunto tratado no capítulo é a quimiossíntese, processo de obtenção de energia atualmente realizado apenas por certas bactérias e arqueas. A fonte de energia para a quimiossíntese são reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

O capítulo trata também da fermentação e da respiração aeróbica, processos de obtenção de energia a partir da decomposição de moléculas orgânicas. A fermentação é um processo utilizado por certos fungos e bactérias e que não utiliza gás oxigênio (O_2), sendo por isso denominado anaeróbico. A respiração aeróbica, por sua vez, é um processo aeróbico (que necessita do O_2), utilizado pela maioria dos seres vivos atuais para suprir a energia demandada por seus processos metabólicos. Graças ao poder oxidante do gás oxigênio, é possível extrair com alta eficiência a energia contida em substâncias orgânicas. Os cientistas acreditam que o processo fermentativo surgiu antes da respiração aeróbica, bilhões de anos atrás.

A eficiência dos seres vivos em lidar com a energia surpreende cientistas e tecnólogos, que alimentam a esperança de um dia poder construir máquinas capazes de gerenciar a energia com eficiência próxima à do sistema vivo.

1. Energia para a vida

A fonte primária de energia utilizada pela maioria dos seres vivos é a luz solar captada na fotossíntese. Os seres fotossintetizantes – plantas, algas e certas bactérias – captam a energia luminosa do Sol e a partir dela produzem glicídios, um grupo de substâncias orgânicas capazes de armazenar grandes quantidades de energia potencial química em suas moléculas.

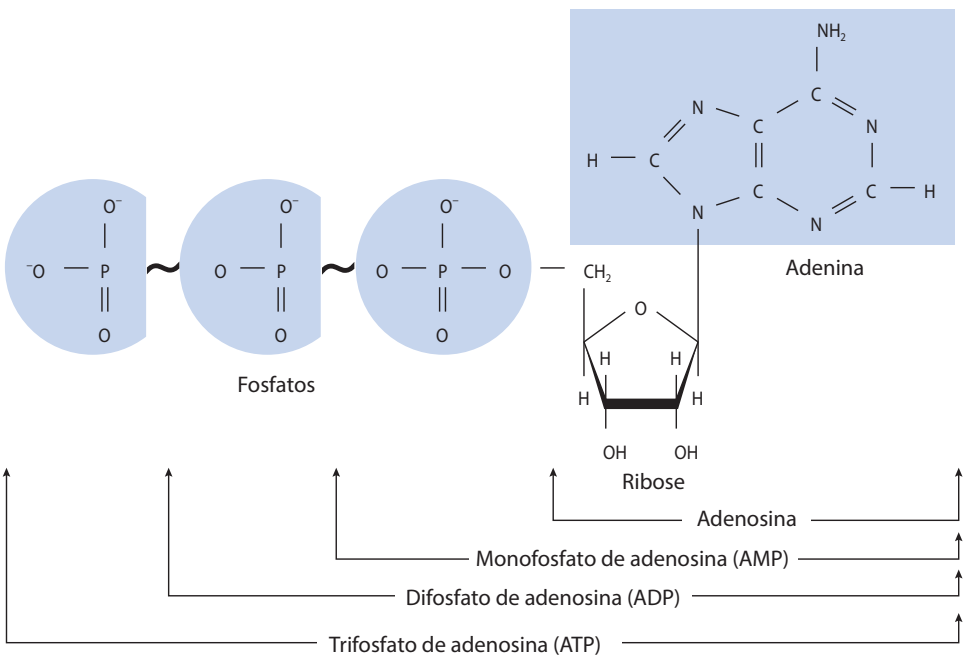
A energia luminosa, transformada em energia química no processo da fotossíntese, permanece armazenada nas ligações químicas das moléculas orgânicas sintetizadas. O rearranjo das ligações químicas que ocorre quando as células decompõem os glicídios em substâncias mais simples permite que a energia primariamente proveniente da luz seja disponibilizada para as atividades vitais.

ATP, a moeda energética do mundo vivo

Praticamente todos os processos celulares demandam energia, que as células obtêm a partir de moléculas orgânicas que lhes servem de alimento. Nesse contexto, pode-se perguntar: como as células conseguem extrair a energia do alimento, armazená-la e disponibilizá-la prontamente para os processos metabólicos?

A estratégia energética dos seres vivos consiste em transferir a energia liberada na quebra das moléculas orgânicas do alimento para moléculas armazenadoras temporárias, capazes de circular livremente pela célula fornecendo energia aos processos vitais. O principal responsável pelo armazenamento temporário de energia intracelular é o **trifosfato de adenosina**, substância conhecida pela sigla **ATP** (do inglês, ***a**denosine **t**ri**p**hosphate*). Alguns cientistas comparam o ATP a uma moeda de troca energética, que circula dentro da célula e supre os gastos metabólicos.

A molécula de ATP é um nucleotídio constituído por três componentes: uma base nitrogenada, a **adenina**, um glicídio de cinco carbonos, a **ribose**, e três grupos **fosfato**. Os fosfatos do ATP estão unidos entre si por ligações covalentes, capazes de liberar grande quantidade de energia ao serem quebradas. Essas ligações entre os fosfatos do ATP são denominadas ligações de alta energia e representadas pelo símbolo ~. Quando o fosfato terminal se separa do ATP, este se transforma em **ADP** (difosfato de adenosina, do inglês, ***a**denosine **di**phosphate*), e um fosfato inorgânico (Pi) é liberado. Por sua vez, se tiver o seu grupo fosfato terminal separado, o ADP transforma-se em **AMP** (monofosfato de adenosina, do inglês, ***a**denosine **mono**phosphate*) e mais um fosfato inorgânico (Pi) é liberado. (Fig. 6.1)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6.1. Fórmula estrutural do ATP. A parte da molécula do ATP formada pela adenina e pela ribose é chamada adenosina.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O ATP é o principal fornecedor de energia para as atividades metabólicas, entre elas a síntese de substâncias orgânicas. A ruptura da ligação entre os dois últimos fosfatos do ATP, com sua transformação em ADP e fosfato, fornece grande quantidade de energia, que pode ser transferida para diversas atividades celulares.

2. Fotossíntese

A fotossíntese é um processo em que gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) são transformados em glicídios ($C_nH_{2n}O_n$) e gás oxigênio (O_2), utilizando energia da luz nesse processo. A fotossíntese ocorre no interior dos cloroplastos, organelas citoplasmáticas presentes em plantas e algas, que contêm clorofila e outros pigmentos acessórios responsáveis pela captação da energia da luz. No cloroplasto também estão presentes outros participantes do processo fotossintético: enzimas, coenzimas, cofatores etc. Nas bactérias fotossintetizantes, a clorofila e outros pigmentos localizam-se em estruturas membranosas da célula bacteriana.

A síntese de ATP no cloroplasto: fotofosforilação

As emissões solares que atingem a Terra constituem uma ampla gama de radiações (ou ondas) eletromagnéticas. As diferentes radiações distinguem-se pela grandeza denominada **comprimento de onda**. Nas radiações solares, há uma faixa de comprimentos de onda que nossos olhos conseguem captar e que constituem as **radiações visíveis**, ou **luz visível**.

A clorofila é um pigmento fotossintetizante capaz de absorver energia luminosa principalmente nas radiações correspondentes ao vermelho e ao violeta, refletindo quase todo o verde, daí sua cor. Ao captar luz com comprimento de onda adequado, a molécula de clorofila se torna excitada; alguns de seus elétrons absorvem a energia luminosa e são expelidos da molécula. Os elétrons energizados expelidos da clorofila excitada são capturados por substâncias chamadas de **aceptores de elétrons**, antes que liberem a energia adicional e retornem ao pigmento. A excitação eletrônica da clorofila pela luz e a subsequente captura dos elétrons energizados pelos aceptores marcam o momento-chave da fotossíntese, quando a energia luminosa é transformada em energia química.

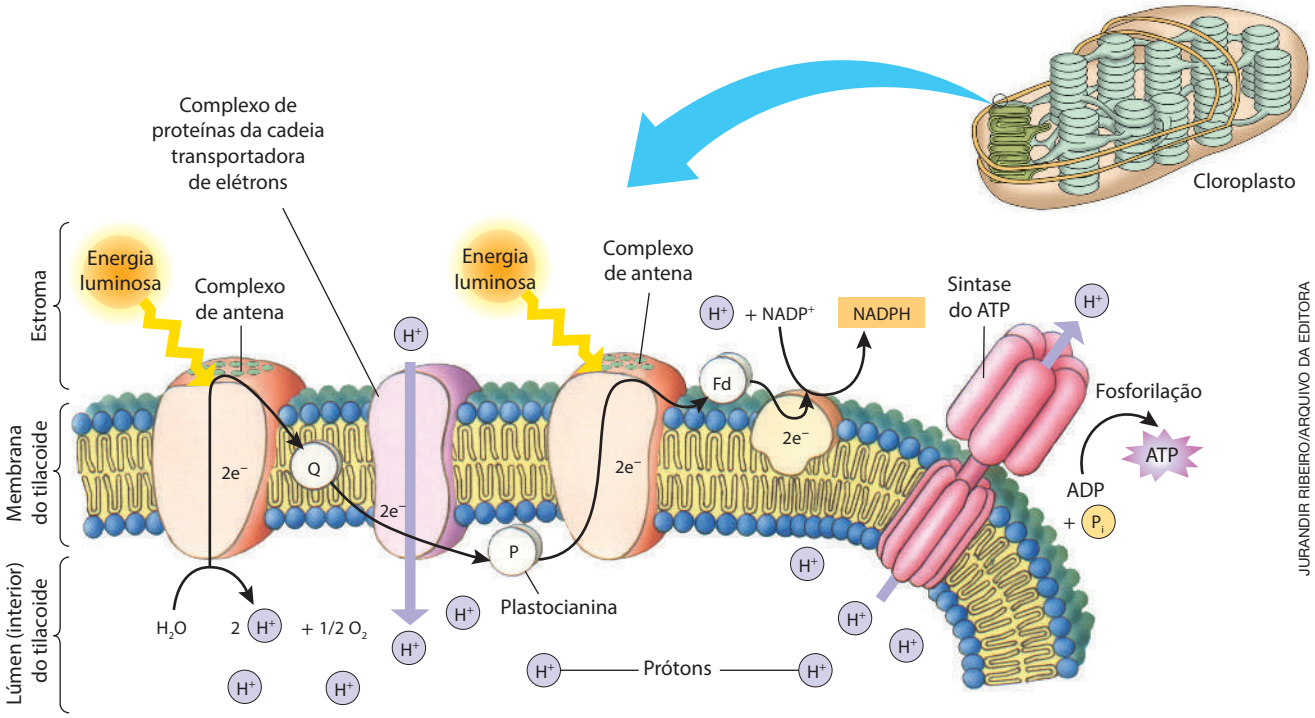
Os elétrons energizados pela luz são transferidos do primeiro aceptor para um segundo, deste para um terceiro, e assim por diante, no que os cientistas denominam **cadeia transportadora de elétrons**. Os aceptores de elétrons da cadeia transportadora dispõem-se organizadamente em membranas internas do cloroplasto, os **tilacoides**, mostrados na figura mais adiante. À medida que os elétrons passam pela cadeia transportadora, a energia adicional que eles contêm é liberada gradativamente e utilizada, como veremos a seguir. O último aceptor da cadeia é a substância conhecida como **NADP** (do inglês, ***n****icotinamide* ***a****denine* ***d****inucleotide* ***p****hosphate*; em português, fosfato de dinucleotídio de nicotinamida-adenina). Ao receber os elétrons da cadeia transportadora, a molécula de NADP passa do estado oxidado em que se encontrava, $NADP^+$, para o estado reduzido, **NADPH**.

A energia liberada pelos elétrons na cadeia transportadora é utilizada para forçar prótons de hidrogênio (H^+) a passar do líquido que preenche o cloroplasto (**estroma**) para o espaço interno dos tilacoides, onde eles se acumulam. Por estarem altamente concentrados no interior dos tilacoides, os íons H^+ têm uma forte tendência de se difundirem de volta ao estroma, onde sua concentração está menor. Entretanto, a membrana dos tilacoides permite a passagem de íons H^+ apenas pelos poros de uma estrutura proteica denominada sintase do ATP.

A **sintase do ATP** pode ser comparada a um gerador molecular, com um rotor interno que gira com a passagem dos íons H^+. Nessa atividade, a energia de difusão do H^+ é utilizada para sintetizar ATP, que ocorre pela união entre ADP e Pi (fosfato inorgânico). A reação de adição de Pi ao ADP é denominada **fosforilação** e demanda muita energia para ocorrer. Como essa energia provém originalmente da luz, o processo é denominado **fotofosforilação**. Parte da energia envolvida na fotofosforilação fica acumulada na molécula de ATP formada, sendo liberada quando o ATP se transforma novamente em ADP e Pi. Como já foi discutido, as moléculas de ATP suprem a maioria dos processos celulares que demandam energia, tais como movimentos e síntese de substâncias. (Fig. 6.2)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrutura do cloroplasto



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.2. No alto, à direita, representação esquemática de um cloroplasto parcialmente cortado para mostrar seu sistema interno de membranas. As bolsas membranosas circulares e achatadas, que lembram moedas empilhadas, são os tilacoides. Embaixo, em maior detalhe, organização das cadeias transportadoras de elétrons e da sintase do ATP na membrana do tilacoide. Q, Fd e P designam, respectivamente, quinona, ferredoxina e plastocianina, proteínas componentes da cadeia transportadora de elétrons. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fotólise da água

Os elétrons que a clorofila perde com a excitação luminosa são repostos por elétrons provenientes da quebra de moléculas de água, reação denominada **fotólise da água** (do grego *photos*, luz, e *lyse*, quebra), ou **reação de Hill**. Na fotólise, as moléculas de água se decompõem liberando elétrons (e^-), prótons (íons H^+) e átomos de oxigênio. Estes se unem dois a dois, originando gás oxigênio. A fotólise da água pode ser escrita, em termos químicos, da seguinte maneira:

$$2\,H_2O \xrightarrow{\text{LUZ}} O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

Água — Gás oxigênio — Íons de hidrogênio — Elétrons

O gás oxigênio formado na fotólise da água pode ser utilizado na respiração da célula vegetal ou ser eliminado para o ambiente, indo fazer parte do ar. Os elétrons de baixa energia liberados na fotólise da água são utilizados para repor os que foram perdidos pela clorofila na excitação eletrônica. Os íons H^+ são capturados pelo NADP, o último aceptor da cadeia transportadora de elétrons do cloroplasto, e disponibilizados para a fase seguinte da fotossíntese, quando passarão a fazer parte das moléculas de glicídio produzidas.

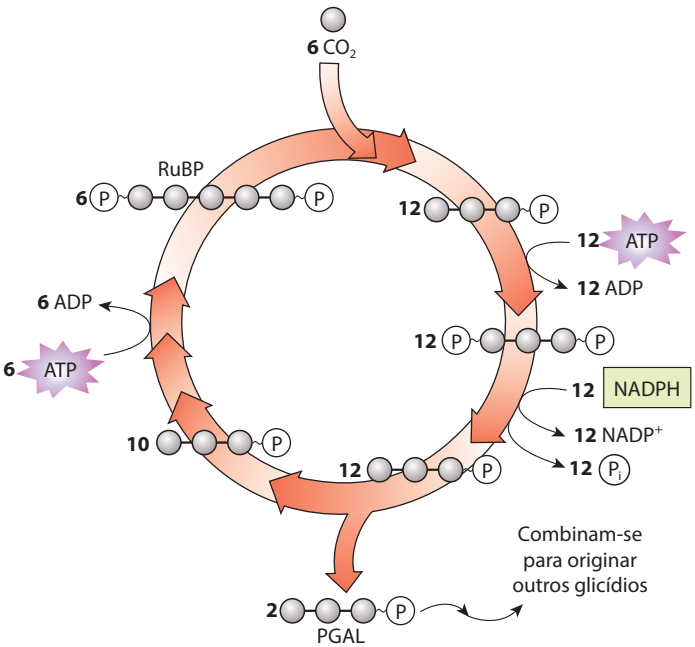
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O ciclo das pentoses e a síntese de glicídios

O último conjunto de reações da fotossíntese é o **ciclo das pentoses**, ou **ciclo de Calvin-Benson**. Nessa etapa, ocorre a formação de um tipo de glicídio com três átomos de carbono na molécula, o 3-fosfato gliceraldeído, ou **PGAL** (do inglês ***p**hospho**g**lycer**al**dehyde*). O PGAL resulta da reação entre moléculas de gás carbônico e hidrogênios energizados do NADPH, com suprimento de energia do ATP produzido na fotofosforilação. Acompanhe as reações de formação de PGAL no esquema a seguir. (Fig. 6.3)

Embora seja costume se referir ao glicídio formado na fotossíntese como glicose ($C_6H_{12}O_6$), o produto do ciclo das pentoses é, de fato, o PGAL.

O ciclo das pentoses



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.3. O ciclo das pentoses tem início com a incorporação de 6 moléculas de gás carbônico a 6 moléculas de **RuBP** (do inglês ***rib**ulose* 1,5-***bis**phosphate*; 1,5-bifosfato de ribulose), sob a coordenação da enzima rubisco, com participação de NADPH e suprimento energético do ATP. A cada volta completa do ciclo, são produzidas 2 moléculas de glicídio com 3 carbonos (3-fosfato gliceraldeído ou PGAL) e 6 moléculas de RuBP, prontas para incorporar novamente CO_2 e iniciar outro ciclo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Destino dos produtos da fotossíntese

A maior parte do PGAL formado no ciclo das pentoses sai do cloroplasto para o citosol, onde suas moléculas se unem para formar sacarose. As moléculas de PGAL que permanecem no cloroplasto são convertidas em moléculas de amido e armazenadas. À noite, o amido armazenado no cloroplasto transforma-se em sacarose e migra para o citosol da célula fotossintetizante, de onde é exportado para as demais partes do organismo.

Parte dos glicídios produzidos na fotossíntese é utilizada imediatamente nas mitocôndrias da própria célula fotossintetizante no processo de respiração celular, fornecendo energia aos processos vitais. Outra parte dos glicídios é transformada em diversas substâncias orgânicas de que a planta necessita, como aminoácidos, açúcares, gorduras, celulose etc. Outra parte, ainda, é armazenada na forma de amido dentro de **amiloplastos**, organelas presentes em células do caule e da raiz das plantas.

Por meio da fotossíntese, algas, plantas e bactérias autotróficas fotossintetizantes captam energia solar, utilizando-a para sintetizar as substâncias orgânicas que constituem seus corpos. Ao servirem de alimento a seres heterotróficos, os seres fotossintetizantes disponibilizam a eles substâncias ricas em energia produzidas na fotossíntese.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Por que a fotossíntese transformou o mundo?

Estima-se que a fotossíntese tenha surgido na Terra há cerca de 2,4 bilhões de anos, mais de 1 bilhão de anos após a vida ter surgido no planeta. Um produto liberado na fotossíntese, o gás oxigênio, trouxe mudanças fundamentais ao ambiente terrestre: antes da fotossíntese, não existiam seres que respiravam.

Nesta atividade, sugerimos uma pesquisa na internet sobre o assunto, para embasar um texto em estilo jornalístico que desenvolva a seguinte manchete: "Sem a fotossíntese, não estaríamos aqui".

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Liberação de gás oxigênio na fotossíntese

A fotossíntese, além de transformar energia luminosa em energia química, armazenada na matéria orgânica, gera como subproduto o gás oxigênio (O_2), que constitui cerca de 21% da atmosfera atual da Terra. A liberação de gás oxigênio na fotossíntese pode ser demonstrada em um experimento fácil de ser realizado.

Material

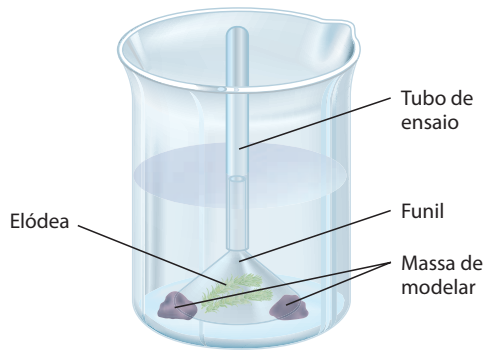
- 2 recipientes incolores e transparentes (por exemplo, porções inferiores de garrafas PET de 2 litros ou aquários de vidro pequenos)
- 2 funis grandes de vidro, que caibam nos recipientes anteriores
- 2 tubos de ensaio (mais longos que o bico do funil)
- massa de modelar
- bicarbonato de sódio
- ramos da planta aquática elódea (*Elodea* sp.)
- luz forte (lâmpada incandescente de 100 W ou equivalente)

Procedimentos

Deverão ser montados dois conjuntos como os descritos a seguir e representados na figura.

1. Prepare uma solução de bicarbonato de sódio para encher os recipientes: para cada litro de água, dissolva cerca de uma colher de sopa de bicarbonato de sódio, o que garantirá o suprimento de gás carbônico para a fotossíntese.
2. Coloque alguns ramos de elódea no funil e mergulhe-o completamente, com o bico para cima, na solução do recipiente.
3. Fixe o funil com massa de modelar de modo a mantê-lo suspenso a um ou dois centímetros do fundo do recipiente.
4. Se necessário, adicione mais solução de bicarbonato de sódio até cobrir completamente o bico do funil.
5. Encha um tubo de ensaio com água e inverta-o sobre o bico do funil, evitando a entrada de ar em seu interior.
6. Mantenha um dos conjuntos iluminado e coloque o outro dentro de uma caixa ou de um armário em que não entre luz.

Montagem do experimento



CANÇADO/ARQUIVO DA EDITORA

Montagem dos conjuntos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

7. Observe atentamente o conjunto iluminado, em que aparecerão bolhas de gás aderidas aos ramos de elódea. As bolhas logo se desprenderão, e o gás passa a se acumular no tubo de ensaio.
8. Quando um volume razoável de gás oxigênio tiver se acumulado no tubo de ensaio do frasco iluminado, retire o conjunto que permaneceu no escuro e compare-o com o que permaneceu no claro.

Questões

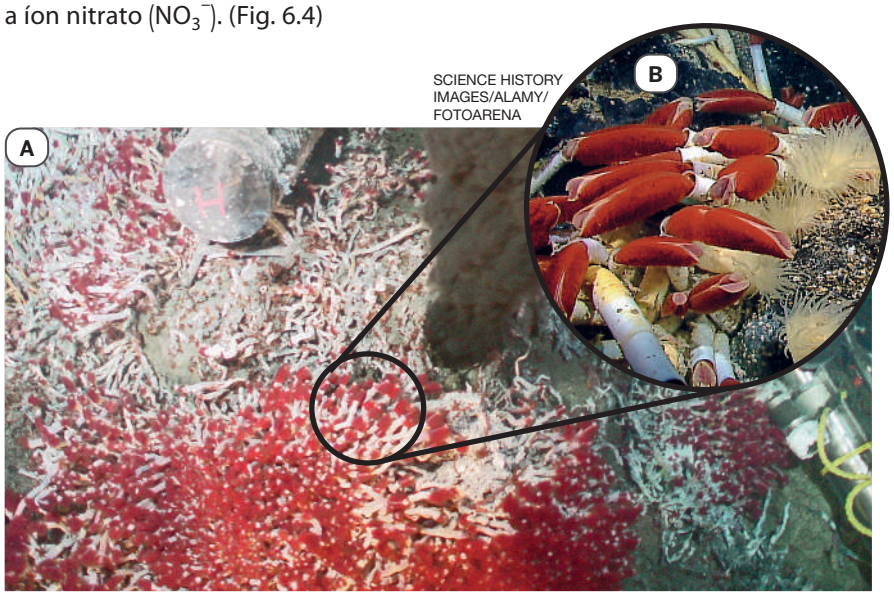
1. O que se pretende testar quando se utilizam dois conjuntos experimentais, um iluminado e outro no escuro? Qual é a importância desse segundo conjunto?
2. Como seria possível demonstrar que o gás acumulado no tubo do conjunto iluminado é gás oxigênio? Pesquise sobre o assunto.

3. Quimiossíntese

Certas espécies de arqueas e de bactérias autotróficas produzem substâncias orgânicas por meio da **quimiossíntese**. Nesse processo é utilizada a energia liberada em reações oxidativas de certas substâncias inorgânicas. As arqueas metanogênicas, por exemplo, obtêm energia a partir da reação entre gás hidrogênio (H_2) e gás carbônico, com produção de gás metano (CH_4). Essas arqueas vivem em ambientes pobres em gás oxigênio (anaeróbicos), tais como depósitos de lixo, fundos de pântanos e tubos digestivos de animais.

Bactérias quimiossintetizantes conseguem viver em ambientes desprovidos de luz e de matéria orgânica, obtendo a energia necessária ao seu desenvolvimento por meio de oxidações inorgânicas. Além de um agente oxidante, essas bactérias necessitam apenas de gás carbônico e água, que constituem as matérias-primas para a produção de glicídios.

Exemplos de bactérias quimiossintetizantes são as dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que vivem no solo e têm importância fundamental na reciclagem do elemento nitrogênio na Terra. As nitrosomonas obtêm energia por meio da oxidação da amônia (NH_3) presente no solo, transformando-a em íon nitrito (NO_2^-). As nitrobactérias, por sua vez, utilizam o íon nitrito (NO_2^-), oxidando-o a íon nitrato (NO_3^-). (Fig. 6.4)



NOAA/SPL/FOTOARENA

SCIENCE HISTORY IMAGES/ALAMY/ FOTOARENA

Figura 6.4. (A) Comunidade biológica ao redor de uma fonte hidrotermal no fundo do oceano Pacífico. (B) Detalhe de anelídeos *Riftia pachyptila*, que podem chegar a 2 m de comprimento, encontrados nessas fontes hidrotermais. Em seu corpo, vivem bactérias quimiossintetizantes capazes de metabolizar compostos sulfúricos e produzir alimento para o anelídeo e para outros seres que deles se alimentam.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Primeiros seres vivos da Terra

Seu desafio nesta atividade é reunir argumentos para justificar a seguinte afirmação: "As bactérias quimiolitoautotróficas podem ter sido os primeiros seres vivos a habitar a Terra". Inicialmente, pesquise em livros ou em *sites* confiáveis a hipótese de que os primeiros seres vivos poderiam ter sido autotróficos. Apresente seus argumentos em um texto objetivo e conciso, nos moldes de um texto de divulgação científica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Fermentação

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Fungos e bactérias que vivem em ambientes pobres em gás oxigênio, ou anaeróbicos, obtêm energia por meio da **fermentação**. Nesse processo, substâncias orgânicas ricas em energia são parcialmente degradadas, originando moléculas orgânicas menores e liberando energia, utilizada na síntese de ATP. Por exemplo, o fungo *Saccharomyces cerevisiae* (o fermento de padaria, ou levedo de cerveja), embora seja capaz de realizar respiração aeróbica, que demanda gás oxigênio, utiliza a fermentação alcoólica para obter energia quando o O_2 é escasso no ambiente. Por isso, o levedo é considerado um organismo **anaeróbico facultativo**, ou seja, capaz de obter energia em condições anaeróbicas (sem gás oxigênio). Na fermentação alcoólica, o levedo utiliza carboidratos como reagentes, liberando como produtos álcool etílico (etanol) e gás carbônico. Esse tipo de fermentação é utilizado desde a Antiguidade para a fabricação de bebidas alcoólicas e de pão.

Outros organismos fermentadores importantes para a humanidade são os lactobacilos, bactérias que fermentam o leite. Nesse tipo de fermentação, os lactobacilos utilizam a lactose do leite como matéria-prima, liberando ácido lático como produto. Os lactobacilos são utilizados para produzir coalhadas e iogurtes. Nossas células musculares também são anaeróbicas facultativas, realizando fermentação lática quando a circulação sanguínea se torna incapaz de fornecer todo o gás oxigênio necessário para sustentar a respiração celular. O ácido lático que se acumula nos músculos, após atividades físicas de alta intensidade, pode causar uma dor muscular característica, que desaparece após um ou dois dias.

A fermentação geralmente tem como ponto de partida a glicose, cuja fórmula é $C_6H_{12}O_6$. A molécula de glicose é bastante estável e não se quebra com facilidade. As reações iniciais da **glicólise** (do grego *glykys*, doce, açúcar; e *lysis*, quebra), como é chamada a quebra enzimática da glicose, ativam a molécula, levando-a a reagir.

A ativação da glicose ocorre pela incorporação de dois grupos fosfato de alta energia, fornecidos por duas moléculas de ATP. Portanto, para iniciar a glicólise, a célula necessita investir o equivalente a 2 ATP por molécula de glicose. Nas reações subsequentes da glicólise, a célula recupera com lucro o investimento energético inicial, sintetizando 4 moléculas de ATP. Portanto, descontado o investimento inicial de 2 ATP, o rendimento energético líquido da glicólise é de 2 moléculas de ATP por molécula de glicose metabolizada. (Fig. 6.5)

A glicólise consiste de dez reações químicas sequenciais, ao final das quais a glicose é quebrada em duas moléculas de **ácido pirúvico**, substância que apresenta 3 átomos de carbono na molécula e fórmula $C_3H_4O_3$. Dependendo do tipo de organismo fermentador, o ácido pirúvico pode seguir diferentes caminhos. Por exemplo, na fermentação alcoólica, realizada por leveduras, o ácido pirúvico origina álcool etílico e gás carbônico. Na fermentação lática, realizada por lactobacilos, o ácido pirúvico origina ácido lático.

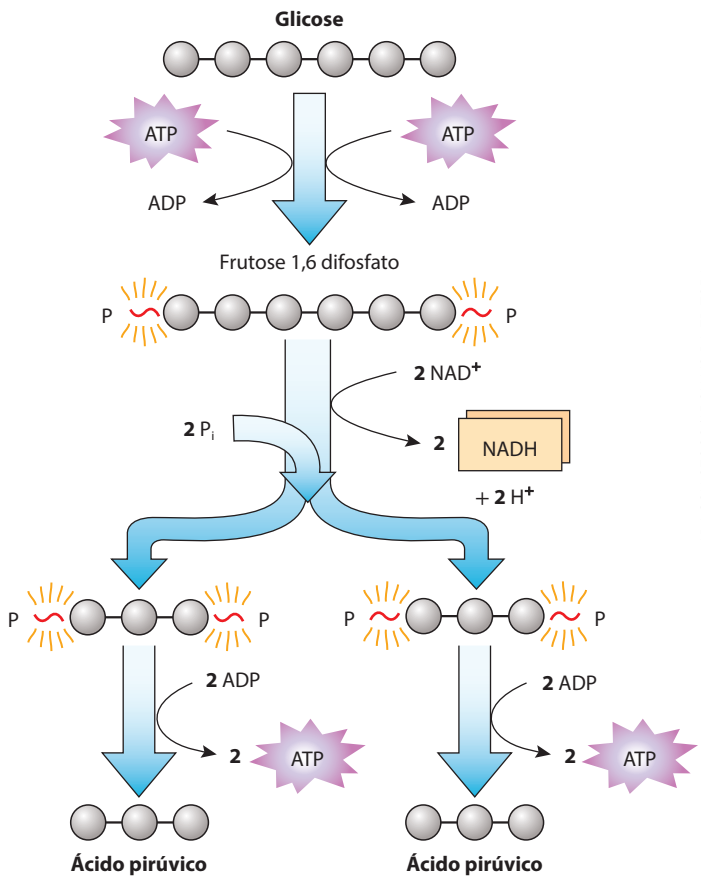
Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Por que os músculos doem devido ao exercício?

É possível que você já tenha realizado exercícios físicos de alta intensidade e experimentado a sensação de dor muscular. Faça uma pesquisa na internet para complementar as informações do texto sobre o motivo da dor muscular pós-exercício físico. Escreva um texto sobre o assunto, incluindo suas experiências pessoais a respeito.

Esquema resumido da glicólise



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.5. Simplificadamente, a glicólise consiste na quebra da glicose em duas moléculas de ácido pirúvico. Por conveniência, sempre nos referimos aos ácidos em sua forma não dissociada. Entretanto, nas condições do meio intracelular, os ácidos estão, em sua maior parte, dissociados em íons H^+ e íons negativos, no caso, o piruvato ($C_3H_3O_3^-$). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Liberação de gás carbônico na fermentação

Esta atividade apresenta um experimento simples que permite testar hipóteses sobre a fermentação, entre elas: 1) o processo fermentativo necessita de um substrato orgânico, como um açúcar; 2) a fermentação depende da presença de organismos fermentadores, como as leveduras; 3) a fermentação é influenciada pela temperatura.

Material

- fermento biológico (30 g de fermento fresco ou 10 g de fermento seco)
- 6 garrafas plásticas de 500 mL vazias com tampa
- 6 balões de borracha (bexigas)
- fita adesiva
- açúcar
- montagem para banho-maria
- gelo

Procedimentos

1. Dissolva o fermento biológico em 200 mL de água. Numere as garrafas de 1 a 4 e distribua quantidades iguais da solução de fermento em cada uma delas. Nas garrafas 5 e 6, adicione apenas água.
2. Adicione uma colher de sopa de açúcar em cada uma das garrafas, exceto nas de números 1 e 6. Adapte, utilizando fita adesiva, um balão de borracha à boca de cada uma das garrafas. Deixe as garrafas 1, 2, 5 e 6 à temperatura ambiente; coloque a garrafa de número 3 em um banho de gelo, e a garrafa de número 4 em banho-maria em temperatura entre 35 °C e 40 °C. Observe e anote o que ocorre com as bexigas nas horas seguintes. Responda às questões a seguir.

Atenção e cuidado ao manipular as garrafas em banho-maria.

Questões

1. Qual é o papel da garrafa de número 6?
2. Quais garrafas possibilitam testar a hipótese de que a presença das leveduras é necessária para a produção de gás carbônico? Explique.
3. Quais garrafas possibilitam testar a hipótese de que a presença de açúcar é necessária para a produção de gás carbônico? Por quê?
4. Quais garrafas possibilitam testar a hipótese de que a produção de gás carbônico é afetada pela temperatura? Explique.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Respiração aeróbica

A **respiração aeróbica**, ou **aeróbia**, é um processo celular em que moléculas orgânicas são degradadas com a participação de gás oxigênio, levando à formação de gás carbônico e água. Nesse processo, é liberada energia, utilizada para a síntese de moléculas de ATP.

A respiração aeróbica proporciona um rendimento energético cerca de 15 vezes maior que o da fermentação. Enquanto esta leva à produção de 2 moléculas de ATP por molécula de glicose fermentada, na respiração aeróbica, é liberada energia suficiente para a síntese de aproximadamente 30 moléculas de ATP. O alto rendimento da respiração aeróbica, associado à abundância de gás oxigênio na atmosfera terrestre, fez com que os seres respiradores apresentassem grande vantagem evolutiva sobre os seres fermentadores. Isso explicaria o fato de a respiração aeróbica ser empregada por quase todos os seres da biosfera, entre eles algas, plantas, protozoários, animais e muitos fungos e bactérias.

A respiração aeróbica compõe-se de três etapas: **glicólise**, **ciclo de Krebs** e **fosforilação oxidativa**. Nas células eucarióticas, a glicólise ocorre no citosol, o fluido que compõe o citoplasma, enquanto o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa ocorrem no interior das mitocôndrias.

Glicólise

A glicólise é a fase preparatória de degradação da glicose, levando à produção de substâncias que entram na mitocôndria para as reações seguintes, das quais participa gás oxigênio. Na glicólise, são produzidas duas moléculas de ácido pirúvico, elétrons de alta energia e íons H^+. A glicólise não necessita da presença de O_2 para ocorrer. Por outro lado, as etapas seguintes da respiração – o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa – só ocorrem se o gás oxigênio estiver disponível.

Ciclo de Krebs

O ácido pirúvico produzido na glicólise penetra na mitocôndria, onde reage com a substância denominada **coenzima A** (CoA). Nessa reação, formam-se gás carbônico e acetilcoenzima A (acetilCoA). Também participa do processo uma molécula de NAD^+, que se transforma em NADH. A função do NADH é semelhante à do NADPH na fotossíntese.

$$\text{Ácido pirúvico} + \text{CoA} + NAD^+ \rightarrow \text{AcetilCoA} + \text{NADH} + CO_2 + H^+$$

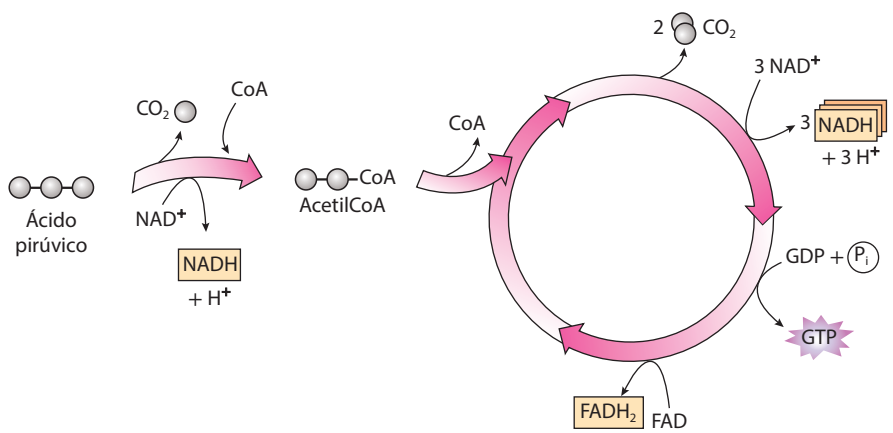
A acetilCoA é o ponto de partida para o conjunto de reações que compõem o **ciclo de Krebs**, também conhecido como **ciclo do ácido cítrico**. A primeira denominação homenageia seu descobridor, o bioquímico alemão Hans Adolf Krebs (1900-1981), enquanto a segunda denominação refere-se à substância inicialmente formada no ciclo, o ácido cítrico.

Na mitocôndria, cada molécula de acetilCoA reage com uma molécula de ácido oxalacético presente na organela. Nessa reação, a coenzima A é liberada e surge o ácido cítrico, o primeiro reagente do ciclo de Krebs. Ao longo de oito reações, a molécula de ácido cítrico libera duas moléculas de gás carbônico, elétrons de alta energia e íons H^+. No final dessa sequência de reações, surge novamente o ácido oxalacético, que pode se combinar a outra acetilCoA e iniciar um novo ciclo.

Durante as reações do ciclo de Krebs, elétrons de alta energia e íons H^+ são capturados por moléculas de NAD^+, um aceptor de hidrogênio, que se transformam em NADH. Também participa do processo o FAD (do inglês ***f**lavine **a**denine **d**inucleotide*; em português, dinucleotídio de flavina adenina), outro aceptor de hidrogênio, que se transforma em $FADH_2$. No final do ciclo de Krebs, formam-se três moléculas de NADH e uma de $FADH_2$.

A energia liberada nas reações do ciclo de Krebs possibilita a formação de uma molécula de trifosfato de guanosina, ou **GTP** (do inglês ***g**uanosine **tri**phosphate*), sintetizado a partir de GDP (difosfato de guanosina) e Pi. O GTP é um reservatório intermediário de energia, como o ATP, diferindo deste por apresentar em sua molécula a base guanina em vez da base adenina. O GTP é especializado em fornecer energia para certos processos celulares, entre eles a síntese de proteínas. O GTP também pode gerar ATP ao transferir seu fosfato energético para uma molécula de ADP. Assim, no ciclo de Krebs, formam-se 2 CO_2 + 3 NADH + 1 $FADH_2$ + 1 GTP (equivalente a 1 ATP). (Fig. 6.6)

Destino do ácido pirúvico na respiração aeróbica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.6. Esquema das transformações pelas quais passa o ácido pirúvico. No interior da mitocôndria, o ácido pirúvico origina acetilCoA, que participa da sequência de reações químicas do ciclo do ácido cítrico ou ciclo de Krebs. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fosforilação oxidativa

A energia para a síntese da maior parte do ATP provém da transferência de elétrons e de íons H^+ do NADH e do $FADH_2$ para átomos de oxigênio do O_2, como representado resumidamente nas equações a seguir:

$2\ NADH + 2H^+ + O \rightarrow 2\ NAD^+ + 2\ H_2O$

$2\ FADH_2 + O_2 \rightarrow 2\ FAD + 2\ H_2O$

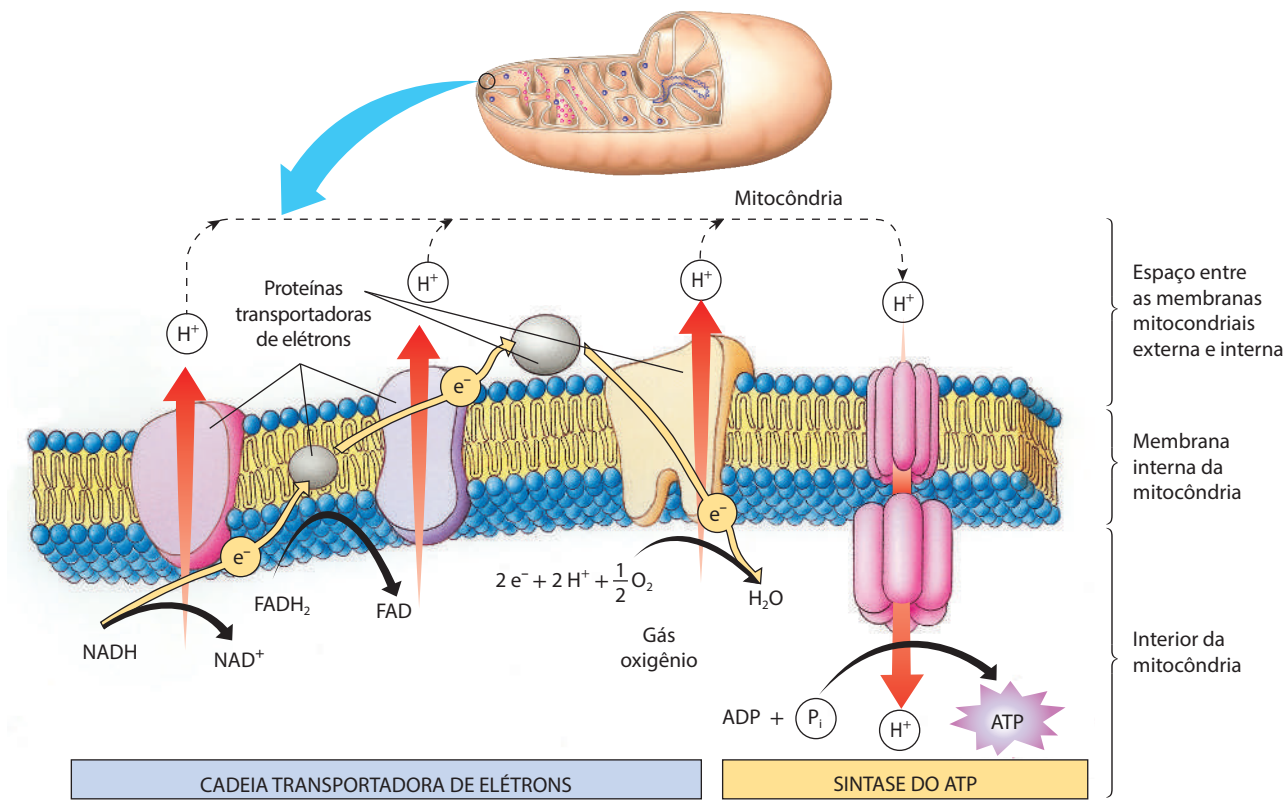
A energia liberada nessas reações é utilizada na produção de ATP, constituindo a **fosforilação oxidativa**. Essa denominação refere-se à fosforilação, que é a união de um fosfato ao ADP para formar ATP, com a participação de gás oxigênio.

O processo de transferência de elétrons e de íons H^+ do NADH e do $FADH_2$ para o gás oxigênio é realizado pelas **cadeias transportadoras de elétrons**, ou **cadeias respiratórias**. Cada uma delas é constituída por quatro conjuntos moleculares transferidores de elétrons, dispostos em sequência na membrana interna das mitocôndrias.

Durante a passagem pela cadeia respiratória, os elétrons energizados provenientes da degradação da glicose liberam gradativamente sua energia adicional. Essa energia é utilizada para bombear íons H^+ da matriz mitocondrial para o espaço entre as duas membranas da mitocôndria. Os íons H^+, bombeados forçadamente para o espaço entre as membranas mitocondriais, tendem a se difundir de volta para a matriz mitocondrial, mas somente podem fazê-lo passando pelos complexos proteicos chamados de **sintase do ATP**, presentes na membrana interna da mitocôndria. O mecanismo é semelhante ao que ocorre nos tilacoides dos cloroplastos.

Como vimos anteriormente, a sintase do ATP é comparável a um gerador molecular acionado pela passagem de íons H^+. A energia liberada pela sintase do ATP possibilita sintetizar moléculas de ATP a partir de moléculas de ADP e de Pi. Esse mecanismo de produção de ATP, evidenciado em diversos experimentos, é conhecido como **teoria quimiosmótica** para a síntese de ATP. (Fig. 6.7)

Organização molecular da membrana mitocondrial interna



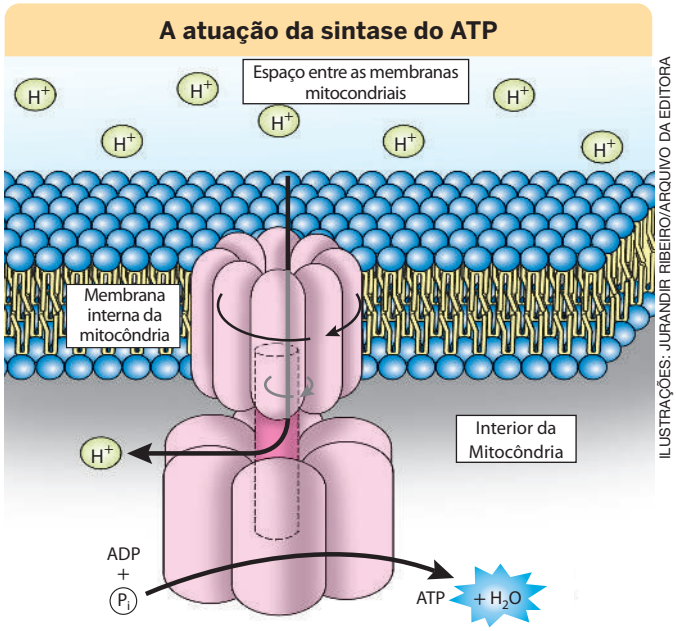
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.7. Representação esquemática de detalhe dos conjuntos transportadores de elétrons da cadeia respiratória e da sintase do ATP. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao retornar à matriz mitocondrial, os íons H^+ combinam-se com elétrons que perderam energia ao longo da cadeia respiratória e com átomos de oxigênio provenientes do O_2. Essa união leva à formação de moléculas de água. (Fig. 6.8)



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 6.8. Representação esquemática da enzima sintase do ATP de acordo com a teoria quimiosmótica. O complexo enzimático da sintase utiliza, para produzir ATP, o potencial de difusão dos íons H^+ que haviam sido forçados a se acumular no espaço entre as membranas mitocondriais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A energia liberada pelos elétrons em sua passagem pela cadeia respiratória poderia formar, teoricamente, 34 moléculas de ATP. Em condições normais, porém, o rendimento é menor, formando-se até 26 moléculas de ATP. Quando se somam os 26 ATP formados na cadeia respiratória aos 2 ATP formados na glicólise e aos 2 formados no ciclo de Krebs (um GTP para cada acetilCoA), chega-se ao rendimento de 30 moléculas de ATP por molécula de glicose.

Além dos glicídios, outras substâncias capazes de fornecer energia por meio da respiração aeróbica são os ácidos graxos componentes dos lipídios. As moléculas de ácidos graxos penetram nas mitocôndrias, onde se transformam em moléculas de acetilCoA. Estas iniciam o ciclo de Krebs ao reagir com o ácido oxalacético.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

A sintase do ATP

Os mecanismos de produção de ATP na fotossíntese e na respiração aeróbica utilizam um processo do qual participam íons H^+ e o complexo enzimático denominado sintase do ATP. Escreva um texto objetivo que aponte as semelhanças e as diferenças entre esses dois processos em cloroplastos e mitocôndrias.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Integrando conhecimentos

Seu desafio nesta atividade é inicialmente conversar com seus professores da área de Ciências Naturais sobre o que é energia e quais são suas diferentes formas de manifestação (mecânica, cinética, gravitacional, elétrica, química etc.). Peça a eles referências de pesquisas das formas de energia citadas. Com base nisso, elabore um texto que procure relacionar, nas cadeias produtiva e biológica, diferentes formas de energia e suas interconversões.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Antes de responder a uma questão, é importante identificar com clareza o que é solicitado. Se for o caso, tente reescrever a questão com suas próprias palavras. Observe como essas ideias são aplicadas na questão resolvida, a seguir.

Resolvendo uma questão do vestibular da Univassouras de 2024

Questão

Admita que um estudo pretenda determinar o momento em que os músculos dos competidores de uma determinada modalidade de atletismo passam a trabalhar de forma anaeróbica.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para alcançar esse objetivo, a molécula cujo aumento de concentração nas células musculares deve ser avaliado é:

a. ATP. **b.** lactato. **c.** piruvato. **d.** gás carbônico.

Resolução

A questão pergunta como seria possível identificar o momento em que os músculos passam a trabalhar de forma **anaeróbica** (ou **anaeróbia**) pela constatação do aumento de determinada molécula nas células musculares. As células musculares normalmente suprem suas necessidades energéticas por meio da respiração celular, processo que consome gás oxigênio (O_2). Os músculos passam a trabalhar anaerobicamente quando a demanda por O_2 devida ao exercício intenso for maior que o suprimento de O_2 fornecido aos músculos. Para obter energia de forma anaeróbica, as células musculares realizam fermentação lática, cujo produto é o ácido lático. Este, nas condições das células musculares, encontra-se na forma de lactato (molécula ionizada derivada do ácido lático). Assim, a detecção de ácido lático (ou lactato) nos músculos indica a realização de fermentação lática, um processo anaeróbico de obtenção de energia.

Comentários sobre as alternativas

a. A concentração de ATP deve diminuir na fase anaeróbica dos músculos, uma vez que a fermentação tem menos eficiência energética que a respiração. Portanto, essa resposta é incorreta.

b. O aumento na concentração de lactato produzido na fermentação lática atesta que os músculos estão trabalhando anaerobicamente. Essa é a alternativa correta.

c. O piruvato, forma ionizada do ácido pirúvico, surge no final da glicólise, processo que não depende da presença de gás oxigênio. Sua presença não atesta que os músculos se encontram em fase anaeróbica. Portanto, essa resposta é incorreta.

d. O gás carbônico (CO_2) é produzido no final da respiração aeróbica e sua concentração deve diminuir em virtude da condição anaeróbica dos músculos. Portanto, essa resposta é incorreta.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 3.

a. ciclo das pentoses
b. fotofosforilaçao
c. fotólise da água

1. O(A) (■) é um conjunto de reações químicas que ocorrem no estroma do cloroplasto, nas quais moléculas de gás carbônico combinam-se a hidrogênios fornecidos pelo NADPH, produzindo PGAL (3-fosfato gliceraldeído).
1.a

2. A reação de quebra de moléculas de água com produção de gás oxigênio, elétrons e íons H^+ é chamada (■).
2.c

3. O processo denominado (■) utiliza energia dos elétrons liberados pela clorofila excitada pela luz para a produção de ATP.
3.b

4. Os átomos de oxigênio das moléculas de gás oxigênio liberadas na fotossíntese provêm
4.a

a. da água, apenas.
b. da glicose, apenas.
c. da água e da glicose, apenas.
d. da água, da glicose e do ATP.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 5 a 11.

a. cadeia respiratória
b. ciclo de Krebs
c. fermentação
d. fosforilação oxidativa
e. fotossíntese
f. glicólise
g. respiração aeróbica

5. (■) é o processo de síntese de substâncias orgânicas a partir de água, gás carbônico e energia luminosa.
5.e

6. (■) é um processo de obtenção de energia em que as moléculas orgânicas são parcialmente degradadas, com rendimento energético relativamente baixo.
6.c

7. (■) é um conjunto de reações sequenciais que ocorrem nas mitocôndrias e cujo primeiro participante é o ácido cítrico.
7.b

8. O processo de produção de ATP na mitocôndria, denominado (■), utiliza energia dos elétrons provenientes da degradação de moléculas orgânicas.
8.d

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. (■) corresponde a um conjunto de substâncias presentes na membrana interna das mitocôndrias, por onde passam sequencialmente elétrons energizados provenientes das moléculas orgânicas degradadas.
9.a

10. Realizado(a) pela ampla maioria dos seres vivos, o(a) (■) é um processo de obtenção de energia em que moléculas orgânicas ricas em energia são totalmente degradadas em gás carbônico e água.
10.g

11. O(A) (■)é um conjunto sequencial de reações que ocorrem no citosol, em que uma molécula de glicose é degradada em duas moléculas de ácido pirúvico.
11.f

12. Qual das alternativas indica corretamente os compartimentos celulares em que ocorrem as diversas etapas da respiração celular em uma célula eucarionte?
12.d

	Ciclo de Krebs	Glicólise	Fosforilação oxidativa
a.	Citosol	Mitocôndria	Citosol
b.	Mitocôndria	Mitocôndria	Mitocôndria
c.	Mitocôndria	Citosol	Citosol
d.	Mitocôndria	Citosol	Mitocôndria

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 13 a 15.

a. $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + 6 O_2 (gás oxigênio) → → 6 CO_2 (gás carbônico) + 6 H_2O (água)

b. 6 CO_2 (gás carbônico) + 12 H_2O (água) → → $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + 6 O_2 (gás oxigênio) + 6 H_2O (água)

c. $C_6H_{12}O6$ (glicose) → → 2 H_5C_2OH (etanol) + 2 CO_2 (gás carbônico)

13. Qual alternativa representa a equação da respiração celular?
13.a

14. Qual alternativa representa a equação da fotossíntese realizada por algas e plantas?
14.b

15. Qual alternativa contém a equação da fermentação realizada pelo fermento biológico?
15.c

16. A energia da passagem de íons H^+ através das sintases leva à síntese de ATP. Esse é o ponto central da
16.d

a. hipótese autotrófica.
b. hipótese heterotrófica.
c. teoria celular.
d. teoria quimiosmótica.

Questões de vestibulares

17. (Unesp) Sobre o processo de fotossíntese, é correto afirmar que
17.b

a. o CO_2 é fonte de carbono para a síntese de matéria orgânica e fonte de O_2 para a atmosfera.
b. a água é fonte de H^+ para a síntese de NADPH e de O_2 para a atmosfera.
c. o NADPH é fonte de energia para a conversão do CO_2 em matéria orgânica.
d. o ATP é doador de energia para a quebra da molécula de água, que, por sua vez, fornece O_2 para a atmosfera.
e. a conversão do CO_2 em matéria orgânica produz energia que é acumulada pelo ATP.

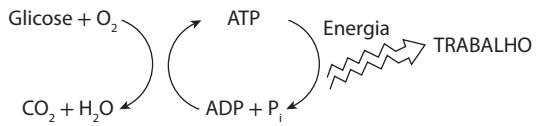
18. (UFRGS-RS) As células animais para a produção de energia necessitam de oxigênio, enzimas e substrato. Em relação ao processo de produção de energia, considere as afirmações abaixo.
18.c

I. A fosforilação oxidativa ocorre nas mitocôndrias.
II. Na fase aeróbia, ocorre alta produção de ATP.
III. A glicólise possui uma fase aeróbia e outra anaeróbia.

Quais estão corretas?

a. Apenas I.
b. Apenas II.
c. Apenas I e II.
d. Apenas II e III.
e. I, II e III.

19. (Unifor-CE) O esquema seguinte mostra de modo simplificado um tipo de reação celular metabólica.
19.b



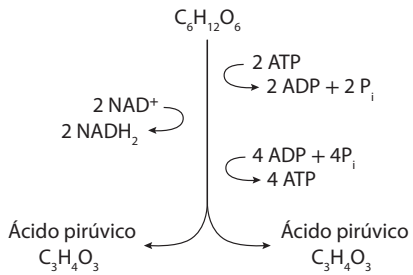
O processo representado é

a. respiração anaeróbia.
b. respiração aeróbia.
c. quimiossíntese.
d. fotossíntese.
e. glicólise.

20. (Fuvest-SP) No processo de fabricação do pão, um ingrediente indispensável é o fermento, constituído por organismos anaeróbios facultativos.

a. Qual a diferença entre o metabolismo energético das células que ficam na superfície da massa e o metabolismo energético das células que ficam no seu interior?
b. Por que o fermento faz o pão crescer?

21. (UFMA) O esquema abaixo representa a primeira etapa da respiração aeróbica (glicólise). Após analisá-lo, responda:



a. Em que local da célula ela ocorre?
b. Qual é o gasto energético dessa fase e qual é o saldo em ATP?

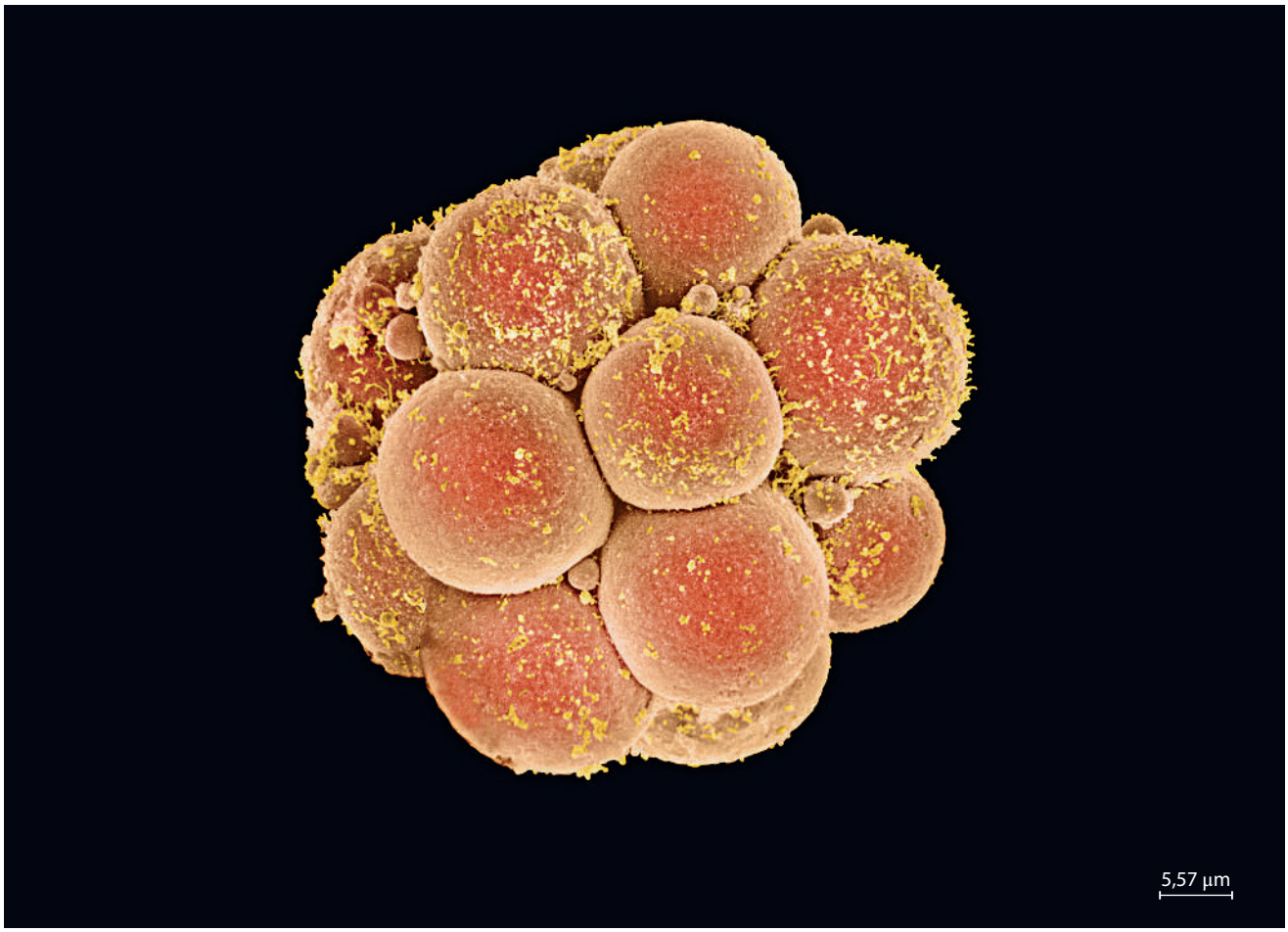
22. (Fuvest-SP) Há um século, Louis Pasteur, investigando o metabolismo do levedo, um organismo anaeróbio facultativo, observou que, em solução de água e açúcar, esse microrganismo se multiplicava. Observou também que a multiplicação era maior quando a solução era aerada.

a. Explique a importância do açúcar para o levedo.
b. Justifique a diferença do crescimento nas condições aeróbia e anaeróbia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 7

Tipos de reprodução, meiose e embriologia animal



DR YORGOS NIKAS/SPL/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O embrião humano, cerca de uma semana após a fecundação, é um conjunto de células que lembra uma amora, daí o nome mórula dado a esse estágio de desenvolvimento embrionário. (Microscópio eletrônico; aumento ≈ 1.800×, cores meramente ilustrativas.)

A importância do assunto

Por que a sexualidade ocupa espaço tão expressivo em todas as sociedades? Em alguns países, sexo faz parte dos negócios, do *show business*. Em outros, é tratado como assunto proibido, envolto em tabus e preconceitos. Ambas as visões revelam a mesma coisa, que percebemos desde a infância: sexo é realmente importante. Este capítulo trata do assunto sob um ponto de vista da Biologia: por que a reprodução por meio do sexo é tão disseminada no mundo vivo?

Com exceção de bactérias e arqueas, seres procarióticos que não têm reprodução sexuada propriamente dita, há poucos organismos eucarióticos em que o sexo não esteja presente.

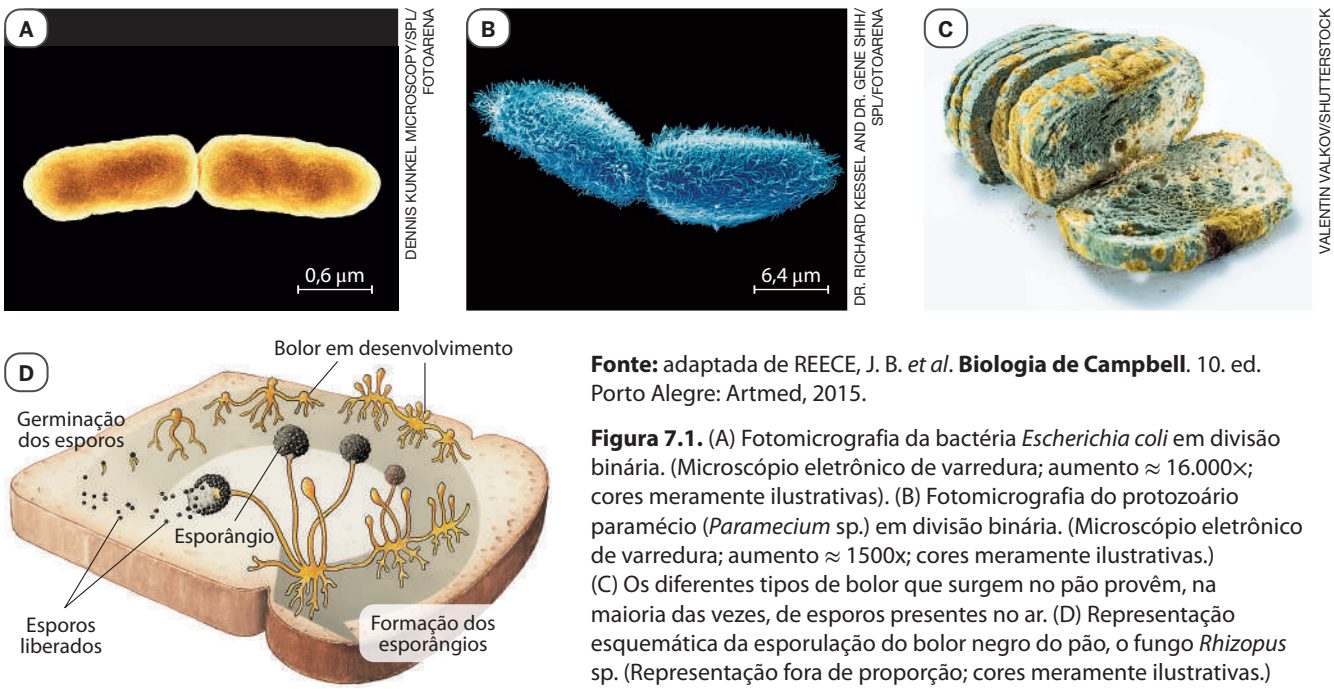
A universalidade do sexo sugere que ele surgiu há muito tempo na história evolutiva da vida, possivelmente em antigos organismos unicelulares dos quais descendem todos os seres eucarióticos atuais, incluindo a espécie humana. Quais seriam as vantagens de ocorrer reprodução sexuada, se organismos como as bactérias se reproduzem assexuadamente com grande sucesso há mais de 3 bilhões de anos? Acompanhar os aspectos moleculares e cromossômicos da reprodução sexuada proporciona uma visão mais aprofundada e mais ampla da sexualidade.

1. Tipos de reprodução

Reprodução é o processo pelo qual os seres vivos originam descendentes. Por meio da reprodução, a vida tem se perpetuado ininterruptamente em nosso planeta desde sua origem, há mais de 3,5 bilhões de anos. Podem-se distinguir dois modos básicos de reprodução: a **reprodução assexuada**, em que um único genitor dá origem a descendentes geneticamente idênticos a si, e a **reprodução sexuada**, em que um novo indivíduo resulta de dois **gametas** haploides que se fundem. A célula resultante dessa fusão é o **zigoto**, célula diploide que é ponto de partida para a formação de cada novo indivíduo.

A maioria dos organismos unicelulares, como bactérias, arqueas, protozoários e algas unicelulares, se reproduz assexuadamente por meio de **divisão binária**, que consiste na divisão da célula em dois novos indivíduos. Certas algas e fungos multicelulares se reproduzem assexuadamente por meio de **esporulação**, processo em que se formam células reprodutivas especiais denominadas **esporos**. Os esporos são liberados no ambiente e, encontrando condições favoráveis, desenvolvem-se em novos indivíduos idênticos ao genitor. (Fig. 7.1)

Tipos de reprodução



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 7.1. (A) Fotomicrografia da bactéria *Escherichia coli* em divisão binária. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 16.000×; cores meramente ilustrativas). (B) Fotomicrografia do protozoário paramécio (*Paramecium* sp.) em divisão binária. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 1500x; cores meramente ilustrativas.) (C) Os diferentes tipos de bolor que surgem no pão provêm, na maioria das vezes, de esporos presentes no ar. (D) Representação esquemática da esporulação do bolor negro do pão, o fungo *Rhizopus* sp. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A maioria dos organismos atuais apresenta reprodução sexuada. Acredita-se que a importância desse tipo de reprodução é levar à formação de descendentes variados, em contraste com a reprodução assexuada, em que toda a descendência é geneticamente idêntica ao genitor. Apresentar descendência variada, fenômeno que os cientistas denominam **variabilidade genética**, é considerado uma vantagem evolutiva porque aumenta a chance de surgirem indivíduos capazes de se adaptar a diferentes condições ambientais e de assim perpetuar a espécie.

2. Meiose e reprodução sexuada

Meiose é um tipo de divisão celular intimamente associada à reprodução sexuada. O termo meiose deriva da palavra grega *meiosis*, que significa diminuição, referindo-se ao fato de ocorrer redução à metade do número de cromossomos nas células-filhas, em relação aos da célula-mãe. A redução do número de cromossomos na meiose contrabalança a reunião dos cromossomos maternos e paternos que ocorre na reprodução sexuada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A redução do número de cromossomos na meiose deve-se ao fato de ocorrer apenas uma duplicação cromossômica, seguida de duas divisões celulares consecutivas, denominadas **meiose I** e **meiose II**. Uma célula que passa por meiose origina quatro células-filhas, cada uma com metade do número de cromossomos originalmente presente na célula-mãe. No caso da espécie humana, por exemplo, as células que sofrem meiose (células germinativas) são diploides, apresentando 46 cromossomos. As células resultantes da meiose, os gametas (óvulos ou espermatozoides), são haploides, apresentando 23 cromossomos.

Etapas da meiose

No período (interfase) que precede a meiose, ocorre a duplicação dos cromossomos. Cada cromossomo duplicado é constituído por duas cromátides-irmãs, unidas pela região do centrômero. Após a duplicação cromossômica, as células sofrem a divisão I da meiose, originando duas células-filhas que executam a divisão II sem que haja nova duplicação cromossômica. É isso que explica a redução cromossômica que ocorre na meiose.

As etapas das divisões I e II da meiose são semelhantes às etapas da mitose, recebendo as mesmas denominações. Assim, a meiose I compõe-se das fases: prófase I, metáfase I, anáfase I e telófase I. A meiose II compõe-se das fases: prófase II, metáfase II, anáfase II e telófase II. Entre as divisões I e II pode haver um curto intervalo interfásico denominado **intercinese**.

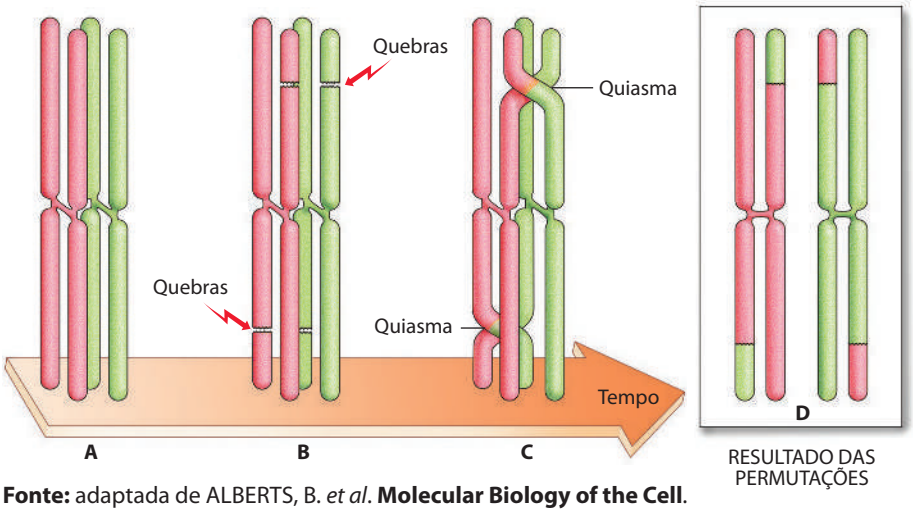
Meiose I

O início da **prófase I** é marcado pela condensação de certas regiões cromossômicas, que aparecem ao microscópio como pontos de coloração mais intensa denominados **cromômeros** (do grego, *chromos*, cor, e *meros*, parte). Ao microscópio fotônico, nessa fase, os cromossomos apresentam-se como fios longos e finos, pontilhados por cromômeros.

À medida que se condensam, os cromossomos homólogos duplicados dispõem-se lado a lado, emparelhando-se perfeitamente ao longo de todo o seu comprimento, como se fossem as duas partes de um zíper sendo fechado. Nessa fase, podem ocorrer quebras em pontos correspondentes de cromátides homólogas, que logo se soldam. A soldadura, no entanto, pode ocorrer de maneira trocada, ou seja, a cromátide de um dos cromossomos do par se solda à cromátide do seu homólogo, e vice-versa. Isso resulta na troca de pedaços entre as cromátides de cromossomos homólogos, processo denominado **permutação cromossômica**, ou ***crossing-over***. A permutação cromossômica leva à reunião, em um mesmo cromossomo, de genes provenientes da mãe e genes provenientes do pai.

Os cromossomos homólogos duplicados, eventualmente com partes permutadas, começam a se separar. À medida que a separação ocorre, é possível perceber, ao microscópio fotônico, regiões onde há cruzamento entre as cromátides de cromossomos homólogos. Esses cruzamentos, denominados **quiasmas** (do grego *chiasma*, cruzado, em forma de X), são consequências das permutações cromossômicas ocorridas. (Fig. 7.2)

Permutação entre cromossomos homólogos



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

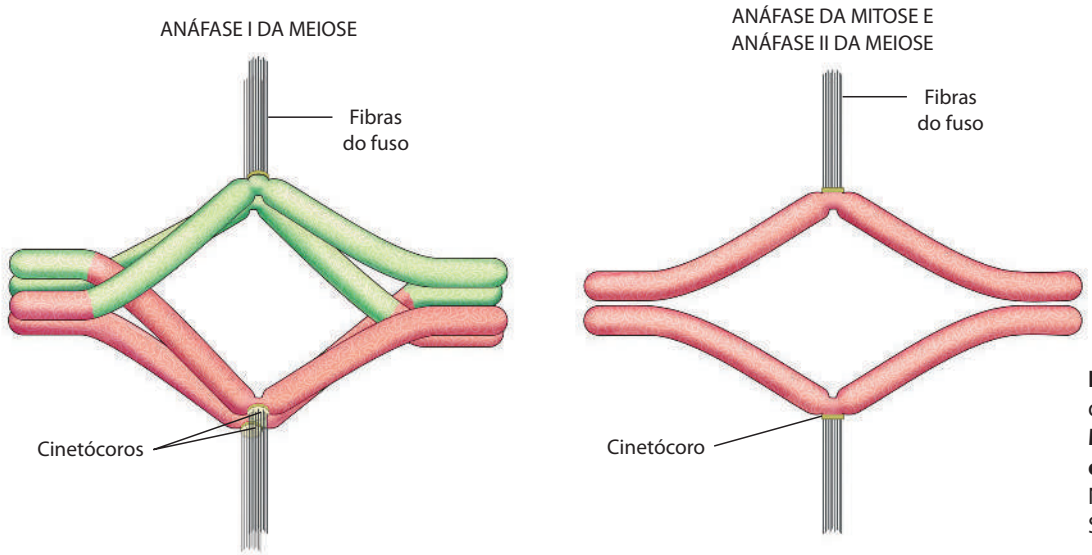
Fonte: adaptada de ALBERTS, B. *et al*. **Molecular Biology of the Cell**. 6th ed. New York: Garland Science, 2015.

Figura 7.2. Representação esquemática da permutação entre cromossomos homólogos. Dois homólogos emparelhados (A) sofrem rupturas em pontos equivalentes de suas cromátides (B). A reparação das rupturas pode ocorrer de maneira trocada, ou seja, o fragmento da cromátide de um cromossomo solda-se à cromátide de seu homólogo, e vice-versa, originando figuras em forma de "X" denominadas quiasmas (C). Em (D), os cromossomos estão representados lado a lado para mostrar o resultado das permutações. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O final da prófase I é marcado pela desintegração da carioteca e pelo espalhamento dos pares de cromossomos homólogos pelo citoplasma. Tem início então a **metáfase I**, fase em que os cromossomos, então fortemente condensados, ligam-se a fibras (microtúbulos) do fuso acromático pela região dos centrômeros. Cada cromossomo, constituído por duas cromátides, prende-se a microtúbulos provenientes de um dos polos, enquanto seu homólogo prende-se a microtúbulos do polo oposto. Como consequência dessa ligação cromossômica peculiar, cada cromossomo duplicado é separado de seu homólogo ao ser arrastado para um dos polos da célula. A separação dos cromossomos duplicados para polos opostos caracteriza a **anáfase I**. (Fig. 7.3)

Comparação entre as anáfases da meiose e da mitose



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de ALBERTS, B. *et al*. **Molecular Biology of the Cell**. 6th ed. New York: Garland Science, 2015.

Figura 7.3. Representação esquemática da união dos microtúbulos do fuso aos cromossomos. Na anáfase I da meiose, ocorre separação de cromossomos homólogos duplicados. Na anáfase II da meiose e na anáfase da mitose ocorre separação de cromátides-irmãs. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Na **telófase I**, os cromossomos em migração atingem os polos da célula. A partir desse momento, o fuso acromático se desfaz, os cromossomos se descondensam e duas novas cariotecas se reorganizam, envolvendo os conjuntos cromossômicos separados na anáfase I. Surgem assim dois núcleos haploides, uma vez que há apenas um representante de cada par de homólogos em cada núcleo. No entanto, cada cromossomo está constituído por duas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero.

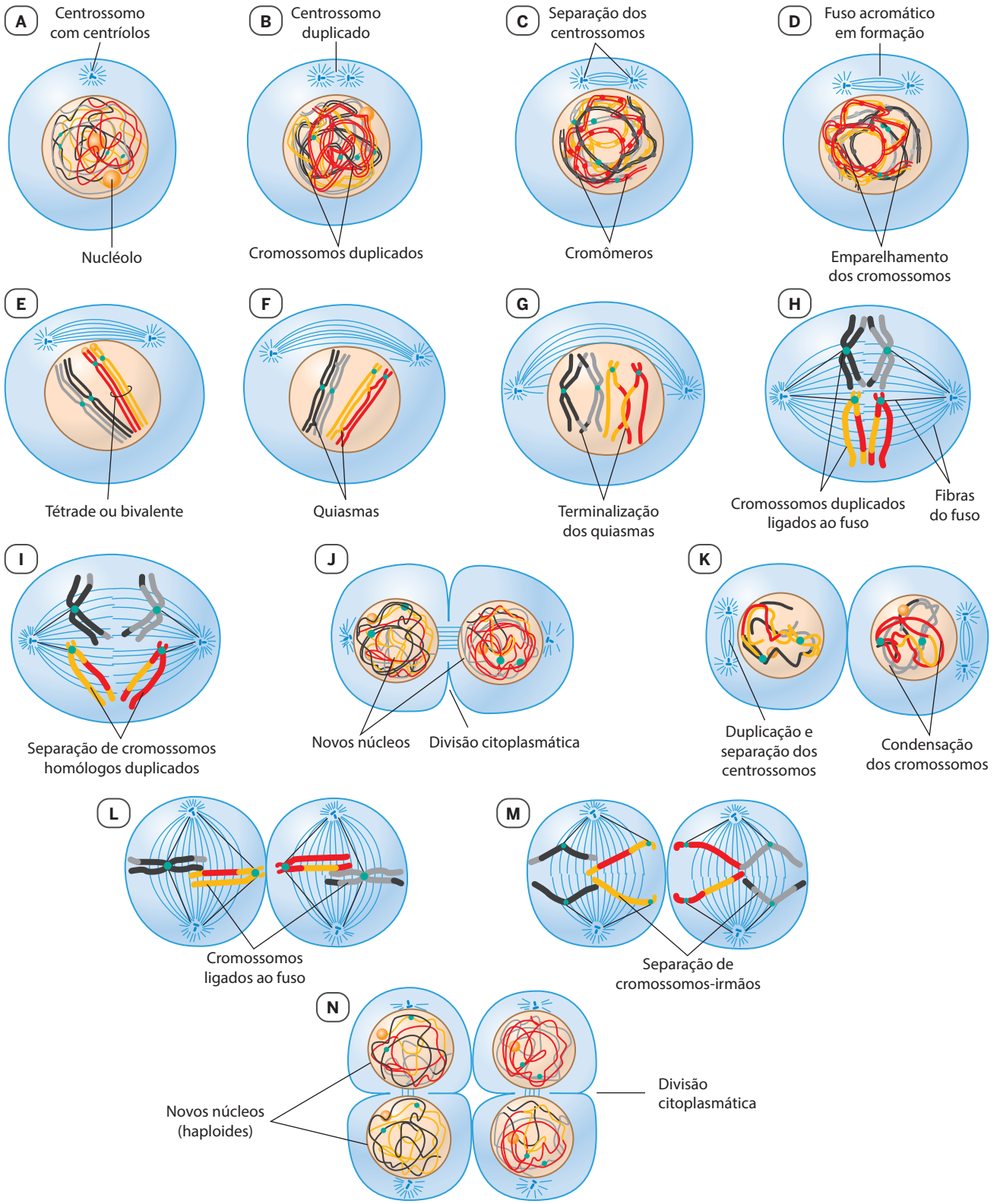
Meiose II

As duas células resultantes da meiose I entram em meiose II, processo idêntico a uma mitose. Na **prófase II**, forma-se o fuso de microtúbulos, os cromossomos se condensam e a carioteca se desintegra. Cada cromossomo, constituído por duas cromátides, associa-se a microtúbulos de polos opostos do fuso, alinhando-se no plano equatorial da célula, o que caracteriza a **metáfase II**.

Em seguida, os centrômeros se duplicam e as cromátides-irmãs começam a se separar, puxadas por microtúbulos ligados a polos opostos, caracterizando a **anáfase II**. Quando as cromátides-irmãs, agora chamadas de cromossomos-irmãos, atingem os polos da célula, ocorre a **telófase II**, fase em que o fuso acromático se desfaz, as cariotecas se reorganizam em torno dos conjuntos cromossômicos separados e os cromossomos se descondensam. Em seguida, o citoplasma se divide e surgem duas novas células-filhas a partir de cada uma que iniciou a segunda divisão meiótica.

Ao final da meiose, cada célula diploide que iniciou o processo meiótico originou quatro células haploides. No esquema a seguir, pode-se acompanhar o processo completo da meiose. As letras de A a N correspondem às diferentes fases do processo; tente identificar cada uma e confira com a legenda da figura. (Fig. 7.4)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 7.4. Representação esquemática das fases da meiose. (A) Interfase (G1). (B) Interfase (G2). (C) Prófase I (leptóteno). (D) Prófase I (zigóteno). (E) Prófase I (paquíteno). (F) Prófase I (diplóteno). (G) Prófase I (diacinese). (H) Metáfase I. (I) Anáfase I. (J) Telófase I. (K) Prófase II. (L) Metáfase II. (M) Anáfase II. (N) Telófase II. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas no Suplemento para o professor.

Gametogênese

Os gametas dos animais se formam a partir de células especiais denominadas **células germinativas**, localizadas nas gônadas dos machos e das fêmeas. As células germinativas dos testículos são chamadas de **espermatogônias** e as dos ovários são denominadas **ovogônias**. As células germinativas são diploides (2*n*) e se multiplicam por mitoses sucessivas. A formação de gametas a partir das células germinativas é genericamente chamada de **gametogênese**. A formação de espermatozoides é a **espermatogênese** e a formação de óvulos é a **ovulogênese**.

Espermatogênese

Nos testículos dos mamíferos, espermatogônias estão em contínua multiplicação por mitose. Enquanto essas divisões celulares ocorrem, algumas espermatogônias crescem, transformando-se em **espermatócitos primários** ou **espermatócitos I**. Esses dividem-se por meiose e originam quatro células haploides cada um, denominadas **espermátides**. Cada espermátide diferencia-se em um espermatozoide, processo denominado **espermiogênese**. (Fig. 7.5)

Na espermiogênese, um centríolo da espermátide se alonga e origina o **flagelo**, a cauda do gameta masculino. Parte do citoplasma é eliminada, o que torna o gameta mais leve e ágil. Forma-se ainda uma bolsa com enzimas, o **acrossomo**, na região celular oposta ao flagelo. As enzimas acrossômicas são responsáveis pela digestão dos envoltórios ovulares na fecundação, permitindo a entrada do espermatozoide no óvulo.

Ovulogênese

A formação dos gametas femininos tem início nos ovários das fêmeas de mamíferos ainda na vida intrauterina. Nos ovários em formação, as ovogônias multiplicam-se rapidamente por mitose até atingir determinado número, quando as mitoses cessam. As ovogônias crescem pelo acúmulo de substâncias nutritivas (**vitelo**) no citoplasma, transformando-se em **ovócitos primários**, ou **ovócitos I**. Os ovócitos I iniciam a meiose, interrompendo-a na fase de prófase I. Uma mulher na puberdade apresenta, em seus ovários, entre 300 mil e 500 mil ovócitos primários.

A partir da maturidade sexual, a cada ciclo reprodutivo, alguns ovócitos I retomam a meiose, mas, em geral, apenas um deles irá completá-la, originando duas células de tamanhos diferentes. A maior delas, que fica com quase todo o vitelo, é o **ovócito secundário**, ou **ovócito II**. A célula irmã, quase destituída de citoplasma, é um pequeno glóbulo aderido ao ovócito II, denominado **glóbulo polar I**. O glóbulo polar não tem função e logo se degenera.

O ovócito II prossegue sua divisão meiótica até a metáfase II, quando a interrompe até ocorrer fecundação. Caso a fecundação não ocorra, o ovócito se degenera. Entretanto, se ocorrer fecundação, a meiose II é retomada e são formadas duas células-filhas de tamanhos desiguais. A célula grande, que contém praticamente todo o citoplasma e o vitelo, é o **óvulo**. A célula pequena, praticamente desprovida de citoplasma, é o **glóbulo polar II**, que logo se degenera.

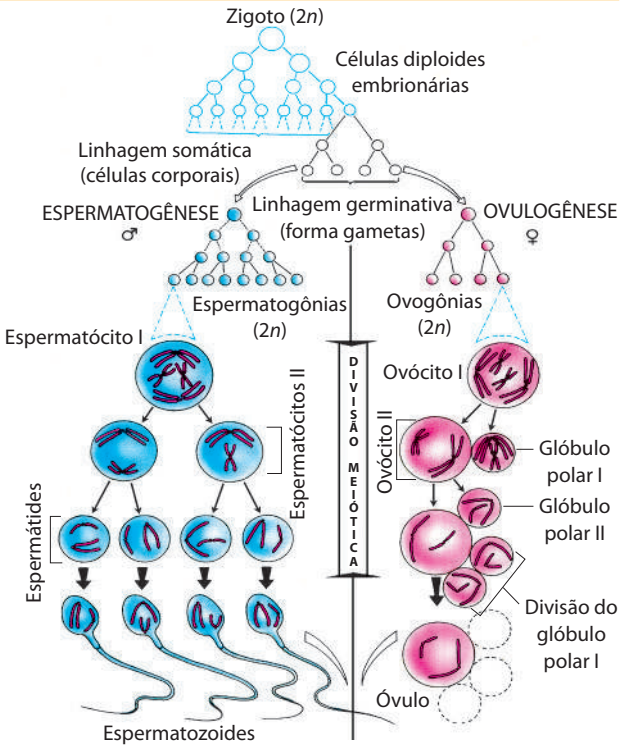
As citocineses desiguais na meiose das fêmeas possibilitam que o citoplasma e o vitelo se concentrem em uma única célula, em vez de ser dividido por quatro. Assim, a partir do ovócito I que inicia a meiose, forma-se apenas uma célula funcional haploide, o óvulo. (Fig. 7.5)

Dialogando com o texto

Quando ocorre a redução cromossômica na meiose?

Analise as anáfases I e II da meiose: em que elas diferem quanto aos cromossomos que são separados? Com base nas ilustrações do livro, elabore um desenho em tamanho grande que mostre a diferença na separação cromossômica que ocorre nas anáfases I e II da meiose. Uma alternativa interessante ao desenho é representar os cromossomos como bastões de massa de modelar colorida e representar as separações cromossômicas em três dimensões. Com base nesses estudos, responda à seguinte questão: quando as células meióticas se tornam haploides, na divisão I ou na divisão II da meiose? Lembre-se de que a célula haploide apresenta apenas um representante de cada tipo cromossômico, esteja ou não duplicado.

Espermatogênese e ovulogênese



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 7.5. Representação esquemática que compara a espermatogênese (à esquerda) e a ovulogênese (à direita) em animais vertebrados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas no Suplemento para o professor.

Em destaque

SAÚDE ODS 3

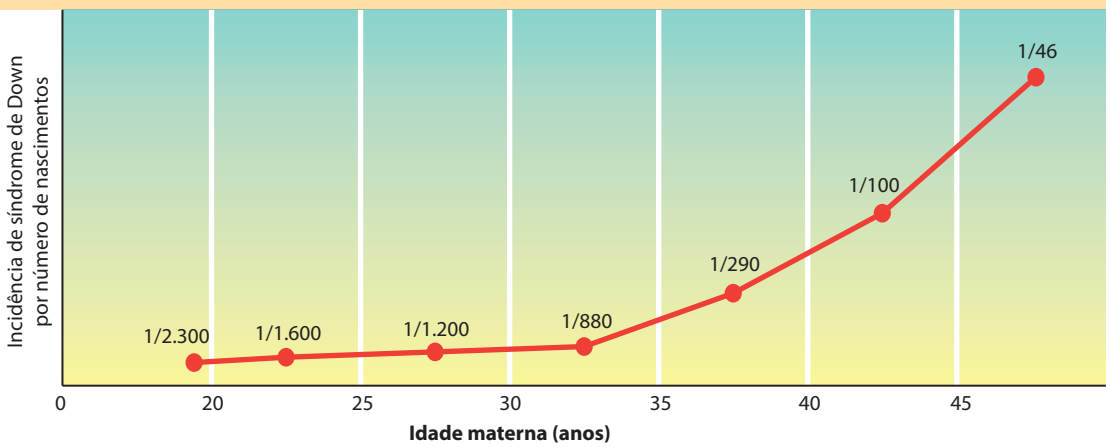
Falhas na meiose e alterações cromossômicas

Na meiose, assim como na mitose, pode ocorrer um tipo de erro denominado **não disjunção cromossômica**. Assim, cromossomos que deveriam se separar para polos opostos na anáfase migram juntos para o mesmo polo celular. Se a não disjunção ocorrer na meiose I, uma das células receberá os dois cromossomos homólogos que não se separaram, e a outra não receberá nenhum representante desse tipo cromossômico. Se a não disjunção ocorrer na meiose II, uma das células receberá dois cromossomos-irmãos que não se separaram.

O resultado de não disjunções na meiose é a formação de gametas com falta ou com excesso de cromossomos. Quando um gameta com um cromossomo a mais ou a menos se une por fecundação a um gameta normal, o zigoto formado é portador de uma alteração no número de cromossomos. Na espécie humana, a maior parte das alterações numéricas de cromossomos causa a morte ainda na fase embrionária. Entretanto, dependendo dos cromossomos afetados, algumas alterações cromossômicas são compatíveis com a vida. Exemplos são as síndromes de Down, de Turner e de Klinefelter. Na síndrome de Down a pessoa afetada apresenta 47 cromossomos, assim como na síndrome de Klinefelter. Na síndrome de Turner as pessoas afetadas apresentam 45 cromossomos.

Um aspecto importante a ser considerado é que a frequência de não disjunções cromossômicas na meiose aumenta expressivamente em mulheres com mais de 35 anos de idade. Isso eleva a probabilidade de serem geradas crianças portadoras de alterações cromossômicas. Mulheres com idade superior a 40 anos e que queiram engravidar devem procurar aconselhamento genético para se informar das chances de gerar crianças portadoras de síndromes decorrentes de não disjunções cromossômicas.

Correlação entre idade materna e síndrome de Down



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: NEWBERGER, D. **Down Syndrome**: Prenatal Risk Assessment and Diagnosis. Am Fam Physician. 2000 Aug. 15; 62(4): 825-832.

O gráfico mostra a relação entre a idade materna e a geração de crianças com síndrome de Down. As frações em cada ponto do gráfico correspondem às frequências de nascimentos de portadores da síndrome.

1. Represente por desenhos uma célula com $2n = 4$ na metáfase I da meiose, com os dois pares de cromossomos emparelhados. Escolha um deles e desenhe a fibra do fuso apenas de um dos polos, simulando a não disjunção de um par de homólogos. Continue a representar a meiose até a formação de quatro células haploides. Duas delas serão desprovidas de um dos tipos cromossômicos e as outras duas apresentarão esse cromossomo em dose dupla.
2. Represente a mesma célula com dois pares de cromossomos em que a não disjunção cromossômica ocorra na meiose II. Como serão as células formadas, nesse caso?
3. Analise o gráfico apresentado anteriormente e responda: em comparação a uma mulher de 20 anos, quantas vezes é maior a chance de uma mulher de mais de 45 anos gerar uma criança portadora de síndrome de Down?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Simulando os eventos da meiose

O objetivo da atividade é simular a meiose por meio de modelos feitos com materiais simples. É interessante trabalhar em grupos de três ou quatro colegas, o que permite trocar ideias durante a elaboração dos modelos. Se possível fotografe ou filme cada etapa da atividade, montando um painel com a sequência obtida. Pode-se também utilizar as fotografias e os vídeos para produzir uma animação da meiose.

Material

- massa de modelar (ou barbantes grossos) de pelo menos quatro cores diferentes
- folhas grandes de papel de embrulho
- linha ou barbante fino
- celular, câmera fotográfica ou material de desenho para registro

Procedimentos

1. Forre a mesa de trabalho com uma folha grande de papel de embrulho e desenhe nela um círculo para representar os limites da célula.
2. Com a massa de modelar (ou os barbantes), represente um par de cromossomos metacêntricos (com o centrômero localizado na região mediana) e um par de cromossomos acrocêntricos (com o centrômero situado em posição mais próxima a uma das extremidades). Utilize cores diferentes para cada cromossomo. Uma célula com o número de cromossomos sugerido apresentaria $2n = 4$.
3. Os cromossomos metacêntricos podem ser representados por dois rolinhos de massa de aproximadamente 10 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro. Uma bolinha de massa de cor diferente, grudada à região mediana de cada cromossomo, representaria o centrômero.
4. Os outros dois rolinhos de massa representariam o par de cromossomos acrocêntricos. Coloque a bolinha de massa que representa o centrômero perto de uma das extremidades.
5. Posicione os modelos de cromossomos sobre a folha de papel de embrulho e dê início à atividade. O primeiro passo é representar a duplicação dos cromossomos, fazendo novos rolinhos de massa idênticos aos anteriores e unindo-os aos cromossomos correspondentes pela região do centrômero.
6. Distribua os modelos de cromossomos duplicados sobre a folha de papel de embrulho e inicie a simulação. O que ocorre na prófase I? Imagine que ocorra uma permutação em cada cromossomo. Como representá-la no modelo? Que tipo de separação cromossômica ocorre na anáfase I? E na anáfase II?
7. Simule a separação dos cromossomos amarrando uma linha às regiões centroméricas e puxando cada cromossomo para polos opostos.
8. Uma vez visualizados os eventos gerais da segregação dos cromossomos na meiose e da permutação, o desafio é fazer modelos para cada subfase da prófase I e das outras fases, representando a sequência completa da meiose.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. A fecundação nos animais

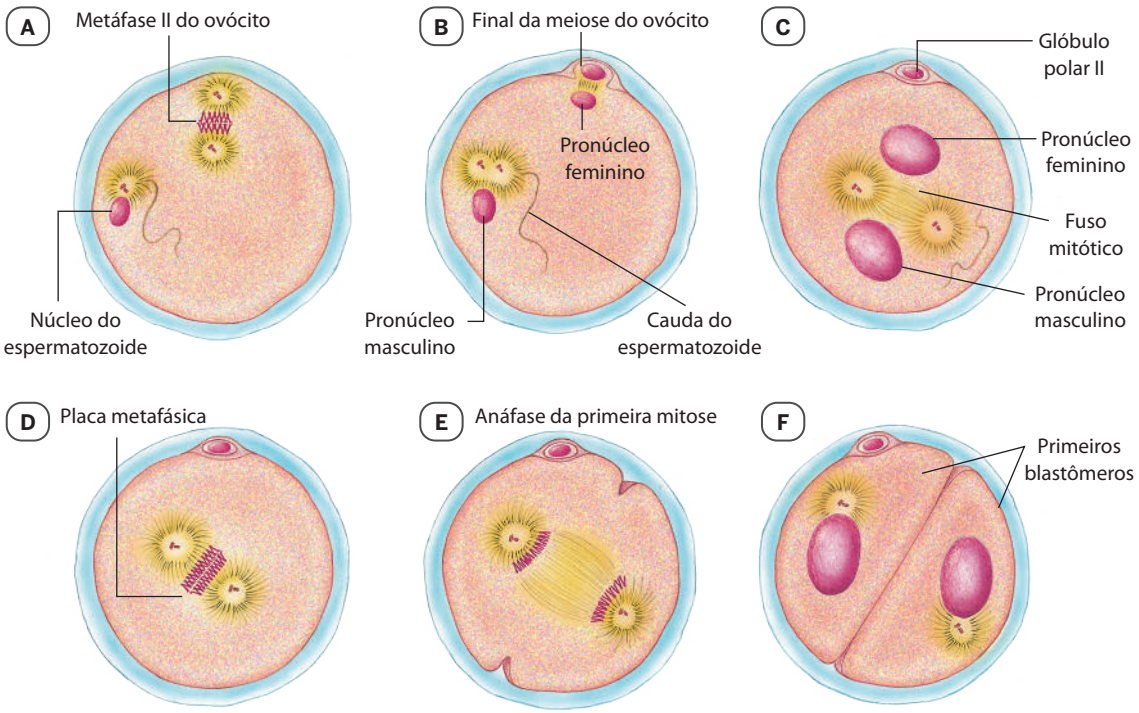
A **fecundação**, ou **fertilização**, é o processo de fusão entre dois gametas haploides com formação do zigoto diploide. Se os gametas que se unem provêm de dois indivíduos, fala-se em **fecundação cruzada**. Se os gametas que se unem são produzidos pelo mesmo indivíduo, fala-se em **autofecundação**. O encontro dos gametas masculino e feminino pode tanto ocorrer no ambiente externo como no interior do corpo da fêmea, dependendo da espécie. No primeiro caso, fala-se em **fecundação externa**; no segundo, em **fecundação interna**.

Experiências com animais mostraram que os gametas femininos liberam substâncias capazes de atrair os espermatozoides. Ao encontrar o óvulo, os espermatozoides liberam as enzimas contidas no acrossomo, as quais digerem os envoltórios ovulares, abrindo caminho para a penetração do espermatozoide no citoplasma ovular. Apenas o primeiro espermatozoide a tocar a superfície do óvulo penetra, pois, quando isso ocorre, forma-se uma barreira físico-química em torno do citoplasma ovular, a chamada **membrana de fecundação**. Essa membrana impede que outros espermatozoides penetrem o óvulo, garantindo que a fecundação seja realizada por um único gameta masculino.

Nos mamíferos, a penetração do espermatozoide estimula o ovócito II a continuar a divisão meiótica, que havia sido interrompida na fase de metáfase II. A meiose II se completa com a formação do óvulo propriamente dito e do segundo glóbulo polar, que irá se degenerar. O núcleo do óvulo passa a ser chamado de **pronúcleo feminino**. O núcleo do espermatozoide que fecundou o óvulo aumenta em volume e passa a ser chamado de **pronúcleo masculino**.

Algumas horas após a penetração do espermatozoide no óvulo, os cromossomos dos pronúcleos masculino e feminino se duplicam e iniciam a condensação, preparando-se para a primeira divisão mitótica do zigoto. Os envoltórios nucleares se fragmentam e os cromossomos maternos e paternos, já duplicados e condensados, se dispersam no citoplasma ovular. Com a conclusão da primeira mitose, formam-se as duas primeiras células do novo indivíduo, que são genética e cromossomicamente idênticas entre si e ao zigoto. (Fig. 7.6)

Formação do zigoto humano



EDILSON BILAS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.6. Representação esquemática das etapas da formação de um zigoto humano e de sua primeira mitose. (A) Espermatozoide no interior do ovócito secundário. (B) Fim da meiose do ovócito e formação do segundo glóbulo polar e do pronúcleo feminino. (C) Os pronúcleos masculino e feminino dispõem-se próximos ao fuso mitótico, com seus cromossomos em estágio avançado de condensação. (D) As cariotecas dos dois pronúcleos se desfazem e os cromossomos condensados espalham-se nas proximidades do fuso e se unem às fibras de microtúbulos. (E) Separação dos cromossomos-irmãos para polos opostos do fuso, onde surgem dois núcleos-filhos, cada qual com dois conjuntos de cromossomos, um materno e outro paterno. (F) Citocinese e formação das duas primeiras células embrionárias, denominadas blastômeros. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

4. Desenvolvimento embrionário animal

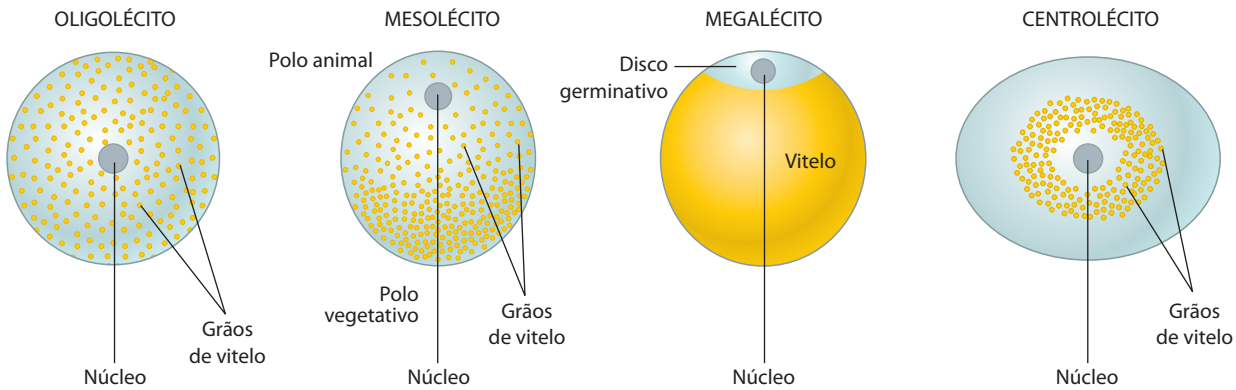
Tipos de ovos

O embrião que se origina de um zigoto é nutrido pelo vitelo acumulado no citoplasma do ovo durante a ovogênese. De acordo com a quantidade de vitelo presente em seu citoplasma, os ovos são classificados em quatro tipos básicos: oligolécitos, mesolécitos, megalécitos e centrolécitos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ovos oligolécitos (do grego *oligos*, pouco) apresentam pouco vitelo, distribuído mais ou menos homogeneamente no citoplasma. Esse tipo de ovos está presente em animais cordados e em equinodermos. **Ovos mesolécitos** (do grego *mesos*, intermediário), ou **heterolécitos** (do grego *heteros*, diferente, desigual), apresentam quantidade relativamente grande de vitelo distribuída de forma desigual no citoplasma. Esse tipo de ovos está presente em anfíbios. **Ovos megalécitos** (do grego *mega*, grande), ou **telolécitos** (do grego *telos*, extremidade), se caracterizam por apresentar grande quantidade de vitelo, com o citoplasma e o núcleo ovulares deslocados para a periferia. Ovos desse tipo estão presentes em aves e répteis. No ovo da galinha, por exemplo, a gema corresponde ao vitelo acumulado e o citoplasma e o núcleo restringem-se a um pequeno ponto localizado na superfície da gema. **Ovos centrolécitos** (do grego *centro*, meio, centro) apresentam quantidade relativamente grande de vitelo concentrada na região central da célula-ovo, em torno do núcleo. Ovos desse tipo estão presentes em artrópodes. (Fig. 7.7)

Tipos de ovos



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.7. Representação esquemática dos tipos de ovos em relação à distribuição do vitelo no citoplasma. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Etapas do desenvolvimento embrionário

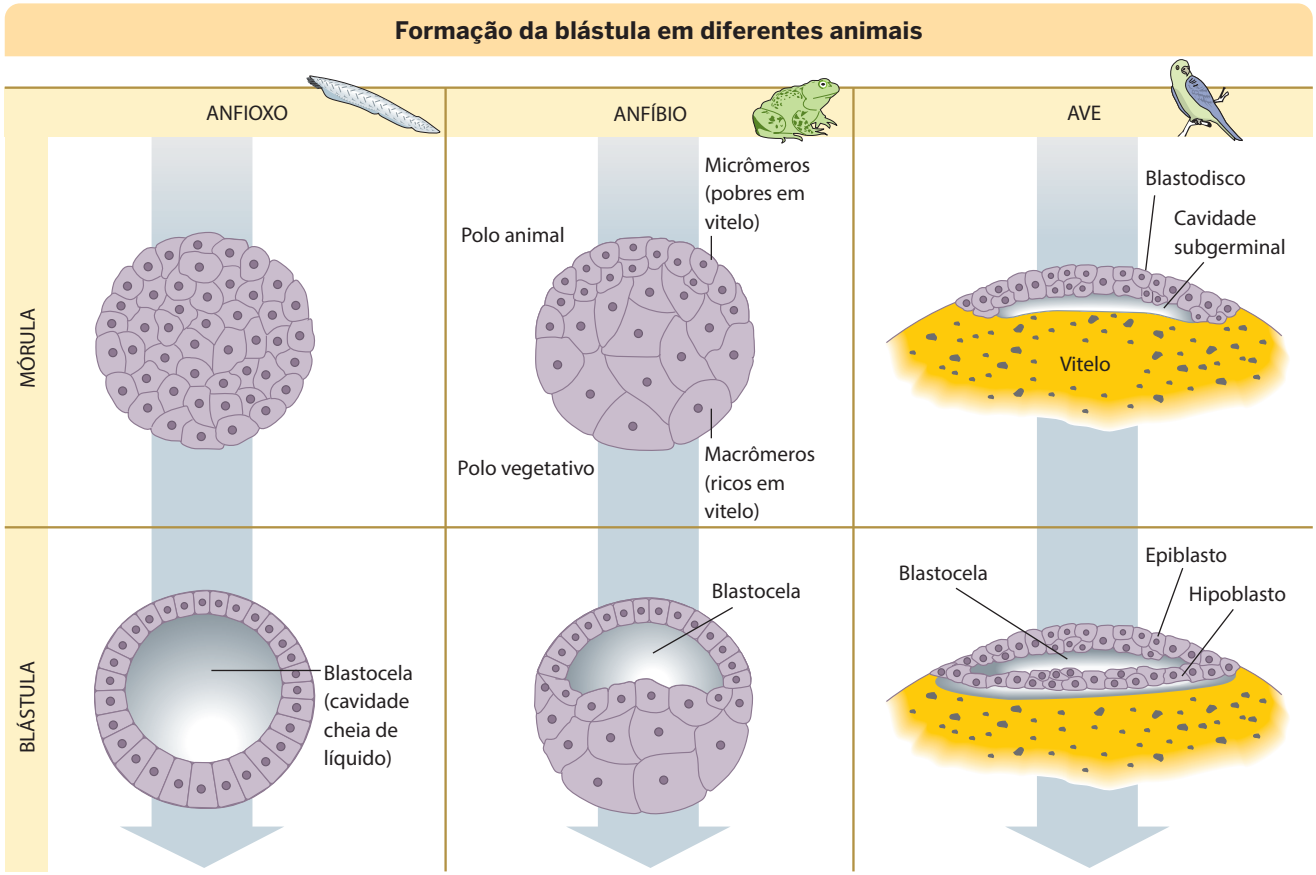
O processo de desenvolvimento do embrião animal, denominado **embriogênese** (do grego *genese*, origem, criação), pode ser dividido em três etapas principais: a segmentação (ou clivagem), a gastrulação e a organogênese.

Segmentação

A **segmentação**, ou **clivagem**, é a fase em que as células descendentes do zigoto, chamadas de **blastômeros**, multiplicam-se ativamente por mitose, originando um aglomerado celular denominado **mórula** (do latim *morula*, amora), que lembra uma amora microscópica. À medida que o desenvolvimento prossegue, surge no interior da mórula uma cavidade cheia de líquido, a **blastocela** (do latim *cella*, pequeno quarto, cavidade). Essa fase do desenvolvimento é denominada **blástula**.

As divisões celulares no início do desenvolvimento embrionário sucedem-se com grande rapidez. Por exemplo, 12 horas após a primeira mitose, o embrião da mosca drosófila (mosca-da-banana) já tem mais de 50 mil células. Um embrião de rã com apenas 43 horas de vida é constituído por cerca de 37 mil células.

A blástula originada de ovos com pouco vitelo (oligolécitos) constitui-se em uma bola de células, com uma ampla cavidade central cheia de líquido. Ovos mesolécitos apresentam uma blastocela relativamente pequena, restrita a um dos polos embrionários. A blástula originada de ovos megalécitos, muito ricos em vitelo, é um pequeno disco composto de duas camadas celulares, o epiblasto e o hipoblasto. Entre essas duas camadas celulares encontra-se a blastocela. (Fig. 7.8)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.8. Representação esquemática em corte de embriões de diferentes animais em fase de mórula e de blástula. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Gastrulação

O processo de formação da **gástrula**, estágio que sucede a blástula, é chamado de **gastrulação**. Nesse processo, o embrião passa por grandes alterações, que definem o plano corporal básico do futuro animal. Por exemplo, na gastrulação, as células que darão origem a músculos e órgãos internos migram para o interior do embrião, enquanto células precursoras da pele e do sistema nervoso dispõem-se na superfície embrionária.

A migração de células para o interior do embrião durante a gastrulação leva ao desaparecimento da blastocela e ao surgimento de uma nova cavidade, o **arquêntero** (do grego *archeos*, primitivo, e *enteron*, intestino), ou **gastrocela** (do grego *gastros*, estômago, e *cela*, cavidade). Essas denominações referem-se ao fato de que o arquêntero será o futuro tubo digestivo do animal. O arquêntero comunica-se ao exterior por meio de uma abertura denominada **blastóporo**. Nos animais cordados (grupo ao qual pertencem os vertebrados) e nos equinodermos (ouriços-do-mar e estrelas-do-mar, entre outros), o blastóporo dará origem ao ânus do futuro animal, enquanto a boca se formará posteriormente, no lado oposto ao do blastóporo. Por isso, esses animais são denominados **deuterostômios** (do grego *deuteros*, segundo, posterior, e *stoma*, boca). Em todos os outros grupos de animais com tubo digestivo completo (nematódeos, moluscos, anelídeos e artrópodes), o blastóporo origina a boca, e o ânus surge posteriormente. Por isso, esses animais são denominados **protostômios** (do grego *protos*, primeiro, e *stoma*, boca).

Formação dos folhetos germinativos

Os tecidos corporais da maioria das espécies animais derivam de três conjuntos de células denominados **folhetos germinativos**, que se formam durante o estágio de gástrula. As esponjas são os únicos animais que não apresentam folhetos germinativos em seus embriões. Nos cnidários (águas-vivas, anêmonas e corais, por exemplo), os embriões apresentam dois folhetos germinativos, o ectoderma e o endoderma,

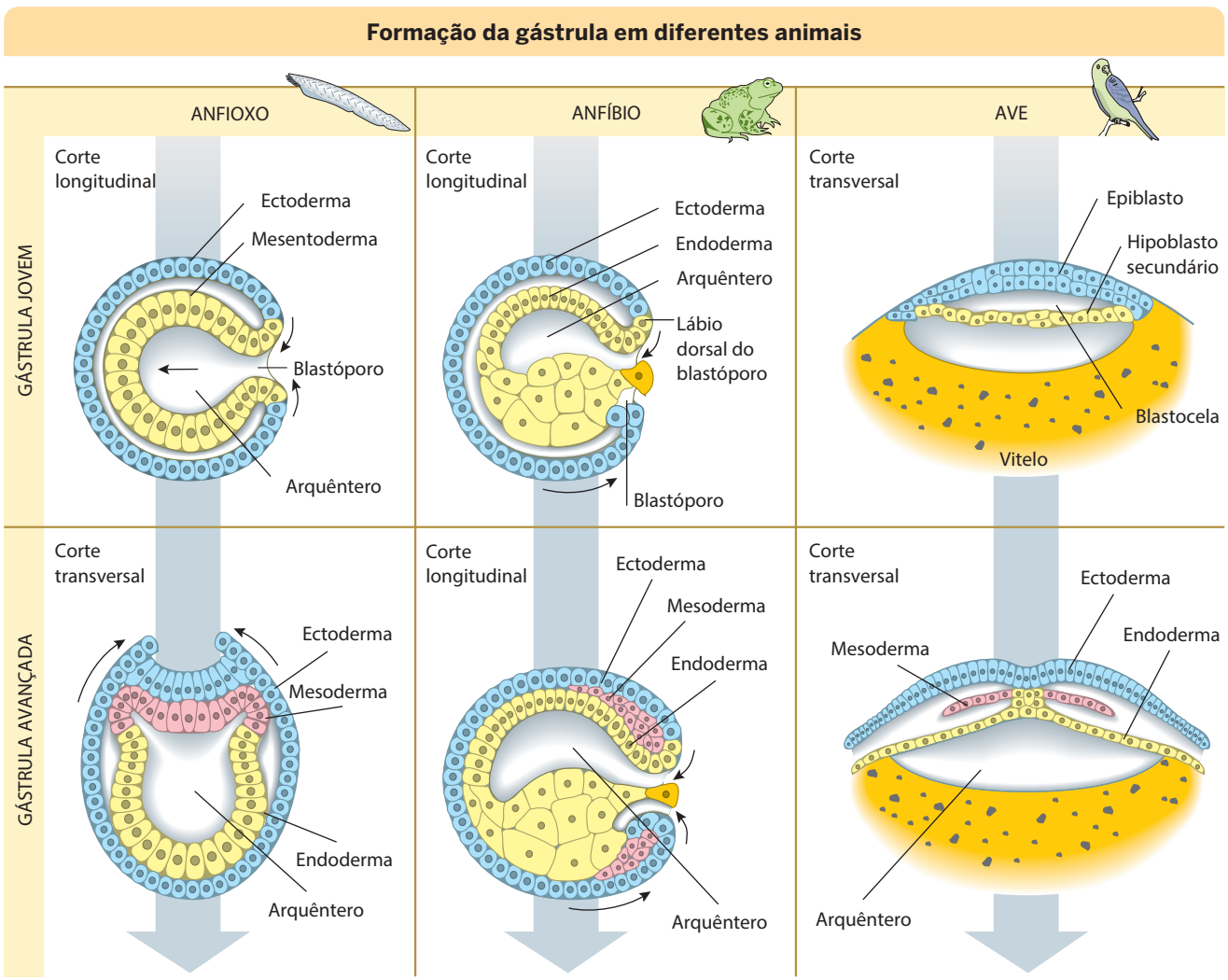
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

por isso, eles são denominados animais **diblásticos**. Em todos os outros grupos de animais, os embriões apresentam três folhetos germinativos, sendo por isso denominados animais **triblásticos**.

O folheto germinativo que reveste o embrião é denominado **ectoderma** (do grego *ecto*, fora). Desse folheto originam-se a epiderme, a camada externa da pele, e as estruturas associadas a ela, como pelos, unhas, garras, glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas. O ectoderma também origina o sistema nervoso do animal, composto pelo encéfalo, pela medula espinhal, pelos nervos e pelos gânglios nervosos.

O folheto germinativo mais interno, que delimita a cavidade do arquêntero, é denominado **endoderma** (do grego *endo*, dentro). Desse folheto derivam o revestimento interno do tubo digestivo e as estruturas glandulares associadas à digestão, tais como as glândulas salivares, o pâncreas, o fígado e as glândulas estomacais. O endoderma também origina o sistema respiratório (brânquias e pulmões).

O folheto germinativo situado entre o ectoderma e o endoderma é denominado **mesoderma** (do grego *meso*, meio) e origina os músculos, os ossos, o sistema cardiovascular (coração, vasos sanguíneos e sangue) e os sistemas urinário (rins, bexiga e vias urinárias) e genital (órgãos reprodutivos). (Fig. 7.9)



Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.9. Representação esquemática de cortes de embriões comparando os processos de gastrulação no anfioxo, em anfíbios e em aves. No anfioxo, as células de uma região da blástula se movimentam como se fossem empurradas para dentro da blastocela. A gastrulação em anfíbios ocorre pela migração de células do lábio dorsal do blastóporo para o interior da blastocela e pelo crescimento de células da camada externa, que penetram pelo lábio inferior do blastóporo. Em aves e répteis, formam-se lâminas transversais de células que originam os três folhetos germinativos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

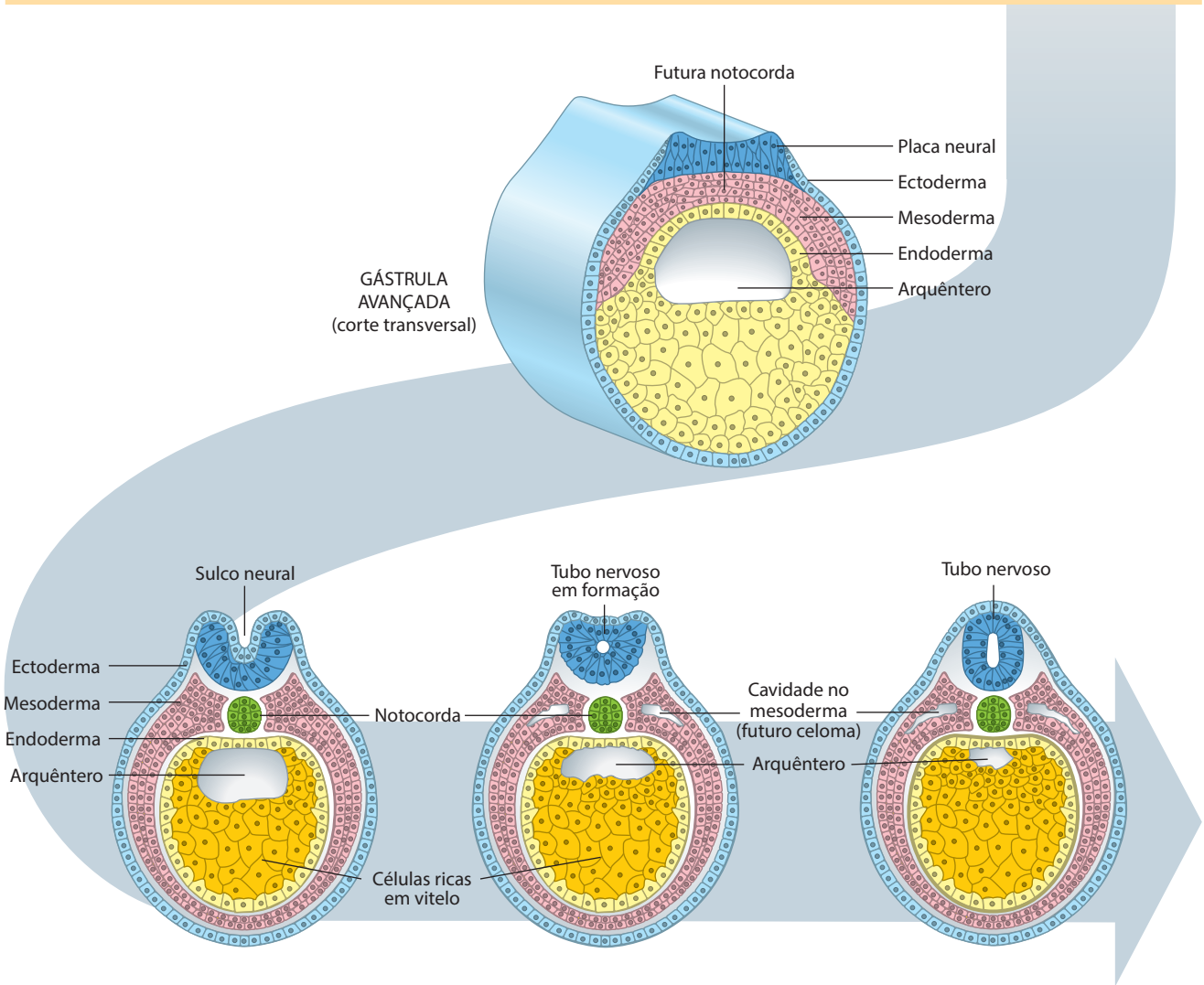
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Organogênese

A formação do **tubo nervoso**, ou **tubo neural**, nos animais cordados começa com um achatamento no dorso da gástrula que forma a **placa neural**. Em seguida, essa placa celular se dobra e assume progressivamente o aspecto de uma calha, denominada **goteira neural**. O dobramento da goteira neural prossegue até que suas bordas se encontram e se fundem, isolando o tubo nervoso sob a ectoderme. O estágio embrionário em que ocorre a formação do tubo nervoso é denominado **nêurula** (do grego *neuron*, nervo).

Ao mesmo tempo que o tubo nervoso se diferencia, um conjunto de células mesodérmicas embaixo dele origina um bastão semirrígido, a **notocorda** (do grego *notos*, dorso, costas), também chamada de **corda dorsal**. A notocorda é uma estrutura exclusiva de animais cordados e, embora esteja presente no desenvolvimento embrionário de todos os grupos, desaparece na fase adulta da maioria deles. (Fig. 7.10)

Formação da nêurula em anfíbios



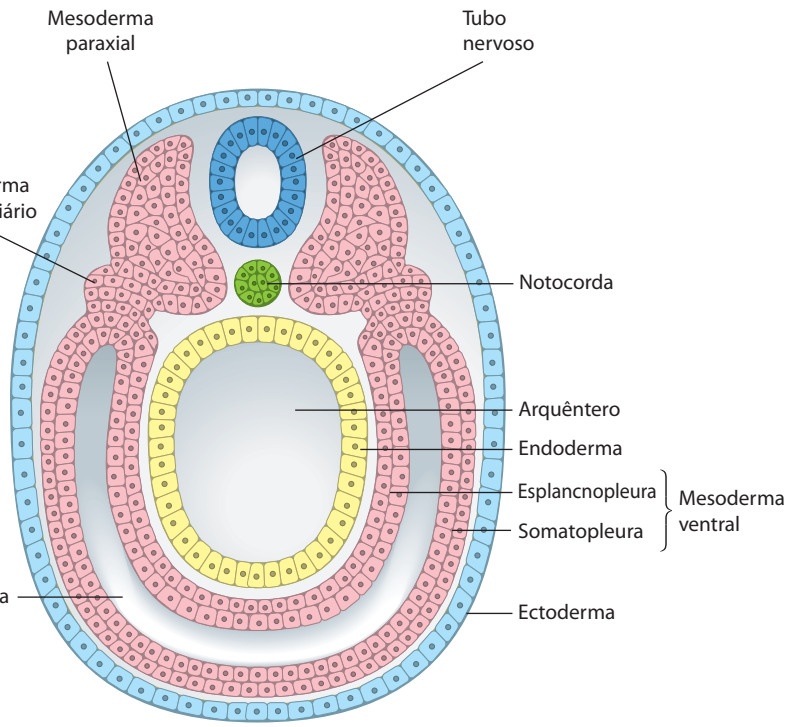
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.10. Representação esquemática de cortes transversais de embriões de anfíbios em processo de transição de gástrula para nêurula. Na parte superior, gástrula avançada mostrando a placa neural. Na parte inferior, representação de três estágios na formação do tubo nervoso. Enquanto o tubo nervoso se forma, surge a notocorda e formam-se dois blocos mesodérmicos laterais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

À medida que o tubo nervoso se forma, o mesoderma se desenvolve e passa a preencher os espaços entre o ectoderma e o endoderma embrionários. O mesoderma situado ao longo do dorso do embrião divide-se em blocos transversais denominados **somitos**. A partir deles, formam-se a derme, a coluna vertebral, as costelas e os músculos estriados esqueléticos. As regiões laterais do mesoderma originam o sistema urogenital, constituído pelos rins, pela parte não germinativa das gônadas e seus respectivos canais (dutos). A região ventral do mesoderma separa-se em duas lâminas celulares com um espaço preenchido por líquido entre elas, o celoma. A partir das lâminas mesodérmicas ventrais surgem o sistema cardiovascular (coração e vasos sanguíneos), a musculatura lisa e o esqueleto dos membros, entre outras estruturas corporais. (Fig. 7.11)

Nêurula de animal cordado



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 9th ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

Figura 7.11. Representação esquemática de um embrião de cordado em estágio de nêurula cortado transversalmente. Note o celoma, cavidade mesodérmica que surge nesse estágio. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O endoderma origina o revestimento interno do tubo digestivo, além das estruturas que se formam a partir dele: glândulas salivares, pâncreas, fígado e vesícula biliar. Esse tecido embrionário também origina o revestimento das brânquias de peixes e anfíbios jovens e o revestimento dos condutos respiratórios e dos pulmões em anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Embriologia e integração de conhecimentos

Entreviste um profissional do ramo de construção civil, como um engenheiro ou um arquiteto, e explique a ele que sua pesquisa busca entender as linhas básicas e as estratégias adotadas para a construção de um grande edifício, por exemplo, a partir de um projeto, local, materiais de construção, operários etc. A ideia é resumir a sequência de passos necessários à realização do projeto. Seu grande desafio na atividade é utilizar os dados da entrevista para traçar um paralelo com o desenvolvimento embrionário.

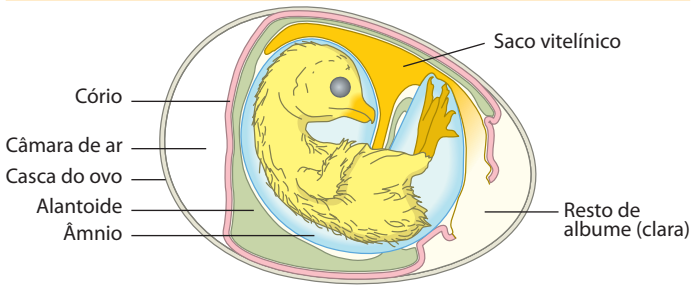
Por exemplo, o projeto arquitetônico e técnico de um edifício é registrado em uma planta; e o projeto de desenvolvimento embrionário, onde estaria escrito? Tente correlacionar fases de uma obra de engenharia com o empreendimento embrionário. Por fim, redija um texto com metáforas que ajudem a tornar mais clara a ideia de que a estruturação das células e dos tecidos durante as etapas do desenvolvimento embrionário é fundamental ao projeto de formação de um animal complexo como o ser humano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Anexos embrionários

Anexos embrionários são estruturas externas ao corpo do embrião que se formam durante a embriogênese de répteis, aves e mamíferos. Os anexos embrionários são o saco vitelínico, o alantoide, o âmnio e o cório. (Fig. 7.12)

Embrião de galinha e anexos embrionários



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 7.12. Representação esquemática de um embrião de galinha com 13 dias de incubação (a 8 dias do nascimento) mostrando seus anexos embrionários. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O **saco vitelínico** é uma bolsa constituída por mesoderme e endoderme e ligada ao intestino. O saco vitelínico envolve completamente a massa de vitelo, absorvendo as substâncias que nutrem o embrião em desenvolvimento.

O **alantoide** é uma bolsa constituída por mesoderme e endoderme, ligada ao intestino e que armazena substâncias potencialmente tóxicas excretadas pelos rins do embrião, principalmente ácido úrico. Por ser pouco solúvel em água, o ácido úrico acumulado no alantoide não se difunde, o que previne a intoxicação do embrião durante o desenvolvimento. Outra função do alantoide é participar, com o cório, da respiração do embrião.

O **âmnio**, constituído por ectoderme e mesoderme, forma uma bolsa que envolve totalmente o embrião. A bolsa amniótica é preenchida por líquido, prevenindo a dessecação e amortecendo eventuais choques mecânicos.

O **cório** é uma bolsa constituída por ectoderme e mesoderme, que envolve todos os outros anexos embrionários, inclusive a bolsa amniótica que contém o embrião.

Nos ovos de répteis e de aves, o cório se desenvolve imediatamente sob a casca do ovo em íntima associação com o alantoide. O conjunto formado pelo cório e pelo alantoide é denominado **alantocório**, ou **corioalantoide**, sendo ricamente vascularizado, o que permite uma eficiente troca de gases entre os tecidos embrionários e o ar ao redor do ovo.

Os embriões dos mamíferos placentários apresentam os mesmos anexos embrionários que répteis e aves, embora sua função original tenha sido substituída pela placenta. A presença de anexos embrionários em mamíferos placentários é explicada como um resquício evolutivo. Como os mamíferos evoluíram a partir de um grupo antigo de répteis, mesmo com a evolução da placenta, os anexos embrionários persistiram como herança de nossa ancestralidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Pesquisas sobre células-tronco

Forme um grupo de colegas para pesquisar em *sites* confiáveis da internet sobre tratamentos efetivamente comprovados com a utilização de células-tronco. Algumas organizações de referência em pesquisas com células-tronco são: a **ISSCR** (sigla do inglês ***I**nternational **S**ociety for **S**tem **C**ell **R**esearch*, em português Sociedade Internacional para a Pesquisa com Células-Tronco) e o Laboratório Nacional de Células-Tronco Embrionárias (LaNCE). Conheça mais sobre o trabalho do LaNCE acessando: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/brasil-vai-ganhar-banco-de-celulas-tronco-cobrindo-90-da-populacao/#:~:text=O%20Brasil%20deve%20ganhar%20em,qualquer%20tecido%20do%20corpo%20humano, (acesso em: 4 set. 2024).

a. Segundo as pesquisas de seu grupo, é possível acreditar na perspectiva terapêutica das células-tronco?

b. Com relação à maneira de obter células-tronco, qual é a posição ética dos membros do grupo sobre o tema? Seria eticamente correto obter células-tronco de embriões gerados por fecundação *in vitro* e que seriam descartados? Se o tema despertar interesse e divergência de opiniões, converse com o professor sobre a possibilidade de realizar um debate com a turma e de divulgar os argumentos discutidos em uma mídia social.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. O processo celular de redução cromossômica associado aos ciclos de vida sexuados é a
1.c
a. isogamia.
b. permutação.
c. meiose.
d. mitose.

2. A troca de pedaços entre cromátides homólogas que ocorre durante a prófase I da meiose denomina-se
2.d
a. diacinese.
b. diplóteno.
c. paquíteno.
d. permutação.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 3 a 7.
a. Os cromossomos estão emparelhados dentro do núcleo, com cruzamentos entre cromátides de cromossomos homólogos.
b. Os cromossomos, migrando para os polos da célula, apresentam duas cromátides unidas pelo centrômero.
c. Os cromossomos constituídos por uma única cromátide estão em migração para os polos da célula.
d. Os cromossomos homólogos ainda emparelhados estão dispostos na região mediana do fuso acromático.

3. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na prófase I da meiose?
3.a

4. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na metáfase I da meiose?
4.d

5. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na anáfase I da meiose?
5.b

6. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na anáfase II da meiose?
6.c

7. Qual alternativa descreve um evento que ocorre tanto na meiose como na mitose?
7.c

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 8 e 9.
a. mitose, apenas.
b. meiose I, apenas.
c. meiose I e meiose II.
d. mitose e meiose II.

8. Os cromossomos homólogos migram para polos opostos da célula na (■).
8.b

9. As cromátides-irmãs migram para polos opostos da célula na (■).
9.d

10. O conjunto de transformações que vão desde a fase de zigoto até a formação de um jovem animal é denominado
10.b
a. blastulação.
b. embriogênese.
c. gastrulação.
d. neurulação.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 11 e 12.
a. blástula
b. gástrula
c. mórula
d. nêurula

11. O desenvolvimento embrionário inicia-se com uma série de divisões rápidas do zigoto, o que leva à formação de uma bola maciça de células chamada (■).
11.c

12. O estágio do desenvolvimento embrionário dos vertebrados em que se formam os somitos é a (■).
12.d

13. "Em determinado momento do desenvolvimento, ocorre remodelação total do embrião, com intensa migração de células e formação dos três folhetos germinativos." O processo descreve qual estágio de desenvolvimento embrionário?
13.b
a. Blástula.
b. Gástrula.
c. Mórula.
d. Nêurula.

14. Quais estruturas apresenta um embrião de vertebrado em fase de nêurula, do dorso para o ventre?
14.b
a. Tubo nervoso, arquêntero e notocorda.
b. Tubo nervoso, notocorda e arquêntero.
c. Notocorda, tubo nervoso e arquêntero.
d. Notocorda, arquêntero e tubo nervoso.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 15 e 16.
a. alantocório
b. alantoide
c. âmnio
d. cório

15. O anexo embrionário denominado (■) é responsável pelo armazenamento de ácido úrico em répteis e aves.
15.b

16. O (■) mantém um ambiente aquoso em torno do embrião, protegendo-o da dessecação e de choques mecânicos.
16.c

Questões de vestibulares

17. (UFRRJ) Da fusão dos gametas masculino e feminino, ambos haploides, surge a célula-ovo ou zigoto, em que se restabelece o número diploide. Comparando a quantidade
17.b

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

de DNA encontrada no núcleo das células somáticas de um camundongo, podemos afirmar que é igual

a. à quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

b. a duas vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

c. à metade da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

d. a quatro vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

e. à quarta parte da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

18. (UFMA) Com relação à gametogênese humana, é correto afirmar que

18.e

a. cada ovócito I produz 4 ovócitos II.

b. ovogônias e ovócitos primários são formados durante toda a vida da mulher.

c. espermatogônias são formadas apenas durante a vida intrauterina.

d. cada espermatócito I produz um espermatozoide.

e. a ovulogênese só é concluída se o ovócito II for fecundado.

19. (Uerj) A partir de um ovo fertilizado de sapo, até a formação do girino, ocorre uma série de divisões celulares. A distribuição percentual dos tipos de divisão celular, nessa situação, é a seguinte:

19.a

a. 100% mitose.

b. 100% meiose.

c. 50% meiose – 50% mitose.

d. 75% mitose – 25% meiose.

20. (Ufla-MG) Qual é a alternativa correta?

20.d

a. O arquêntero desenvolve-se em sistema respiratório.

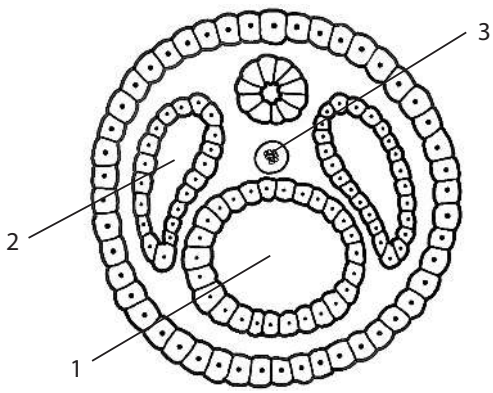
b. O blastóporo dá origem à cavidade oral em mamíferos.

c. A formação do arquêntero caracteriza a fase de mórula do desenvolvimento embrionário.

d. O blastóporo é uma abertura que permite a comunicação do arquêntero com o ambiente externo.

21. (UFSCar-SP) Observe o corte de um embrião, a seguir esquematizado.

21.d



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Os algarismos 1, 2 e 3 representam, respectivamente,

a. o arquêntero, o celoma, o tubo neural.

b. o arquêntero, a mórula, o tubo neural.

c. a mórula, a blástula, a notocorda.

d. o arquêntero, o celoma, a notocorda.

e. o celoma, o arquêntero, a notocorda.

22. (UFRGS-RS) Os folhetos embrionários, através de processos de desenvolvimento e diferenciação, darão origem a diferentes estruturas nos indivíduos adultos. Considere as afirmações abaixo relacionadas ao desenvolvimento embriológico.

22.b

I. A ectoderme origina a medula espinal.

II. A mesoderme origina o tecido muscular e ósseo.

III. A endoderme origina o tecido urogenital.

Quais estão corretas?

a. Apenas I.

b. Apenas I e II.

c. Apenas I e III

d. Apenas II e III.

e. I, II e III.

23. (UFPR) Fase do desenvolvimento embrionário caracterizada pelo estabelecimento dos três folhetos germinativos (ectoderma, mesoderma e endoderma) e por intensos movimentos morfogenéticos:

23.a

a. Gastrulação.

b. Clivagem.

c. Morfogênese.

d. Fecundação.

e. Apoptose.

24. (UFSCar-SP)

> As mais versáteis são as células-tronco embrionárias (TE) isoladas pela primeira vez em camundongos, há mais de 20 anos. As células TE vêm da região de um embrião muito jovem que, no desenvolvimento normal, forma as três camadas germinativas distintas de um embrião mais maduro e, em última análise, todos os diferentes tecidos do corpo.
>
> Scientific American Brasil, jul. 2004.

a. Quais são as três camadas germinativas a que o texto se refere?

b. Ossos, encéfalo e pulmão têm, respectivamente, origem em quais dessas camadas germinativas?

25. (Fuvest-SP)

a. Qual a função desempenhada pelo âmnio no desenvolvimento embrionário?

b. Quais os grupos de vertebrados que apresentam essa estrutura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 8

Reprodução humana

CHRIS RADBURN/PA ARCHIVE/PA IMAGES/FOTOARENA

À direita, Louise Joy Brown com seu filho no colo, ao lado de sua mãe, Lesley Brown, e do fisiologista Robert Edwards, um dos responsáveis pela fecundação *in vitro* que possibilitou a concepção de Louise (Londres, 2008).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Em Londres, no dia 25 de julho de 1978, nasceu a menina Louise Joy Brown, o primeiro bebê de proveta da história da humanidade. Leslie Brown (1948-2012), mãe de Louise, tinha as tubas uterinas obstruídas e não conseguia engravidar. Em um procedimento até então inédito, os ginecologistas Patrick Steptoe (1913-1988) e Robert Edwards (1925-2013) aplicaram injeções de hormônios em Leslie, induzindo o amadurecimento de óvulos e preparando o útero para a gravidez. Alguns óvulos foram retirados cirurgicamente dos ovários de Leslie e transferidos para um frasco de laboratório (daí o termo "bebê de proveta"), onde foram fecundados por espermatozoides do marido, John Brown. Alguns embriões com seis dias de vida, resultantes de fertilização *in vitro*, foram implantados no útero de Leslie Brown. Um deles se desenvolveu e gerou Louise.

O sucesso na concepção de Louise levou milhares de mulheres com problemas de infertilidade a implantar, em seus úteros, embriões concebidos *in vitro*, no procedimento médico que hoje se denomina **reprodução assistida** e que se tornou comum nas clínicas especializadas em reprodução humana. No Brasil, o primeiro bebê de proveta nasceu em 5 de julho de 1991.

Pessoas que se submetem à reprodução assistida precisam ser devidamente aconselhadas quanto aos aspectos físicos e emocionais do procedimento, bem como quanto às taxas de sucesso, possibilidades de gravidez múltipla, riscos gestacionais inerentes à idade e decisões futuras sobre o destino de óvulos congelados não utilizados. A ciência e a tecnologia abrem possibilidades antes inimagináveis, mas essas novidades nos levam a repensar valores éticos e morais.

Conhecer os fundamentos da reprodução humana é necessário ao pleno exercício da cidadania, pois as informações ajudam as pessoas a fazerem escolhas conscientes sobre sua própria reprodução.

1. Sistema genital feminino

O **sistema genital feminino** é composto de órgãos situados externamente ao corpo (vulva, ou pudendo feminino) e de órgãos localizados no interior do abdômen (vagina, útero, um par de tubas uterinas e um par de ovários).

Vulva

A **vulva**, ou **pudendo feminino**, localiza-se entre as coxas, na região baixa do ventre, sendo constituída pelos lábios maiores, lábios menores, clitóris e vestíbulo vaginal. Os **lábios maiores** são duas saliências que se estendem paralelamente da região inferior do púbis até as proximidades do ânus. Os **lábios menores**, posicionados mais internamente, delimitam a região denominada **vestíbulo vaginal**, onde se abrem a uretra e a vagina. Na região anterior do vestíbulo vaginal, à frente do orifício da uretra, localiza-se a porção externa do **clitóris**, também chamada de **glande clitoriana**. O clitóris é constituído por tecido erétil, que durante a excitação sexual se intumesce pelo afluxo de sangue. (Fig. 8.1)

No vestíbulo vaginal, desembocam os condutos provenientes de um par de glândulas vestibulares (glândulas de Bartholin), que produzem uma secreção lubrificante que facilita a penetração do pênis durante o ato sexual. Na maioria das mulheres virgens, a entrada da vagina é parcialmente recoberta por uma membrana denominada **hímen**, que geralmente se rompe no primeiro ato sexual.

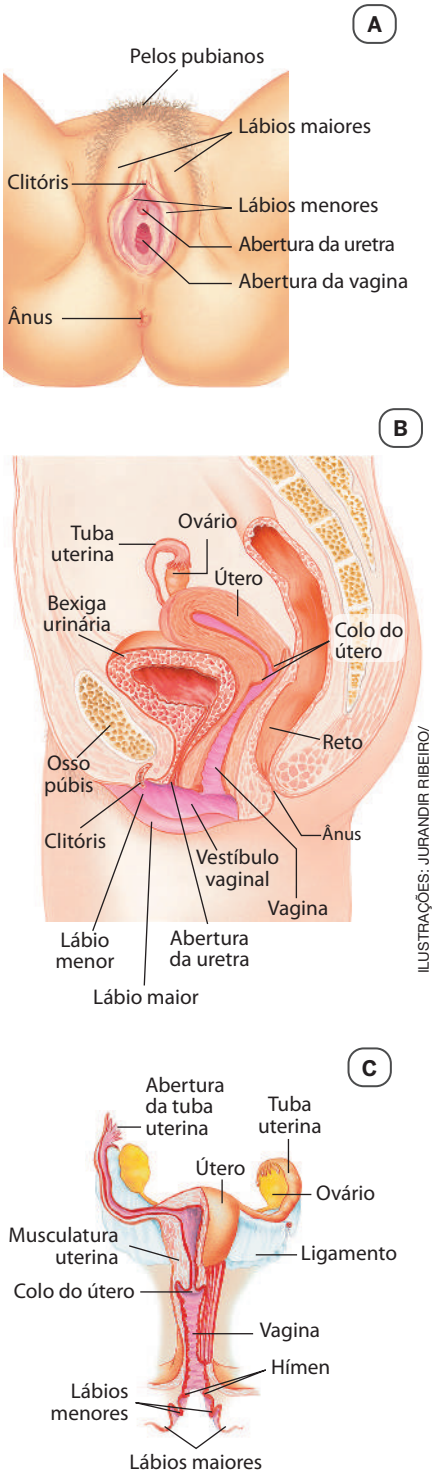
Vagina e útero

A **vagina** é um tubo de paredes fibromusculares, com cerca de 10 cm de comprimento, que se estende do vestíbulo vaginal ao útero, com o qual se comunica.

O **útero** é um órgão oco com cerca de 7,5 cm de comprimento por 5 cm de largura, cuja forma lembra uma pera. A porção superior do útero é mais arredondada e se conecta às duas tubas uterinas. A porção uterina inferior, denominada colo uterino, é mais afilada e comunica-se com a vagina. No colo uterino, há uma pequena abertura capaz de se dilatar aproximadamente 10 centímetros durante o parto para permitir a passagem do bebê.

A parede do útero é constituída por músculos e tecidos conjuntivos. Sua espessura varia ao longo da vida da mulher e durante o ciclo menstrual, apresentando, em média, cerca de 2,5 cm. Durante a gravidez, a parede uterina dilata-se com o desenvolvimento do bebê. O útero aumenta significativamente de tamanho, podendo atingir cerca de 30 centímetros de altura no final da gravidez. Internamente o útero é revestido pelo **endométrio**, tecido rico em glândulas e em vasos sanguíneos, que proporciona nutrição ao embrião durante o desenvolvimento.

Sistema genital feminino



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 8.1. Representação do sistema genital feminino humano. (A) Vulva. (B) Vista lateral e em corte da região pélvica mostrando o sistema genital feminino. (C) Vista frontal e em corte dos órgãos genitais internos e da vulva. A tuba direita (à esquerda na ilustração) está representada fora da posição normal para melhor visualização. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados nas figuras, não fazem parte do sistema genital. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Tubas uterinas e ovários

As **tubas uterinas**, ou **ovidutos**, são duas estruturas tubulares com cerca de 10 cm de comprimento, ligadas à parte superior do útero e em comunicação com a cavidade uterina. A extremidade livre de cada tuba uterina é alargada e situa-se perto dos ovários. Os ovidutos são revestidos internamente por células dotadas de cílios, cujos batimentos contribuem para o deslocamento dos óvulos em direção ao útero.

Os **ovários** são duas estruturas ovoides com cerca de 3 cm de comprimento localizados na cavidade abdominal, na região das virilhas. A porção ovariana mais externa, chamada de córtex ovariano, contém as **ovogônias**, as células germinativas que originarão os gametas. Como foi visto no capítulo anterior, a formação dos gametas femininos é denominada **ovulogênese** e tem início antes do nascimento, por volta do terceiro mês de vida intrauterina. Após um período de multiplicação por mitose, as ovogônias crescem e passam a se chamar **ovócitos I**, ou **ovócitos primários**. Os ovócitos I iniciam a meiose, que é interrompida na fase de prófase I. A meiose só será retomada após a ativação dos ovócitos I pelo **hormônio estimulante do folículo**, ou **FSH** (do inglês ***f**olicle **s**timulant **h**ormone*), produzido pela glândula hipófise.

Cada ovócito I no córtex ovariano está envolvido por algumas camadas de células foliculares, constituindo um **folículo ovariano**. Ao nascer, uma menina apresenta cerca de 500 mil folículos em cada ovário. Entretanto, mais da metade deles degenera antes da adolescência. A partir da puberdade, a cada 28 dias em média, a hipófise libera o hormônio FSH, que estimula o desenvolvimento de alguns folículos, dos quais geralmente apenas um amadurece. O folículo em amadurecimento cresce por acúmulo de líquido e o ovócito I presente nele prossegue a meiose até a fase de metáfase II. Ocorre então a **ovulação**, processo em que o folículo maduro se rompe e libera o ovócito II. Se a fecundação não ocorrer em aproximadamente 24 horas após a ovulação, o ovócito II degenera sem concluir a meiose. Se for fecundado por um espermatozoide, o ovócito II completa a meiose e origina o zigoto. As células do folículo rompido na ovulação se desenvolvem e originam o **corpo-amarelo**, ou **corpo-lúteo**.

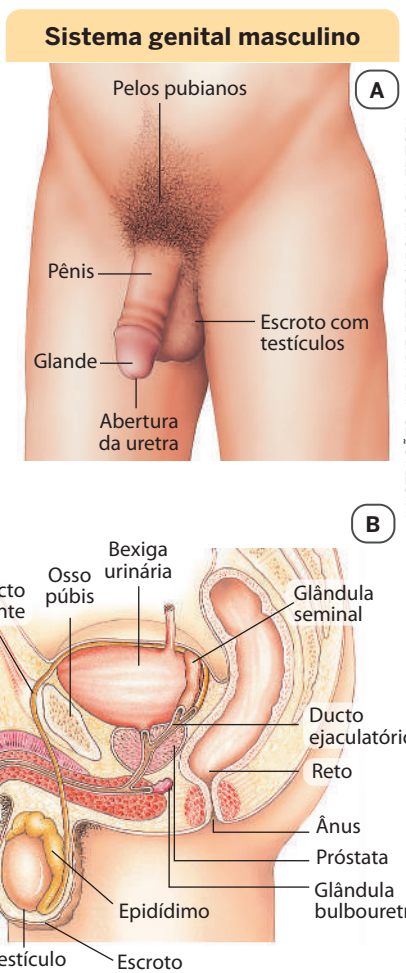
2. Sistema genital masculino

O **sistema genital masculino** é composto de órgãos externos (pênis e bolsa escrotal com testículos) e de órgãos internos localizados na parte inferior do abdômen (ductos deferentes, glândulas seminais e próstata).

Pênis, bolsa escrotal e testículos

O **pênis** é o órgão copulador masculino, apresentando tecidos eréteis, ou seja, que se enchem de sangue e intumescem durante a excitação sexual, o que leva à ereção. Na extremidade do pênis, localiza-se a **glande peniana**, região dilatada e protegida por uma dobra de pele chamada de **prepúcio**. O pênis é percorrido longitudinalmente pela uretra, canal que faz parte tanto do sistema urinário como do sistema genital, por onde são eliminados a urina e o esperma.

A **bolsa escrotal**, ou **escroto**, é constituída por pele e musculatura lisa e situa-se embaixo do pênis. No interior da bolsa escrotal, alojam-se dois testículos, as gônadas masculinas. Cada **testículo** é constituído por tubos finos e enovelados, os **túbulos seminíferos**, envoltos por tecido conjuntivo. (Fig. 8.2)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 8.2. Representação do sistema genital masculino humano. (A) Vista externa. (B) Vista lateral e em corte mostrando órgãos internos. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados na figura, não fazem parte do sistema genital. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No interior dos testículos, entre os túbulos seminíferos, localizam-se as **células intersticiais**, responsáveis pela produção de **testosterona**, o hormônio sexual masculino. A formação dos espermatozoides é denominada **espermatogênese** e ocorre nas paredes dos túbulos seminíferos. Esse processo tem início na vida intrauterina, acentuando-se a partir da puberdade e diminuindo na velhice. Os túbulos seminíferos reúnem-se e desembocam no **epidídimo**, um tubo enovelado com cerca de 6 cm de comprimento localizado sobre cada testículo. Espermatozoides recém-formados movem-se dos túbulos seminíferos ao epidídimo, onde completam o amadurecimento e permanecem armazenados até serem eliminados na ejaculação.

Ductos deferentes e glândulas acessórias

Os epidídimos conectam-se a um par de **ductos deferentes**, dois túbulos com cerca de 45 cm de comprimento cada um e que contornam a bexiga urinária. Os dois ductos deferentes reúnem-se aos ductos provenientes das vesículas seminais e formam o ducto ejaculatório, que passa pelo interior da próstata e desemboca na uretra.

As **vesículas seminais** são um par de glândulas que desembocam no ducto ejaculatório, onde eliminam uma secreção denominada **fluido seminal**. Esse fluido é uma solução viscosa que se junta com a secreção da próstata e os espermatozoides, formando o **esperma**, ou **sêmen**.

A **próstata** é uma glândula com tamanho aproximado de uma noz, localizada abaixo da bexiga urinária. A secreção prostática é eliminada na uretra e no ducto ejaculatório por meio de diversos canais. Sob a próstata, há um par de **glândulas bulbouretrais**, que desembocam na uretra. Durante a excitação sexual, as glândulas bulbouretrais liberam um fluido que contribui para a limpeza do canal uretral antes da passagem do esperma. No clímax da excitação sexual masculina, geralmente ocorre **ejaculação**, que é a eliminação do esperma pela uretra. O volume de esperma eliminado em cada ejaculação é superior a 1,5 mL e contém cerca de 15 milhões ou mais de espermatozoides.

3. Hormônios relacionados à reprodução

A **puberdade** humana é marcada por grandes transformações no corpo e na mente dos adolescentes. O desenvolvimento físico e mental se acelera e se desenvolvem **características sexuais secundárias**, traços que diferem pessoas do sexo biológico feminino e masculino. Nas pessoas do sexo feminino, os seios se desenvolvem e surgem pelos axilares e pubianos. Nas pessoas do sexo masculino, além de pelos axilares e pubianos, desenvolve-se barba, a voz se torna mais grave devido ao engrossamento das pregas vocais e a musculatura fica mais densa. Essas transformações, exteriorizadas na adolescência, sinalizam importantes mudanças internas.

A puberdade é causada pelo aumento significativo da secreção dos **hormônios sexuais** produzidos por glândulas endócrinas. Os hormônios sexuais atuam desde a fase embrionária, mas sua produção aumenta muito a partir da puberdade, com acentuação das características sexuais secundárias de pessoas do sexo biológico feminino e masculino. Os hormônios sexuais induzem a formação dos gametas, promovem o impulso sexual e têm atuação destacada no organismo feminino durante a gravidez e a amamentação do bebê.

Gonadotrofinas: FSH e LH

As mudanças fisiológicas que se acentuam aproximadamente entre 11 e 14 anos de idade, caracterizando a puberdade, são controladas por dois hormônios produzidos na parte anterior da glândula hipófise, a **adenoipófise**. Um desses hormônios é o **hormônio estimulante do folículo** (**FSH**, sigla do inglês ***f****ollicle-****s****timulating* ***h****ormone*); o outro é o **hormônio luteinizante** (**LH**, sigla do inglês ***l****uteinizing* ***h****ormone*). Esses hormônios são chamados genericamente de **gonadotrofinas** (do grego *trophos*, nutrição, desenvolvimento) porque atuam no desenvolvimento das gônadas.

Nos meninos, o FSH e o LH atuam sobre os testículos, estimulando a produção da testosterona. Nas meninas, o FSH atua sobre os ovários, promovendo o amadurecimento dos folículos ovarianos e a produção do hormônio estrógeno. O LH, por sua vez, é responsável pelo rompimento do folículo maduro e pela liberação do óvulo, fenômeno denominado **ovulação**. O LH atua sobre o folículo rompido, estimulando sua transformação no **corpo-amarelo**, ou **corpo-lúteo**. O corpo-amarelo é responsável pela produção do hormônio progesterona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrógeno e progesterona

O **estrógeno** é um hormônio produzido principalmente pelas células do folículo ovariano em desenvolvimento. O estrógeno induz o amadurecimento dos órgãos genitais, promove o impulso sexual e determina o aparecimento das características sexuais secundárias femininas. A **progesterona**, produzida principalmente pelo corpo-amarelo ovariano, atua conjuntamente ao estrógeno na preparação da parede uterina, o endométrio, para receber o embrião. (Quadro 8.1)

Quadro 8.1 – Principais hormônios reprodutivos e sua ação no organismo feminino

Glândula	Hormônio	Órgão-alvo	Principais ações
Hipófise	FSH	Ovário	Estimula o desenvolvimento do folículo, a secreção de estrógeno e a ovulação.
	LH	Ovário	Estimula a ovulação e o desenvolvimento do corpo-amarelo.
	Prolactina	Mamas	Estimula a produção de leite, após estimulação prévia das glândulas mamárias por estrógeno e progesterona.
Ovário	Estrógeno	Diversos	Atua no crescimento do corpo e dos órgãos genitais; estimula o desenvolvimento das características sexuais secundárias.
		Sistema genital	Estimula a maturação dos órgãos genitais e a preparação do útero para a gravidez.
	Progesterona	Útero	Completa a preparação da mucosa uterina, mantendo-a pronta para a gravidez.
		Mamas	Estimula o desenvolvimento das glândulas mamárias.

Testosterona

A **testosterona** é um hormônio produzido pelas células intersticiais dos testículos, levando ao amadurecimento dos órgãos genitais, ao impulso sexual e à produção de espermatozoides. A testosterona é responsável pelo aparecimento das características sexuais secundárias masculinas.

A testosterona começa a ser produzida ainda na fase embrionária. Sua presença no embrião determina o desenvolvimento de órgãos genitais masculinos. Por outro lado, a ausência de testosterona (ou a falta de receptores para esse hormônio nas células embrionárias) faz com que o embrião desenvolva o sexo biológico feminino.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

CIDADANIA E CIVISMO ODS 5

Entrevistas sobre sexualidade

Na área da sexualidade humana as pessoas têm diferentes opiniões e condutas. A sugestão desta atividade é que você forme um grupo de colegas para entrevistar pessoas e saber a opinião delas em questões como:

a. A educação sexual deve ser ensinada e discutida em casa e na escola? Por quê?

b. Além do aspecto reprodutivo, qual é a importância da sexualidade nas relações humanas?

c. O que a pessoa entrevistada conhece sobre temas como: orientação sexual, gênero e identidade de gênero?

O grupo deve pesquisar antecipadamente sobre esses temas, antes de realizar as entrevistas, a fim de conhecer definições e discussões atuais acerca desses conceitos e temas. Os escolhidos para as entrevistas podem ser pessoas de diferentes idades, graus de instrução, profissão etc. O produto do trabalho pode ser um painel exposto no mural da escola, reunindo algumas das respostas.

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Sexualidade humana

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Controle hormonal do ciclo menstrual

A partir da puberdade, as pessoas do sexo biológico feminino iniciam seu período reprodutivo, que se estende até aproximadamente os 50 anos de idade. Nesse período, em média a cada 28 dias, o organismo feminino produz óvulos e se prepara para uma possível gravidez, com desenvolvimento da parede uterina, o endométrio. Se a fecundação não ocorrer, parte do endométrio se desagrega e se desprende do útero, sendo eliminada juntamente com sangue pela vagina, na **menstruação**. O período menstrual dura entre 3 e 7 dias e ocorre em média a cada 28 dias, dependendo da pessoa e de suas condições fisiológicas. O intervalo entre o início de uma menstruação e o início da menstruação seguinte é chamado de **ciclo menstrual**.

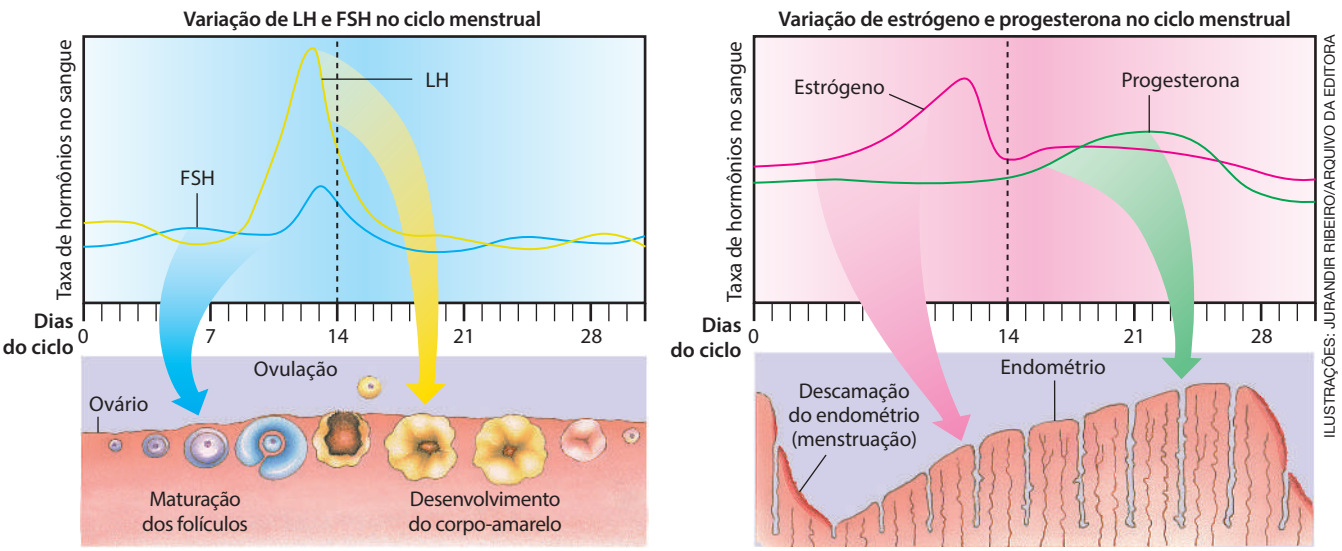
As taxas dos hormônios sexuais apresentam variações expressivas durante o ciclo menstrual, com aumento progressivo no início do ciclo e diminuição acentuada no final. A menstruação ocorre quando as taxas hormonais atingem suas taxas mais baixas no sangue.

A produção do hormônio FSH pela adenoipófise aumenta progressivamente no início do ciclo menstrual. A elevação da concentração de FSH no sangue induz o desenvolvimento de alguns folículos ovarianos, que passam a produzir o hormônio estrógeno. Este, por sua vez, provoca o desenvolvimento do endométrio, que se torna rico em vasos sanguíneos e em glândulas.

O aumento da taxa de estrógeno também induz a liberação de LH pela adenoipófise. Esse hormônio estimula a ovulação, que ocorre geralmente por volta do décimo quarto dia a partir do início do ciclo menstrual. O LH, em quantidade crescente no sangue a partir da ovulação, induz as células do folículo ovariano rompido na ovulação a formar o corpo-amarelo. Este produz grande quantidade de progesterona e pequena quantidade de estrógeno, atingindo desenvolvimento máximo cerca de 8 a 10 dias após a ovulação. O estrógeno e a progesterona atuam em conjunto no endométrio, preparando o útero para uma eventual gravidez. Se esta não ocorrer, o corpo-amarelo desenvolvido no ciclo regride.

As taxas elevadas de estrógeno e de progesterona no sangue exercem efeito inibidor sobre a adenoipófise, que diminui a produção de FSH e LH. A queda na taxa de LH tem como consequência a regressão do corpo-amarelo, que deixa de produzir estrógeno e progesterona. A diminuição das taxas desses dois hormônios leva ao desprendimento das células mais externas do endométrio, juntamente com vasos sanguíneos e sangue, que são eliminados na menstruação. Se ocorrer fecundação, o corpo-amarelo se mantém em atividade graças a um hormônio embrionário, a **gonadotrofina coriônica**, como será visto mais adiante. Com a queda nas taxas de estrógeno e de progesterona, a adenoipófise passa novamente a produzir FSH, dando início a um novo ciclo menstrual. (Fig. 8.3)

Hormônios femininos e ciclo menstrual



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 8.3. Gráficos que mostram a variação das taxas dos hormônios hipofisários FSH e LH e dos hormônios sexuais estrógeno e progesterona durante o ciclo menstrual. A variação desses hormônios está relacionada a alterações do folículo ovariano e do endométrio. Analise a figura acompanhando as explicações do texto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

SAÚDE ODS 5

Pobreza menstrual

Nas últimas décadas, o tema **menstruação** vem sendo discutido com mais naturalidade, graças à compreensão de que se trata de um fenômeno normal no organismo feminino, em sua preparação periódica para uma possível gravidez.

No entanto, muitas mulheres não têm acesso a itens básicos de higiene durante o período menstrual, o que ficou conhecido como **pobreza menstrual**. Esse problema afeta o bem-estar, a saúde e a participação das mulheres em atividades sociais e educacionais.

Elabore um texto sobre como a pobreza menstrual pode impactar a vida das mulheres. Considere questões como a falta de acesso a absorventes e a produtos de higiene, o impacto na autoestima e na educação, e o que poderia ser feito para superar essa vulnerabilidade.

4. Gravidez e parto

A fecundação que origina o zigoto costuma ocorrer na parte dos ovidutos mais próxima ao ovário, geralmente nas primeiras 24 horas após a ovulação. Ao se deslocar por um oviduto em direção ao útero, o zigoto sofre as primeiras clivagens, originando o estágio embrionário denominado **mórula**, que geralmente chega ao útero 3 dias após a fecundação. Cerca de 7 dias após a fecundação, o embrião já se encontra no estágio de blástula, que nos mamíferos é denominado **blastocisto**. A implantação do blastocisto na mucosa uterina é denominada **nidação** e marca o início da **gravidez**, que termina com o parto, cerca de nove meses mais tarde.

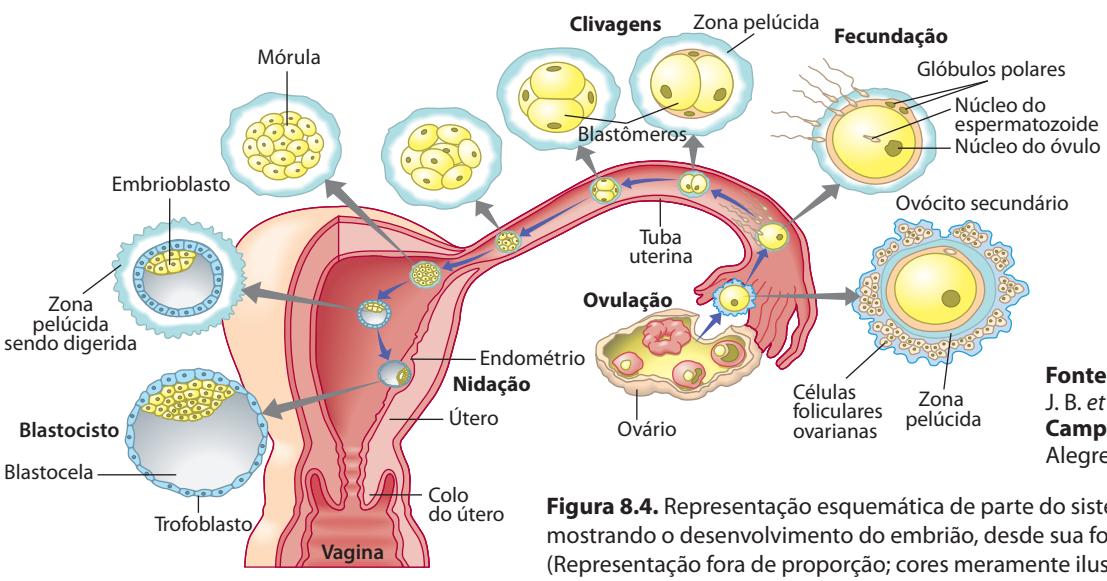
O blastocisto é uma esfera de células com um pequeno aglomerado celular em um dos polos e uma cavidade interna cheia de líquido. As células que formam a parede do blastocisto constituem o **trofoblasto**. A cavidade interna do blastocisto é a **blastocela**, e o aglomerado de células internas constitui o **embrioblasto**.

As células do trofoblasto aderem à parede uterina e secretam enzimas que digerem porções do endométrio, possibilitando a implantação do embrião. A digestão do endométrio rompe vasos sanguíneos e cria pequenas lacunas cheias de sangue na área destruída. O trofoblasto embrionário se desenvolve e forma ramificações, as **vilosidades coriônicas**, que ocupam as cavidades abertas pela digestão do endométrio. Na região em que o embrião se implantou, a parede uterina passa por alterações celulares e vasculares, com desenvolvimento de muitos vasos sanguíneos. (Fig. 8.4)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Etapas iniciais do desenvolvimento embrionário humano

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 8.4. Representação esquemática de parte do sistema genital feminino mostrando o desenvolvimento do embrião, desde sua formação até a nidação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As vilosidades coriônicas do embrião recém-implantado na parede uterina secretam o hormônio **gonadotrofina coriônica**. A gonadotrofina sinaliza ao organismo feminino a presença do embrião, estimulando a atividade do corpo-amarelo e a manutenção de concentrações elevadas de estrógeno e de progesterona no sangue. A menstruação não ocorre, o que constitui um dos primeiros sinais de gravidez.

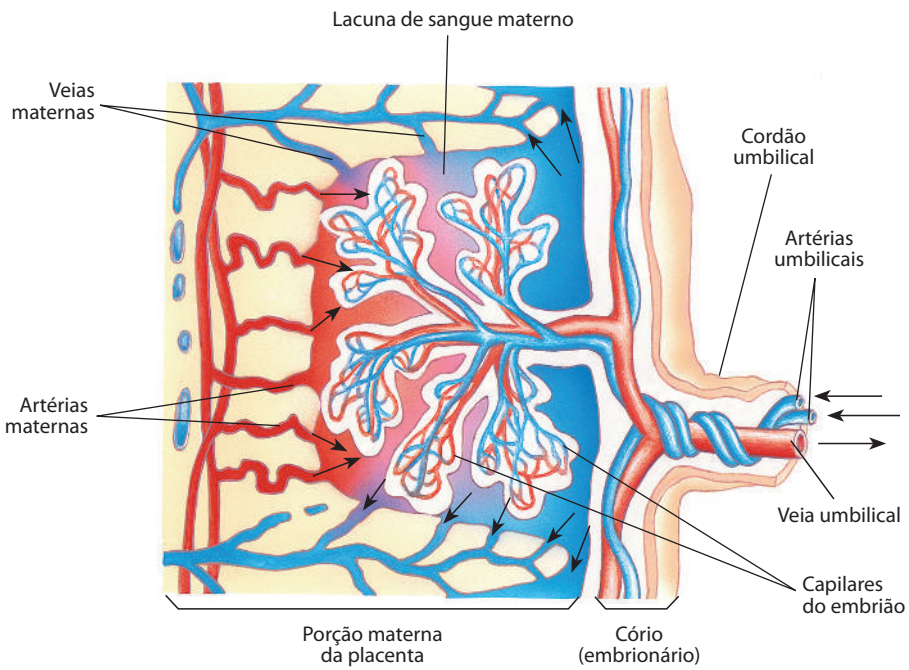
No início da gestação, parte da gonadotrofina coriônica presente no sangue da mulher é eliminada na urina. A presença de gonadotrofina coriônica indica gravidez. Diversos testes de gravidez disponíveis no mercado baseiam-se na detecção de gonadotrofina coriônica na urina da mulher.

A placenta

O corpo-amarelo começa a regredir a partir do quarto mês de gestação. O endométrio, cujo desenvolvimento era até então promovido por hormônios do corpo-amarelo, continua a se desenvolver graças à produção de estrógeno e progesterona pela placenta.

A **placenta** é formada pelo desenvolvimento conjunto da parede uterina e das vilosidades coriônicas do embrião. Por meio da placenta, ocorrem trocas de substâncias entre mãe e filho durante a gravidez. Alimento e gás oxigênio (O_2) passam do sangue da mãe para o sangue da criança em gestação, enquanto excreções e gás carbônico (CO_2) fazem o caminho inverso. O sangue da mãe e da criança em gestação não se misturam na placenta. As trocas ocorrem através das paredes dos vasos sanguíneos que separam as circulações embrionária e materna. A placenta comunica-se com o embrião pelo **cordão umbilical**, onde há duas artérias e uma veia, que permitem que o sangue da criança em gestação circule pela placenta. (Fig. 8.5)

Circulação sanguínea na placenta



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 8.5. Representação esquemática da circulação sanguínea na placenta, órgão compartilhado entre a mãe e a criança em gestação. As setas indicam o sentido da circulação do sangue. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fase fetal

Cerca de cinco semanas após a fecundação, os braços e as pernas do embrião humano tornam-se bem definidos e começam a apresentar contrações musculares. Na nona semana de vida, ao final do segundo mês de gestação, o embrião mede cerca de 2,5 cm de comprimento e tem aparência tipicamente humana. Nessa fase, o embrião passa a ser chamado de **feto**. (Fig. 8.6)

Desenvolvimento do embrião e do feto humanos

LENNART NILSSON, TT/SCIENCE PHOTO LIBRARY

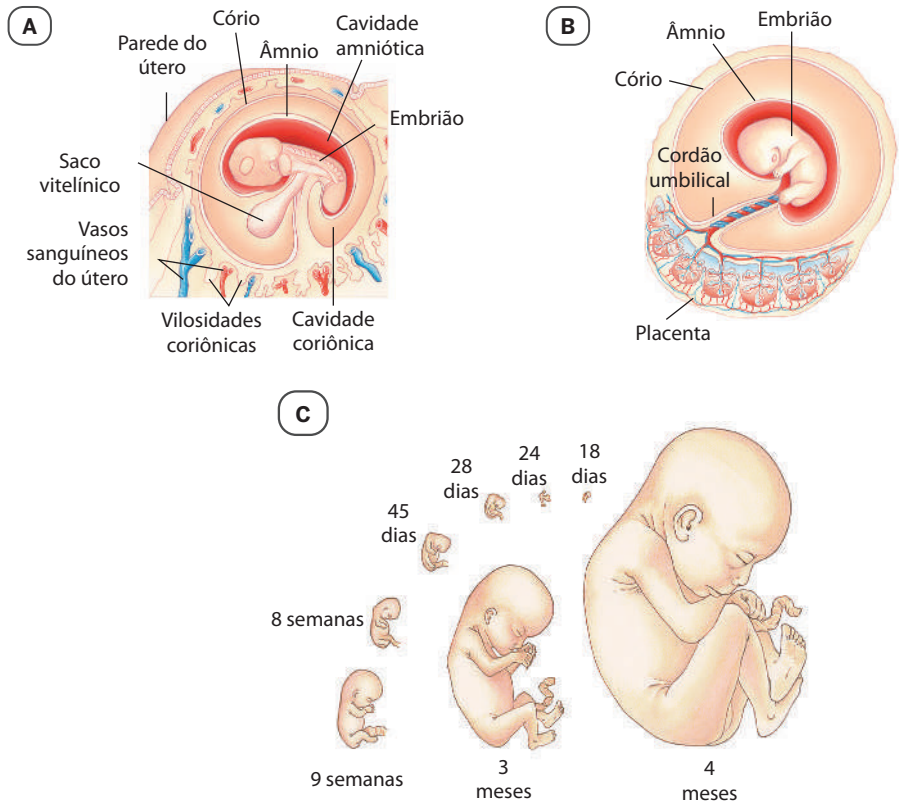


Figura 8.6. (A) Representação esquemática de corte de um embrião humano com cerca de 27 dias e seus anexos embrionários. (B) Representação esquemática de corte de um embrião de 45 dias, com a placenta e o cordão umbilical formados. (C) Representação esquemática em que se compara o tamanho relativo de embriões humanos de diferentes idades. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**.10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um feto humano com cinco meses de vida mede cerca de 20 cm de comprimento e pesa aproximadamente 0,5 kg. Aos sete meses, o feto já apresenta boas chances de sobrevivência, se porventura ocorrer seu nascimento prematuro.

Parto

O **parto vaginal** consiste na expulsão do feto por contrações rítmicas da musculatura uterina, o que geralmente ocorre ao fim do nono mês de gravidez, em média 266 dias após a fecundação. Nessa época, o feto humano mede aproximadamente 50 cm de comprimento e pesa geralmente entre 3 e 3,5 kg.

No parto, o colo do útero se dilata e a musculatura uterina se contrai ritmicamente, estimulada pelo hormônio oxitocina liberado pela neuroipófise (parte posterior da hipófise) da parturiente. A bolsa amniótica se rompe e o líquido amniótico é expelido pela vagina. O feto vai sendo gradualmente empurrado para fora do útero por contrações da musculatura uterina. A vagina se dilata e permite a saída do bebê.

Ao final do parto, a placenta se desprende da parede uterina e é expulsa pela vagina, juntamente com sangue proveniente dos vasos sanguíneos maternos rompidos. No parto assistido, o cordão umbilical é cortado e amarrado. (Fig. 8.7)

Parto vaginal na espécie humana

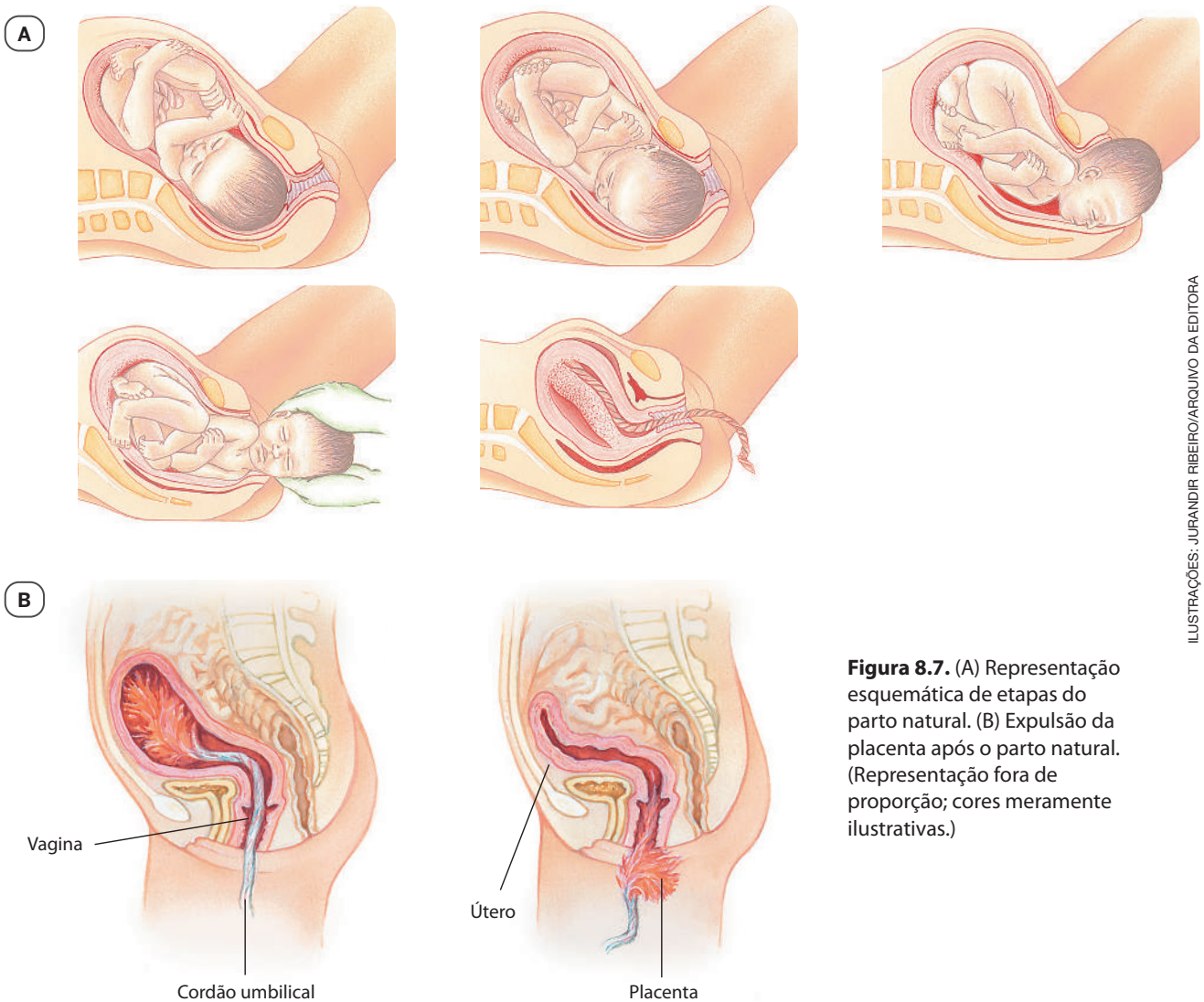


Figura 8.7. (A) Representação esquemática de etapas do parto natural. (B) Expulsão da placenta após o parto natural. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**.10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Com o desprendimento da placenta, acumula-se gás carbônico no sangue do recém-nascido, o que estimula os centros cerebrais respiratórios e dá início ao funcionamento dos pulmões.

Há casos em que o parto vaginal não é possível, apresenta riscos à mãe e ao recém-nascido ou não é desejado pela mulher. Nessas situações, recorre-se a uma intervenção cirúrgica chamada de **cesariana**, em que é feita uma incisão na parte baixa do abdômen da gestante, expondo o útero. Este é cortado para a retirada da criança, juntamente com o cordão umbilical e a placenta.

5. Métodos anticoncepcionais

ODS 3

A aplicação de conhecimentos científicos sobre o sistema reprodutivo humano tem garantido às pessoas a possibilidade de controlar conscientemente sua reprodução. Casais que desejam manter relações sexuais, mas não pretendem ter filhos, podem atualmente utilizar diversos tipos de **métodos anticoncepcionais**, ou **métodos contraceptivos**, que atuam em diferentes etapas do processo reprodutivo. Em sociedades democráticas, a utilização ou não de métodos anticoncepcionais deve ser uma livre escolha de cada cidadã ou cidadão, de acordo com seus valores e crenças.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Método do ritmo ovulatório, ou método da tabelinha

O **método do ritmo ovulatório**, ou **método da tabelinha**, consiste em abster-se de manter relações sexuais durante o período fértil do ciclo menstrual. Esse método baseia-se no conhecimento de que o gameta feminino é viável para a fecundação apenas durante um curto período do ciclo menstrual, chamado de **período fértil**. A mulher normalmente produz um óvulo a cada 28 dias. Este sobrevive por cerca de dois dias nos ovidutos antes de degenerar. Como os espermatozoides podem sobreviver por cerca de cinco dias no corpo da mulher, teoricamente uma gravidez somente ocorrerá se houver relações sexuais no período de até cinco dias antes e até dois depois da ovulação. O maior problema é determinar com segurança qual é o período fértil da mulher. Sabe-se que o dia da ovulação pode variar devido a diversos fatores pessoais. É possível estimar o dia provável da ovulação com certo grau de certeza com base na análise de um gráfico de temperatura corporal da mulher. Na maioria das mulheres, a temperatura sobe cerca de 0,5 °C logo após a ovulação, mantendo-se elevada durante um período. Assim, o acompanhamento criterioso da temperatura corporal diária pode evidenciar que a ovulação ocorreu. As estatísticas mostram que mulheres que acompanham a época da ovulação e constroem tabelas e gráficos da temperatura corporal diária têm razoável sucesso em evitar a gravidez indesejada.

Preservativos e diafragma

Entre as práticas anticoncepcionais mais difundidas, destaca-se o uso de barreiras mecânicas, que evitam o encontro do espermatozoide com o ovócito II. Os preservativos externos, popularmente chamados de **camisinhas**, ou **condons**, são protetores de látex que envolvem o pênis. Há também o preservativo interno, uma peça cilíndrica de poliuretano com aproximadamente 17 cm de comprimento que se ajusta dentro da vagina. Os preservativos retêm o esperma ejaculado, evitando que os espermatozoides atinjam o óvulo. Os preservativos também previnem a contaminação por diversas infecções sexualmente transmissíveis (ISTs), entre elas a aids, a gonorreia e a hepatite B.

O **diafragma** é um dispositivo circular e flexível, feito de látex, que a mulher coloca no fundo da vagina antes das relações sexuais. O diafragma cobre o colo do útero, impedindo a entrada de espermatozoides. Geralmente o diafragma é lubrificado com um gel espermicida, que mata os espermatozoides e aumenta a eficiência do método. (Fig. 8.8)

ANDREY_POPOV/SHUTTERSTOCK

FOTOS593/SHUTTERSTOCK

TONEPHOTO/SHUTTERSTOCK

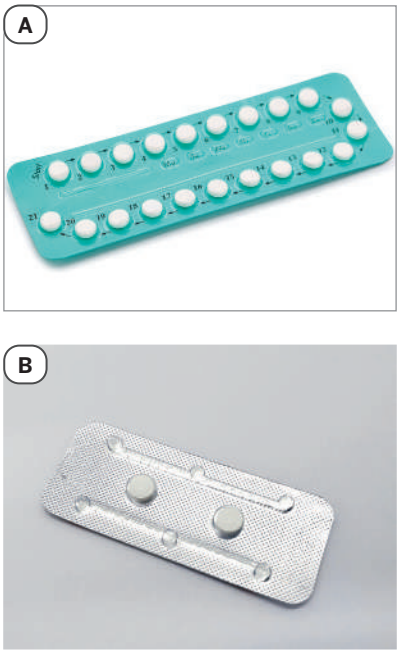
Figura 8.8. (A) Diafragma. (B) Preservativo interno. (C) Preservativo externo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pílulas anticoncepcionais

A **pílula anticoncepcional** é um dos métodos contraceptivos mais utilizados no mundo atualmente. Geralmente as pílulas anticoncepcionais contêm uma mistura de hormônios sintéticos semelhantes aos hormônios naturais progesterona e estrógeno. A presença continuada desses hormônios no corpo da mulher após a menstruação, impede a ovulação. É importante que os contraceptivos orais sejam utilizados sob acompanhamento médico a fim de evitar eventuais efeitos colaterais decorrentes da ingestão de hormônios.

A chamada **pílula do dia seguinte**, também conhecida como **método contraceptivo de emergência**, é um composto hormonal utilizado para prevenir uma gravidez indesejada dentro de 72 horas após uma relação desprotegida ou acidental. Os hormônios constituintes dessa pílula atuam basicamente de duas formas: impedem a ovulação (se ela ainda não ocorreu) e não permitem que um eventual embrião se implante na parede uterina, o que geralmente ocorre entre cinco e seis dias depois da fecundação. (Fig. 8.9)



5 SECOND STUDIO/SHUTTERSTOCK

DAOJAH/SHUTTERSTOCK

Figura 8.9. (A) Pílula anticoncepcional. (B) Pílula do dia seguinte. Alguns laboratórios produzem pílulas do dia seguinte que devem ser tomadas em duas doses, sendo a segunda 12 horas depois da primeira.

Dispositivo intrauterino: DIU

DIU é a sigla para designar o **d**ispositivo **i**ntra**u**terino, nome pelo qual são conhecidos os dispositivos de plástico ou metal introduzidos no útero por um médico, com o objetivo de evitar a concepção. Acredita-se que a presença do DIU cause uma pequena inflamação na mucosa uterina, que impede a implantação do embrião. Por isso, alguns consideram a utilização do DIU um método abortivo, uma vez que, indiretamente, o DIU causa a morte do embrião por impedir que ele se fixe no útero. (Fig. 8.10)

OLEKSTOCK/DEPOSITPHOTOS/FOTOARENA

Figura 8.10. Dispositivo intrauterino (DIU).

Esterilização: vasectomia e laqueadura tubária

Esterilização é qualquer processo que impeça definitivamente a concepção. No caso de pessoas do sexo biológico masculino, o processo utilizado para a esterilização é a **vasectomia**, que consiste no seccionamento dos ductos deferentes de modo que os espermatozoides não passem para a uretra. Como não afeta a produção de testosterona pelos testículos, a vasectomia não tem nenhum efeito negativo sobre a atividade sexual. A pessoa vasectomizada atinge o orgasmo e ejacula normalmente, com a diferença de que seu esperma não contém espermatozoides, sendo constituído apenas pelas secreções da próstata e das glândulas acessórias.

A esterilização em pessoas do sexo biológico feminino é denominada **laqueadura tubária** e consiste no seccionamento das tubas uterinas, o que impede os espermatozoides de chegar até o ovócito II.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

CIDADANIA E CIVISMO ODS 3 ODS 5

Planejamento familiar

Pesquise na internet ou em livros sobre o tema "planejamento familiar". Tente focalizar os seguintes aspectos:

a. O que é planejamento familiar e como esse conceito se relaciona com o controle consciente da reprodução?

b. Em que o planejamento familiar pode beneficiar as famílias?

c. O planejamento familiar pode ser importante para a preservação ambiental?

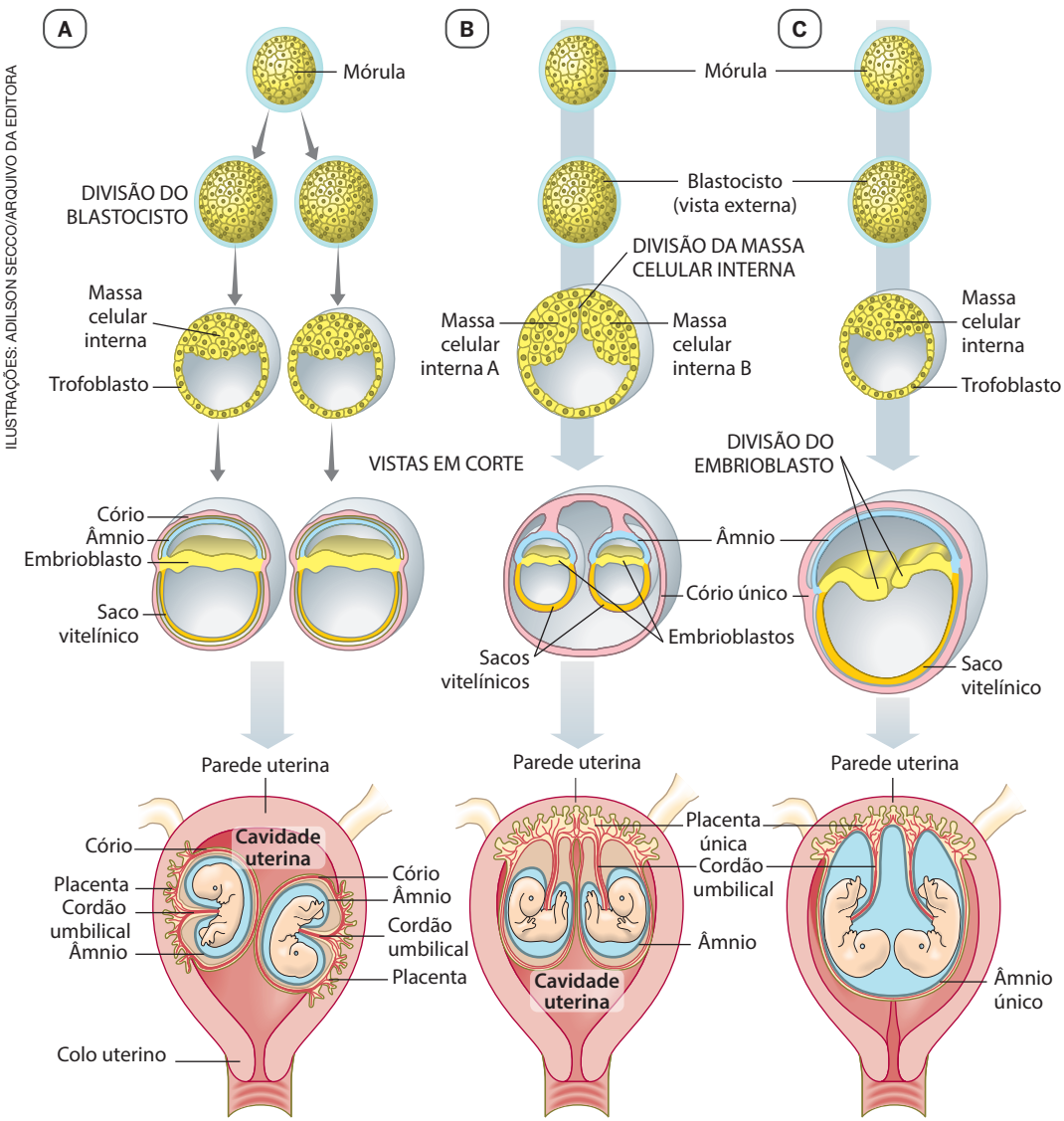
Pode ser interessante agregar à pesquisa dados referentes ao número de filhos por família, em diferentes épocas e países. Utilize esses dados para eventualmente ampliar as questões anteriores. Ao final escreva um texto objetivo sobre o assunto.

6. Gêmeos humanos

Dois ou mais bebês gerados na mesma gestação são **gêmeos**. Estes podem se originar de óvulos distintos, cada um fecundado por um espermatozoide. Nesse caso, os gêmeos convivem no útero materno, mas são tão distintos quanto quaisquer irmãos, sendo denominados **gêmeos dizigóticos**, ou **gêmeos fraternos**.

Em casos mais raros, os gêmeos se originam do embrião originado de um único óvulo fecundado, que, em uma fase precoce do desenvolvimento, divide-se em dois ou mais embriões. Cada embrião se desenvolve de modo independente, originando os chamados **gêmeos monozigóticos**, ou **gêmeos idênticos**, que apresentam mesmo sexo e são fisicamente muito parecidos. A gravidez de gêmeos é um evento pouco frequente na população em geral, constituindo menos de 1% dos nascimentos. Em aproximadamente 30% dos casos, os gêmeos monozigóticos formam-se até o terceiro dia após a fecundação, quando o embrião ainda se encontra no estágio de mórula. A mórula se divide em dois ou mais grupos de blastômeros, que prosseguem o desenvolvimento independentemente entre si, originando dois ou mais blastocistos com o mesmo patrimônio genético. Em 70% dos casos, a formação de gêmeos monozigóticos ocorre entre o quarto e o décimo quarto dia de vida embrionária. Uma pequena porcentagem de gêmeos monozigóticos se forma tardiamente, quando o disco embrionário já se desenvolveu. (Fig. 8.11)

Como se originam gêmeos monozigóticos



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 8.11. Representação esquemática das diferentes maneiras de formação de gêmeos monozigóticos. (A) Gêmeos formados pela divisão da mórula em dois blastocistos independentes podem compartilhar a mesma região uterina ou se implantar em regiões distantes no útero. (B) Gêmeos formados pela divisão do embrioblasto apresentam âmnio e cordão umbilical separados, compartilhando o cório e a placenta. (C) Gêmeos formados tardiamente a partir da divisão do embrioblasto compartilham o cório, o âmnio e a placenta; apenas seus cordões umbilicais são separados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Gêmeos unidos

Gêmeos monozigóticos eventualmente podem nascer unidos por uma parte do corpo. Chang e Eng foram gêmeos unidos famosos, nascidos em 1811 no Sião (hoje Tailândia). Eles eram ligados pela região torácica e ficaram conhecidos como irmãos siameses. Por causa de Chang e Eng, o termo gêmeo siamês foi utilizado como sinônimo de gêmeos unidos. Os irmãos siameses ganharam a vida exibindo-se para plateias nos Estados Unidos, onde moraram e se casaram com duas irmãs. Ao morrerem, em 1874, a autópsia revelou haver ligação entre seus fígados.

Há diversos graus de compartilhamento de tecidos e órgãos entre os gêmeos unidos. Em alguns casos, a separação cirúrgica é possível, permitindo a sobrevivência dos dois gêmeos. Em outros casos, a cirurgia pode levar à morte de um deles. Há casos em que a separação levaria ambos à morte. Essa questão tem sido motivo de grande debate entre médicos e religiosos em virtude das atitudes éticas e morais envolvidas.

Seu desafio nesta atividade é pesquisar na internet a respeito de gêmeos unidos e possibilidades cirúrgicas de separação. Caso se interesse pelo tema, pesquise também sobre os irmãos siameses Chang e Eng. No final, escreva um texto sobre o assunto, destacando os aspectos de sua pesquisa que achou mais interessantes.

OBJETO DIGITAL Vídeo: Fertilização *in vitro*

Veja comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Temas polêmicos e debate democrático

CIÊNCIA E TECNOLOGIA ODS 5

A fertilização *in vitro* (FIV) tem estimulado debates acirrados e novas demandas na sociedade. Por exemplo, no Brasil, casais heteroafetivos, homoafetivos e mulheres solteiras pleiteiam a oferta gratuita da fertilização *in vitro* pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Forme um grupo com colegas para pesquisar sobre a fecundação *in vitro*. As fontes de pesquisa podem ser textos jornalísticos, livros, vídeos, *podcasts* e entrevistas, entre outras.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Gravidez na adolescência e desafios para as jovens mães

CIDADANIA E CIVISMO ODS 3

De acordo com dados divulgados em fevereiro de 2023 pelo Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (Sinasc), ferramenta do SUS, um a cada sete bebês brasileiros é filho de mãe com até 19 anos de idade. O projeto "Nascer no Brasil", coordenado pela Fiocruz, mostra que cerca de dois terços das gestações nessa faixa etária não foram planejadas, isto é, foram inesperadas ou decorrentes de violência sexual.

Um estudo feito pela Universidade de São Paulo (USP), liderado pela economista Ana Lúcia Kassouf e divulgado em 2020, mostrou que as mulheres que engravidaram antes dos 20 anos de idade apresentam grau de escolaridade menor e têm renda cerca de 30% menor quando comparadas com as mulheres da mesma idade que não tiveram filhos. Embora muitas mães adolescentes ingressem mais cedo no mercado de trabalho pela necessidade de sustentar o filho, geralmente elas exercem funções no trabalho informal, que exige menos qualificação, e consequentemente, recebem uma remuneração menor. Essa situação é especialmente grave nos casos em que o genitor se nega a cumprir suas responsabilidades financeiras e de cuidados com a criança, deixando a mãe adolescente sobrecarregada com os cuidados do filho. Forme um grupo de colegas para debater a seguinte questão: a gravidez na adolescência deve ser considerada uma questão de saúde pública ou individual, que diz respeito apenas à gestante? Utilize no debate considerações sobre medidas individuais e coletivas que contribuem para evitar a gravidez imprevista na adolescência e na vida adulta. Entre essas considerações, destacam-se a educação sexual, o conhecimento sobre métodos contraceptivos, a consciência dos direitos sexuais e reprodutivos e a violência contra a mulher.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. O conjunto de transformações cíclicas do organismo feminino em sua preparação para uma possível gravidez constitui
1.d
a. a menstruação.
b. a ovulação.
c. o ciclo de vida.
d. o ciclo menstrual.

2. A menstruação consiste
2.c
a. na ruptura do folículo ovariano.
b. no desenvolvimento do corpo-amarelo.
c. no desprendimento e na eliminação de parte do endométrio.
d. no período fértil da mulher.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 3 e 4.
a. endométrio
b. folículo ovariano
c. ovócito I
d. ovócito II
e. primeiro glóbulo polar

3. A ovulogênese ocorre no interior do (■).
3.b

4. O revestimento interno do útero, denominado (■), apresenta grande desenvolvimento durante o ciclo menstrual, preparando-se para receber um eventual embrião.
4.a

5. "Ao ser liberado do ovário, o óvulo encontra-se estacionado na (1) da meiose e somente prossegue a divisão se ocorrer (2)." Qual é a alternativa que substitui corretamente os números 1 e 2 entre parênteses?
5.d
a. 1 = prófase I; 2 = ovulação.
b. 1 = metáfase II; 2 = ovulação.
c. 1 = prófase I; 2 = fecundação.
d. 1 = metáfase II; 2 = fecundação.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 6 e 7.
a. epidídimo
b. vesícula seminal
c. próstata
d. túbulo seminífero
e. uretra

6. O processo de espermatogênese ocorre no(a) (■).
6.d

7. O canal comum ao sistema urinário e ao sistema genital do homem, pelo qual o sêmen é eliminado na ejaculação, é o(a) (■).
7.e

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 8 a 10.
a. estrógeno
b. FSH (hormônio estimulante do folículo)
c. LH (hormônio luteinizante)
d. progesterona
e. testosterona

8. A formação do corpo-amarelo tem como consequência a elevação significativa da taxa de (■) no sangue, o que inibe a produção das gonadotrofinas hipofisárias.
8.d

9. A ovulação e a formação do corpo-amarelo são induzidas pelo hormônio (■).
9.c

10. O impulso sexual e o desenvolvimento das características sexuais secundárias são promovidos, na mulher, pelo(a) (■) e, no homem, pelo(a) (■). 10.a; e

11. O sangue do feto não se mistura com o sangue materno, mas eles circulam muito próximos nas lacunas de um órgão em que ocorrem trocas de substâncias entre mãe e filho. Qual é esse órgão?
11.b
a. Bolsa amniótica.
b. Placenta.
c. Ovário.
d. Útero.

12. Assim que se fixa no útero, o embrião desenvolve vilosidades coriônicas, que penetram no endométrio e passam a secretar um hormônio que impede a menstruação. Qual é o hormônio liberado?
12.c
a. Estrógeno.
b. Hormônio estimulante do folículo.
c. Gonadotrofina coriônica.
d. Progesterona.

Questões de vestibulares

13. (Ufam) Na ovulação, o primeiro caminho natural do óvulo, após ser liberado pelo ovário para ser fecundado, é
13.c
a. o colo uterino.
b. a vagina.
c. a tuba uterina.
d. o folículo ovariano.
e. a uretra.

14. (UFRGS-RS) Durante o processo de formação do embrião dos mamíferos, formam-se também vários anexos que, embora não fazendo parte do corpo do embrião, são importantes para o desenvolvimento dele. O anexo responsável pelas trocas gasosas e metabólicas na relação feto maternal é
14.b
a. a bolsa amniótica.
b. a placenta.
c. o cório.
d. a vesícula vitelínica.
e. o cordão umbilical.

15. (Fuvest-SP) Durante o desenvolvimento embrionário das aves, o embrião é nutrido graças à grande quantidade de vitelo presente no ovo. Já nos mamíferos o ovo é pobre em vitelo. Como a grande maioria dos embriões de mamíferos consegue obter os nutrientes necessários para seu desenvolvimento?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 9

Classificação biológica, vírus e bactérias

CHRIS HELLIER/SPL/FOTOARENA

Fóssil de *Archaeopteryx*, uma espécie de réptil dotado de penas, cujas impressões estão registradas na rocha ao redor do esqueleto das asas e da cauda. Esse animal, de tamanho aproximado ao de uma galinha, viveu há cerca de 150 milhões de anos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Quase dois milhões de espécies biológicas já foram catalogadas e milhares de novas espécies são descobertas a cada ano. Segundo alguns estudiosos, o número de espécies de seres vivos na natureza pode chegar perto dos 30 milhões. Como organizar e compreender tamanha variedade?

Nos três últimos séculos, naturalistas e cientistas têm se empenhado em desenvolver um sistema eficiente para organizar e compreender a diversidade das espécies biológicas. O sistema de **classificação biológica**, também chamado de **taxonomia**, foi proposto por Lineu no século XVIII e vem sendo aprimorado desde então pela aplicação de novas técnicas de estudo e pelo desenvolvimento de novas ideias sobre como e por que classificar. Conhecer os fundamentos da classificação biológica é importante para desenvolver uma visão abrangente e integrada da Biologia.

O capítulo trata também dos vírus e das bactérias, seres microscópicos que desempenham papéis importantes no mundo vivo. Basta contabilizar o número de epidemias devastadoras causadas por esses seres microscópicos ao longo da história humana. Por outro lado, sem as bactérias, diversas formas de vida simplesmente não existiriam. Por exemplo, estudos recentes indicam que o corpo humano contém, pelo menos, o mesmo número de bactérias que células humanas, e esses organismos contribuem de diversas maneiras para uma vida saudável. O capítulo apresenta as principais características de vírus e de bactérias, e sua importância para a vida no planeta, com atenção especial para a capacidade de provocar doenças. Ao conhecer as formas de transmissão das principais doenças virais e bacterianas, contribuímos para prevenir sua disseminação e para melhorar a saúde da comunidade a que pertencemos.

1. Fundamentos da classificação biológica

Os grupos criados pela taxonomia para classificar os seres vivos são chamados genericamente de **táxons**. Os cientistas organizam os táxons hierarquicamente, com táxons mais abrangentes que contêm outros mais específicos. Um táxon de grande abrangência da taxonomia tradicional é o **reino**, que reúne táxons menores denominados filos. Por exemplo, o reino que reúne os animais é o **reino Animalia**, que contém 35 filos, nove dos quais reúnem os animais mais conhecidos dos não especialistas. Esses nove filos são estudados neste livro.

A classificação biológica de Lineu

Os princípios da classificação biológica moderna foram apresentados pelo naturalista sueco Carl von Linné (1707-1778), também conhecido como Carolus Linnaeus, forma latinizada de seu nome (Lineu, em português). (Fig. 9.1)

Lineu classificou os seres vivos de acordo com o grau de semelhança entre eles. Sua grande inovação foi a escolha criteriosa das características levadas em conta na classificação. Na opinião de Lineu, certos critérios utilizados em sistemas de classificação anteriores eram inadequados. Por exemplo, para ele, o **hábitat** dos organismos, empregado pelos gregos antigos em suas classificações, não deveria ser usado como critério taxonômico, pois reunia seres tão distintos como peixes, baleias, estrelas-do-mar, camarões e ostras. Lineu concluiu que as características mais adequadas para agrupar os seres vivos eram as estruturais e as anatômicas. Por isso, essas características são a base de seu sistema de classificação.

ALEXANDER ROSLIN - BIBLIOTECA NACIONAL DA FRANÇA, PARIS

Figura 9.1. O botânico sueco Lineu lançou as bases da classificação e da nomenclatura biológicas, publicadas nas primeiras edições de sua obra *Species plantarum*, de 1753, e na décima edição do livro *Systema naturae*, de 1766.

Os táxons tradicionais

O táxon básico da classificação biológica é a **espécie**, definida por Lineu como "um grupo de indivíduos dotados de características típicas, ausentes em outros agrupamentos". Espécies com semelhanças relevantes foram reunidas por Lineu em um táxon mais abrangente, denominado **gênero**. Por exemplo, todas as espécies de animais com características semelhantes às dos cães (lobos, coiotes, chacais etc.) são reunidas no gênero *Canis*.

Seguindo a ideia de estabelecer táxons cada vez mais abrangentes, Lineu reuniu gêneros semelhantes em uma categoria maior, a **ordem**. Ordens semelhantes, por sua vez, eram reunidas em uma **classe**. Classes semelhantes eram reunidas em um reino. Mais tarde, outros estudiosos criaram táxons como o **filo**, situado entre o reino e a classe, e a **família**, situada entre a ordem e o gênero, (algumas classificações botânicas mais antigas utilizam o termo divisão em vez de filo). (Fig. 9.2)

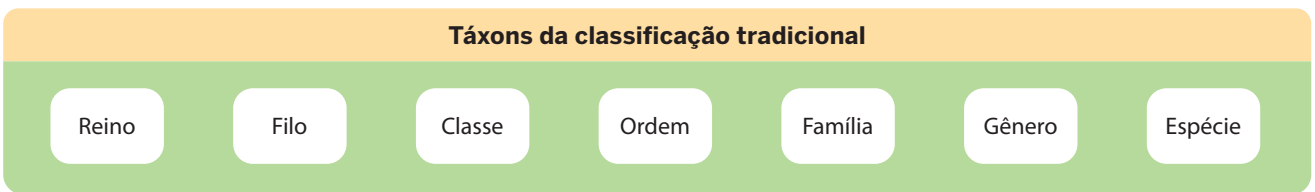


Figura 9.2. Táxons principais utilizados na classificação tradicional. Os táxons considerados principais podem ser subdivididos em táxons menores.

A nomenclatura binomial

Lineu criou um sistema de nomenclatura associado à classificação biológica que é utilizado até hoje. A nomenclatura de Lineu estabelece que o nome científico de qualquer espécie biológica deve ser formado por duas palavras, sendo a primeira referente ao **epíteto genérico**, e a segunda, ao **epíteto específico**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O termo "epíteto" vem do grego e significa um nome, como um substantivo ou um adjetivo. Por atribuir dois epítetos para denominar cada espécie, o sistema nomenclatural proposto por Lineu foi chamado de **nomenclatura binomial**.

Outra regra da nomenclatura binomial é que os nomes científicos devem ser sempre escritos em latim ou em formas latinizadas. A primeira letra do epíteto genérico deve ser sempre maiúscula, e a do epíteto específico, sempre minúscula. Por exemplo, o nome científico do lobo é *Canis lupus*.

Outra regra de nomenclatura biológica é que o nome científico deve ser sempre destacado no texto em que aparece, preferencialmente pela utilização de *itálico* ou de grifado. Confira esse critério no nome do lobo, no parágrafo anterior, e nos outros nomes científicos que aparecem no livro.

Pode-se escrever o nome genérico isoladamente, seguido da abreviatura sp. (sempre seguida de ponto-final). Por exemplo, podemos nos referir a um animal do gênero *Canis* escrevendo *Canis* sp., sem especificar se é lobo, cão, chacal ou coiote. A abreviatura sp. significa espécie inespecífica. Para se referir simultaneamente a várias espécies de um gênero, acrescenta-se, após o nome do gênero, a abreviatura spp., que indica duas ou mais espécies. Por exemplo, ao escrevermos *Canis* spp., estamos nos referindo a diversas espécies do gênero *Canis*.

A nomenclatura científica é rigorosa porque parte do princípio de que regras bem estabelecidas e aceitas por todos facilitam a comunicação entre cientistas e não cientistas. Enquanto os nomes populares das espécies biológicas variam em diferentes idiomas, e mesmo em diferentes regiões de um país, o nome científico é único e designa apenas uma espécie, previamente catalogada e descrita detalhadamente pelos taxonomistas. Veja um exemplo disso na figura a seguir. (Fig. 9.3)

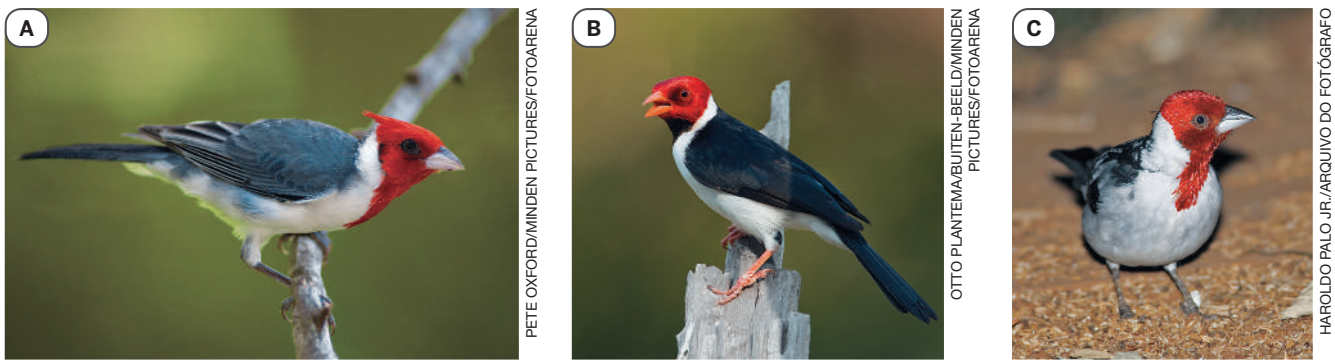


Figura 9.3. (A) O pássaro da espécie *Paroaria coronata* recebe os nomes populares de cardeal no sul do Brasil e de galo-da-campina no Pantanal Mato-Grossense. (B) O pássaro da espécie *Paroaria capitata* é conhecido popularmente como cardeal no Pantanal Mato-Grossense. (C) O pássaro da espécie *Paroaria dominicana* recebe o nome popular de galo-da-campina na região nordeste do Brasil. Esses pássaros medem cerca de 17 centímetros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Sistemática moderna

A classificação biológica faz parte da **Sistemática**, ramo da Biologia que estuda comparativamente diferentes aspectos da **biodiversidade**, ou diversidade biológica. Os principais objetivos da Sistemática são:

- compreender os processos responsáveis pela existência da **diversidade biológica**, o que é também um dos objetivos do ramo da Evolução;
- estabelecer critérios para organizar a diversidade biológica;
- catalogar a diversidade biológica por meio de descrições detalhadas de cada espécie, criando guias para reconhecer suas características típicas, além de atribuir a cada espécie um nome científico único e original.

Sistemática e evolucionismo

A Sistemática se propõe a organizar os táxons com base nas relações de parentesco evolutivo entre os organismos neles classificados. Segundo o evolucionismo, todas as formas de vida apresentam algum grau de parentesco, uma vez que tiveram ancestrais em comum no passado. Espera-se que espécies que compartilham características semelhantes tenham herdado tais características de um mesmo ancestral. Características supostamente herdadas da ancestralidade são chamadas de **homologias evolutivas**.

As homologias evolutivas são evidenciadas nos **órgãos homólogos**, estruturas corporais que se desenvolvem de modo semelhante em embriões de diferentes espécies, o que é atribuído à ancestralidade comum. Apesar de apresentarem a mesma origem embrionária, os órgãos homólogos podem originar estruturas distintas. Por exemplo, as asas das aves e as nadadeiras peitorais dos golfinhos têm a mesma origem embrionária, mas as asas são adaptadas ao voo, enquanto as nadadeiras são adaptadas à natação. As diferentes funções de órgãos homólogos são explicadas pela diversificação que ocorreu nas espécies ao longo da evolução. Essa diversificação é denominada **divergência evolutiva** e reflete a adaptação de cada espécie ao seu modo de vida peculiar. (Fig. 9.4)

Nem sempre a presença de estruturas semelhantes em espécies distintas significa ancestralidade comum. Características parecidas podem evoluir de maneira independente em diferentes linhagens de seres vivos, constituindo adaptações a modos de vida semelhantes, fenômeno denominado **convergência evolutiva**. Exemplos de convergência evolutiva são os corpos hidrodinâmicos de um peixe, do pinguim (uma ave) e do golfinho (um mamífero). Esses animais vivem no ambiente aquático e as formas hidrodinâmicas de seus corpos são adaptações ao deslocamento em meio líquido. Semelhanças desse tipo são chamadas de **analogias evolutivas** e não revelam parentesco evolutivo, e sim adaptações a modos de vida semelhantes.

Filogenias

Em seu livro *A origem das espécies*, de 1859, Charles Darwin (1809-1882) observou que os diagramas que representavam relações de parentesco evolutivo entre espécies assemelhavam-se às árvores genealógicas, ou genealogias, diagramas que expressam as relações de parentesco em uma família. Por analogia, Darwin chamou os diagramas de parentesco evolutivo de **filogenias** (do grego *phylon*, grupo, e *genesis*, origem), ou **árvores filogenéticas**.

Em uma árvore filogenética, a divisão de um ramo em dois indica que uma espécie ancestral deu origem a duas novas espécies, fenômeno denominado **especiação**. Cada uma das espécies atuais representa a extremidade de um ramo da árvore filogenética. Se descermos por um ramo dessa árvore, encontraremos um ponto de bifurcação, ou nó, em que ele se une ao ramo vizinho. O ponto de bifurcação indica o ancestral mais recente que duas espécies têm em comum. (Fig. 9.5)

Homologias evolutivas

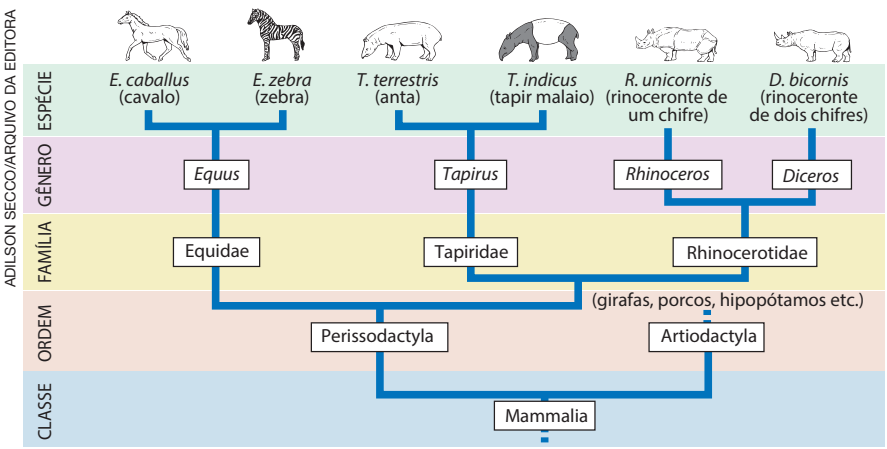
LITTLESTOCKER/SHUTTERSTOCK

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 9.4. O braço humano, a nadadeira de uma foca e as asas de aves e de morcegos têm origens embrionárias semelhantes, e por isso são consideradas estruturas homólogas. A homologia é evidente nas semelhanças dos ossos, mostradas por cores diferentes nos desenhos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Relações filogenéticas na ordem Perissodactyla



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: PERISSODACTYLA. **Tree of Life Web Project**, [*s. l.*], 2000. Disponível em: http://tolweb.org/Perissodactyla/15980. Acesso em: 10 set. 2024.

Figura 9.5. Relações de parentesco e classificação de alguns animais da ordem Perissodactyla, uma das muitas ordens incluídas na classe dos mamíferos (Mammalia). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

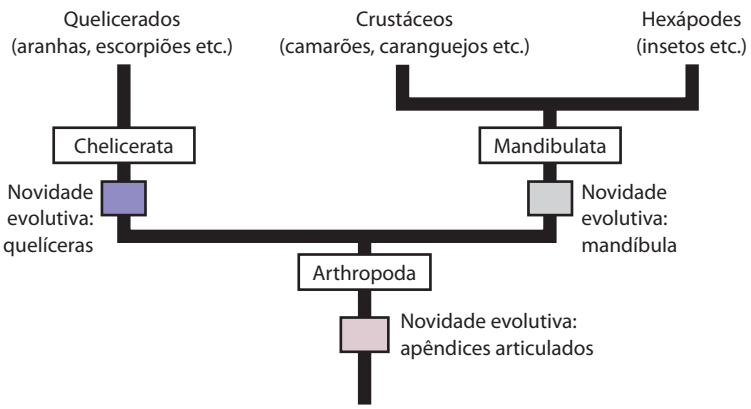
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A classificação segundo a cladística

No começo dos anos 1950, o entomologista alemão Willi Hennig (1913-1976) propôs um método de classificação baseado na ancestralidade evolutiva, que ficou conhecido como **cladística**. Em lugar das categorias taxonômicas tradicionais, os sistematas cladistas propõem a utilização do termo **clado**, ou **clade**, para designar um grupo de espécies constituído por uma espécie ancestral e seus descendentes. Uma característica compartilhada pelo ancestral comum e por dois ou mais táxons dele originados é denominada **sinapomorfia**. De acordo com a cladística, um grupo taxonômico válido deve ser **monofilético**, ou seja, deve conter apenas espécies que compartilham um mesmo ancestral.

A cladística representa suas hipóteses de parentesco evolutivo por meio de **cladogramas**, esquemas gráficos semelhantes às árvores filogenéticas, mas construídos segundo os princípios da cladística. Um desses princípios é que novas espécies sempre surgem por **cladogênese**, processo em que duas novas espécies se originam de uma mesma espécie ancestral. Cada nó do cladograma representaria, assim, o processo de cladogênese que originou dois novos ramos evolutivos. (Fig. 9.6)

Sinapomorfias no táxon Arthropoda



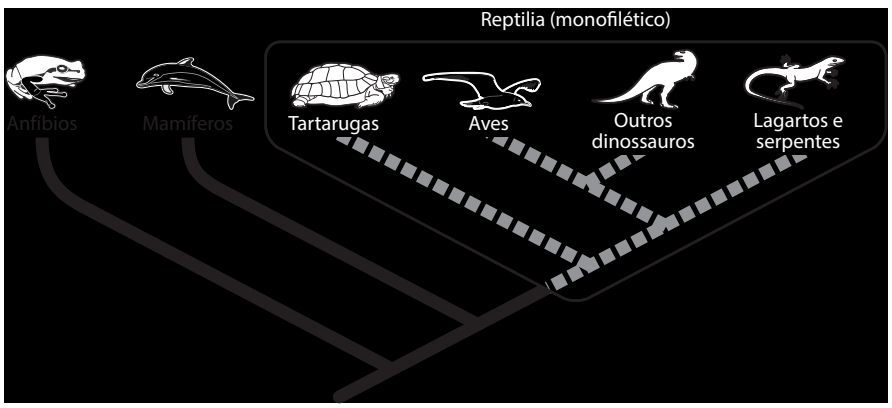
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de HICKMAN JR., C. P. *et al*. **Princípios integrados de Zoologia**. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Figura 9.6. Segundo a cladística, a presença de apêndices articulados é a sinapomorfia compartilhada entre os grupos Mandibulata e Chelicerata, pertencentes ao táxon Arthropoda. Essa sinapomorfia teria surgido como novidade evolutiva em um artrópode ancestral. O ancestral dos Mandibulata, por sua vez, desenvolveu a mandíbula. A presença de mandíbula é a sinapomorfia compartilhada por Crustacea (crustáceos) e Hexapoda (hexápodes) e permite reunir esses grupos no táxon monofilético Mandibulata.

A classificação biológica com base na cladística vem trazendo mudanças significativas nas árvores filogenéticas construídas pelos métodos tradicionais. Por exemplo, na classificação tradicional, mamíferos, aves e répteis formam três classes distintas. Já para a cladística, as aves apresentam as mesmas sinapomorfias que os répteis e devem ser classificadas no mesmo grupo que eles. A presença de penas, atualmente restrita às aves, não é uma característica exclusiva desses animais, pois também ocorreu em grupos extintos de répteis. (Fig. 9.7)

Cladograma dos tetrápodes



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de HICKMAN JR., C. P. *et al*. **Princípios integrados de Zoologia**. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Figura 9.7. Hipótese cladística que reúne aves e répteis em um mesmo táxon, o qual também inclui os dinossauros e outros répteis já extintos. (Representação fora de proporção.) O táxon Reptilia é monofilético e equivalente aos táxons Amphibia (anfíbios) e Mammalia (mamíferos). Pela análise do cladograma pode-se concluir qual grupo de répteis é mais antigo? Por quê?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quantos reinos existem?

Lineu classificava os seres vivos em apenas dois grandes reinos: Animal e Vegetal. Animais eram definidos como organismos heterotróficos e dotados de mobilidade. Por sua vez, o reino das plantas incluía todos os seres vivos autótrofos e sem mobilidade própria. O desenvolvimento da Biologia no final do século XIX e na primeira metade do século XX revelou a necessidade de ampliar o número de reinos de seres vivos.

Progressos na área da Biologia Molecular vêm alterando radicalmente a interpretação da história evolutiva dos seres vivos. Em 1990, o biofísico estadunidense Carl Woese (1928-2012) propôs, com base em características moleculares, a divisão dos seres vivos em três grandes domínios: Bacteria, Archaea e Eukarya. Apesar de serem unicelulares e procarióticas, as bactérias e as arqueas são organismos tão diferentes entre si que foram separadas em domínios distintos, Bacteria e Archaea. O domínio **Bacteria** conteria apenas o reino Bacteria, assim como o domínio Archaea também conteria apenas um reino, Archaea. Por sua vez, o domínio **Eukarya** compreenderia todos os seres eucarióticos: protozoários, algas, fungos, plantas e animais. A quantidade de reinos nesse domínio varia em diferentes sistemas de classificação, podendo chegar a dezenas.

Nesta obra, adotamos a divisão dos seres vivos em seis grandes reinos: Bacteria, Archaea, Protoctista, Fungi, Plantae e Animalia. É importante lembrar que, nessa área, ainda há muitas mudanças ocorrendo. Seja qual for o sistema de classificação adotado, o mais importante é conhecer as principais categorias de seres vivos e as características que levam a incluí-los em um ou em outro reino.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Vírus

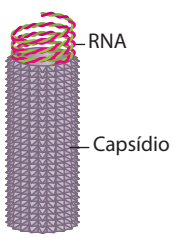
O termo **vírus** (do latim *virus*, veneno) designa um grupo variado de entidades biológicas cujo tamanho situa-se entre 15 e 400 nm (nanômetros). Um nanômetro equivale a 1 milésimo do micrômetro (0,001 µm), que, por sua vez, equivale a 1 milésimo do milímetro (0,001 mm). Com exceção dos vírus gigantes, recentemente descobertos e que chegam a medir 400 nm, os vírus são invisíveis mesmo com os melhores microscópios ópticos, sendo visualizados apenas em microscópios eletrônicos.

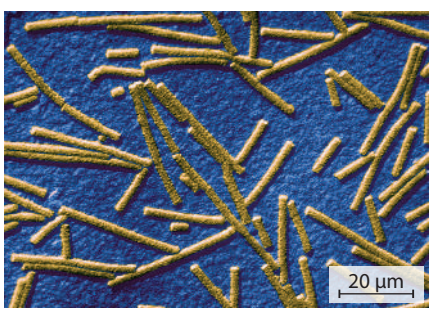
Características gerais dos vírus

Os vírus são **acelulares**, ou seja, não são formados por células, no que diferem de todos os outros seres vivos. Os vírus apresentam estrutura compacta, constituída por uma ou algumas moléculas de ácido nucleico (DNA ou RNA), envoltas por moléculas de proteínas, em alguns caso associadas a lipídios e glicídios.

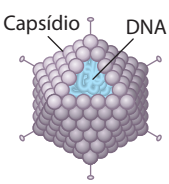
As moléculas de ácido nucleico são protegidas por um envoltório proteico denominado **capsídio**. Os ácidos nucleicos virais e as proteínas do capsídio constituem o **nucleocapsídio**. Certos tipos de vírus apresentam ainda, externamente ao nucleocapsídio, um envoltório formado por fragmentos oriundos da membrana da célula que os hospedava. (Fig. 9.8)

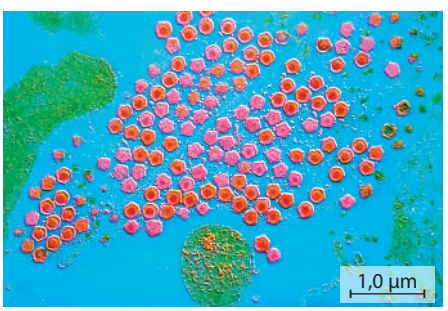
Diversidade dos vírus





Vírus do mosaico do tabaco
(aumento ≈ 490.000×)





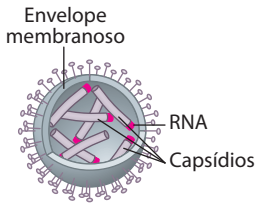
Iridovírus
(aumento ≈ 9.4000×)

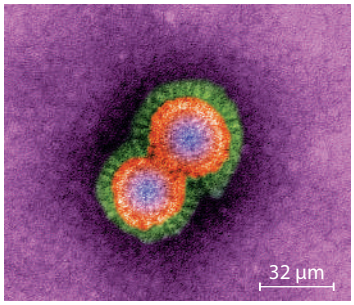
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

SCIENCE HISTORY IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

CNRI/SPL/ FOTOARENA

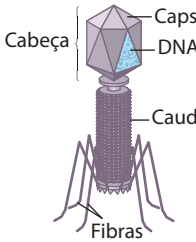
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

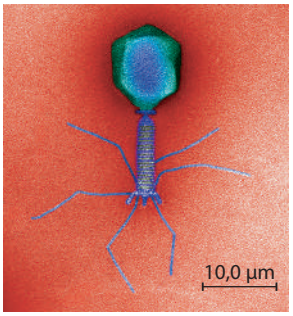




DR KLAUS BOLLER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Vírus do mosaico da gripe
(aumento ≈ 308.000×)





DEPT. OF MICROBIOLOGY, BIOZENTRUM/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Bacteriófago
(aumento ≈ 93.000×)

Fonte: adaptada de HICKMAN JR., C. P. *et al*. **Princípios integrados de zoologia**. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Figura 9.8. Representações esquemáticas, ao lado de eletromicrografias, de alguns vírus com parte do capsídio removida para mostrar o ácido nucleico em seu interior. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os vírus são **parasitas intracelulares obrigatórios**. Quando estão fora das células hospedeiras, eles não se multiplicam nem manifestam nenhum tipo de atividade metabólica. Entretanto, ao invadir células adequadas, o vírus assume o comando das atividades celulares e faz a célula hospedeira trabalhar na produção de novos vírus. A invasão de uma célula por um vírus é chamada de **infecção viral**.

A infecção viral afeta gravemente as funções celulares normais e quase sempre leva a célula infectada à morte, que ocorre geralmente quando os novos vírus formados saem da célula, causando sua destruição. Em alguns casos, as células hospedeiras infectadas por vírus passam a se dividir sem controle, originando tumores.

Há uma grande variedade de vírus, capazes de atacar células de todos os grupos de seres vivos, desde bactérias até plantas e animais, incluindo a espécie humana, causando as chamadas **doenças virais**. Cada espécie viral consegue invadir apenas alguns tipos de célula de uma ou de poucas espécies hospedeiras, o que mostra a especificidade dos alvos virais.

Doenças virais

SAÚDE ODS 3

As doenças causadas por vírus são genericamente denominadas **viroses**. Entre as viroses humanas mais conhecidas, estão a aids, as gripes, o sarampo, a catapora, a dengue, a poliomielite e a covid-19, entre outras. Certos vírus não duram muito tempo fora de um hospedeiro adequado. A transmissão desses vírus requer contato direto com o novo hospedeiro o mais rapidamente possível. Os vírus causadores do herpes humano, que atacam a pele e as mucosas, podem ser transmitidos pelo simples contato físico entre duas pessoas. Outros vírus são transmitidos por meio de secreções, como ocorre com o vírus da raiva, presente na saliva de animais infectados, e o HIV (agente causador da aids), presente em fluidos como esperma e sangue de pessoas infectadas. Os vírus da gripe e os coronavírus são transmitidos por meio de gotículas de saliva expelidas ao falar, rir ou espirrar, ou por contato com superfícies contaminadas.

Certos vírus podem manter sua capacidade infectante por longo tempo fora do hospedeiro adequado. Assim, o reservatório desses vírus é o ambiente não vivo. Por exemplo, vírus que atacam o sistema digestório e são eliminados com as fezes perduram longo tempo no solo ou na água contaminada por esgotos. Exemplos de vírus desse tipo são os causadores de gastroenterites, poliomielite e hepatites A e E.

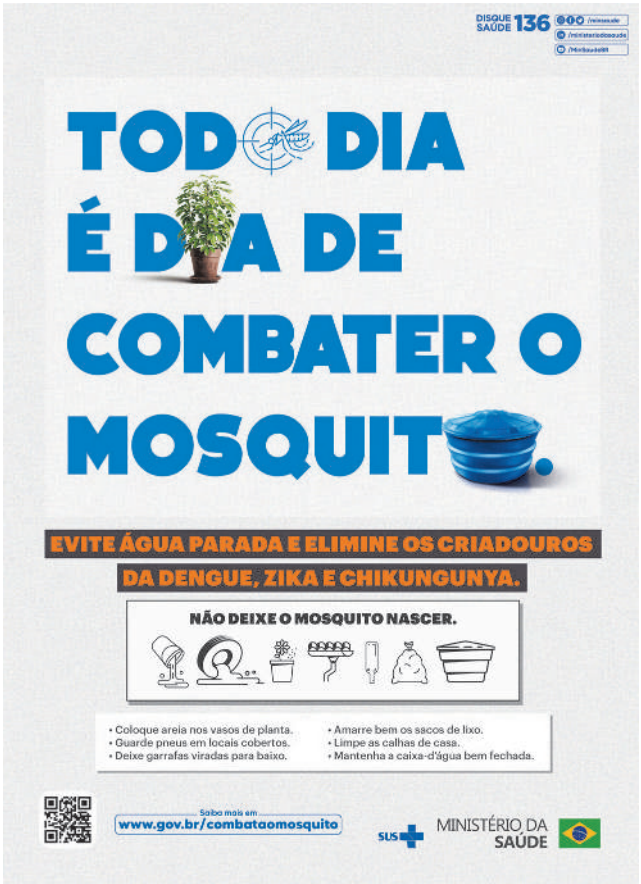
Certos vírus podem atacar tanto células humanas quanto células de outros animais. Nesse caso, uma pessoa pode se infectar ao entrar em contato com um animal portador do vírus. Doenças humanas causadas por esses tipos de vírus são conhecidas como **zoonoses virais**. As espécies animais que abrigam esses vírus são seus reservatórios naturais. A raiva, ou hidrofobia, por exemplo, é uma zoonose viral em que os reservatórios naturais do vírus são morcegos, mas esse vírus também pode ser transmitido por cães, gatos ou outros mamíferos infectados.

Vírus transmitidos por artrópodes como mosquitos e carrapatos são genericamente denominados **arbovírus** (sigla do inglês ***ar****thropod* ***bo****rne* ***virus***, que significa vírus transmitido por artrópode). Os vírus causadores da febre amarela, da dengue e de diversas encefalites, por exemplo, são arbovírus que têm mosquitos como vetores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um mosquito transmissor de doenças virais que tem ganhado destaque no Brasil é o *Aedes aegypti* (pronuncia-se "édis egípti"), um mosquito com cerca de 0,5 cm de comprimento, de cor escura, com manchas brancas no corpo e nas pernas. As fêmeas desse mosquito podem transmitir diversos tipos de vírus, entre eles os causadores da dengue, da febre amarela urbana e da febre chikungunya. O *A. aegypti* também pode transmitir o Zika vírus, que causa sintomas semelhantes aos da dengue e tem sido associado a certas doenças neurológicas em adultos e à microcefalia em bebês, quando infecta mulheres grávidas.

A maneira mais eficaz de se prevenir das arboviroses é combatendo os artrópodes vetores, que adquirem o vírus ao picar uma pessoa infectada ou pela transmissão direta dos vírus à prole do artrópode infectado. A fêmea do *A. aegypti* põe ovos em água limpa e parada. Mesmo que a água seque, os ovos do *A. aegypti* podem sobreviver ao dessecamento por mais de 1 ano, eclodindo quando as condições forem novamente favoráveis. Isso reforça a importância de evitar o acúmulo de água no interior de garrafas, latas ou suportes de vasos de plantas. (Fig. 9.9)



ACERVO DO MINISTÉRIO DA SAÚDE/GOVERNO FEDERAL

Figura 9.9. Cartaz de campanha de combate à dengue que incentiva a participação ativa da população no combate ao mosquito *Aedes aegypti* (Ministério da Saúde, 2024).

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

A prevenção de doenças

SAÚDE ODS 3

Um estudo realizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2020 estimou que, anualmente no Brasil, 350 mil pessoas são internadas e cerca de 15 mil vêm a óbito em decorrência de doenças infectocontagiosas relacionadas à falta de saneamento básico. Esses dados são alarmantes, sobretudo ao considerarmos que há cerca de 35 milhões de brasileiros sem acesso ao tratamento de água e esgoto.

SERGIO PEDREIRA/PULSAR IMAGENS

Os agentes comunitários de saúde exercem papel importante na coleta de dados e transmissão de informações à comunidade. Itaparica (BA), 2019.

Diante desse cenário, é fundamental o papel dos agentes comunitários de saúde (ACS), profissionais que trabalham em estreita colaboração com as famílias de comunidades vulneráveis, promovendo a saúde por meio de ações educativas para a prevenção de doenças.

Os ACS fazem o registro das pessoas assistidas, coletam dados estatísticos e passam conhecimentos sobre como evitar a contaminação por microrganismos. Embora existisse desde 2002, a profissão de agente comunitário da saúde foi incluída entre os profissionais de saúde somente em 2023.

Tendo em vista o que foi apresentado anteriormente e com base em pesquisas realizadas em fontes confiáveis, como o Ministério da Saúde, entre outras, elabore um texto que avalie a situação do saneamento básico no Brasil, destacando aspectos regionais que chamaram a sua atenção. O portal DATASUS compila notícias e publicações e pode auxiliar nessa tarefa (https://datasus.saude.gov.br/. Acesso em: 18 set. 2024).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Epidemias, endemias e pandemias

Em termos populacionais, as doenças infecciosas podem ocorrer na condição de epidemias ou de endemias. **Epidemia** é o aumento rápido no número de casos de uma doença em uma população. **Endemia**, por sua vez, é a manutenção de uma doença infecciosa em frequência constante em determinada região. Costuma-se também utilizar o termo **pandemia** para designar uma doença que atinge mais de um continente, em uma onda epidêmica que pode durar anos.

Grandes pandemias virais enfrentadas pela humanidade recentemente foram a covid-19, causada pelo coronavírus Sars-CoV-2 (do inglês, ***S**evere **a**cute **r**espiratory **s**yndrome coronavirus* 2), e a aids, (do inglês ***a**dquired **i**mmune **d**eficiency **s**yndrome*), doença provocada pelo vírus HIV.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

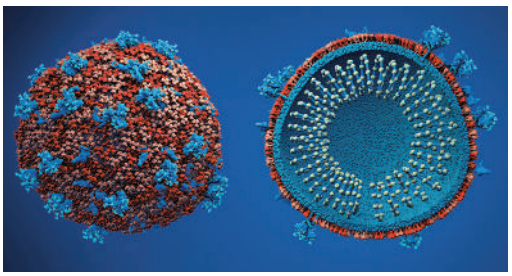
Em destaque

SAÚDE

O coronavírus Sars-CoV-2, causador da covid-19

Os coronavírus constituem uma família de vírus capazes de causar desde simples resfriados até doenças graves como a covid-19 e a MERS (do inglês, ***M**iddle **E**ast **R**espiratory **S**yndrome*, síndrome respiratória do Oriente Médio).

O coronavírus Sars-CoV-2, agente causador da covid-19, foi detectado pela primeira vez no final do ano de 2019 na cidade de Wuhan, na China, onde causou inicialmente uma epidemia local caracterizada por sintomas graves e mortes. Cientistas chineses que identificaram o novo coronavírus em janeiro de 2020 verificaram que esse tipo de vírus nunca tinha sido observado antes em seres humanos. Segundo os cientistas, o novo coronavírus teria atravessado a barreira entre espécies, passando de animais silvestres, provavelmente morcegos ou pangolins (um tipo de mamífero), para seres humanos. A epidemia da doença causada pelo novo coronavírus, chamada pela Organização Mundial da Saúde de covid-19 (do inglês, ***c**oronav**i**rus **d**isease* 2019, doença do coronavírus de 2019), rapidamente se alastrou da China para o restante do mundo, tornando-se uma pandemia mundial.



DESIGN CELLS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Modelo da estrutura do coronavírus causador da covid-19 em visão tridimensional (à esquerda) e em corte (à direita). A molécula de RNA é mostrada com sua estrutura helicoidal, as espículas são mostradas em azul, e o envelope lipoproteico, em vermelho. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os coronavírus disseminam-se de pessoa a pessoa transportados pelo ar, em gotículas de saliva e secreções nasais. Essa forma de transmissão facilita a disseminação viral em larga escala. Além disso, os vírus da covid-19 podem manter sua capacidade infectante por certo tempo fora do organismo humano, em geral sobre superfícies sólidas.

Pessoas infectadas pelo Sars-CoV-2 podem apresentar sintomas como tosse seca, febre, perda do olfato e do paladar, dores no corpo e diarreia. Casos mais graves evoluem para problemas pulmonares e falta de ar. Por outro lado, há pessoas infectadas pelo Sars-CoV-2 com sintomas atenuados ou mesmo sem sintomas.

O vírus Sars-CoV-2 é dotado de um envelope constituído por membranas provenientes da própria célula que ele infectou. Nesse envelope, há projeções chamadas de espículas, responsáveis pela adesão e penetração dos vírus nas células hospedeiras. O envelope envolve o material genético do Sars-CoV-2, que consiste em uma única molécula de RNA de cadeia simples. Esse RNA é capaz de se multiplicar na célula hospedeira e gerar cópias de si, além de utilizar a maquinaria celular para a síntese das proteínas virais que constituem o envoltório de novos vírus formados.

A sugestão é realizar inicialmente uma pesquisa, em livros e na internet, sobre o coronavírus e a covid-19, destacando informações que achar interessantes.

1. Após as pesquisas, redija um texto baseado em suas próprias experiências, impressões pessoais e conhecimentos sobre a pandemia de covid-19, vivenciada poucos anos atrás.
2. Ao longo do texto, como se costuma fazer em revistas de divulgação científica, elabore pequenos quadros explicativos baseados em informações que obteve neste livro e em pesquisas sobre o tema.
3. Se possível, discuta seu texto com colegas, para aprimorá-lo, e publique-o no mural da escola e/ou na internet, disponibilizando-o ao público em geral.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tratamento e prevenção de doenças virais

CIÊNCIA E TECNOLOGIA ODS 3

Poucos fármacos terapêuticos têm se mostrado efetivos contra vírus. Antibióticos são eficazes contra bactérias, mas não têm efeito contra os vírus. Entretanto, a indústria farmacêutica já produz drogas capazes de impedir a multiplicação dos ácidos nucleicos de certos vírus. Entre elas, uma das mais conhecidas é a que trata infecções causadas pelos herpes-vírus. A aids, doença causada pelo vírus HIV, tem sido tratada com sucesso pela utilização de coquetéis de drogas que dificultam a multiplicação do ácido nucleico viral e a produção de proteínas virais.

O combate mais efetivo às doenças virais é a **prevenção**, que pode ser feita pela vacinação, por atitudes de saneamento básico e pela atuação da saúde pública, além dos cuidados pessoais.

Vacinas antivirais são preparadas em geral com vírus previamente mortos ou atenuados por tratamentos físicos e químicos. Ao entrar em contato com os componentes virais presentes na vacina, o organismo reage produzindo anticorpos específicos contra aquele tipo de vírus. Se a pessoa vacinada for posteriormente infectada por um vírus contra o qual ela foi imunizada, as células de memória imunológica, induzidas pela vacina, passam a produzir rapidamente grande quantidade de anticorpos que combatem a infecção. As amplas campanhas de vacinação contra a varíola humana levaram à total erradicação dessa doença no mundo a partir de 1980.

OBJETO DIGITAL Vídeo: A Revolta da Vacina

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Prejuízos da desinformação

A liberdade de expressão ajuda o trabalho de jornalistas e outros profissionais, proporcionando mais facilidade na apuração e na divulgação de fatos. A mídia digital vem permitindo às pessoas aumentarem dramaticamente a quantidade de informação que recebem. Ao mesmo tempo que isso favorece a participação democrática, também pode expressar opiniões sem fundamento, discursos de ódio e ***fake news***, termo recentemente adotado para denominar notícias falsas. Esse conjunto de contrapartidas à informação correta e honesta pode ser denominado **desinformação**.

Durante a recente pandemia de covid-19, assim declarada pela OMS em 2020, houve disseminação de todos os tipos de informações verdadeiras e falsas, e de forma tão rápida que se criou o termo "infodemia" para denominar a pandemia de informações, muitas das quais infundadas.

Forme um grupo de colegas para compartilhar as tarefas de pesquisa sobre a covid-19. O grupo pode pesquisar na internet diversos *sites* sobre a pandemia de covid-19, entre eles o portal da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) na internet (Disponível em: https://portal.fiocruz.br/coronavirus/perguntas-e-respostas. Acesso em: 23 ago. 2024.)

Questões para pesquisar e discutir

1. Quais são as hipóteses mais prováveis para a origem do coronavírus que causou a covid-19?
2. Como ocorre a transmissão do coronavírus? Pessoas assintomáticas podem transmitir o vírus?
3. Quais foram as principais medidas preventivas adotadas no Brasil e no mundo contra a covid-19? Quando essa emergência de saúde foi considerada encerrada no Brasil?
4. Uma desinformação relacionada à origem da covid-19: o coronavírus da covid-19 teria sido criado em laboratório? Pesquise a respeito.
5. Outras desinformações foram que a covid-19 podia ser tratada com produtos naturais, como suco de limão e chá de abacate com hortelã, ou pela cloroquina (medicamento contra malária) e por vermífugos. Pesquise na internet informações e tratamentos falsos e ineficazes contra a covid-19 propagados durante a pandemia.
6. Sugerimos que cada membro do grupo elabore comentários sucintos sobre cada um dos cinco itens anteriores, finalizando com um texto baseado em suas próprias experiências, impressões pessoais e conhecimentos sobre a pandemia de covid-19 (se tomou vacina, se usou máscara, se deixou de ir à escola ou de frequentar outros ambientes sociais, se tomou conhecimento de ***fake news*** a respeito etc.). Esses comentários podem ser compartilhados em uma discussão do grupo, a qual poderia ser registrada em vídeo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Bactérias e arqueas

As bactérias são as formas de vida mais abundantes na Terra nos últimos 2,5 bilhões de anos. Bactérias e arqueas provavelmente foram os primeiros organismos a habitar o planeta em que vivemos, transformando o ambiente terrestre e possibilitando o surgimento e a evolução de outras espécies.

Bactérias são seres unicelulares constituídos por células **procarióticas**, que não possuem núcleo celular nem organelas membranosas no citoplasma. Excetuando-se os vírus, que são acelulares, e as arqueas, que também apresentam célula procariótica, todos os outros seres vivos apresentam células eucarióticas, dotadas de núcleo e de organelas citoplasmáticas.

A célula bacteriana

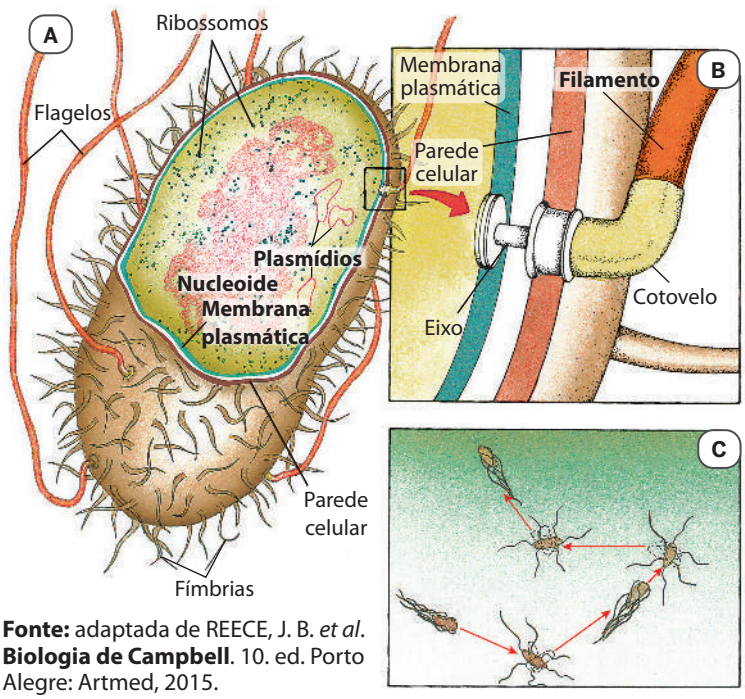
A maioria das bactérias apresenta um envoltório externo rígido, a **parede bacteriana**, que define a forma da célula. Internamente à parede e aderida a ela, encontra-se a membrana plasmática de constituição lipoproteica (lipídios e proteínas), que delimita o citoplasma. Neste, há milhares de ribossomos, estruturas responsáveis pela produção das proteínas.

O cromossomo bacteriano é constituído por uma longa molécula circular de DNA, assim considerada porque suas extremidades estão unidas. O DNA das bactérias contém alguns milhares de genes, necessários ao crescimento e à reprodução bacteriana. O cromossomo forma um emaranhado filamentoso denominado nucleoide, localizado geralmente na região central da bactéria.

A célula bacteriana pode conter, além do cromossomo, moléculas circulares de DNA relativamente pequenas, denominadas **plasmídios**. Os plasmídios são menores que o cromossomo bacteriano e sua presença, apesar de não ser essencial à vida da bactéria, pode ser vantajosa para ela. Geralmente os plasmídios apresentam genes que conferem à bactéria capacidade de resistir a substâncias prejudiciais, como antibióticos e metais pesados.

Diversas espécies de bactérias apresentam, em sua superfície externa, filamentos proteicos móveis denominados **flagelos bacterianos**. (Fig. 9.10)

A célula bacteriana



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

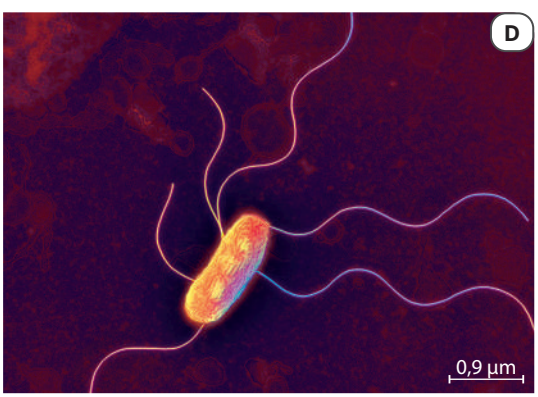


Figura 9.10. (A) Representação esquemática de uma célula bacteriana parcialmente cortada para mostrar seu interior. (B) Detalhe da base de um flagelo. (C) Representação do deslocamento de uma bactéria impulsionada pelos flagelos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (D) Eletromicrografia da bactéria *Escherichia coli*, mostrando flagelos. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 11.000×; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
KWANGSHIN KIM/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Certas bactérias apresentam, externamente à parede celular, uma cobertura de consistência mucosa chamada de **cápsula bacteriana**. A composição da cápsula varia nas diferentes espécies de bactéria, e pode ser formada por polissacarídios, por proteínas ou por ambos. Esses componentes são produzidos no interior da célula e secretados através da parede, agregando-se à região externa e formando a cápsula.

As diversas espécies de bactérias diferem quanto ao padrão metabólico, ao hábitat e à forma da célula. Em muitas espécies bacterianas, as células arranjam-se em grupos, embora os indivíduos sobrevivam normalmente quando estão isolados. A forma das células e o tipo de agrupamento que elas formam são características importantes na classificação das bactérias. (Fig. 9.11)

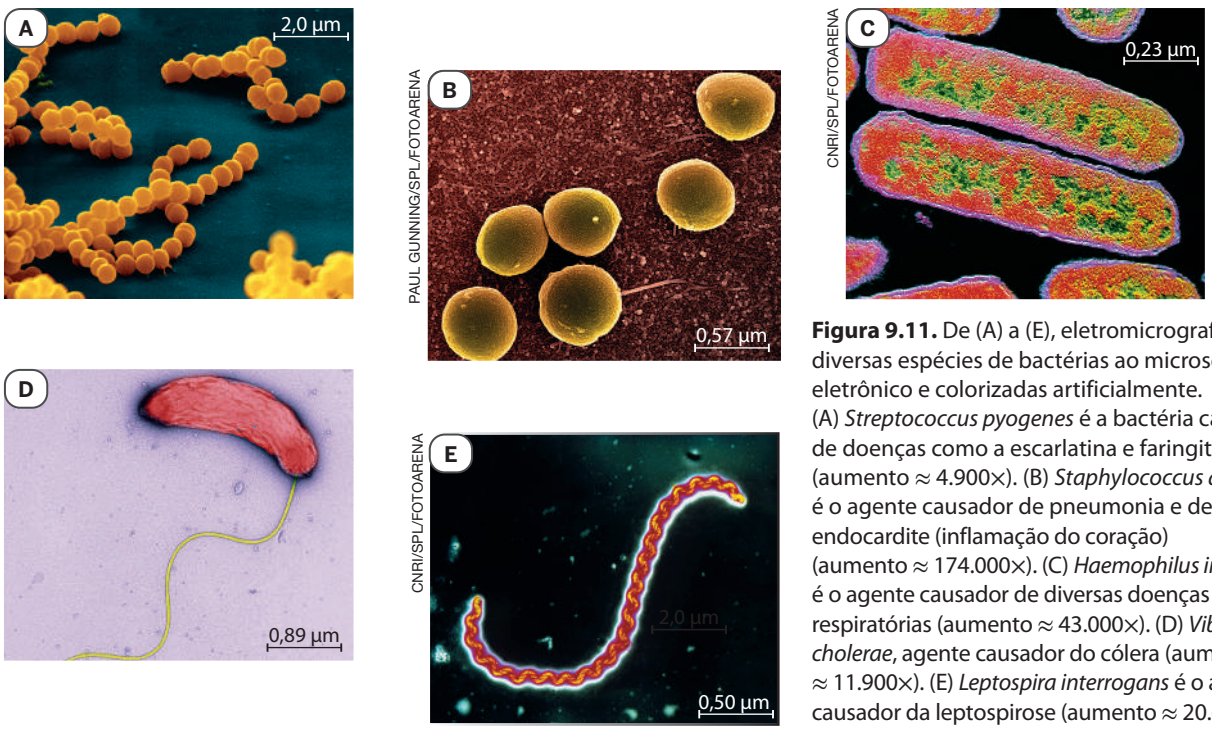


Figura 9.11. De (A) a (E), eletromicrografias de diversas espécies de bactérias ao microscópio eletrônico e colorizadas artificialmente. (A) *Streptococcus pyogenes* é a bactéria causadora de doenças como a escarlatina e faringites (aumento ≈ 4.900×). (B) *Staphylococcus aureus* é o agente causador de pneumonia e de endocardite (inflamação do coração) (aumento ≈ 174.000×). (C) *Haemophilus influenzae* é o agente causador de diversas doenças respiratórias (aumento ≈ 43.000×). (D) *Vibrio cholerae*, agente causador do cólera (aumento ≈ 11.900×). (E) *Leptospira interrogans* é o agente causador da leptospirose (aumento ≈ 20.600×).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A nutrição das bactérias

As bactérias apresentam diferentes formas de nutrição. Quanto a essa característica elas podem ser separadas em dois grandes grupos: bactérias autotróficas e bactérias heterotróficas. **Bactérias autotróficas** obtêm átomos de carbono para a produção de substâncias orgânicas basicamente a partir de gás carbônico (CO_2). Essas bactérias podem ser **fotossintetizantes**, quando utilizam luz como fonte de energia, ou **quimiossintetizantes**, quando utilizam a energia liberada em reações químicas inorgânicas.

Bactérias heterotróficas são aquelas que obtêm os átomos de carbono que utilizam em seu metabolismo a partir de moléculas orgânicas. Dependendo da origem das moléculas alimentares, essas bactérias podem ser classificadas como saprofágicas ou como parasitas. **Bactérias saprofágicas** (do grego *sapros*, podre, e *phagein*, comer) alimentam-se de cadáveres, fezes ou partes descartadas por seres vivos (folhas caídas, por exemplo). **Bactérias parasitas** alimentam-se de tecidos corporais de seres vivos e geralmente causam doenças a eles.

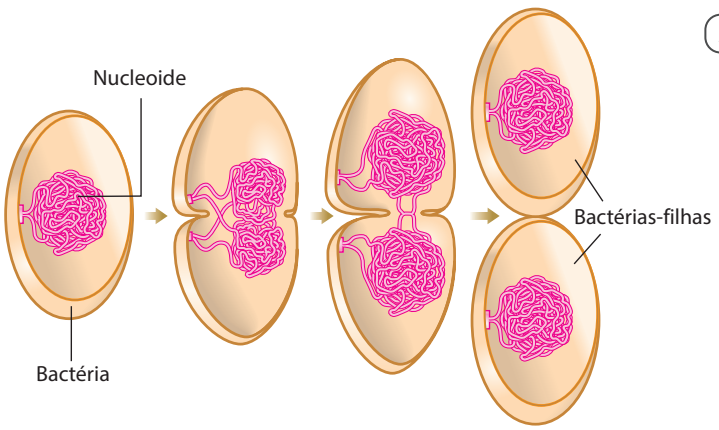
Alguns tipos de bactérias heterotróficas obtêm energia apenas por meio da respiração aeróbica, que necessita de gás oxigênio (O_2). Por isso, elas são denominadas **bactérias aeróbicas** e sobrevivem somente se houver O_2 disponível.

Certas bactérias podem obter energia por meio da respiração aeróbica e da fermentação, sendo por isso denominadas **bactérias anaeróbicas facultativas**. Há ainda bactérias que não toleram a presença de gás oxigênio e morrem se expostas a ele, sendo por isso denominadas **bactérias anaeróbicas obrigatórias**.

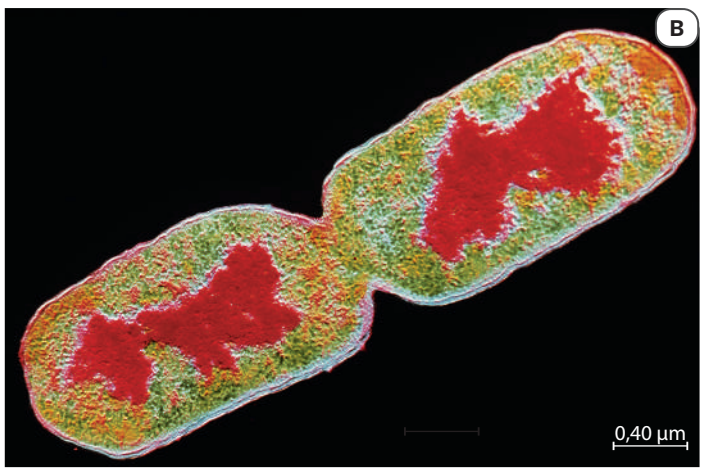
Reprodução das bactérias

As bactérias se reproduzem assexuadamente por meio de **divisão binária**. Nesse processo, a célula bacteriana duplica o cromossomo e divide-se ao meio, originando duas novas bactérias. Em condições ideais, algumas espécies bacterianas podem se duplicar em apenas 20 minutos. Nesse ritmo, uma única bactéria poderia originar, em poucas horas, uma população de milhões de bactérias geneticamente idênticas. O conjunto de indivíduos originados a partir de uma única célula, por sucessivas reproduções assexuadas, constitui um **clone**. (Fig. 9.12)

Reprodução das bactérias



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA



CNRI/SPL/FOTOARENA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 9.12. (A) Representação esquemática do processo de divisão de uma célula bacteriana em corte, mostrando o nucleoide. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.). (B) Eletromicrografia de bactéria *Escherichia coli* em divisão. A região central alaranjada é o nucleoide. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 26.000×; cores meramente ilustrativas.)

Pode haver transferência de genes entre indivíduos da mesma espécie ou mesmo de espécies diferentes de bactérias. Essas trocas genéticas possibilitam a aquisição de novas características, quando uma bactéria assimila genes de outras bactérias.

A importância das bactérias para a humanidade

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Embora os microrganismos tenham sido identificados apenas no século XVII, eles já eram empregados há séculos em biotecnologias de produção de alimentos, como na fabricação de queijos, iogurtes, requeijões, vinagre, picles etc.

O desenvolvimento científico e tecnológico tem levado ao emprego cada vez maior de diversas espécies de seres vivos, entre eles bactérias, em tecnologias úteis à humanidade, o que é denominado **biotecnologia**. Bactérias são atualmente utilizadas em larga escala na indústria farmacêutica para a produção de antibióticos e vitaminas. A indústria química emprega bactérias para obter

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

substâncias como o metanol, o butanol, a acetona etc. Nos grandes centros urbanos, as bactérias adquirem destaque como agentes decompositores de matéria orgânica dos esgotos domésticos e do lixo.

Bactérias são parte importante dos ecossistemas ao atuar como **agentes decompositores**. Juntamente com os fungos, muitas bactérias participam da reciclagem de restos orgânicos, decompondo-os e devolvendo seus elementos químicos à natureza, o que possibilita sua reutilização por outros seres vivos.

O potencial biotecnológico das bactérias revelou-se nas últimas décadas em razão do desenvolvimento da tecnologia do DNA recombinante, também chamada de **Engenharia Genética**. Essa tecnologia permite modificar geneticamente certas bactérias, fazendo-as produzir substâncias de interesse comercial. Por exemplo, o hormônio do crescimento e a insulina fabricados por bactérias geneticamente transformadas por Engenharia Genética são idênticos aos produzidos por células humanas.

Certas bactérias são parasitas, vivendo entre as células dos tecidos e em superfícies e cavidades de órgãos de diversos hospedeiros, nutrindo-se destes e causando algum tipo de prejuízo. Umas poucas espécies de bactérias são parasitas intracelulares, invadindo as células hospedeiras e reproduzindo-se em seu interior. Muitos sintomas das infecções bacterianas são provocados por substâncias tóxicas que as bactérias eliminam ou por reações do hospedeiro a substâncias presentes nas paredes celulares bacterianas.

O tratamento das infecções bacterianas é feito com **antibióticos**, substâncias capazes de matar especificamente bactérias. O primeiro antibiótico foi descoberto em 1929 pelo médico escocês Alexander Fleming (1881-1955), que o extraiu de um fungo do gênero *Penicillium*, sendo por isso chamado de penicilina. Dez anos depois, a penicilina passou a ser produzida em grande escala, salvando milhões de vidas humanas. Os antibióticos ainda são extraídos de bactérias e de fungos, mas atualmente grande parte deles é modificada por processos químicos que aumentam seu potencial de ação, sendo por isso denominados **antibióticos sintéticos**.

Arqueas

Arqueas são seres procarióticos semelhantes às bactérias em tamanho e aparência. Elas só foram identificadas como um grupo distinto das bactérias há poucas décadas, graças ao emprego de técnicas de análise molecular. Uma diferença marcante entre bactérias e arqueas é a organização e o funcionamento de seus genes.

As arqueas geralmente vivem em ambientes pouco propícios à maioria dos outros seres vivos. Um grupo conhecido de arqueas é o das **halófilas** (do grego *halos*, sal, e *philos*, amigo), que habitam águas com alta concentração salina. Outro grupo de arqueas reúne as **termoacidófilas**, que suportam condições extremas de acidez e temperatura, vivendo em fontes termais ácidas, onde a temperatura oscila entre 60 °C e 80 °C, ou em fendas vulcânicas nas profundezas oceânicas. Arqueas **metanogênicas** habitam pântanos e o tubo digestivo de animais herbívoros (como o gado bovino), onde produzem gás metano. Recentemente foram descobertas arqueas em ambientes gelados, como as águas superficiais da costa da Antártida.

Estudos mostram que as arqueas são evolutivamente mais próximas aos organismos eucarióticos do que às bactérias. Muitos cientistas acreditam que, nos primórdios da vida na Terra, um grupo de organismos unicelulares primitivos separou-se em duas linhagens, uma das quais deu origem às bactérias atuais, enquanto a outra se diversificou originando as arqueas e os seres eucarióticos. (Fig. 9.13)

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

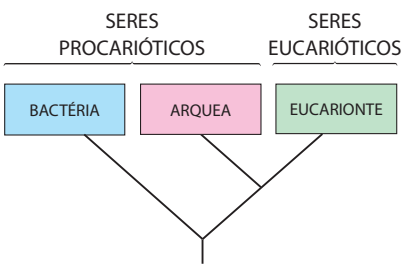
Dialogando com o texto

Bactérias e biotecnologia

Pesquise em livros ou na internet sobre o papel das bactérias como agentes decompositores na natureza, em suas relações com outros seres vivos e na biotecnologia (na fermentação, na produção de medicamentos etc.). Com base em suas pesquisas, escreva um texto objetivo, que comente quais seriam as consequências para a humanidade e para a vida na Terra se ocorresse um hipotético desaparecimento dos seres procarióticos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Parentesco evolutivo entre bactérias, arqueas e seres eucariontes



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 9.13. Árvore filogenética que mostra a relação de parentesco evolutivo entre seres procarióticos e seres eucarióticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Qual das alternativas traz grafado corretamente o nome científico de uma espécie de ser vivo? 1.d

a. Canis Familiaris
b. Homo pp.
c. solanum tuberosum
d. *Zea mays*

2. Dois organismos de uma mesma ordem pertencem necessariamente a qual outro táxon? 2.a

a. Classe.
b. Família.
c. Gênero.
d. Espécie.

3. Os vírus distinguem-se de todos os seres vivos porque 3.c

a. são parasitas.
b. têm células procarióticas.
c. não têm estrutura celular.
d. não têm proteínas em sua constituição.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 4 a 8.

a. endemia
b. epidemia
c. pandemia
d. virose
e. zoonose viral

4. Uma doença causada por vírus é denominada (■). 4.d

5. Fala-se em (■) quando há um aumento súbito no número de casos de uma doença em uma população. 5.b

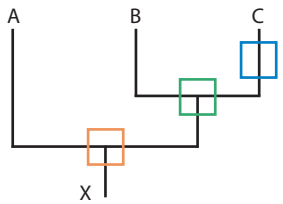
6. O termo (■) refere-se a uma doença que se mantém em frequência praticamente constante em determinada região. 6.a

7. Uma doença viral em que a pessoa pode se infectar pelo contato com um animal portador do vírus é denominada (■). 7.e

8. Quando uma doença atinge mais de um continente, em uma onda epidêmica que pode se prolongar por anos, fala-se em (■). 8.c

9. Considere os animais A, B, C e D. A e B pertencem a gêneros diferentes de uma mesma família, enquanto C e D pertencem à mesma ordem, mas não às mesmas famílias. Você espera encontrar maior grau de semelhança entre A e B ou entre C e D? Por quê?

10. No cladograma a seguir, estão representadas as relações filogenéticas entre as espécies A, B e C. Os quadrados coloridos correspondem aos ancestrais comuns de quais grupos?



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Questões de vestibulares

11. (UFG-GO) As categorias sistemáticas, ou taxas, colocadas ordenadamente, em graus hierárquicos, são 11.c

a. reino, divisão, classe, família, ordem, gênero, espécie.
b. reino, classe, divisão, ordem, família, gênero, espécie.
c. reino, divisão, classe, ordem, família, gênero, espécie.
d. reino, classe, divisão, família, ordem, gênero, espécie.
e. reino, divisão, família, classe, ordem, gênero, espécie.

12. (Fuvest-SP) Um pesquisador estudou uma célula ao microscópio eletrônico, verificando a ausência de núcleo e de compartimentos membranosos. Com base nessas observações, ele concluiu que a célula pertence a 12.a

a. uma bactéria.
b. uma planta.
c. um animal.
d. um fungo.
e. um vírus.

13. (Uerj) A alternativa que apresenta uma propriedade comum a todos os vírus é 13.b

a. replicam-se independentemente.
b. possuem ácido nucleico e proteínas.
c. são formados por DNA e carboidratos.
d. reproduzem-se de forma similar às bactérias.

14. (UEG-GO) Na atualidade, o sistema utilizado para a classificação taxonômica de todos os organismos vivos existentes é o binomial.

a. O que é a nomenclatura binomial?
b. Por que uma nomenclatura binomial é preferencialmente utilizada ao invés de nomes comuns?

15. (Vunesp) Alunos de uma escola, em visita ao zoológico, deveriam escolher uma das espécies em exposição e pesquisar sobre seus hábitos, alimentação, distribuição etc. No setor dos macacos, um dos alunos ficou impressionado com a beleza e a agilidade dos macacos-pregos. No recinto desses animais havia uma placa com a identificação:

> Nome vulgar: Macaco-prego
> (em inglês *Ring-tail Monkeys* ou *Weeping capuchins*).
> Ordem: Primates.
> Família: Cebidae.
> Espécie: *Cebus apella*.

Esta foi a espécie escolhida por esse aluno. Chegando em casa, procurou informações sobre a espécie em um *site* de busca e pesquisa na internet. O aluno deveria digitar até duas palavras-chave e iniciar a busca.

a. Que palavras o aluno deve digitar para obter informações apenas sobre a espécie escolhida?
b. Justifique sua sugestão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 10

Algas, protozoários e fungos

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Cogumelos são estruturas reprodutivas e fungos basidiomicetos. Nas lamelas, visíveis na parte inferior do chapéu, formam-se esporos que se desprendem e germinam se atingirem locais adequados, originando novos fungos. Na imagem, cogumelos com cerca de 10 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Este capítulo trata de algas, protozoários e fungos, seres mais ligados à nossa vida do que muitas vezes imaginamos. Quem já andou na praia certamente viu algas macroscópicas que lembram plantas, algumas semelhantes a folhas de alface. A maioria das algas, porém, é invisível a olho nu e flutua na superfície de mares e lagos. As algas microscópicas, junto a bactérias fotossintetizantes, constituem o fitoplâncton, responsável pela produção da matéria orgânica que sustenta a vida nos mares e nos lagos. Além disso, o teor de gás oxigênio (O_2) na atmosfera mantém-se em torno de 21% graças à fotossíntese, processo em que se forma O_2.

Protozoários são seres microscópicos que habitam os mais diversos ambientes, inclusive o corpo de pessoas e de animais. Certas espécies de protozoários causam doenças, como a malária e a doença de Chagas.

Os fungos podem ser microscópicos ou macroscópicos. Entre os primeiros destacam-se as leveduras, ou fermentos, utilizadas na fabricação de bebidas alcoólicas e de pães. Fungos macroscópicos de importância culinária são os cogumelos comestíveis. Os fungos também são importantes na produção de diversas substâncias utilizadas na indústria química e na farmacêutica. Certos fungos podem causar doenças, algumas delas graves, e muitos são responsáveis pela deterioração de alimentos e por estragos em roupas e acessórios de couro guardados em armários.

1. Algas

ODS 14

A diversidade das algas

O termo "**alga**" designa diversos tipos de seres eucarióticos fotossintetizantes, uni ou multicelulares. As algas são seres aquáticos que vivem em água doce, nos mares ou em superfícies úmidas. O corpo das algas multicelulares é chamado de **talo**, podendo ser formado por filamentos, por lâminas ou por estruturas compactas que lembram caules e folhas de plantas. (Fig. 10.1)

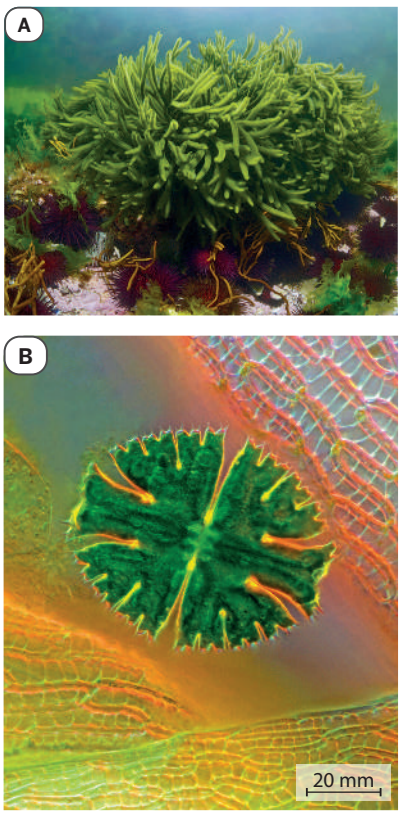
MARCOS AMEND/PULSAR IMAGENS

Figura 10.1. Diversidade de algas macroscópicas no litoral brasileiro (Fernando de Noronha, PE, 2019).

Um dos critérios utilizados na classificação das algas é o tipo de pigmento predominante que apresentam, responsável por sua coloração. De acordo com esse critério, as algas são divididas em diversos grupos, apresentados a seguir.

As **algas verdes** (filo Chlorophyta), ou **clorofíceas**, vivem no mar, na água doce ou nas superfícies úmidas, onde formam películas esverdeadas e escorregadias. Há várias espécies de clorofíceas unicelulares, algumas delas dotadas de flagelos, além de espécies multicelulares, cujo corpo pode ser filamentoso ou em forma de lâmina. Algumas espécies de algas verdes vivem em associação com fungos, constituindo os **liquens**, presentes na superfície de rochas ou sobre troncos de árvores. Há também espécies de algas verdes que vivem dentro de células de animais aquáticos em uma relação de troca mútua de benefícios denominada **endossimbiose**. (Fig. 10.2)

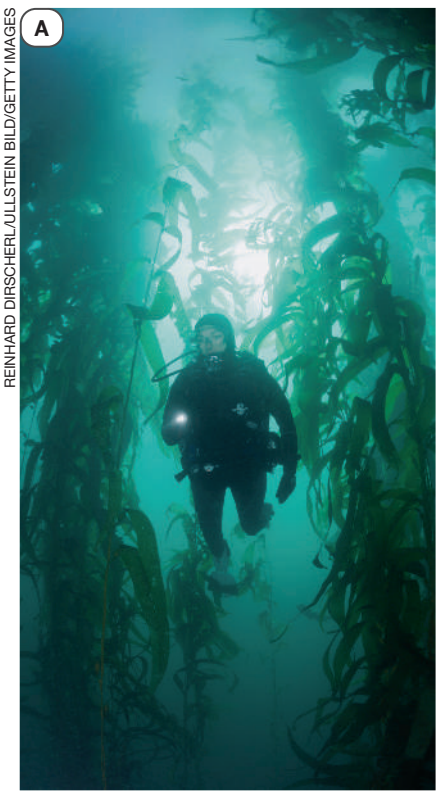
As **algas pardas** (filo Phaeophyta), ou **feofíceas**, são multicelulares e vivem no mar. Seu tamanho pode variar de poucos centímetros a mais de 40 metros de comprimento. É comum encontrar nas praias fragmentos de feofíceas do gênero *Sargassum* (sargaço), cujo talo lembra caules e folhas de plantas. O sargaço é abundante no oceano Atlântico, principalmente nas proximidades do arquipélago dos Açores, local que os antigos navegadores portugueses batizaram de mar dos Sargaços. (Fig. 10.3)



DAMOCEAN/GETTY IMAGES

MAREK MIS/SPL/FOTOARENA

Figura 10.2. Exemplos de algas verdes. (A) *Codium tomentosum*, alga verde multicelular marinha que pode chegar a 30 cm de comprimento. (B) *Micrasterias apiculata*, alga verde unicelular de água doce que atinge cerca de a 0,25 mm de comprimento. (Microscópio óptico; aumento ≈ 50×.)



REINHARD DIRSCHERL/ULLSTEIN BILD/GETTY IMAGES

ISTOCK/GETTY IMAGES

Figura 10.3. Exemplos de algas pardas. (A) Mergulhador entre feofíceas da espécie *Macrocystis pyrifera*, conhecida popularmente por *kelps* (México, 2014). (B) Fotografia de alga parda macroscópica do gênero *Sargassum*, com cerca de 70 cm de altura.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As **algas vermelhas** (filo Rhodophyta), ou **rodofíceas**, são quase todas multicelulares e vivem em mares tropicais, aderidas a rochas ou a outras algas. Algumas espécies acumulam carbonato de cálcio nas paredes celulares, o que lhes confere uma rigidez semelhante à de corais, sendo por isso chamadas de **algas coralíneas**. (Fig. 10.4)

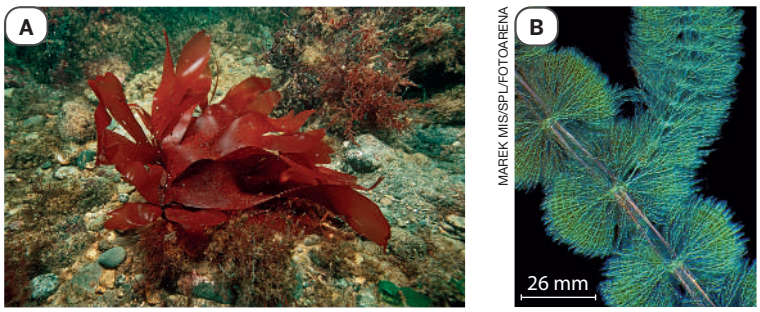


Figura 10.4. Exemplos de algas vermelhas. (A) A rodofícea macroscópica (*Rhodymenia* sp.), que mede cerca de 15 cm de comprimento. (B) Fotomicrografia de *Batrachospermum vagum*, rodofícea microscópica filamentosa. (Microscópio óptico; aumento ≈ 38×.)

As **algas douradas**, ou **crisofíceas** (filo Chrysophyta), podem ser unicelulares ou coloniais, vivendo em ambientes marinhos e de água doce. Em certos lagos de regiões temperadas, as crisofíceas são o principal grupo de algas do fitoplâncton. (Fig. 10.5)

As **diatomáceas** (filo Bacillariophyta) são algas unicelulares microscópicas revestidas por uma carapaça de dióxido de silício (SiO_2), o que lhes confere um aspecto brilhante e iridescente. A maioria das diatomáceas habita mares frios, e há representantes de água doce. Estima-se que cerca de 25% da produção de matéria orgânica pela fotossíntese nos ecossistemas marinhos seja realizada por esse grupo de algas. (Fig. 10.6)

Carapaças de diatomáceas acumularam-se, ao longo de milhões de anos, em certas regiões do fundo marinho, formando camadas rochosas compactas conhecidas como **terras de diatomáceas**, ou **diatomitos**. Os diatomitos têm granulosidade muito fina, sendo utilizados por isso na indústria como matéria-prima para a fabricação de polidores e filtros. Diatomitos foram empregados no passado como material de construção, geralmente misturados a cal. Exemplos de obras construídas com diatomitos e que se conservam até hoje são os aquedutos de Roma, o porto de Alexandria e o canal de Suez.

Os **euglenoides** (filo Euglenophyta) são algas unicelulares predominantemente de água doce, revestidos por uma película flexível sob a qual há fibrilas contráteis. A maioria dos euglenoides é autotrófica fotossintetizante, mas há espécies heterotróficas, destituídas de cloroplasto e que capturam presas por fagocitose. Euglenoides de água doce apresentam um **vacúolo contrátil**, ou **vacúolo pulsátil**, bolsa membranosa intracelular que elimina periodicamente o excesso de água que entra na célula por osmose. (Fig. 10.7)

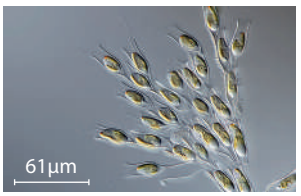


Figura 10.5. Alga dourada do gênero *Dinobryon*. (Microscópio óptico; aumento ≈ 164×.)

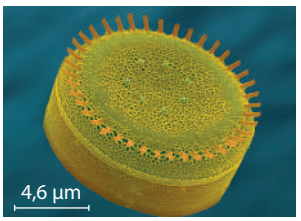


Figura 10.6. *Cocconeis placentula*, diatomácea dotada de carapaça de sílica. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 180×; cores meramente ilustrativas.)

Euglenoides

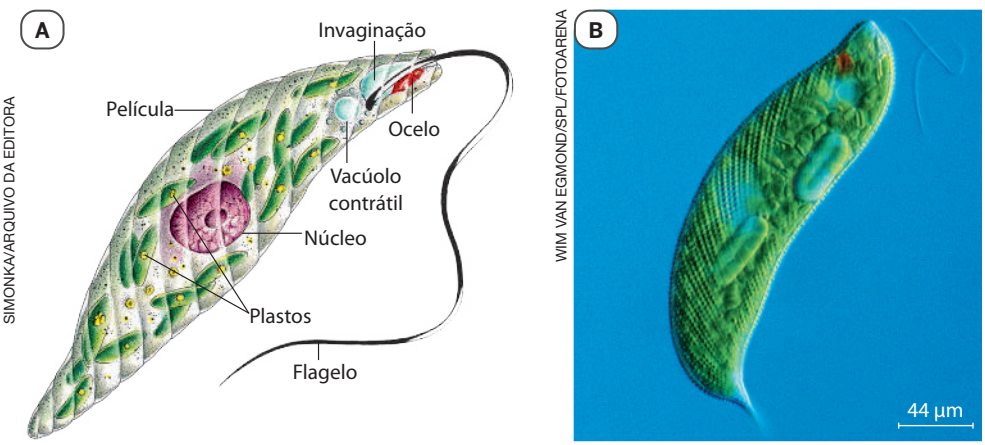


Figura 10.7. (A) Ilustração do euglenoide *Euglena viridis*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de *Euglena spirogyra*. A mancha vermelha no citoplasma é um ocelo, estrutura capaz de perceber luz. Perto do ocelo pode-se observar o vacúolo contrátil. Os dois corpos elípticos grandes dentro da célula são reservas de amido. Compare a foto e o esquema. (Microscópio óptico; aumento ≈ 230×.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

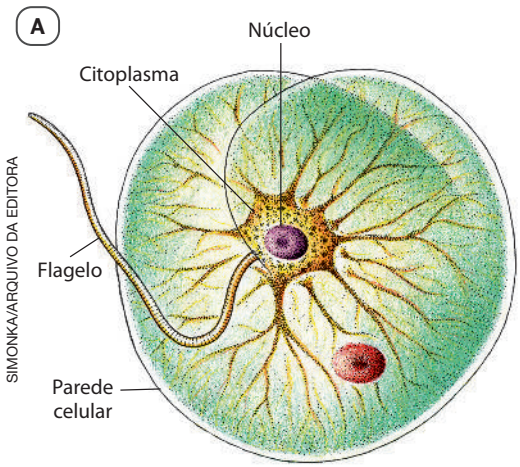
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **dinoflagelados** (filo Dinophyta) são algas unicelulares que, em sua maioria, vivem no mar. Junto a diatomáceas e crisófitas, os dinoflagelados constituem parte importante do fitoplâncton.

A célula dos dinoflagelados é dotada de dois flagelos utilizados para locomoção. Muitas espécies apresentam a parede celular constituída por placas de celulose e dispostas como uma armadura. Há espécies que vivem em endossimbiose dentro de células de protozoários e de animais marinhos como cnidários, platelmintos e moluscos. Nesse caso, os dinoflagelados são genericamente denominados **zooxantelas**. Certos dinoflagelados não têm cloroplastos e sua nutrição é exclusivamente heterotrófica, com espécies predadoras de protozoários.

O fenômeno da **bioluminescência do mar**, visível à noite em certas épocas do ano, é causado por dinoflagelados do gênero *Noctiluca*. O movimento da água estimula esses microrganismos a emitir uma tênue luz azul-esverdeada, observável nas cristas das ondas que quebram na praia ou ao redor do corpo de banhistas noturnos. (Fig. 10.8)

Noctiluca, um dinoflagelado



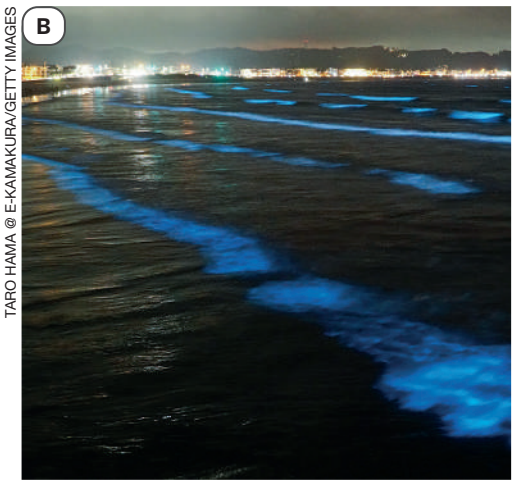


Figura 10.8. (A) Representação esquemática de *Noctiluca* sp. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Foto de bioluminescência causada por dinoflagelados da espécie *Noctiluca scintillans* (Japão, 2017).

Fonte: adaptada de EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven**: Biologia vegetal. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Entenda o que é a maré vermelha, fenômeno observado no litoral sul de Pernambuco

ODS 14

[...]

Um fenômeno natural em algumas praias do litoral sul de Pernambuco, especialmente nos municípios de Tamandaré e Ipojuca, chamou a atenção das autoridades ambientais e sanitárias. Denominada "Maré Vermelha" ou "Tingui", o fenômeno é caracterizado pela proliferação [...] de algas dinoflageladas, ou microalgas, que se espalham pelo plâncton dos oceanos. Essas algas, durante o processo de metabolismo, liberam toxinas capazes de contaminar a água e o ar.

O aumento na população dessas microalgas é causado pela concentração de nutrientes e matéria orgânica no mar. Também contribui a liberação de esgoto doméstico nas praias, fazendo com que o tempo de permanência da maré vermelha na região dure entre 12h e 48h.

O biólogo Múcio Banja, do Conselho Regional de Biologia (CRBio), explica que a Maré Vermelha é um evento natural ocasionado pelas microalgas, comum e que acontece com periodicidade, de extrema importância para a manutenção do equilíbrio dos mares e oceanos.

"Essas microalgas, embora causem a Maré Vermelha, têm um papel importante no equilíbrio dos oceanos. A questão é que elas formam grandes populações e muitas vezes algumas espécies formam manchas escuras, de cor avermelhada, o que de alguma forma originou o nome. Em algumas regiões do planeta, pela geomorfologia, é mais fácil prever.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

Aqui foi um fenômeno isolado, após um conjunto de combinações, como vento, correntes marinhas e nutrientes em excesso", explica o biólogo.

Mesmo sendo um fenômeno natural, a liberação dessas toxinas traz prejuízos à saúde de banhistas, surfistas e moradores que residem em áreas próximas às praias, podendo provocar casos de intoxicação. Após o contato direto ou indireto com a água do mar ou a maresia, os sintomas podem envolver dores fortes de cabeça, náuseas, dores no corpo, irritação nos olhos, na garganta e na pele e outras queixas de saúde. A ingestão de frutos do mar, como peixes e moluscos, que também são contaminados pela Maré Vermelha, podem provocar intoxicações.

[...]

Para reduzir as chances de intoxicação por Maré Vermelha, o recomendável é que ao frequentar alguma praia as pessoas se atentem a situações atípicas. Se houver forte odor, que se assemelha a vinagre, ou manchas no mar, evitar se aproximar da areia e da água.

Fonte: HOLANDA, R. Entenda o que é a Maré Vermelha, fenômeno observado no litoral sul de Pernambuco. **Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e de Fernando de Noronha de Pernambuco** (Semas-PE), 6 fev. 2024. Disponível em: https://semas.pe.gov.br/entenda-o-que-e-a-mare-vermelha-fenomeno-observado-no-litoral-sul-de-pernambuco/. Acesso em: 12 ago. 2024.

Com base no texto, responda às seguintes questões:

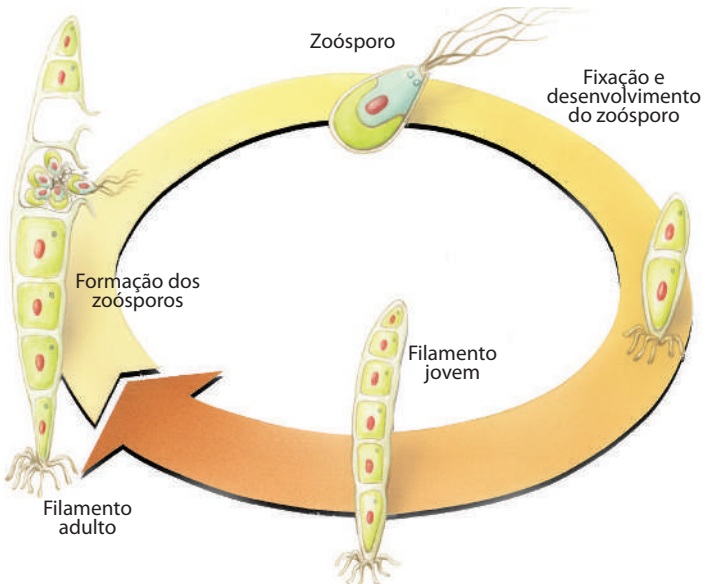
1. O que é o fenômeno denominado "maré vermelha"? Destaque o agente biológico causador, as condições que propiciam o fenômeno e outros aspectos que julgar interessantes.
2. Por que é importante evitar o contato com a água do mar durante as marés vermelhas?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A reprodução e os ciclos de vida das algas

Algas unicelulares reproduzem-se assexuadamente por meio de **divisão binária**, em que um organismo genitor divide-se em dois descendentes. Algas multicelulares filamentosas podem se reproduzir assexuadamente por **fragmentação**, processo em que o talo se fragmenta e origina novos indivíduos. Há espécies de algas que se reproduzem por **esporulação**, processo assexuado em que se formam células reprodutivas denominadas **esporos**. Ao germinar, o esporo origina uma nova alga. (Fig. 10.9)

Um tipo de reprodução assexuada em algas



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

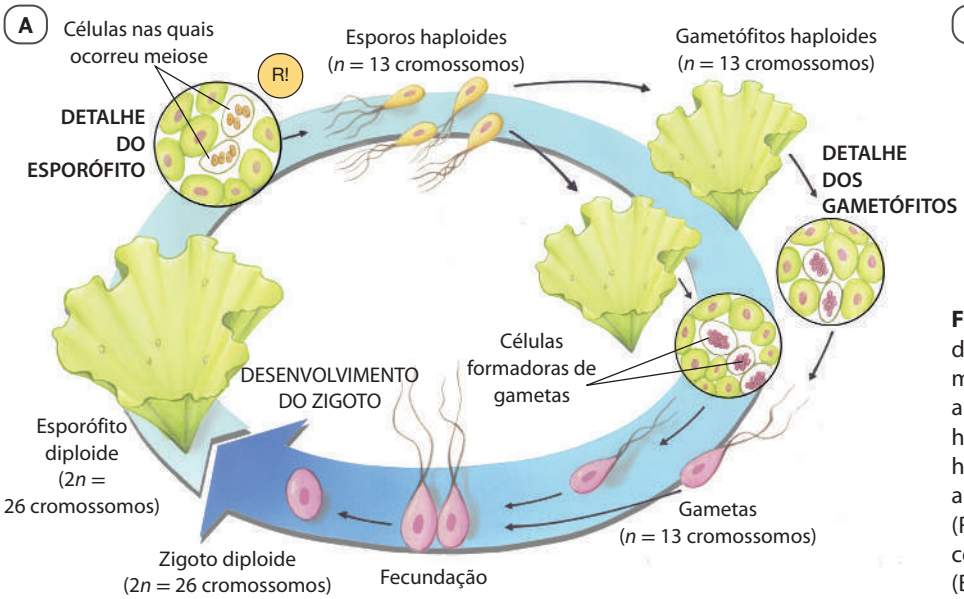
Fonte: adaptada de VICTORY Graphik. Visualizing Science and thru art. **Ulothrix Life Cycle**. Disponível em: http://victorygraphik.com/shop/charts/botany/algae/b-65-ulothrix-life-cycle/. Acesso em: 7 out. 2024.

Figura 10.9. Representação esquemática da reprodução por esporulação da alga verde filamentosa *Ulothrix* sp., que forma esporos dotados de flagelos denominados zoósporos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Algas unicelulares, como *Chlamydomonas* sp., são seres haploides, e cada indivíduo se comporta como um gameta na reprodução sexuada. Assim, dois indivíduos sexualmente maduros e de sexos diferentes se fundem, originando um zigoto diploide. Este divide-se por meiose e origina quatro organismos haploides, que na maturidade podem se reproduzir assexuadamente ou sexuadamente.

Muitas algas pluricelulares apresentam um tipo de ciclo de vida em que se alternam gerações de indivíduos haploides e de indivíduos diploides, fenômeno denominado **alternância de gerações**. Indivíduos de talos diploides (2*n*) são chamados de **esporófitos** e na maturidade formam células que se dividem por meiose, originando **esporos haploides**. Estes são liberados na água, onde podem germinar, originando indivíduos de talos haploides (*n*) chamados de **gametófitos**. Na maturidade, algumas células do gametófito diferenciam-se em **gametas** flagelados, que se libertam do talo e se unem dois a dois, originando **zigotos diploides**. O desenvolvimento de um zigoto origina um novo esporófito, fechando o ciclo. (Fig. 10.10)

Ciclo de vida alternante da alface-do-mar



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

EDSON GRANDISOLI/PULSAR IMAGENS

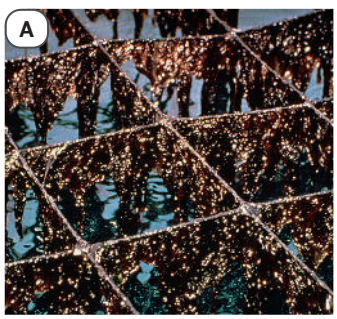
Figura 10.10. (A) Representação do ciclo de vida da alga verde multicelular *Ulva lactuca*, a alface-do-mar. Nesse organismo há alternância entre talos haploides e talos diploides, cuja aparência é muito semelhante. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Talos de *U. lactuca*, com aproximadamente 10 cm de altura, sobre uma rocha.

Fonte: adaptada de EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven**: Biologia vegetal. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

A importância econômica das algas

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Diversas espécies de alga são comestíveis. As mais utilizadas como alimento, principalmente por povos orientais, são as algas pardas, as vermelhas e as verdes. Algas vermelhas do gênero *Porphyra*, depois de secas e prensadas, transformam-se nas folhas crocantes empregadas no preparo de sushis e outros pratos da culinária oriental. Do ponto de vista nutricional as algas são ricas em vitaminas e minerais essenciais. (Fig. 10.11)



BIOPHOTO ASSOCIATES/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

ANNA CHELNOKOVA/SHUTTERSTOCK

SMIT/SHUTTERSTOCK

Figura 10.11. (A) Sistema de cultivo da alga marinha vermelha *Porphyra* sp., chamada de *nori* pelos japoneses. (B) *Sushi* sendo preparado com peixe fresco, arroz e *nori*. (C) *Sushis* prontos e cortados, com o prensado da alga *nori* envolvendo cada pedaço.

Certas algas vermelhas são fonte de polissacarídios economicamente importantes, como as carrageninas e o ágar. As carrageninas são amplamente utilizadas como estabilizantes e clarificantes pela indústria alimentícia. O ágar, além de ser empregado como espessante de alimentos, é utilizado em laboratórios de pesquisa na preparação de meios de cultura para microrganismos.

As algas marrons apresentam em suas paredes celulares o alginato, substância empregada nas indústrias farmacêutica, têxtil e de cosméticos, assim como na fabricação de sorvetes, achocolatados, cerveja e cremes dentais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Protozoários

Os **protozoários** (do grego *protos*, primitivo, primeiro, e *zoon*, animal) são organismos unicelulares heterotróficos distribuídos em diversos filos. A maioria dos protozoários vive em água doce, no mar, em regiões lodosas e em terra úmida, alimentando-se tanto da matéria orgânica de cadáveres (hábito saprofágico) quanto de microrganismos vivos (hábito predatório). As presas dos protozoários predadores podem ser bactérias, algas e outros protozoários. Há diversas espécies de protozoários parasitas, que habitam o corpo de animais invertebrados e vertebrados, incluindo a espécie humana, em muitos casos causando doenças. Há também espécies que trocam benefícios com outros seres vivos em uma relação do tipo **mutualismo**, como é o caso dos protozoários que vivem no intestino dos cupins.

O tamanho dos protozoários varia entre 10 µm e 50 µm, mas alguns podem atingir até 1 milímetro de comprimento. Protozoários de água doce apresentam vacúolos contráteis bem desenvolvidos, que atuam na eliminação do excesso de água que entra na célula por osmose. A maioria dos protozoários é capaz de se movimentar. As amebas, por exemplo, movimentam-se por meio de expansões celulares denominadas **pseudópodes** (do grego *pseudos*, falso, e *podos*, pé ou perna). Há protozoários que se movimentam graças ao batimento de filamentos móveis localizados na superfície das células, os **flagelos** e os **cílios**. Os protozoários do filo Apicomplexa, embora sejam desprovidos de estruturas de locomoção, podem executar movimentos lentos graças a filamentos proteicos localizados internamente à sua membrana plasmática.

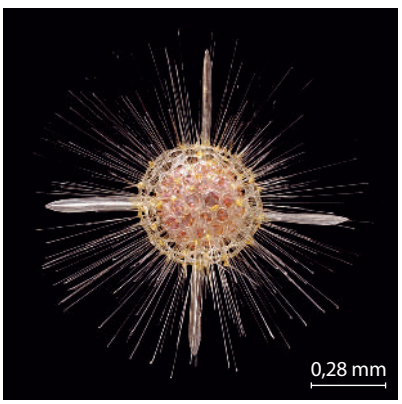
A diversidade dos protozoários

No sistema de classificação que adotamos neste livro, os protozoários foram divididos em seis filos do Reino Protoctista: Rhizopoda, Actinopoda, Foraminifera, Apicomplexa, Zoomastigophora e Ciliophora.

Os **rizópodes** (filo Rhizopoda, ou Sarcodina) são protozoários de água doce e marinhos que se locomovem por meio de pseudópodes. Seus representantes mais conhecidos são as amebas. (Fig. 10.12)

Certas espécies de ameba vivem no corpo humano sem causar prejuízo, em uma relação ecológica chamada de **comensalismo**. Exemplos de amebas comensais humanas são *Entamoeba gingivalis*, que vive na boca, e *Entamoeba coli*, que vive no intestino. A espécie *Entamoeba histolytica* é parasita do intestino humano e provoca a doença conhecida como **amebíase**, ou **disenteria amebiana**.

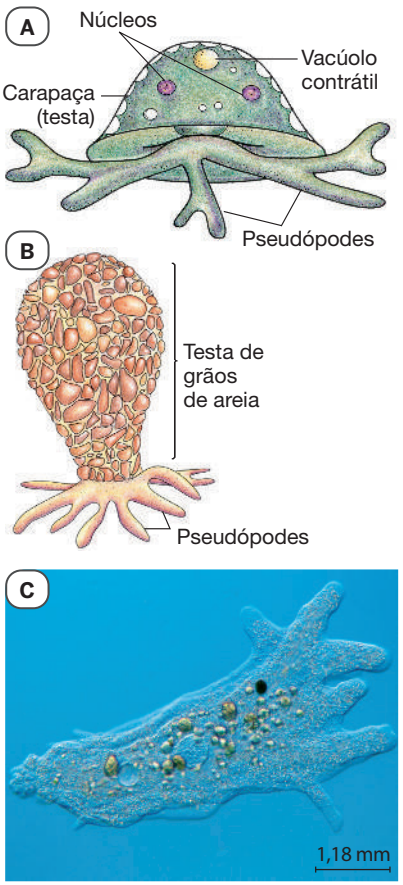
Os **actinópodes** (filo Actinopoda) são protozoários dotados de pseudópodes filamentosos com um eixo central de sustentação, dispostos como raios em torno da célula. Há dois grupos principais de actinópodes: os radiolários e os heliozoários. Os **radiolários** vivem exclusivamente no mar e fazem parte do zooplâncton. Muitos radiolários abrigam no citoplasma algas endossimbiontes de diversos grupos, chamadas genericamente de **zooxantelas**. A maioria dos **heliozoários** vive no fundo de lagos de água doce ou sobre a vegetação submersa. (Fig. 10.13)



THE NATURAL HISTORY MUSEUM, LONDON/ SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 10.13. Fotomicrografia do radiolário *Actinomma delicatulum*, que faz parte do plâncton marinho. (Microscópio óptico; aumento ≈ 35×.)

Representantes do filo Rhizopoda



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

WIM VAN EGMOND/SPL/FOTOARENA

Fonte: adaptada de WOODRUFF, L. L. **Animal biology**. New York: The Macmillan company, 1938.

Figura 10.12. Protozoários rizópodes: (A) *Arcella* sp., espécie de água doce que apresenta carapaça rígida constituída por proteínas, e (B) *Difflugia* sp., espécie marinha que agrega grãos de areia microscópicos na construção da carapaça. (Em A e B, representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (C) Fotomicrografia de *Amoeba proteus*. (Microscópio óptico; aumento ≈ 18×.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **foraminíferos** (filo Foraminifera) são protozoários dotados de uma carapaça externa constituída por carbonato de cálcio, por quitina ou mesmo por fragmentos calcários ou silicosos aderidos à superfície celular. A carapaça externa geralmente apresenta diversas perfurações, por onde saem pseudópodes finos e delicados, utilizados na captura de alimento. A maioria dos foraminíferos vive no mar. Muitas espécies são flutuantes, fazendo parte do plâncton, enquanto outras rastejam no fundo ou vivem aderidas a algas e a animais. (Fig. 10.14)

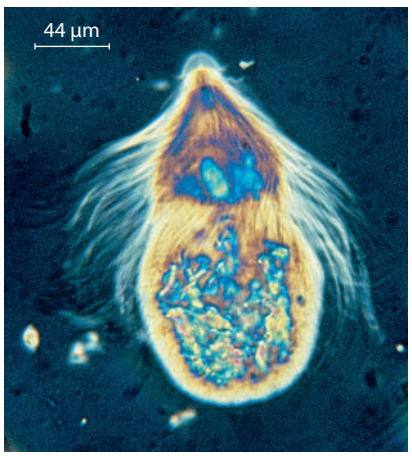
Os **flagelados** (filo Zoomastigophora) são protozoários que se locomovem pelo batimento de estruturas filamentosas denominadas **flagelos**. Geralmente há um ou dois flagelos por célula, mas há espécies com dezenas deles. Os flagelados vivem em meio aquático, tanto no mar quanto em água doce. Alguns têm vida livre, utilizando os flagelos para nadar e para capturar alimentos por fagocitose, enquanto outros são sésseis, vivendo fixados a um substrato.

Há diversas espécies de flagelados parasitas causadoras de doenças em animais e em seres humanos. Entre os flagelados parasitas da espécie humana, destacam-se o *Trypanosoma cruzi*, causador da doença de Chagas, o *Leishmania braziliensis*, causador da leishmaniose tegumentar, uma doença da pele, e o *Trichomonas vaginalis*, causador de inflamações e corrimentos vaginais.

Há flagelados que vivem no tubo digestivo de baratas e cupins, mantendo com eles uma relação de mutualismo. Por um lado, os protozoários se beneficiam por obter abrigo e alimento dos insetos. Em contrapartida, os protozoários digerem a celulose ingerida pelos insetos, fornecendo-lhes carboidratos produzidos nessa digestão. (Fig. 10.15)

STEVE GSCHMEISSNER/SPL/FOTOARENA

Figura 10.14. Diversidade de carapaças de foraminíferos encontradas em areia de praia na Indonésia. (Microscópio óptico; aumento ≈ 18×.)



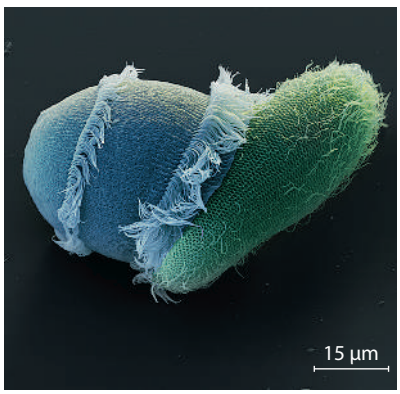
SCIENCE HISTORY IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

Figura 10.15. *Trichonympha ciliate*, flagelado que vive no intestino dos cupins, auxiliando-os na digestão da madeira. (Microscópio óptico; aumento ≈ 224×.)

Os **ciliados** (filo Ciliophora) são protozoários dotados de **cílios**, estruturas locomotoras mais curtas e mais numerosas na célula que os flagelos. Geralmente os ciliados apresentam dois núcleos celulares, um deles maior, chamado de **macronúcleo**, e outro menor, o **micronúcleo**. O macronúcleo é responsável pelo controle das atividades celulares cotidianas, enquanto o micronúcleo atua no processo de reprodução sexuada do protozoário.

A maioria dos ciliados tem vida livre. Entre as poucas espécies parasitas, destaca-se *Balantidium coli*, parasita do intestino do porco e que pode, eventualmente, provocar um tipo de infecção intestinal em seres humanos. Certos ciliados vivem, junto a bactérias e arqueas, no tubo digestivo de animais ruminantes como bois, carneiros, cabras, girafas etc., auxiliando a digestão da matéria vegetal e servindo, eles próprios, de alimento para seus hospedeiros. (Fig. 10.16)

Os **apicomplexos** (filo Apicomplexa), ou **esporozoários**, são protozoários destituídos de estruturas locomotoras e que apresentam, em algum estágio do ciclo de vida, uma estrutura celular proeminente denominada **complexo apical**, de onde vem o nome do grupo. O complexo apical é utilizado por certas espécies para perfurar células hospedeiras e invadi-las. A denominação Sporozoa, antigamente empregada para designar o filo, referia-se ao fato de muitos representantes do grupo formarem esporos em algum estágio do ciclo de vida. Diversas espécies de apicomplexos causam doenças em animais invertebrados e em animais vertebrados, incluindo a espécie humana. Por exemplo, espécies do gênero *Plasmodium* são causadoras de malária, e a espécie *Toxoplasma gondii* causa a toxoplasmose humana.



EYE OF SCIENCE/SPL/FOTOARENA

Figura 10.16. Paramécio (à direita) sendo atacado por outro ciliado. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 224×; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Integrando conhecimentos

O capítulo apresenta o fato de que muitos monumentos e obras antigas foram construídos com restos de organismos microscópicos. Pesquise na internet a relação entre o material calcário utilizado na construção das grandes pirâmides do Egito e as carapaças de foraminíferos do gênero *Nummulites*, hoje extintos. Escreva um texto curto e objetivo sobre suas descobertas.

A reprodução dos protozoários

SAÚDE ODS 3

A maioria dos protozoários de vida livre reproduz-se assexuadamente por **divisão binária**. A célula cresce até determinado tamanho e divide-se ao meio, originando dois novos indivíduos.

Alguns rizópodes e apicomplexos podem se reproduzir assexuadamente por meio de **divisão múltipla**. Nesse processo, o núcleo celular inicialmente se multiplica diversas vezes por mitose. Em seguida, a célula multinucleada resultante se fragmenta em células menores, que posteriormente crescem até o tamanho típico da espécie.

A maioria dos protozoários apresenta processos sexuais na reprodução. No tipo mais comum de reprodução sexuada, dois indivíduos de sexos diferentes se fundem e originam um zigoto. Este sofre meiose e origina indivíduos geneticamente recombinados. Nos apicomplexos, há espécies que apresentam ciclo de vida com alternância entre formas sexuadas e assexuadas de reprodução (alternância de gerações).

Doenças causadas por protozoários

Amebíase, ou disenteria amebiana

A **amebíase**, ou **disenteria amebiana**, é causada por *Entamoeba histolytica*, a entameba. Adquire-se essa parasitose pela ingestão de cistos do parasita, presentes na água ou em alimentos contaminados por fezes de pessoas infestadas pelo protozoário. O cisto ingerido é uma bolsa que contém amebas jovens e cuja parede se rompe no intestino do hospedeiro, libertando as amebas. Estas invadem os tecidos da parede intestinal e passam a se alimentar de sangue e de células do hospedeiro. Os locais invadidos podem se inflamar, liberando sangue, muco e milhares de amebas, muitas delas já na forma de cistos. Ao serem eliminados com as fezes, os cistos podem contaminar água e alimentos e ser transmitidos para outras pessoas.

Entre as formas de prevenção da amebíase, destaca-se o uso de instalações sanitárias que impedem a contaminação da água e de alimentos por fezes com cistos de ameba. Caso a água utilizada para beber e cozinhar não seja tratada, ela deve ser fervida antes de ser bebida ou utilizada para lavar alimentos que serão consumidos crus. Esses e outros cuidados básicos, associados à higiene pessoal, previnem não só a amebíase como inúmeras outras doenças infecciosas. Atualmente há medicamentos eficazes para combater a amebíase.

Leishmaniose

Leishmaniose é a denominação genérica da infecção causada por protozoários flagelados conhecidos como **leishmânias**. No Brasil, estima-se que cerca de 40 mil pessoas por ano adquiram leishmaniose. Essa parasitose é transmitida pela picada de mosquito do gênero *Lutzomyia*, conhecido popularmente como **mosquito-palha**, infestado por protozoários das espécies *Leishmania chagasi* ou *Leishmania braziliensis*.

Leishmania chagasi ataca o baço e o fígado, causando a **leishmaniose visceral** (ou calazar), cujos sintomas são febre contínua, perda de apetite, inchaço do fígado e do baço, lesões na pele e anemia. Cães também podem ser atacados por esse protozoário. *Leishmania braziliensis* causa uma doença de pele e das mucosas conhecida como **leishmaniose tegumentar** (ou **úlcera de Bauru**).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essa doença se manifesta pela formação de feridas ulcerosas com bordas elevadas e fundo granuloso. Em mucosas como a cavidade nasal, a faringe ou a laringe, a leishmaniose tegumentar destrói tecidos e, em casos graves, pode produzir lesões deformantes. (Fig. 10.17)

As principais medidas para a prevenção da leishmaniose são evitar a proliferação dos mosquitos transmissores e impedir que eles piquem as pessoas. O combate ao mosquito pode ser feito pelo aterro de lagoas e poças de água que servem de criadouro para as larvas e também pela aplicação de inseticidas sobre as áreas atingidas pela doença. Inseticidas, entretanto, também podem matar outras espécies de insetos, muitas delas de importância econômica ou ecológica. Para impedir a picada do mosquito, pode-se proteger as portas e as janelas das casas com telas e cobrir as camas com cortinados de filó, além da utilização, na pele, de substâncias repelentes.

SINCLAIR STAMMERS/SPL/FOTOARENA

Figura 10.17. Fotografia de mosquito-palha *Lutzomyia longipalpis* picando uma pessoa. Esse inseto tem menos de 2 milímetros e é o principal transmissor da leishmaniose tegumentar.

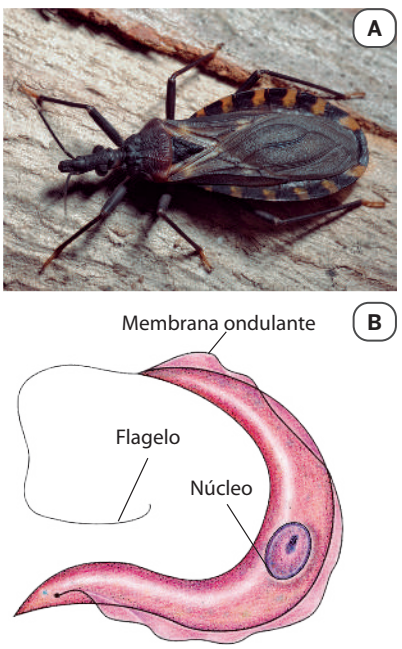
Doença de Chagas

A **doença de Chagas**, ou **tripanossomíase americana**, é causada pelo protozoário flagelado *Trypanosoma cruzi*. O descobridor e estudioso desse parasita foi o médico sanitarista brasileiro Carlos Chagas (1878-1934). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), a doença de Chagas afeta mais de 10 milhões de pessoas em todo o mundo, a maioria na América Latina. No Brasil, o controle governamental da transmissão domiciliar da doença de Chagas vem obtendo amplo sucesso, e a maioria dos estados brasileiros já pode ser declarada livre da doença. Isso foi reconhecido pela Organização Pan-Americana da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde, que concedeu ao Brasil, em 2006, a certificação internacional de interrupção da transmissão da doença.

O tripanossomo é transmitido às pessoas por certas espécies de insetos popularmente chamados de **barbeiros**, ou chupanças, sendo o *Triatoma infestans* a espécie transmissora mais comum no Brasil. O barbeiro adquire tripanossomos ao sugar sangue de pessoas com doença de Chagas ou de animais contaminados pelo parasita, como cães, gatos, roedores e diversos animais silvestres, que servem de reservatórios naturais do protozoário. (Fig. 10.18)

A principal maneira de combater a doença de Chagas é evitar a picada do barbeiro, o **agente transmissor**, ou **vetor**, da doença. Como esses insetos se escondem nas frestas das casas de barro ou de pau a pique, saindo à noite para se alimentar de sangue, a construção de casas de alvenaria ajuda a combater a doença de Chagas. Outra medida preventiva é a instalação de cortinados de filó sobre as camas e de telas de proteção em portas e janelas.

Inseto vetor e agente causador da doença de Chagas



DANIEL HEUCLIN/NATURE PL/FOTOARENA

SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GUZMÁN-MARÍN, E. *et al*. Importancia de la caracterización de cepas de *Trypanosoma cruzi*. **Rev Biomed**, México, v. 10, n. 3, p. 177-184, jul.-sep. 1999.

Figura 10.18. (A) *Triatoma infestans* (barbeiro), o inseto transmissor da doença de Chagas, mede aproximadamente 3,5 cm. (B) Desenho do protozoário *Trypanosoma cruzi*, agente causador da doença de Chagas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Malária

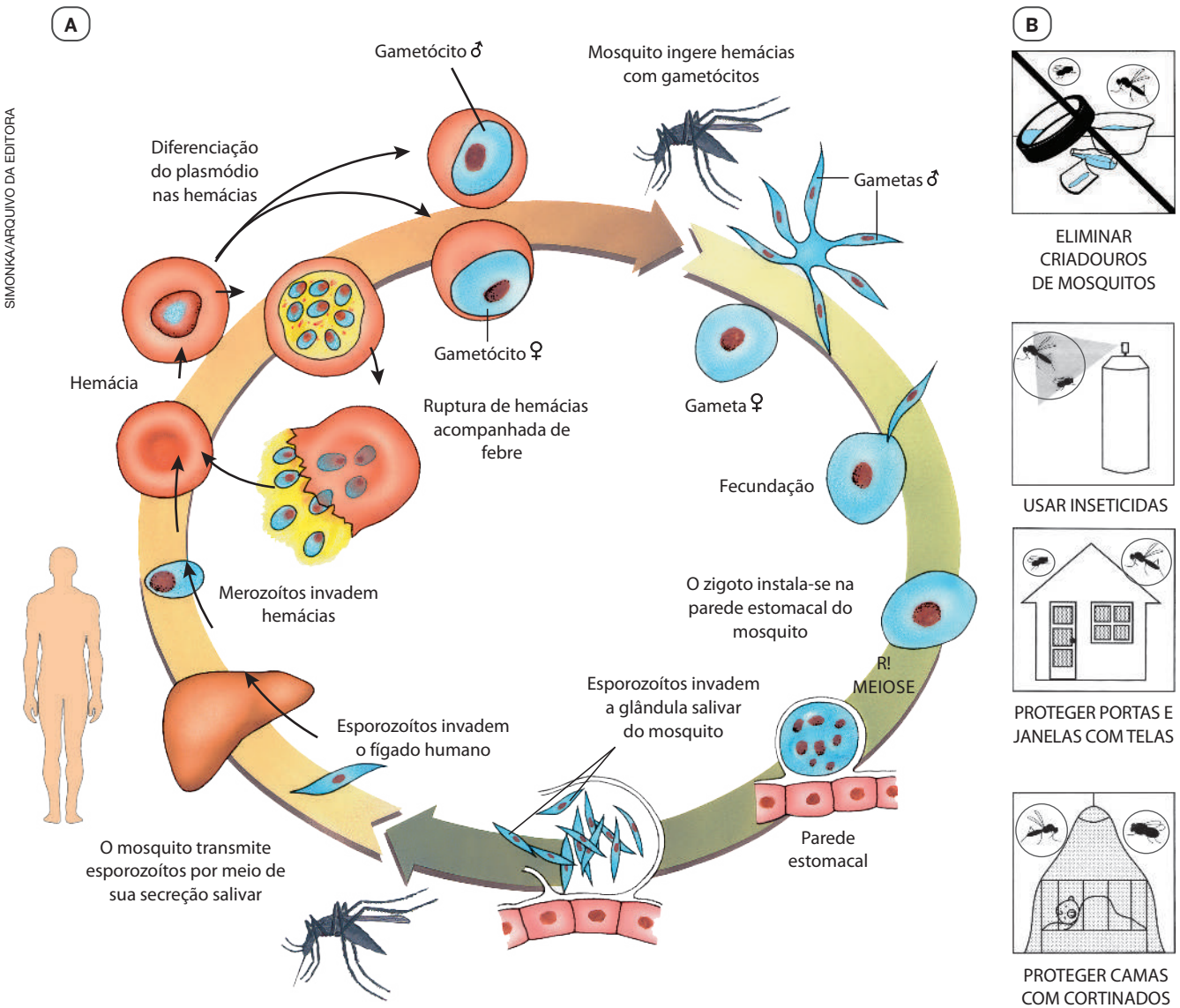
A **malária** é causada por protozoários do gênero *Plasmodium* (plasmódio). Essa parasitose já afligia os antigos egípcios há cerca de 5 mil anos. Em 2022, foram registrados no Brasil 131.224 casos de malária, 99% deles na região amazônica.

A pessoa adquire a malária ao ser picada por fêmeas do mosquito do gênero *Anopheles* infectadas pelo protozoário. Ao picar, as fêmeas de anófeles injetam na pessoa uma secreção salivar anticoagulante, que pode conter formas infestantes do plasmódio, os **esporozoítos**, que penetram em células do fígado. Cerca de 6 a 16 dias após a infecção inicial, as células hepáticas infectadas liberam no sangue novas formas larvais do parasita, os **merozoítos**, que penetram em hemácias do sangue, onde se multiplicam. Cada merozoíto pode originar assexuadamente entre 8 e 24 novos merozoítos que são liberados pela ruptura da célula sanguínea, indo infectar novas hemácias. Na malária causada por *P. falciparum*, a ruptura das hemácias ocorre aproximadamente a cada 48 horas. Os picos de febre alta, entre 39 °C e 40 °C, coincidem com a ruptura simultânea de milhares de hemácias, com liberação dos merozoítos e de substâncias tóxicas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em algumas hemácias, em vez de se reproduzir por divisão múltipla, os merozoítos crescem e se transformam em formas sexuadas masculinas ou femininas, chamadas de **gametócitos**. Ao sugar o sangue de uma pessoa doente, o mosquito pode ingerir hemácias contendo gametócitos, que amadurecem em seu estômago e originam gametas masculinos e gametas femininos. A união de dois gametas de sexo oposto origina o zigoto, que se instala na parede estomacal do inseto. Cada zigoto instalado origina milhares de novos esporozoítos, liberados nas cavidades corporais do mosquito, por onde chegam às glândulas salivares, podendo ser transmitidos a pessoas sadias durante a picada. (Fig. 10.19)

Ciclo de vida do plasmódio causador da malária



SIMONIKA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 10.19. (A) Representação esquemática do ciclo do *Plasmodium vivax*, agente causador de uma das formas de malária humana – a chamada febre terçã benigna. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas). (B) Nos quadros observam-se algumas maneiras de prevenir a malária.

A principal medida de prevenir a malária consiste em combater a proliferação do mosquito transmissor e impedir sua picada. Entre as medidas de combate ao mosquito estão o aterro de lagoas e de poças de água e a eliminação de água acumulada, que servem de criadouro para as larvas, além de aplicação de inseticidas em áreas atingidas pela doença. Telas em portas e janelas e cortinados de filó sobre as camas também constituem barreiras para a picada do mosquito.

O quinino e seus derivados vêm sendo utilizados tradicionalmente no tratamento da malária humana. Atualmente há novos medicamentos capazes de eliminar o plasmódio do sangue. Drogas antimaláricas devem ser ingeridas preventivamente, sob rigorosa orientação médica, por pessoas que visitam regiões com alta incidência da doença.

3. Fungos

Os **fungos**, atualmente classificados no reino Fungi, são organismos eucarióticos e heterotróficos que apresentam parede celular constituída por **quitina**, um polissacarídeo que apresenta nitrogênio. Fungos podem viver no solo, na água ou como parasitas de outros seres vivos. Seus principais representantes são os bolores, os cogumelos, as orelhas-de-pau e as leveduras, estas últimas também chamadas de levedos, ou fermentos. (Fig. 10.20)

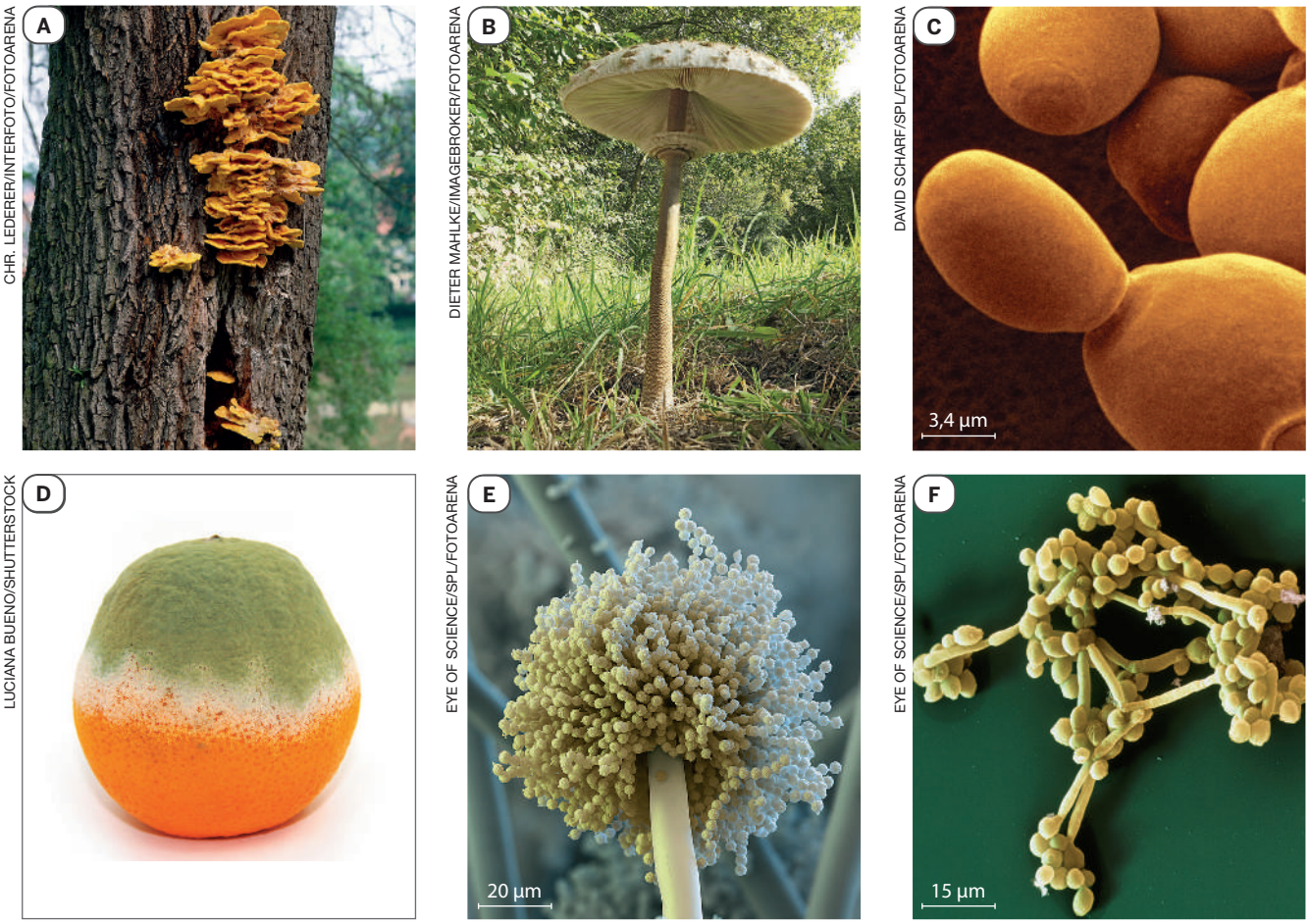


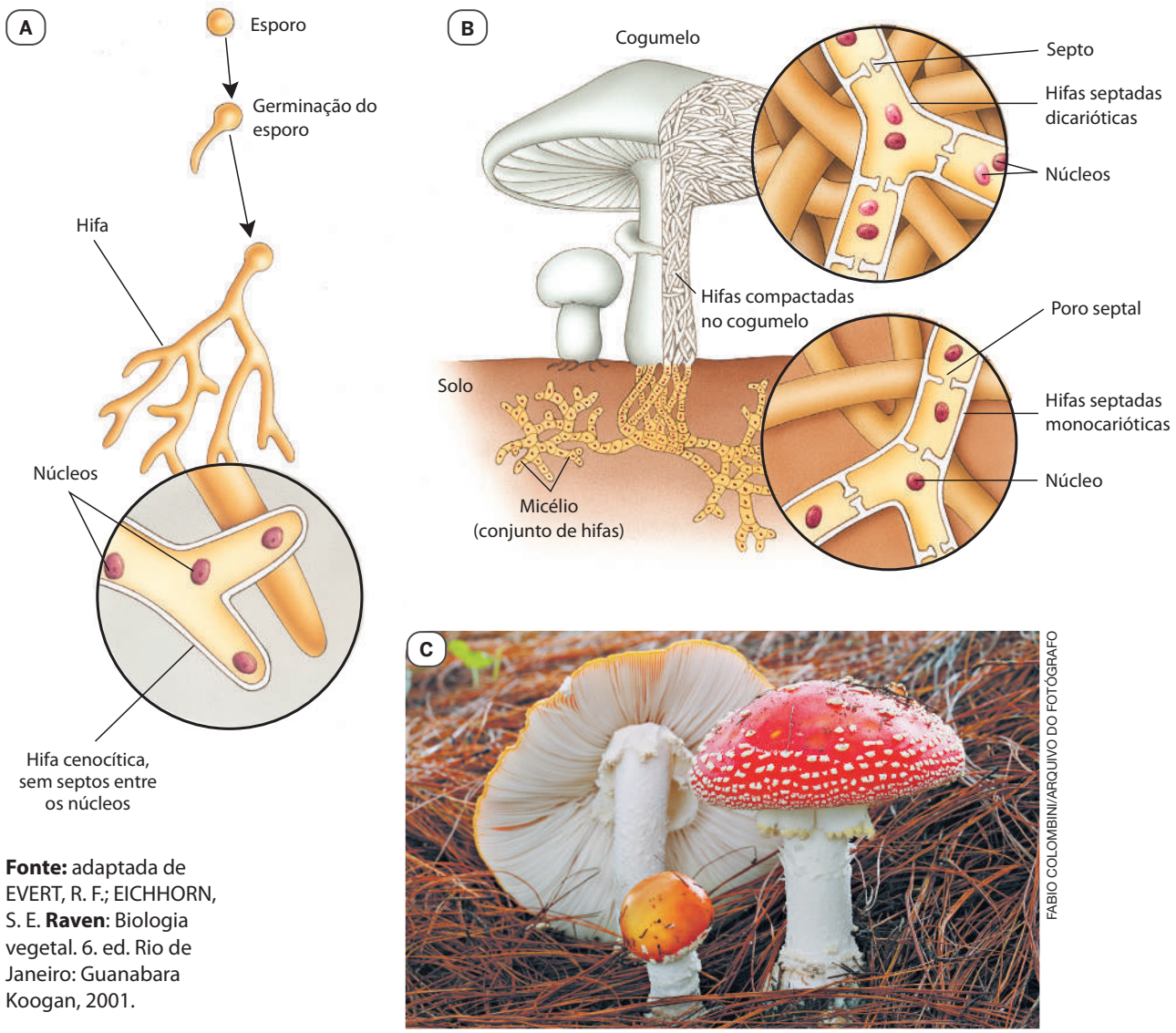
Figura 10.20. Representantes do reino Fungi. (A) Orelhas-de-pau da espécie *Polyporus sulphureus* com aproximadamente 20 cm de diâmetro. (B) Cogumelos da espécie *Lepiota procera*, que podem chegar a 40 cm de altura. (C) Eletromicrografia de células do levedo *Saccharomyces cerevisiae*. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 3.000×; cores meramente ilustrativas). (D) O bolor verde é causado por um fungo filamentoso que ataca diversos tipos de alimentos (na foto, uma laranja). (E) Eletromicrografia de *Aspergillus niger*, que produz substâncias antibacterianas (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 490×; cores meramente ilustrativas). (F) Eletromicrografia do fungo *Candida albicans*, que causa infecções de mucosa em seres humanos. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 640×; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os fungos multicelulares são formados por filamentos longos e ramificados, de parede quitinosa, denominados **hifas**. Nestas se localiza o conteúdo celular. Um conjunto de hifas emaranhadas constitui o **micélio**, o corpo do fungo. O micélio pode crescer indefinidamente enquanto houver alimento disponível e condições favoráveis.

A reprodução dos fungos ocorre pela formação de **esporos**, que podem ser produzidos de modo assexuado ou após uma fusão sexual com formação de um zigoto. Ao encontrar condições apropriadas, o esporo germina e origina uma hifa, que cresce e se ramifica, originando um novo micélio. (Fig. 10.21)

Constituição microscópica de um fungo basidiomiceto



Fonte: adaptada de EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven**: Biologia vegetal. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 10.21. (A) Representação esquemática do desenvolvimento de hifas a partir de um esporo. (B) Representação esquemática de um cogumelo mostrando as hifas. (Em A e B, representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas). (C) Os cogumelos da espécie *Amanita muscaria* são tóxicos e podem medir entre 10 e 15 cm de altura.

As hifas dos fungos liberam enzimas digestivas que atuam extracelularmente, degradando substâncias orgânicas presentes no meio. Os produtos da digestão são absorvidos pelo fungo e utilizados como fonte de energia e de matéria-prima para a sobrevivência e o crescimento. Esse modo de vida dos fungos é responsável pelo apodrecimento de diversos materiais, como frutas, verduras, grãos e outros substratos orgânicos, a exemplo da madeira e do couro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A diversidade dos fungos

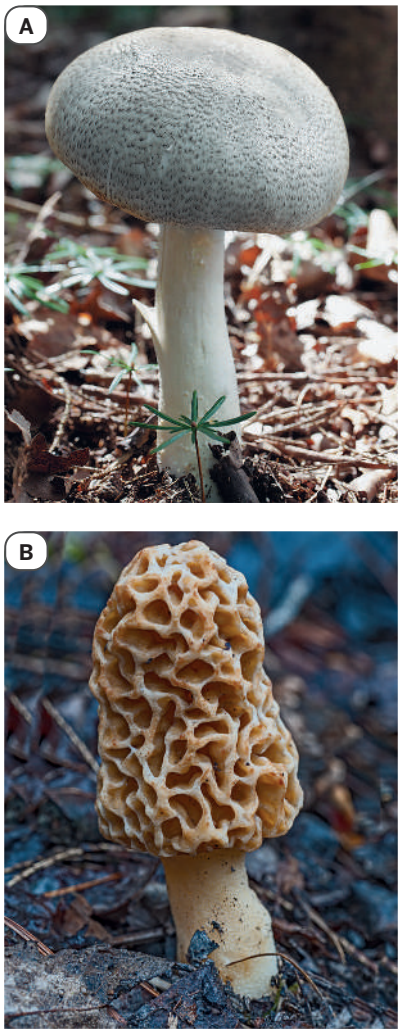
Há cerca de 60 mil espécies de fungo descritas pelos especialistas. Uma classificação moderna agrupa os fungos em quatro filos: Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota e Basidiomycota. Nos dois últimos filos, há espécies que formam estruturas reprodutivas denominadas **corpos de frutificação**, constituídos por hifas especiais densamente compactadas, nos quais ocorre meiose e formação de esporos sexuados.

Os **quitridiomicetos** (filo Chytridiomycota), ou **quitrídios**, vivem em ambientes terrestres ou de água doce, havendo poucas espécies marinhas. Quitrídios podem ser unicelulares ou multicelulares, e sua principal substância de reserva, como ocorre nos demais fungos e nos animais, é o polissacarídio **glicogênio**. A maioria dos quitrídios é saprofágica, mas há espécies parasitas de plantas, de algas, de protozoários e de animais.

Os **zigomicetos** (filo Zygomycota) são fungos dotados de hifas **multinucleadas**, ou **cenocíticas**, que não formam corpo de frutificação. Um representante desse grupo é *Rhizopus stolonifer*, bolor que cresce sobre superfícies de alimentos ricos em carboidratos, como pão, frutas e verduras. Certos zigomicetos parasitam plantas, protozoários, vermes e insetos. Algumas espécies de zigomicetos podem causar infecções em seres humanos.

Os **ascomicetos** (filo Ascomycota) caracterizam-se pela presença de estruturas reprodutivas especializadas denominadas **ascos** (do grego *askos*, bolsa, odre), onde se formam esporos sexuados chamados de **ascósporos**. Um ascomiceto conhecido, embora não seja o mais típico do grupo, é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, o popular fermento de padaria. Em muitas espécies de ascomicetos, os ascos localizam-se em corpos de frutificação compactos denominados **ascocarpos**. Em algumas espécies, o ascocarpo é comestível e utilizado em culinária. Certos ascomicetos vivem em associações mutualísticas com algas ou cianobactérias, formando liquens (comentados mais adiante).

Os **basidiomicetos** (filo Basidiomycota) são fungos que apresentam estruturas reprodutivas denominadas **basídios**, onde se formam esporos sexuados chamados de **basidiósporos**. A maioria dos basidiomicetos forma corpos de frutificação denominados **basidiocarpos**, conhecidos popularmente como **cogumelos**. Há diversas espécies de basidiomicetos que formam basidiocarpos comestíveis, alguns amplamente empregados em culinária. Entre eles destacam-se os cogumelos do gênero *Agaricus*, popularmente chamados de *champignons*. (Fig. 10.22)



NIELSDK/IMAGEBROKER/FOTOARENA

GERALD CORSI/GETTY IMAGES

Figura 10.22. (A) Corpo de frutificação do basidiomiceto *Agaricus campestris* (filo Basidiomycota), conhecido popularmente como *champignon* e muito utilizado em culinária (pode atingir 15 cm de diâmetro). (B) Corpo de frutificação do ascomiceto *Morchella esculenta* (filo Ascomycota), um fungo comestível apreciado na alta gastronomia e que pode atingir 15 cm de altura.

A reprodução e os ciclos de vida dos fungos

Muitos fungos reproduzem-se assexuadamente por simples **fragmentação** do micélio. Os fragmentos crescem e originam novos micélios. Zigomicetos formam hifas especiais onde se formam **esporos** assexuados haploides. Ao cair em local com condições adequadas, o esporo germina e origina um novo micélio. Ascomicetos apresentam hifas especializadas onde se formam esporos assexuados denominadas **conídios**. Um conídio pode permanecer em estado de dormência por longo tempo, até encontrar um ambiente favorável para germinar.

A reprodução sexuada dos fungos tem início com a aproximação e a fusão de duas hifas compatíveis e sexualmente maduras. O resultado dessa fusão é uma hifa **dicariótica**, ou seja, com dois núcleos por célula, cada um proveniente de uma hifa parental. Durante o crescimento e a ramificação da hifa dicariótica, os núcleos de cada célula continuam lado a lado, sem se fundir. Essas hifas geram um micélio dicariótico, que pode formar corpos de frutificação.

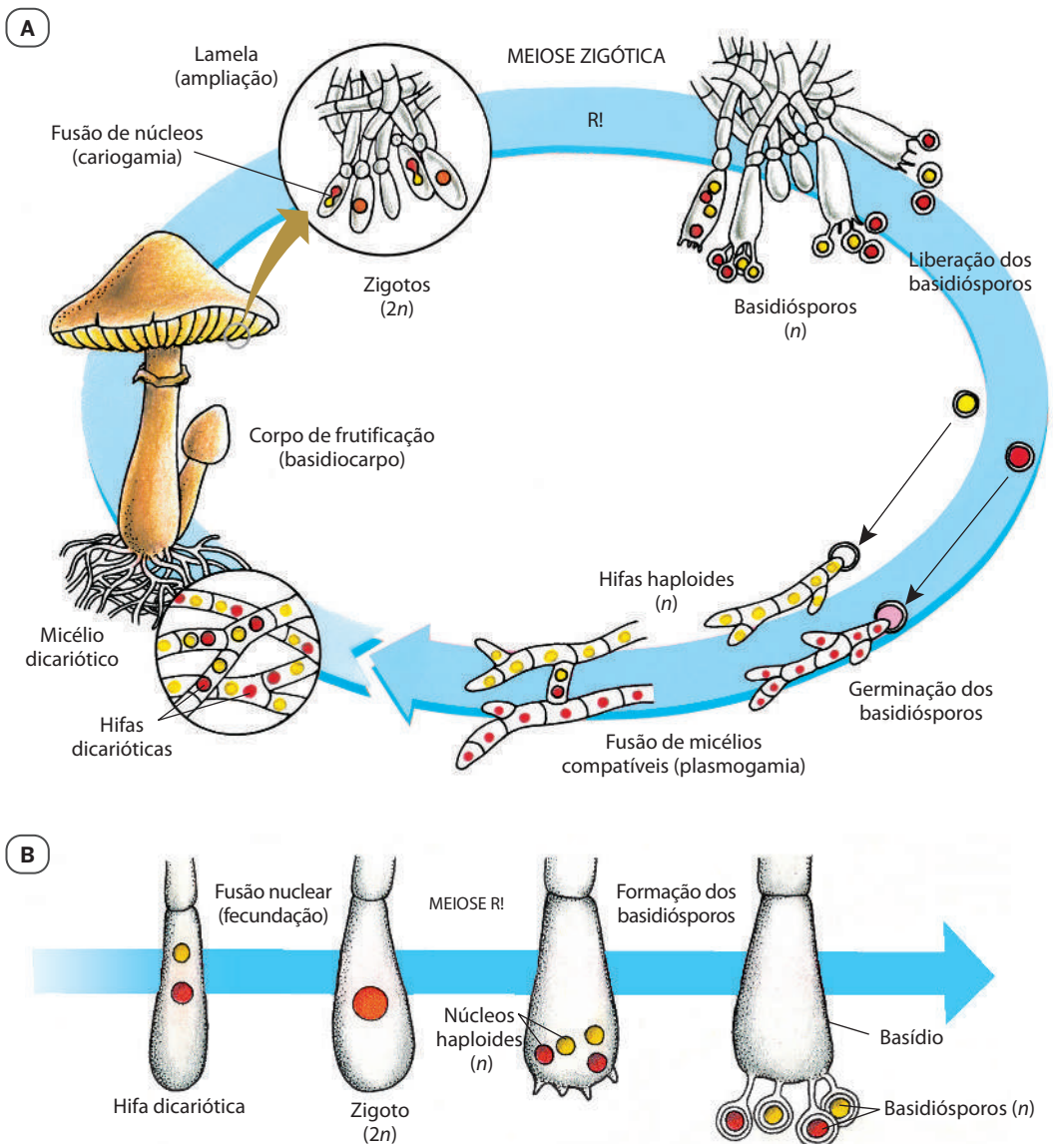
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os ascomicetos apresentam hifas férteis denominadas **ascos**, presentes no corpo de frutificação, denominado **ascocarpo**. O asco é uma hifa especializada, na qual o par de núcleos haploides, originalmente procedentes das duas hifas que conjugaram, finalmente se fundem, originando um núcleo zigótico diploide. Este sofre meiose e origina quatro esporos sexuados denominados **ascósporos**.

Os basidiomicetos apresentam, nos corpos de frutificação denominados cogumelos, hifas férteis denominadas **basídios**. O basídio é uma hifa especializada, na qual o par de núcleos haploides originalmente procedentes das duas hifas que conjugaram se fundem, originando um núcleo zigótico diploide, que se divide por meiose e origina esporos haploides sexuados denominados **basidiósporos**. Em muitos cogumelos, os basídios localizam-se nas finas lamelas existentes na face inferior do basidiocarpo.

Os esporos haploides maduros são liberados do corpo de frutificação e levados pelo vento. Ao atingirem locais com condições adequadas, os esporos germinam e originam novos micélios haploides. Acompanhe, na figura a seguir, os ciclos de vida de um ascomiceto e de um basidiomiceto. (Fig. 10.23)

Ciclo de vida de um fungo basidiomiceto



Fonte: adaptada de EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven**: Biologia vegetal. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

Figura 10.23. (A) Representação esquemática do ciclo sexual de um fungo basidiomiceto. (B) Representação esquemática da formação do basídio, a hifa especializada em que ocorre a meiose para formação dos basidiósporos. Analise os esquemas acompanhando as explicações no texto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

A importância ecológica e econômica dos fungos

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Fungos e certas bactérias desempenham o papel de **agentes decompositores** nas comunidades biológicas, permitindo que os elementos químicos constituintes da matéria orgânica de cadáveres e de restos orgânicos diversos (urina, fezes etc.) sejam reaproveitados por outros seres vivos.

Muitos fungos produzem substâncias úteis à indústria. O álcool etílico (etanol) utilizado como combustível, por exemplo, é produzido a partir da fermentação da cana e de outros substratos ricos em carboidratos por *Saccharomyces cerevisiae*, uma levedura. Fungos das espécies *Rhizopus nigricans* e *Curvularia lunara* são fontes de substâncias anti-inflamatórias hormonais, como cortisona, hidrocortisona e prednisona. Há espécies de fungo utilizadas pela indústria farmacêutica na produção de vitaminas, de hormônios esteroides e de antibióticos como a penicilina. Leveduras e outros fungos são amplamente empregados pela indústria alimentícia na produção de pães, vinhos, cervejas e queijos.

Liquens e micorrizas

Certas espécies de fungo vivem em associações harmoniosas com outros organismos, trocando benefícios. Duas associações desse tipo são os liquens e as micorrizas.

Liquens são formados pela associação cooperativa de ascomicetos com algas ou com cianobactérias. As hifas associam-se intimamente às células das algas, das quais extraem substâncias nutritivas. Por sua vez, graças à associação com o fungo, as algas podem viver em ambientes como rochas nuas e troncos de árvores ressecados, em um tipo de relação ecológica denominado **mutualismo**. Liquens reproduzem-se assexuadamente por meio de **sorédios**, partes especializadas do líquen que se destacam e originam novos indivíduos. (Fig. 10.24)

PIEMAGS/NATURE/ALAMY/FOTOARENA

Figura 10.24. O líquen *Cladonia carneola* mede cerca de 3 mm de altura.

Micorrizas (do grego *myketos*, fungo, e *rhiza*, raiz) são associações entre hifas de certos fungos e raízes de plantas. O fungo possibilita que a planta absorva com mais eficiência minerais escassos no solo. Por sua vez, na associação o fungo obtém açúcares, aminoácidos e outras substâncias orgânicas das raízes. Micorrizas são importantes para plantas que vivem em solos pobres em nutrientes, pois os fungos associados às raízes aumentam amplamente sua capacidade de absorção de nutrientes como fosfatos, nitratos, cobre, zinco e magnésio, entre outros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Importância dos fungos para o ambiente

Imagine que você é o redator de uma revista de divulgação científica e tenha recebido duas incumbências:

1. Pesquisar em que consiste a tecnologia denominada biorremediação, utilizada no tratamento de efluentes industriais;
2. Descobrir como microrganismos podem ser utilizados no tratamento de esgotos, comparando o tratamento biológico com tratamentos físicos e químicos.

Utilize o resultado de suas pesquisas para redigir um artigo de aproximadamente uma página com um título que exprima um objetivo, como o seguinte: Microrganismos podem "curar" ambientes poluídos. Use a imaginação e elabore uma manchete e um texto. Em seguida, troque seu trabalho com os colegas de classe, que vão atuar como editores, apontando pontos positivos ou negativos em seu texto e, eventualmente, sugerindo modificações. Faça o mesmo com os textos recebidos dos colegas e utilize as críticas para melhorar a qualidade de seu trabalho.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Observando e documentando algas e fungos macroscópicos

O objetivo desta atividade é realizar uma observação dirigida e sistemática sobre algas e fungos visíveis a olho nu. É importante documentar as observações com fotos, esquemas e ilustrações. Sugerimos que o produto de seu trabalho seja um relatório conciso e ilustrado.

Algas macroscópicas podem ser encontradas facilmente nos litorais. Junto aos costões de pedras, particularmente, podem ser observadas espécies de algas de várias cores, formas e tamanhos. Algas macroscópicas também podem ser achadas em lojas de artigos culinários orientais. Pesquise por *kombu*, *wakame*, *nori*, entre outras. É possível obter informações interessantes sobre as algas com os comerciantes que vendem o produto. Depois de hidratadas, essas algas podem ser observadas ao microscópio.

É fácil obter fungos para observação macroscópica. Basta deixar um pedaço de pão descoberto em um lugar úmido durante alguns dias. É provável que surja uma variada coleção de bolores de diversas cores sobre o pão. Com cuidado para não tocar no bolor, observe os fungos com uma lupa e identifique as hifas.

Matas sombreadas e úmidas são ambientes onde vivem cogumelos e orelhas-de-pau, além de liquens. Se possível, colete alguns exemplares desses organismos em diferentes estágios de maturação. Note as lamelas sob o chapéu dos cogumelos, nas quais são produzidos os esporos. Muitos fungos são venenosos, portanto não coma cogumelos coletados nas matas. Cogumelos frescos comestíveis, como *champignon*, *shiitake* e *shimeji*, podem ser adquiridos em feiras e mercados.

Após as observações e as documentações, elabore um relatório com fotos, esquemas e ilustrações. Nesse relatório devem constar informações relevantes sobre as espécies estudadas, entre elas o nome científico, o nome popular, o hábitat e importância econômica, entre outras.

Não coloque as mãos em bolores e outros fungos. Se for coletá-los em ambientes naturais, use luvas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva em seu caderno o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 5.

a. alternância de gerações
b. divisão binária
c. esporófito
d. fitoplâncton
e. gametófito

1. O(A) (■) é uma forma de reprodução assexuada em que um organismo unicelular se transforma em dois novos indivíduos. 1.b

2. Um organismo diploide originado pela fusão de gametas e que produz esporos é chamado de (■). 2.c

3. O(A) (■) é o ciclo de vida no qual se intercalam gerações haploide e diploide. 3.a

4. Um organismo haploide originado de um esporo e que produz gametas é chamado de (■). 4.e

5. O(A) (■) é a comunidade de seres aquáticos fotossintetizantes que flutua junto à superfície. 5.d

6. Qual é a característica comum a todos os protozoários? 6.d

a. Todos têm vida livre.
b. Todos são aquáticos.
c. Todos têm parede celular.
d. Todos são unicelulares.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 7 a 12.

a. doença de Chagas

b. disenteria amebiana

c. malária

7. O agente causador da (■) é o protozoário flagelado *Trypanosoma cruzi*.
7.a

8. Os sintomas da (■) são calafrios seguidos de picos de febre alta e mal-estar que ocorrem, em geral, em intervalos regulares de 48 ou 72 horas.
8.c

9. A (■) é causada por protozoários do gênero *Plasmodium*.
9.c

10. O "barbeiro" é o inseto transmissor da (■).
10.a

11. O agente transmissor da (■) é um mosquito do gênero *Anopheles*.
11.c

12. A construção de instalações sanitárias adequadas é uma das principais providências para prevenir a (■).
12.b

Reescreva, em seu caderno, as frases 13 e 14, completando os parênteses com um dos termos a seguir.

a. ascomicetos

b. basidiomicetos

c. quitrídios

d. zigomicetos

13. Cogumelos e orelhas-de-pau são corpos de frutificação de (■).
13.b

14. As leveduras pertencem ao grupo dos (■).
14.a

Questões de vestibulares e do Enem

15. (PUC-RJ) Considere as seguintes afirmações referentes aos protozoários.
15.b

I. Considerando-se o nível de organização dos protozoários, pode-se afirmar corretamente que são seres acelulares como os vírus.

II. Pode-se afirmar corretamente que os protozoários só se reproduzem assexuadamente.

III. O protozoário causador da malária no homem é o parasita plasmódio.

a. Apenas II está correta.

b. Apenas III está correta.

c. Apenas I e II estão corretas.

d. Apenas II e III estão corretas.

e. Todas estão corretas.

16. (Unigranrio-RJ) Trata-se do agente causador da doença de Chagas:
16.a

a. *Trypanosoma cruzi*, um protozoário portador de flagelos que servem à sua locomoção e que tem como um dos vetores o inseto conhecido popularmente como "barbeiro".

b. *Plasmodium falciparum*, um protozoário parasita desprovido de organelas de locomoção.

c. *Euglena viridis*, uma alga protista.

d. *Giardia lamblia*, um protozoário encontrado em apenas algumas regiões do Brasil e que se reproduz de forma assexuada.

17. (UFMG) Casacos de lã, sapatos de couro e cintos de algodão guardados por algum tempo em armários podem ficar mofados, pois os fungos necessitam de
17.d

a. algas simbióticas para digerir o couro, a lã e o algodão.

b. baixa luminosidade para realizar fotossíntese.

c. baixa umidade para se reproduzirem.

d. substrato orgânico para o desenvolvimento adequado.

18. (USJ-SC) Os fungos nutrem-se por
18.d

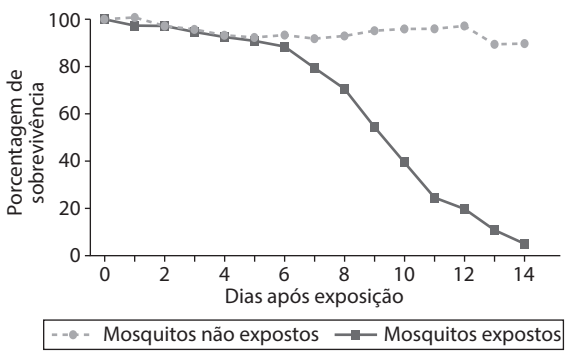
a. digestão intracorporal e extracelular em órgãos digestivos.

b. fotossíntese.

c. liberação de matéria orgânica presente em suas hifas.

d. digestão extracorporal e absorção da matéria orgânica digerida do meio.

19. (Enem-MEC) Foram publicados recentemente trabalhos relatando o uso de fungos como controle biológico de mosquitos transmissores da malária. Observou-se o percentual de sobrevivência dos mosquitos *Anopheles* sp. após exposição ou não a superfícies cobertas com fungos sabidamente pesticidas, ao longo de duas semanas. Os dados obtidos estão presentes no gráfico abaixo.
19.d



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

No grupo exposto aos fungos, o período em que houve 50% de sobrevivência ocorreu entre os dias

a. 2 e 4.

b. 4 e 6.

c. 6 e 8.

d. 8 e 10.

e. 10 e 12.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 11

A diversidade das plantas

DR MORLEY READ/SPL/FOTOARENA

Ao longo da ocupação do ambiente terrestre, algumas plantas adaptaram-se bem à pouca umidade, a ponto de viver em desertos; outras, porém, ainda dependem de ambientes de alta umidade, como é o caso da planta briófita mostrada na fotografia (*Marchantia polymorpha*, que mede cerca de 10 cm de comprimento).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Neste capítulo, iniciamos os estudos de Botânica, ramo da Biologia dedicado às plantas. Esses organismos estão tão intimamente relacionados à nossa civilização que nem sempre nos damos conta de sua presença em nosso dia a dia.

O que caracteriza uma planta? Quantos grupos de plantas existem? Como esses organismos surgiram e evoluíram no planeta Terra? Neste capítulo, abordaremos esses assuntos, bem como o estudo comparado da reprodução em diferentes grupos de plantas, que mostra como elas se tornaram cada vez mais adaptadas aos ambientes de terra firme.

Conhecer melhor as plantas, grandes provedoras da vida animal, é um exercício de cidadania, haja vista sua importância na nossa vida. Hoje, a Botânica e outras áreas da Biologia procuram aprofundar os conhecimentos sobre as plantas domésticas, tornando-as mais produtivas. Outro desafio é conhecer e compreender como vivem as espécies vegetais nativas, cuja preservação é fundamental para a conservação da biodiversidade dos ecossistemas da Terra.

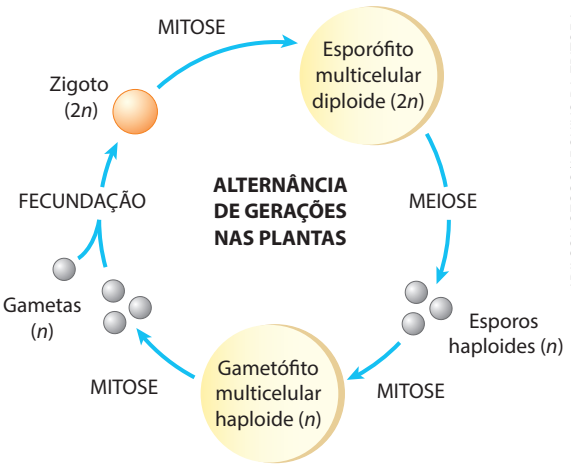
Há 500 milhões de anos, apesar de já haver grande variedade de seres vivos nos mares, nas terras emersas a vida ainda não havia se instalado. Os primeiros seres a conquistar o ambiente de terra firme foram as plantas. Sua expansão no ambiente seco criou condições para a ocupação dos animais. Até hoje, a quase totalidade dos seres vivos de terra firme depende direta ou indiretamente das plantas, que ocupam os mais diversos hábitats e são essenciais para a vida no planeta Terra.

1. Características das plantas

A característica exclusiva das plantas, ausente em outros grupos de organismos, é apresentar embriões sem cavidades internas, que se nutrem de reservas obtidas do organismo materno. Outra característica das plantas é apresentar ciclo de vida com **alternância de gerações**, como ocorre em certas algas. No ciclo de vida das plantas se alternam gerações de indivíduos haploides (*n*), chamados de **gametófitos**, e de indivíduos diploides (2*n*), denominados **esporófitos**. (Fig. 11.1)

As evidências sugerem que as primeiras plantas a conquistar a terra firme evoluíram a partir de algas verdes ancestrais. Essas plantas pioneiras provavelmente eram semelhantes aos musgos e às hepáticas atuais e não apresentavam vasos condutores de seiva, sendo por isso chamadas de plantas **avasculares** (do grego *a*, prefixo de negação, e do latim *vasculum*, pequeno vaso, túbulo). Ao longo de sua evolução, as plantas desenvolveram **raízes**, estruturas especializadas na absorção de água e sais minerais do solo, e **vasos condutores**, finos condutos que transportam soluções nutritivas entre as diferentes partes do organismo. Plantas dotadas de vasos condutores são denominadas **traqueófitas**, ou **plantas vasculares**. Com exceção das briófitas atuais (musgos, hepáticas e antóceros), todas as plantas são traqueófitas. (Fig. 11.2)

O ciclo de vida alternante das plantas



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.1. No ciclo de vida alternante das plantas há alternância entre gerações de indivíduos haploides, produtores de gametas (gametófitos) e gerações de indivíduos diploides, produtores de esporos (esporófitos). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

THE NATURAL HISTORY MUSEUM/ALAMY/FOTOARENA

DEAGOSTINI/GETTY IMAGES

Figura 11.2. (A) Rocha contendo um fóssil da planta *Cooksonia pertoni*. A agulha de costura na foto serve como referência de tamanho. (B) Representação artística de plantas do gênero *Cooksonia*, o mais antigo vegetal conhecido a apresentar vasos condutores de seiva. Essa planta é considerada uma forma de transição entre as plantas avasculares e as vasculares.

Uma novidade importante ocorrida na evolução das plantas foi o desenvolvimento da **semente**. Plantas com sementes são denominadas **espermatófitas** (do grego *sperma*, semente, e *fitos*, planta). A semente é uma estrutura resistente, que abriga o embrião e tecidos nutritivos para seu desenvolvimento. O surgimento da semente possibilitou às plantas espermatófitas dispersarem-se pelos mais diversos ambientes da Terra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

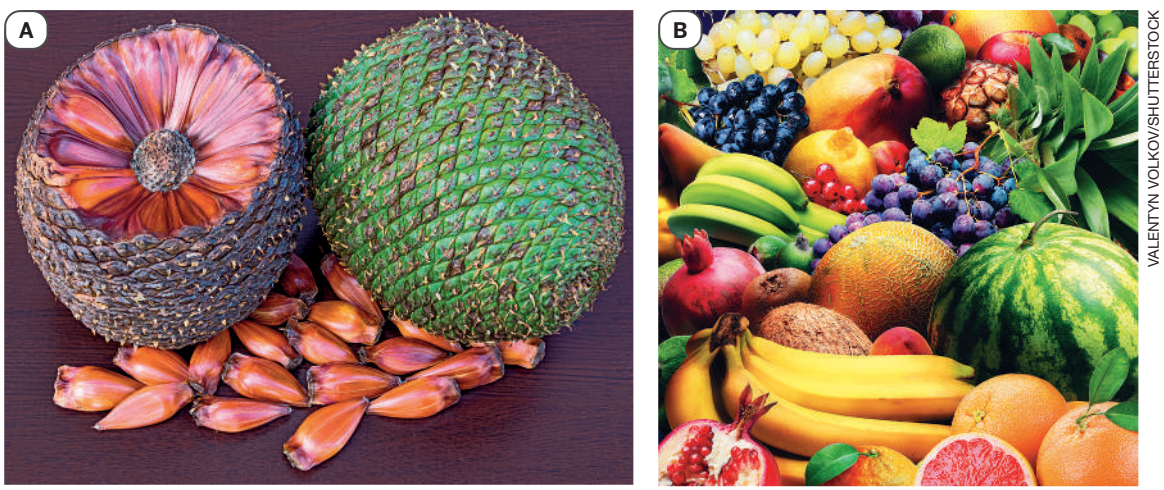
2. Os grandes grupos de plantas atuais

No sistema de classificação adotado neste livro, as plantas são distribuídas em 10 filos, três deles compostos de plantas avasculares (sem vasos condutores), e sete, por plantas vasculares (dotadas de vasos condutores). As plantas vasculares são classificadas em dois grandes grupos com base na presença ou na ausência de semente. Plantas vasculares sem sementes formam o grupo das **pteridófitas**, das quais as representantes mais conhecidas são as samambaias e as avencas, do filo Pteridophyta. Plantas vasculares com sementes são divididas em **gimnospermas**, classificadas em quatro filos, e **angiospermas**, classificadas em um único filo. (Quadro 11.1)

Quadro 11.1 Características e classificação dos componentes atuais do reino Plantae

Características			Filos
Vasos condutores	**Semente**	**Fruto**	
Ausentes	Ausente	Ausente	**Bryophyta** (musgos) **Hepatophyta** (hepáticas) **Anthocerophyta** (antóceros)
Presentes	Ausente	Ausente	**Pteridophyta** (samambaias, avencas, cavalinhas e psilotos) **Lycopodiophyta** (licopódios e selaginelas)
	Presente	Ausente	**Coniferophyta** (coníferas) **Cycadophyta** (cicadófitas) **Gnetophyta** (gnetófitas) **Ginkgophyta** (gincófitas)
		Presente	**Anthophyta** (angiospermas)

As **gimnospermas** (do grego *gymnos*, nu, e *sperma*, semente) apresentam sementes localizadas externamente no órgão reprodutivo feminino (sementes nuas). As gimnospermas mais conhecidas são os pinheiros e os ciprestes, pertencentes ao filo Coniferophyta. As **angiospermas** (do grego *angion*, vaso, e *sperma*, semente) apresentam sementes localizadas no interior dos frutos. A maioria das plantas atuais pertence ao grupo das angiospermas, do filo Anthophyta. (Fig. 11.3)



JCLOBO/SHUTTERSTOCK

VALENTYN VOLKOV/SHUTTERSTOCK

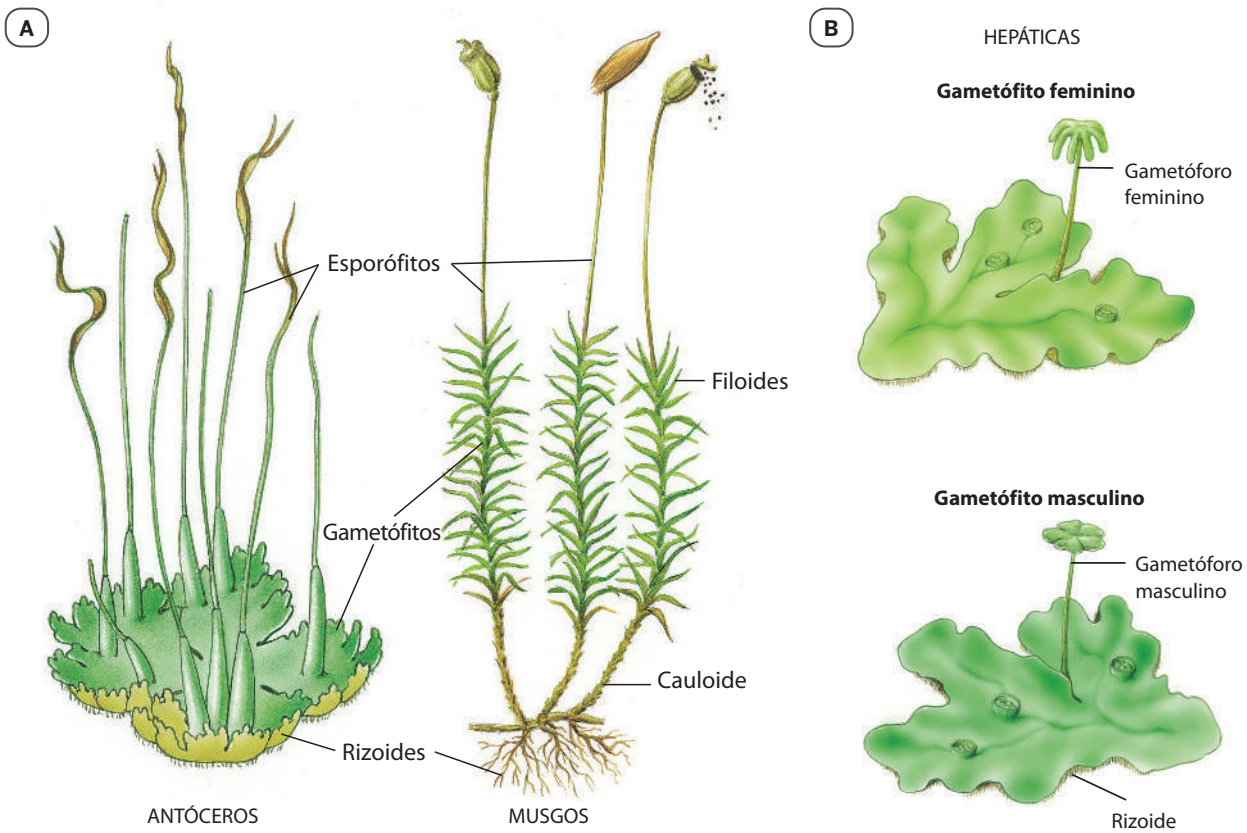
Figura 11.3. (A) Pinhas da araucária, o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), que medem cerca de 20 cm de diâmetro. A pinha resulta do desenvolvimento de um estróbilo feminino, após a fecundação dos óvulos, ligados ao eixo central do estróbilo. Os óvulos fecundados originam os pinhões, com aproximadamente 7 cm de comprimento. (B) Frutos de angiospermas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Plantas avasculares: briófitas

As plantas avasculares, conhecidas informalmente como briófitas vivem, geralmente, em ambientes úmidos e sombreados e estão distribuídas em três filos: Bryophyta (musgos), Hepatophyta (hepáticas) e Anthocerophyta (antóceros). Os musgos são as plantas avasculares mais conhecidas, vivendo sobre pedras, troncos de árvores e barrancos. (Fig. 11.4)

Plantas avasculares



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.4. (A) Representação esquemática de antóceros, à esquerda, e de musgos, à direita. Os filoides presentes nos musgos são estruturas laminares fotossintetizantes que lembram folhas e se dispõem ao redor do cauloide. (B) Gametófitos de hepáticas, com destaque para os gametóforos, hastes que contêm estruturas produtoras de gametas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução e ciclo de vida das briófitas

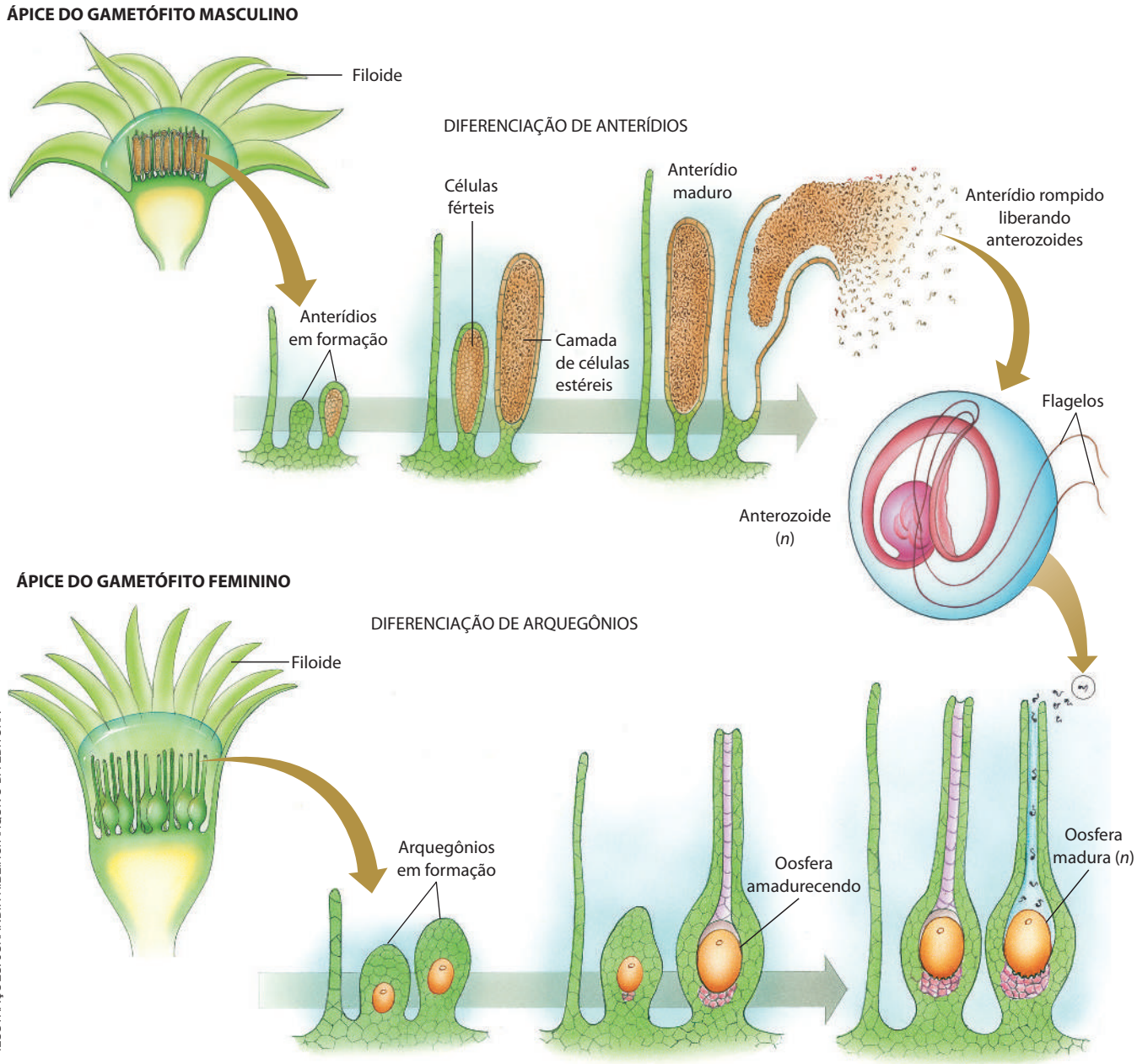
Algumas plantas avasculares apresentam **reprodução assexuada** por **fragmentação**, processo em que pedaços que se separam de uma planta originam novos indivíduos.

A maioria das briófitas com **reprodução sexuada** é dioica, com plantas masculinas e plantas femininas. Algumas briófitas são monoicas, com estruturas reprodutivas masculinas e femininas na mesma planta. A fase predominante do ciclo de vida das briófitas é o **gametófito haploide** (*n*), que forma gametas. Estes se unem dois a dois originando o **zigoto diploide** (2*n*). O desenvolvimento do zigoto leva à formação do **espermatófito diploide** (2*n*), que cresce sobre o gametófito e depende dele para se alimentar e sobreviver.

As estruturas reprodutivas masculinas das briófitas são os **anterídios** e as femininas são os **arquegônios**. Cada anterídio forma centenas ou milhares de gametas masculinos haploides dotados de flagelos, chamados de **anterozoides**, enquanto cada arquegônio origina geralmente um único gameta feminino haploide, denominado **oosfera**. Nos musgos, os anterídios e os arquegônios localizam-se na extremidade dos gametófitos, dentro de estruturas em forma de cálice que acumulam água. Os anterozoides liberados pelos anterídios nadam em direção aos arquegônios, onde penetram, fecundando a oosfera.

Nas espécies dioicas, os anterozoides produzidos nas plantas masculinas são levados às plantas femininas por respingos de chuva ou de garoa. (Fig. 11.5)

Estruturas reprodutivas de briófitas



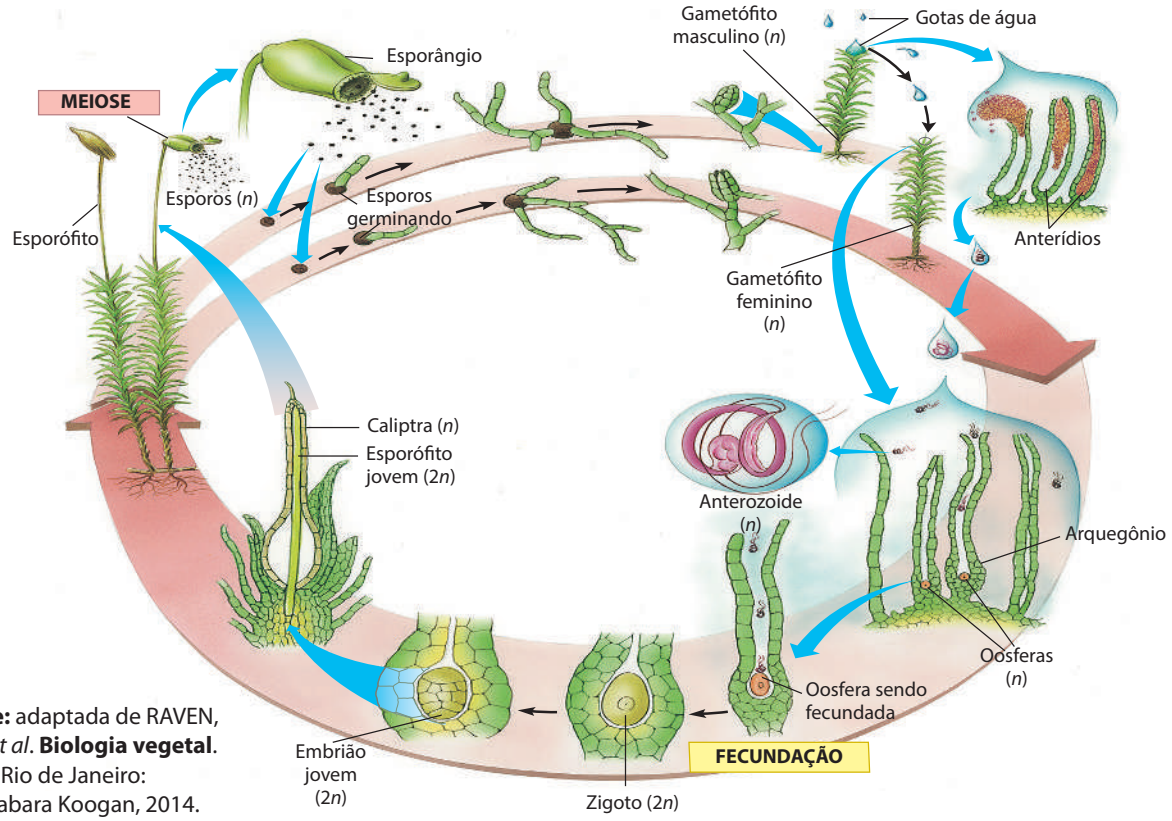
Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.5. Representações esquemáticas de cortes de extremidades de plantas de musgos, mostrando anterídios e arquegônios. Estes se formam no ápice das plantas, em estruturas em forma de cálice constituídas por filoides. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A fecundação da oosfera origina um zigoto diploide (2*n*), que se divide por mitoses sucessivas formando o **esporófito**, cuja base está inserida no gametófito materno, do qual depende para se nutrir. Na extremidade livre do esporófito, surge uma dilatação chamada de **esporângio**, em cujo interior células diploides dividem-se por meiose e originam **esporos** haploides. Os esporos se libertam dos esporângios e se espalham com o vento. Se atingir locais com umidade, temperatura e luminosidade favoráveis, o esporo divide-se por sucessivas mitoses, originando um novo gametófito. Este, na maturidade, poderá repetir o ciclo. (Fig. 11.6)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Ciclo de vida de um musgo



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.6. Representação esquemática do ciclo de vida de uma espécie de musgo do gênero *Polytrichum*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Plantas vasculares sem sementes: pteridófitas

As plantas chamadas informalmente de **pteridófitas** não formam sementes. No sistema de classificação adotado neste livro, essas plantas são distribuídas em dois filos: Pteridophyta (samambaias, avencas e cavalinhas) e Lycopodiophyta (licopódios e selaginelas). (Fig. 11.7)

GUENTERMANAUS/SHUTTERSTOCK

NANCY AYUMI KUNIHIRO/SHUTTERSTOCK

ZIG KOCH/PULSAR IMAGENS

MARTIN SHIELDS/ALAMY/FOTOARENA

GEOFF KIDD/SPL/FOTOARENA

Figura 11.7. (A) *Athyrium filix*, samambaia cujas folhas medem cerca de 90 cm de comprimento. (B) *Adiantum raddianum*, planta conhecida como avenca, cujas folhas atingem 50 cm de comprimento. (C) *Equisetum pratense*, planta conhecida como cavalinha, que chega a medir 50 cm de altura. (D) *Lycopodium* sp., licopódio com aproximadamente 20 cm de altura. (E) *Selaginella martinsii*, selaginela cujas folhas medem cerca de 15 cm de comprimento.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução e ciclo de vida das pteridófitas

A fase predominante do ciclo de vida das pteridófitas é o esporófito diploide (2*n*), constituído por folhas, caule e raízes, órgãos que apresentam tecidos condutores de seiva. O esporófito surge pela germinação do zigoto, que, por sua vez, resulta da fecundação do gameta feminino (oosfera) pelo gameta masculino (anterozoide). O gametófito haploide (*n*) das pteridófitas é denominado **prótalo** (do grego *protos*, primeiro, e *thallos*, corpo vegetativo filamentoso ou laminar). O prótalo é uma pequena planta multicelular achatada, desprovida de órgãos e de tecidos condutores de seiva, originada da germinação do esporo.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

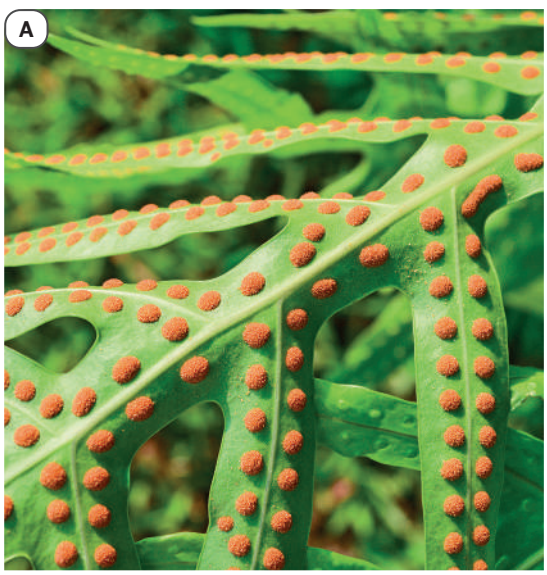
Tecidos condutores de seiva das traqueófitas

Os esporófitos das plantas traqueófitas apresentam dois tipos de tecidos condutores de seiva: o **xilema** (do grego *xylon*, madeira), que transporta água e sais minerais das raízes até as folhas, e o **floema** (do grego *phloos*, casca), que transporta açúcares e outros compostos orgânicos produzidos nas folhas para o restante da planta. A solução de água e sais minerais transportada pelo xilema constitui a **seiva mineral**, ou **seiva xilemática**, enquanto a solução de substâncias orgânicas transportada pelo floema constitui a **seiva orgânica**, ou **seiva floemática**. Tendo em vista a distribuição ampla das plantas traqueófitas pelos diversos ambientes de terra firme, enquanto as briófitas são restritas a ambientes de alta umidade, e os grandes tamanhos alcançados por traqueófitas como as árvores de grande porte, elabore um texto que discuta as possíveis vantagens de apresentar vasos condutores de seiva.

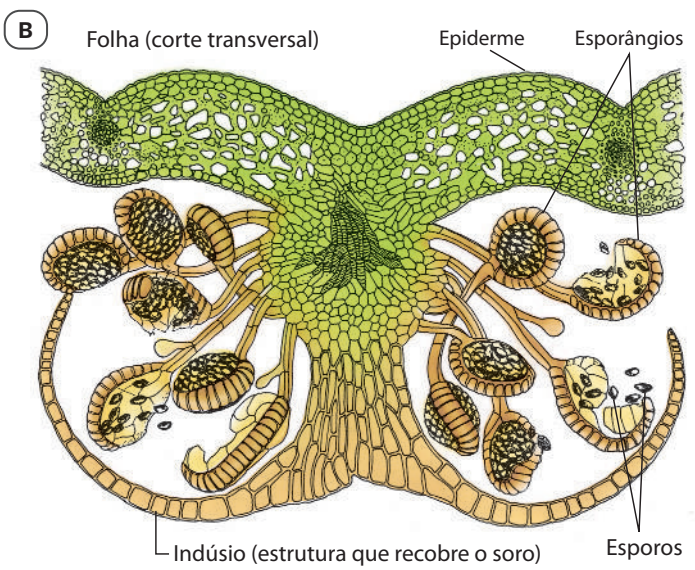
Muitas espécies de pteridófitas apresentam caules que crescem paralelamente ao solo e são denominados **rizomas**. Em algumas pteridófitas formam-se pontos vegetativos no rizoma, que originam folhas e raízes. Pode ocorrer fragmentação ou decomposição do rizoma entre os pontos vegetativos, isolando plantas independentes. Essa forma de **reprodução assexuada** é um tipo de **brotamento**.

Na reprodução **sexuada** das pteridófitas, os esporófitos adultos apresentam folhas férteis, nas quais se formam os soros, que abrigam os **esporângios**. Nestes se formam células-mães dos esporos (esporócitos) de constituição diploide, que sofrem meiose e originam **esporos** (*n*). (Fig. 11.8)

Esporângios de uma samambaia



THE GALLERY/SHUTTERSTOCK



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.8. (A) Face inferior de uma folha fértil da samambaia *Pteridium* sp. com soros (conjuntos de esporângios) alinhados ao longo dos folíolos. As folhas dessa espécie, divididas em folíolos, podem medir até 60 cm de comprimento cada uma. (B) Representação esquemática em corte transversal de um soro, estrutura foliar onde se localizam os esporângios. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

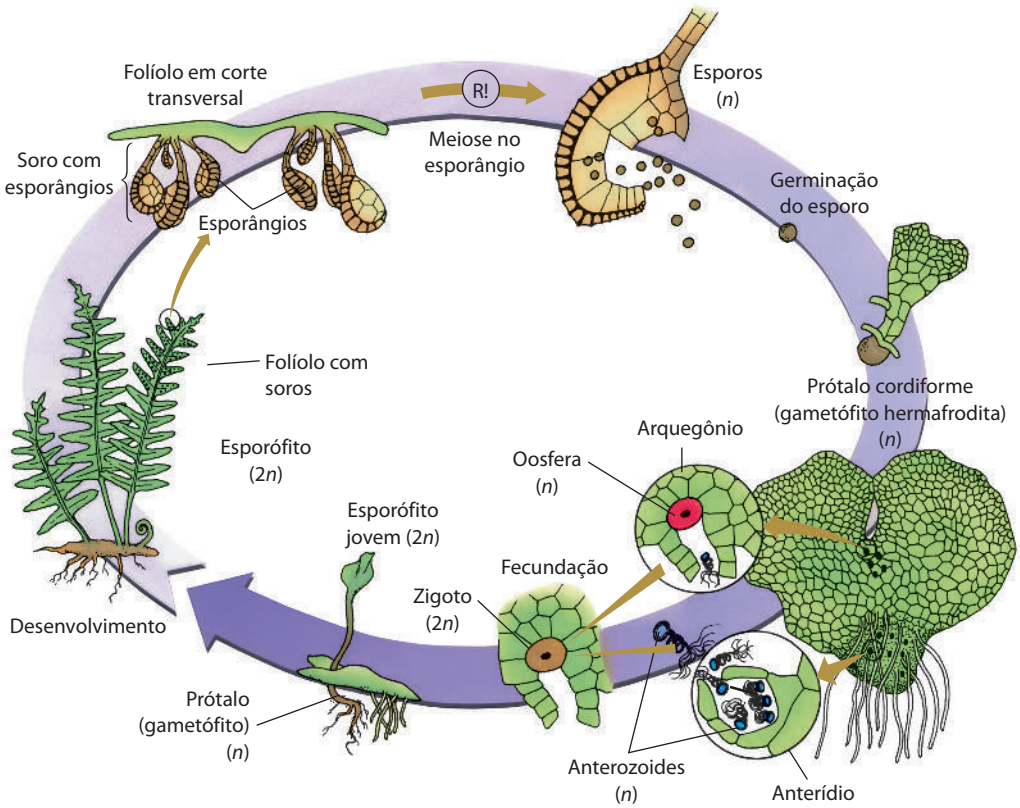
Os esporos se libertam dos esporângios e se dispersam no ambiente. Encontrando condições favoráveis, o esporo germina e origina um prótalo. Na maioria das espécies de pteridófitas, entre elas as samambaias e as avencas, o prótalo é hermafrodita (monoico), formando arquegônios e anterídios.

O **arquegônio** das pteridófitas é uma estrutura em forma de garrafa, em cujo interior se diferencia um único gameta feminino, a **oosfera** (*n*). Quando o arquegônio amadurece, abre-se um canal por onde os gametas masculinos podem penetrar e fecundar a oosfera.

O **anterídio** é a estrutura masculina onde se formam os **anterozoides** (*n*), gametas masculinos dotados de flagelos. Quando o anterídio amadurece, sua parede se rompe e liberta os anterozoides, que nadam até o arquegônio. Um dos anterozoides que penetram pelo canal do arquegônio pode fecundar a oosfera, originando o zigoto diploide (2*n*). Este se divide por mitoses sucessivas, originando o esporófito.

No início do desenvolvimento, o esporófito das pteridófitas é nutrido por substâncias produzidas pelo prótalo. No decorrer do desenvolvimento embrionário, desenvolvem-se raízes, caule e folhas, definindo a organização básica do esporófito. A raiz absorve água e nutrientes minerais do ambiente, enquanto as folhas executam fotossíntese, conferindo ao esporófito independência do gametófito em termos de nutrição. O caule integra raízes e folhas. O gametófito degenera quando seus nutrientes se esgotam e o esporófito passa a ter vida independente. Na maturidade, o esporófito desenvolve folhas férteis, que formam esporos haploides (*n*), completando o ciclo. (Fig. 11.9)

Esporângios de uma samambaia



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.9. Representação esquemática do ciclo de vida de uma samambaia. A geração predominante e mais desenvolvida é a esporofítica, que produz esporos (*n*). Estes, ao germinar, originam gametófitos haploides hermafroditas chamados de prótalos. A fecundação ocorre no prótalo e origina o zigoto (2*n*), que se desenvolve em um esporófito. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Importância da água na reprodução das plantas

Os cientistas acreditam que as plantas de terra firme tenham se originado de algas que viviam em regiões litorâneas e que, ao longo do processo evolutivo, desenvolveram adaptações que permitiram a vida em ambiente seco. Entre elas destaca-se a independência da água em estado líquido para a reprodução. Seu desafio, nesta atividade, é pesquisar em livros e na internet quais teriam sido outras adaptações que permitiram às plantas viver em terra firme, até mesmo em ambientes secos, como a caatinga ou desertos. Organize-se em grupo com os colegas para elaborar uma apresentação do trabalho, de preferência ilustrada. Combine com o professor como coordenar as apresentações dos diferentes grupos da classe.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Plantas vasculares com sementes nuas: gimnospermas

O termo **gimnosperma** (do grego *gymnos*, nu, e *sperma*, semente) é utilizado informalmente para designar plantas que não formam frutos e cujas sementes estão expostas ao ambiente externo. As gimnospermas são classificadas atualmente em quatro filos: **Coniferophyta** (coníferas), **Cycadophyta** (cicadófitas), **Gnetophyta** (gnetófitas) e **Ginkgophyta** (gincófitas). (Fig. 11.10)

ZIG KOCH/PULSAR IMAGENS

AFRICA STUDIO/SHUTTERSTOCK

Figura 11.10. (A) *Araucaria angustifolia*, o pinheiro-do-paraná, conífera que pode passar de 35 m de altura. (B) Cicadófita *Cycas revoluta* macho, cujas folhas podem atingir mais de 1,5 m de comprimento.

A maioria das espécies atuais de gimnospermas é de **coníferas**, com mais de 600 espécies conhecidas, entre as quais se destacam os pinheiros e os ciprestes. As coníferas são adaptadas a regiões frias, formando extensas florestas no norte da América do Norte e da Eurásia. Uma conífera nativa brasileira, o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), é a principal componente das matas de araucárias do Sul do país, hoje quase extintas devido à exploração predatória da madeira. O segundo maior grupo de gimnospermas é o das **cicadófitas**, ou **cicas**, com espécies que podem atingir mais de 10 m de altura. As cicadófitas foram abundantes na Era Mesozoica, entre 252 milhões de anos e 66 milhões de anos, etapa da história geológica da Terra conhecida como idade das cicas e dos dinossauros.

Outras gimnospermas atuais são as **gnetófitas** e as **gincófitas**. Registros fósseis mostram que as gincófitas mudaram pouco nos últimos 150 milhões de anos.

DACE ZNOTINA/ALAMY/FOTOARENA

BOTANY VISION/ALAMY/FOTOARENA

Figura 11.11. Estruturas reprodutivas de coníferas do gênero *Pinus*. (A) Grupo de microstróbilos, que medem cerca de 2 cm de comprimento, soltando pólen. (B) Os megastróbilos são popularmente chamados de pinhas e medem cerca de 10 cm de comprimento.

Reprodução e ciclo de vida das gimnospermas

O esporófito diploide (2*n*) é a fase predominante do ciclo de vida das gimnospermas. Os esporófitos maduros apresentam folhas férteis denominadas **esporofilos**, nas quais se localizam os esporângios. Nestes se formam esporos haploides (*n*).

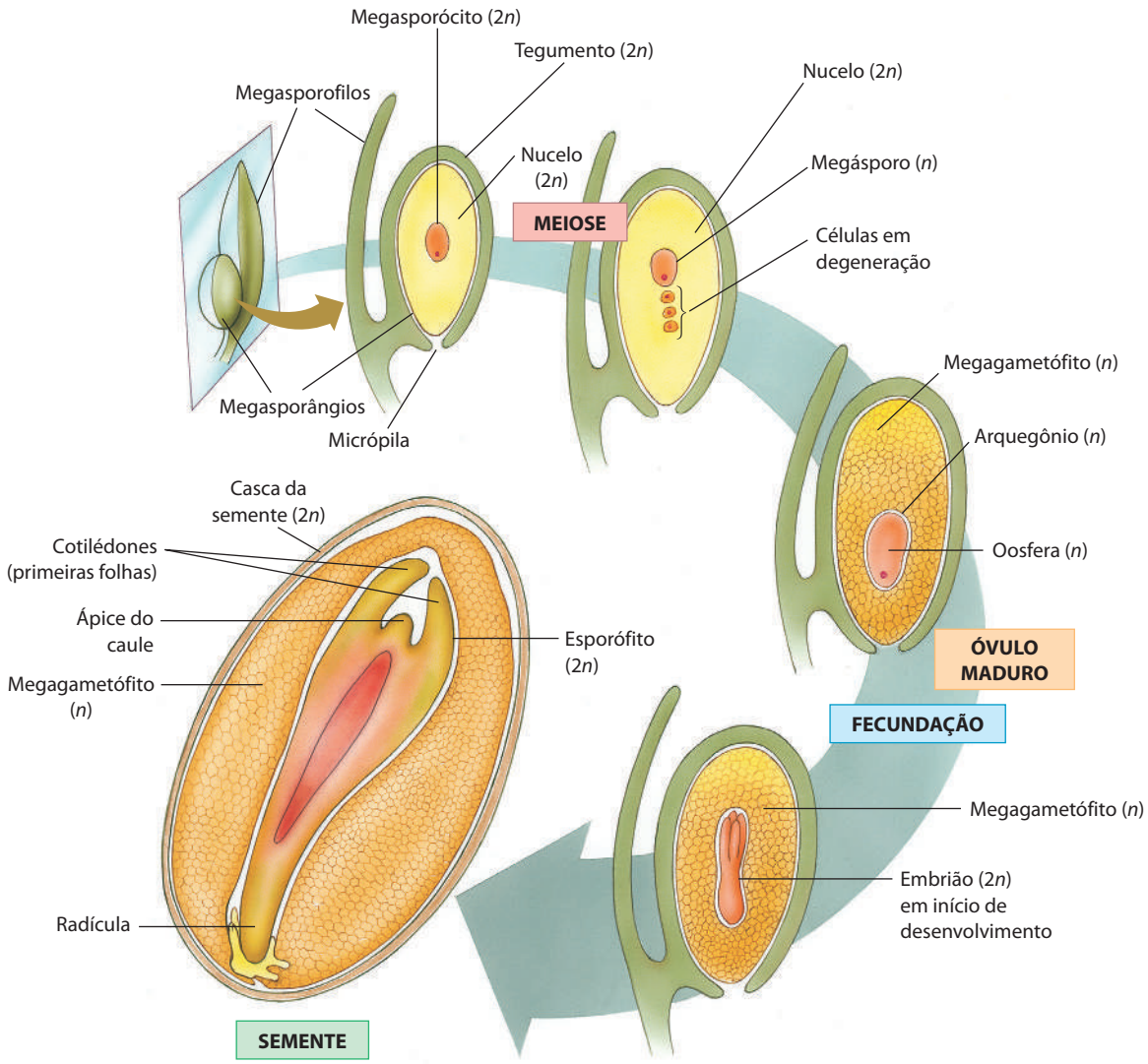
Os esporofilos podem ser de dois tipos: **megasporofilos**, que produzem esporos grandes, denominados **megásporos** (do grego *mega*, grande), e **microsporofilos**. Os megasporofilos dispõem-se na extremidade de ramos férteis, formando estruturas compactas denominadas **megastróbilos**, popularmente chamados de pinhas. Os microsporofilos, por sua vez, também se dispõem na extremidade de ramos férteis, formando estruturas denominadas **microstróbilos**, menores que os megastróbilos. Nos megasporofilos, surgem **megasporângios**, onde se formam os **megásporos**, que são esporos femininos. Nos microsporofilos surgem **microsporângios**, onde se formam os **micrósporos**, que são esporos masculinos. (Fig. 11.11)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Há espécies monoicas e espécies dioicas de gimnospermas. Nas espécies **monoicas**, ou hermafroditas, há microstróbilos e megastróbilos em uma mesma planta. Nas espécies **dioicas**, há plantas masculinas, portadoras de microstróbilos, que produzem micrósporos, e plantas femininas, portadoras de megastróbilos, que produzem megásporos.

O megásporo maduro sofre mitoses sucessivas originando o **megagametófito**. Nele se diferenciam um ou mais conjuntos celulares em forma de garrafa, os **arquegônios**. Dentro de cada arquegônio diferencia-se uma **oosfera**, o gameta feminino propriamente dito. O conjunto formado pelo arquegônio com a oosfera, envolvidos por tecidos diploides do esporófito, é o **óvulo** vegetal. No óvulo, os arquegônios ficam voltados para uma abertura do envoltório denominada micrópila. A fecundação da oosfera por um gameta masculino origina o zigoto (2n), que por mitoses sucessivas origina um novo esporófito. (Fig.11.12)

Desenvolvimento do óvulo e da semente de gimnosperma



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

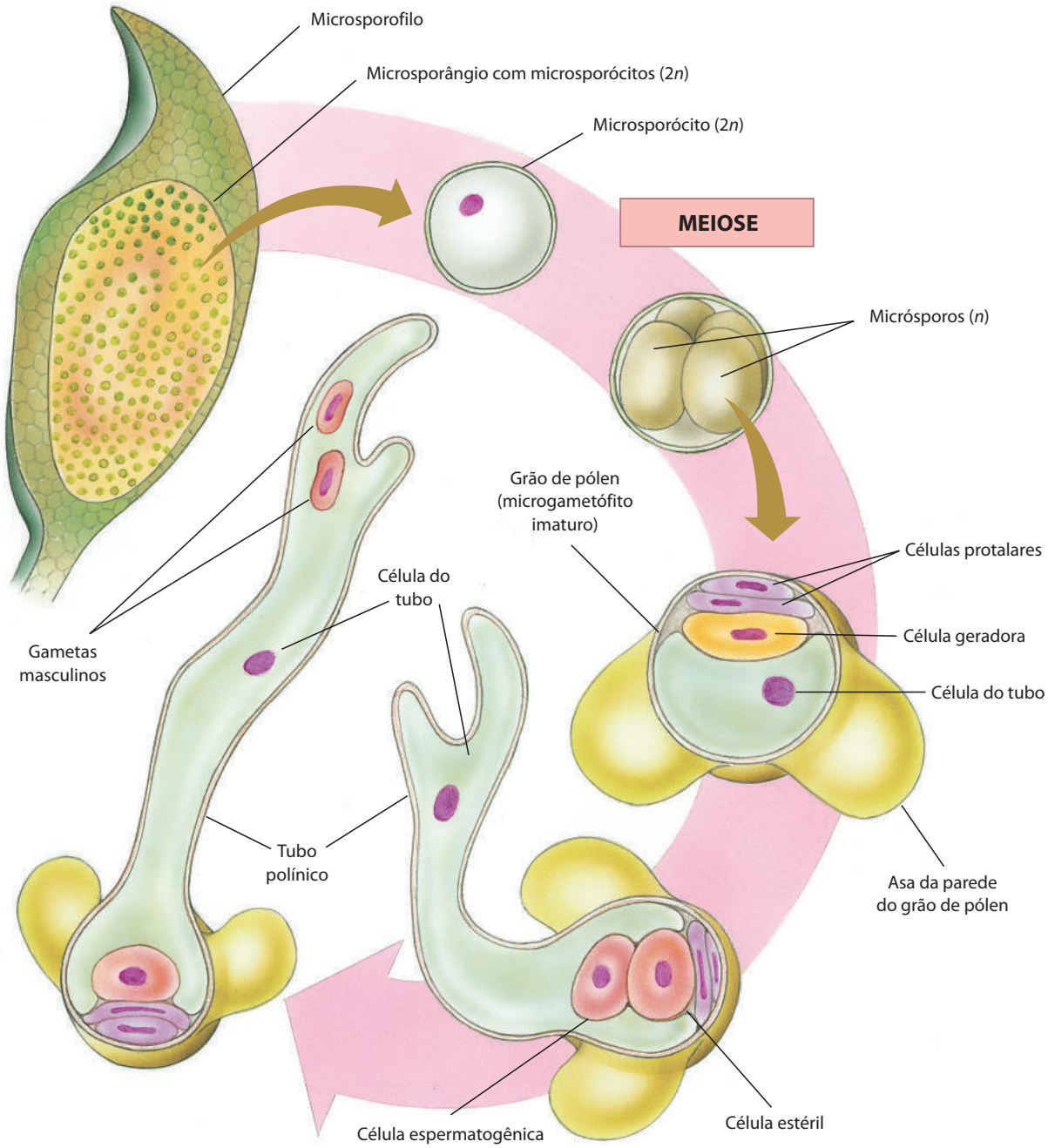
Figura 11.12. Representações esquemáticas de cortes longitudinais de óvulos em formação e da semente de *Pinus* sp. Nucelo é a denominação do tecido diploide que preenche o jovem óvulo vegetal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Nos microsporofilos, os micrósporos dividem-se algumas vezes por mitose, originando uma estrutura com algumas células haploides, envolvidas por uma parede relativamente espessa. Essa estrutura é o **grão de pólen**, que corresponde a um microgametófito imaturo. A parede do grão de pólen de certas gimnospermas apresenta expansões em forma de asas, uma adaptação ao transporte do pólen pelo vento.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando um grão de pólen atinge um óvulo, uma de suas células alonga-se e forma o **tubo polínico**, que penetra pela micrópila ovular. Uma outra célula do grão de pólen divide-se por mitose, originando duas. Uma delas se divide novamente, originando duas **células espermáticas** com pouco citoplasma, daí serem também chamadas de núcleos espermáticos. As células espermáticas são os gametas masculinos propriamente ditos. O grão de pólen, com o tubo polínico completamente formado e com duas células espermáticas em seu interior, constitui o **microgametófito** maduro. (Fig. 11.13)

Formação do grão de pólen



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.13. Representação esquemática do desenvolvimento do grão de pólen na gimnosperma do gênero *Pinus*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

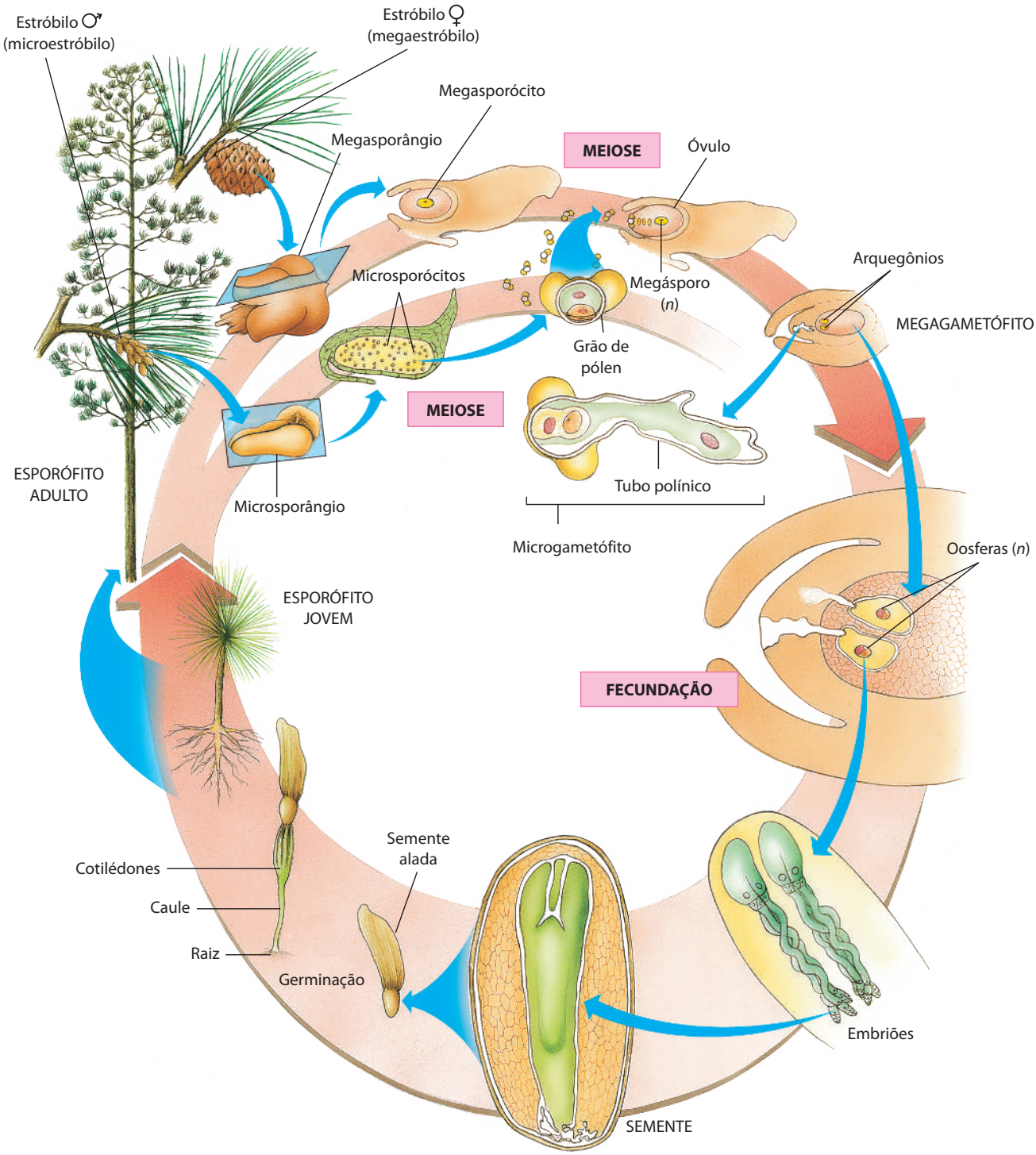
A transferência de grãos de pólen até os óvulos é denominada **polinização**. Na maioria das gimnospermas a polinização é realizada pelo vento, sendo por isso denominada **anemofilia** (do grego *ânemos*, vento).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

A fecundação da oosfera por uma célula espermática origina o zigoto diploide, cujo desenvolvimento leva à formação de um novo esporófito. O conjunto formado pelo esporófito jovem, mergulhado no megagametófito e protegido por envoltórios diploides, é a **semente**. O surgimento evolutivo da semente foi um passo fundamental para o sucesso das plantas gimnospermas e angiospermas. O esquema a seguir apresenta as etapas do ciclo de vida de uma gimnosperma monoica. (Fig. 11.14)

Ciclo de vida de uma gimnosperma



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 11.14. Representação esquemática do ciclo de vida de *Pinus* sp. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 15

Ameaças à araucária

A espécie *Araucaria angustifolia* é a árvore predominante das matas naturais de araucárias, presentes em regiões do sul do Brasil. A araucária, também chamada de pinheiro-do-paraná, é uma conífera de grande porte cuja madeira foi muito explorada comercialmente, entre 1910 e 2008, quando o corte e a comercialização da madeira foram proibidos por lei. As sementes da araucária são os pinhões, comestíveis e muito consumidos nos meses de junho e julho nos estados do sul do país. A exploração predatória das araucárias reduziu drasticamente as florestas, havendo risco de extinção dessas áreas de matas.

Seu desafio nesta atividade é pesquisar sobre "ameaças à araucária" em diferentes *sites* na internet. Concentre suas pesquisas em aspectos como:

- Que percentual de redução vem ocorrendo nas matas de araucárias nas últimas décadas?
- Quais seriam os motivos principais para essa redução?
- O que pode ser feito para impedir a destruição das matas de araucárias?

Destaque os aspectos que achar mais importantes ou interessantes em suas pesquisas. Escreva um texto com o título "Por que devemos impedir a extinção das matas de araucárias?". Mobilize diversos tipos de argumentos para embasar seu texto, entre eles a perda da diversidade biológica, com prejuízos a diversas espécies.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de 19 de fevereiro de 1998.

Plantas vasculares com sementes e frutos: angiospermas

As **angiospermas** são as plantas predominantes no planeta atualmente. Há desde espécies de grande porte, como certas espécies de eucalipto que atingem mais de 110 m de altura, até espécies com menos de 1 mm. Angiospermas podem ser árvores, arbustos, trepadeiras ou capins, e são capazes de viver em ambientes como o solo, a água ou sobre outras plantas, como parasitas ou como inquilinas.

As angiospermas são reunidas no filo **Anthophyta** (do grego *antho*, flor). Apesar da variedade, acredita-se que todas as angiospermas descendam de um mesmo ancestral, sendo portanto um clado monofilético. O número de espécies de angiospermas atuais é estimado entre 250 mil e 400 mil. Na classificação adotada neste livro as angiospermas são divididas em três grupos: **monocotiledôneas**, que reúne cerca de 23% das espécies; **eudicotiledôneas**, com cerca de 75% das espécies, e **dicotiledôneas basais**, com 2% das espécies. (Fig. 11.15)

FABIO COLOMBINI

COLORVSBW/SHUTTERSTOCK

Figura 11.15. Representantes de dicotiledôneas basais. (A) *Nymphaea* sp., planta aquática conhecida como ninfeia, cujas flores têm aproximadamente 15 cm de diâmetro. (B) *Magnolia soulangiana*, a magnólia, arbusto que chega a 7 m de altura.

A principal diferença entre gimnospermas e angiospermas é que, nas primeiras, as sementes estão expostas sobre o esporofilo (sementes nuas), enquanto nas angiospermas as sementes se desenvolvem no interior do fruto. A reprodução e o desenvolvimento das angiospermas serão estudados com mais detalhes no próximo capítulo.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Tendências evolutivas no ciclo de vida das plantas

No decorrer da evolução das plantas, houve redução progressiva da geração gametofítica, a fase haploide do ciclo de vida. Nas briófitas, que são consideradas o grupo mais semelhante ao ancestral das plantas, a fase predominante do ciclo de vida é o gametófito haploide, do qual o esporófito diploide depende totalmente para sobreviver.

Nas pteridófitas, que teriam se originado de briófitas, a fase predominante do ciclo de vida é o esporófito diploide. O gametófito das pteridófitas é uma planta com poucos centímetros de tamanho, que abriga e sustenta o esporófito apenas nas fases iniciais do desenvolvimento. Em gimnospermas e angiospermas, grupos de plantas mais recentes na história evolutiva, os gametófitos sofreram redução ainda maior, apresentando número reduzido de células e dependendo totalmente dos esporófitos. A geração gametofítica deixou de ser independente, como ocorre em briófitas e pteridófitas, e se assemelha mais a um órgão reprodutivo do esporófito.

Elabore uma tabela, de preferência ilustrada, que mostre as mudanças ocorridas nos diferentes tipos de plantas em relação ao ciclo de vida. Sugerimos que a tabela apresente os três grupos de plantas estudados no capítulo (briófitas, pteridófitas e gimnospermas) e informações sobre as características de seus gametófitos e esporófitos. Pesquise essas informações no capítulo, em livros e na internet.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

A vegetação na época dos dinossauros

Em filmes que retratam dinossauros, a paisagem é geralmente composta por florestas úmidas e densas, com plantas exuberantes e floridas. Será que essa vegetação corresponde à que provavelmente existia na Terra na Era Mesozoica, há 66 milhões de anos, o auge da era dos dinossauros? Os estudos dos fósseis de plantas da Era Mesozoica ajudam a compreender quais eram as características das plantas nesse período. Esses estudos contemplam a área da Biologia atualmente denominada **paleobotânica**.

Estudos paleobotânicos mostram que, na época dos dinossauros, a Terra era provavelmente dominada pelas gimnospermas, grupo de plantas que

SCOTT CAMAZINE/ALAMY/FOTOARENA

Folha fossilizada de uma planta da família Cycadaceae, comum na Era Mesozoica (Califórnia, Estados Unidos).

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

inclui os pinheiros e as cicas atuais. Essas plantas eram adaptadas a climas relativamente secos e se reproduziam por meio de sementes, mas não apresentavam flores nem frutos.

Os estudos sugerem que as angiospermas, plantas com flores e frutos que hoje dominam grande parte da vegetação terrestre, só começaram a surgir no final da Era Mesozoica. Assim, as exuberantes florestas tropicais muitas vezes retratadas em filmes sobre dinossauros não correspondem à vegetação predominantemente na época, constituída principalmente por plantas sem flores nem frutos.

É possível que você já tenha assistido a um filme ficcional sobre dinossauros. Em caso afirmativo, tente lembrar da vegetação apresentada no filme. Pesquise sobre a vegetação provavelmente predominante na Era Mesozoica. Escreva um comentário sobre a importância, ou não, de apresentar um cenário mais realista para ambientar os dinossauros.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Os jovens no campo

MEIO AMBIENTE | CIÊNCIA E TECNOLOGIA | ODS 8

A agricultura é essencial para a sociedade. Entretanto, nos últimos anos, o número de jovens trabalhando no campo tem diminuído, o que afeta a continuidade da agricultura familiar. Dados do Censo populacional de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), revelaram que 3,6 milhões de pessoas entre 16 e 32 anos trabalhavam no campo naquele ano, enquanto em 2012, esse número era de 4,7 milhões. Em uma década, o campo perdeu 1,1 milhão de jovens trabalhadores.

Uma vez que a agricultura familiar é responsável pela maior parte da produção dos alimentos consumidos pela população brasileira, a permanência dos jovens no campo é um tema que vem chamando a atenção. No campo, os jovens podem trazer novas formas de produzir, valorizando a família e a comunidade, aliando o desenvolvimento tecnológico à produção sustentável.

Para a inclusão produtiva de jovens no campo, é importante identificar necessidades e oportunidades nessa área de trabalho. Nesse contexto, um dos destaques é justamente a chamada "economia verde", que contribui para preservar e restaurar o ambiente. Com carreiras ligadas à gestão de recursos naturais e à agropecuária sustentável, essa área gera oportunidades diversificadas para os jovens, como operador de drones, técnico em agricultura digital, cientista de dados agrícolas e *ecodesigner*.

Organize-se em grupo com os colegas para repartir as tarefas de pesquisa sobre carreiras relacionadas à economia verde e à produção agrícola. A respeito desse tema, o grupo pode discutir aspectos como a formação necessária para atuar nessas carreiras profissionais, o tipo de trabalho, a remuneração e as perspectivas de futuro.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 1 e 2.

a. Embrião.
b. Esporo.
c. Esporófito.
d. Gameta.
e. Gametófito.

1. Como se denomina uma célula haploide que se multiplica por mitose e origina o indivíduo multicelular haploide?
1.b

2. Qual é o nome da célula haploide que se funde a outra e origina o zigoto?
2.d

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 3 a 6.

a. angiospermas
b. briófitas
c. gimnospermas
d. pteridófitas

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. As (■) são plantas que produzem frutos, dentro dos quais estão as sementes. 3.a

4. As (■) são plantas vasculares que não produzem sementes. 4.d

5. As (■) são plantas sem tecidos condutores de seiva (avasculares). 5.b

6. As (■) caracterizam-se por apresentar sementes nuas. 6.c

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 7 a 12.

a. célula espermática
b. grão de pólen
c. megásporo
d. micrósporo
e. óvulo
f. semente

7. O gametófito masculino imaturo de gimnospermas está contido na(o) (■). 7.b

8. A célula haploide que origina o gametófito masculino das gimnospermas é chamada (■). 8.d

9. A(O) (■) é uma célula haploide que dá origem ao gametófito feminino das gimnospermas. 9.c

10. O gameta masculino propriamente dito nas gimnospermas é a(o) (■). 10.a

11. O conjunto formado pelo esporófito jovem mergulhado no megagametófito envolto por tegumento é a(o) (■). 11.f

12. A estrutura multicelular constituída por tecido diploide originário do esporófito (tegumento) e pelo megagametófito com a oosfera é a(o) (■). 12.e

13. Como são os esporófitos e os gametófitos em relação à constituição cromossômica de suas células? 13.c

a. Ambos diploides.
b. Ambos haploides.
c. Diploides e haploides, respectivamente.
d. Haploides e diploides, respectivamente.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 14 e 15.

a. ciclo de vida alternante
b. sementes
c. frutos
d. tecidos condutores de seiva

14. As gimnospermas diferem das angiospermas, entre outras coisas, por não apresentarem (■). 14.c

15. As pteridófitas diferem das gimnospermas, entre outras coisas, por não apresentarem (■). 15.b

16. O que é possível afirmar que aconteceu ao longo da evolução das plantas? 16.d

a. Houve crescente predomínio dos gametófitos sobre os esporófitos.
b. No processo reprodutivo, os gametas foram substituídos por esporos.
c. A reprodução assexuada foi substituída pela reprodução sexuada.
d. Ocorreu a redução do gametófito, que se tornou totalmente dependente do esporófito.

Questões de vestibulares

17. (Ufac) De acordo com a análise comparativa entre plantas dos grupos: I. briófitas, II. gimnospermas e III. angiospermas pode-se afirmar o seguinte: 17.d

a. Apenas I apresenta sementes.
b. I, II e III apresentam estruturas para transporte de água e nutrientes.
c. Apenas I e II apresentam dispersão por esporos.
d. Apenas II e III apresentam estruturas para transporte de água e nutrientes.
e. Apenas III apresenta esporos.

18. (Unifesp) No ciclo de vida de uma samambaia há duas fases, 18.b

a. ambas multicelulares: o esporófito haploide e o gametófito diploide.
b. ambas multicelulares: o esporófito diploide e o gametófito haploide.
c. ambas unicelulares: o esporófito diploide e o gametófito haploide.
d. o esporófito multicelular diploide e o gametófito unicelular haploide.
e. o esporófito unicelular haploide e o gametófito multicelular diploide.

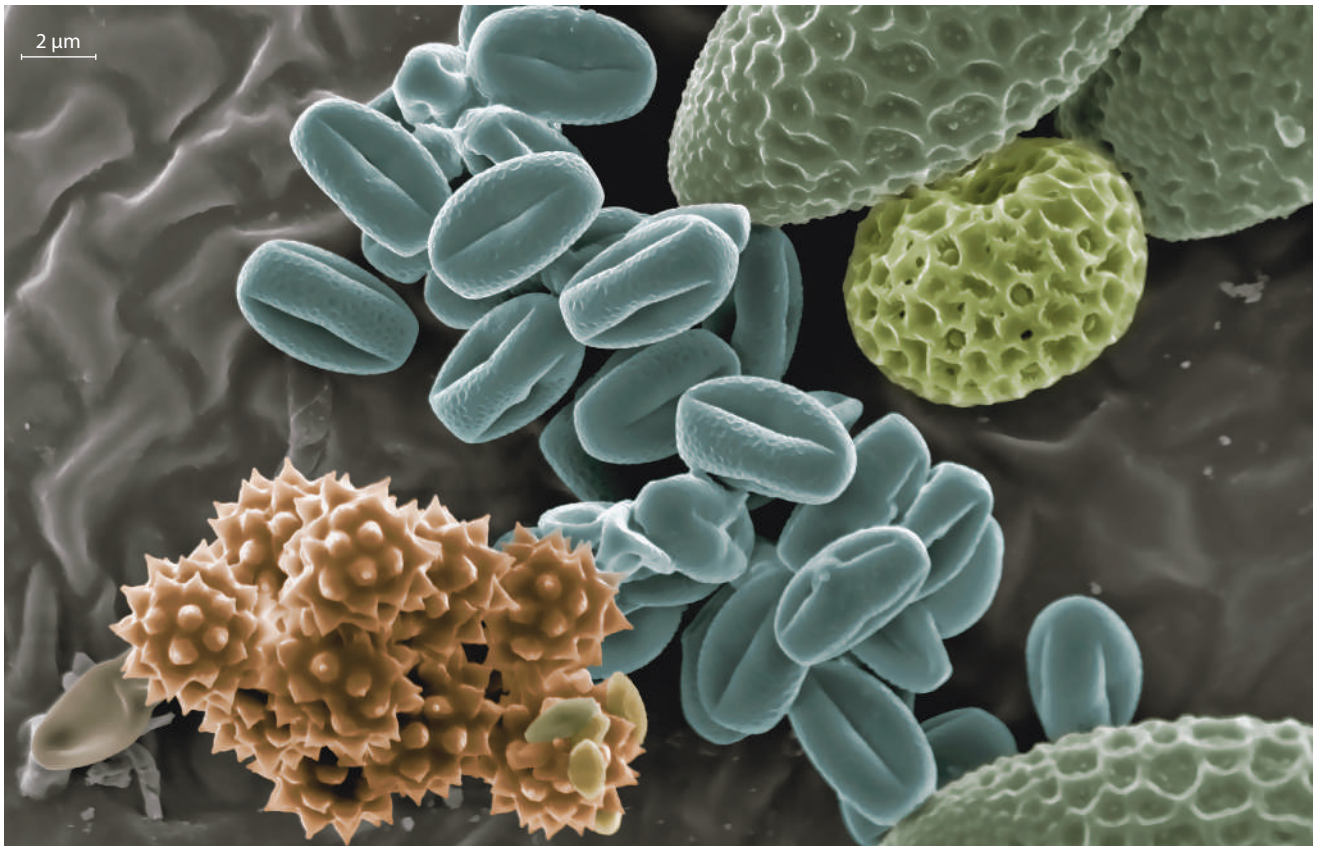
19. (Fuvest-SP) Na evolução dos vegetais, o grão de pólen surgiu em plantas que correspondem, atualmente, ao grupo dos pinheiros. Isso significa que o grão de pólen surgiu antes 19.e

a. dos frutos e depois das flores.
b. das flores e depois dos frutos.
c. das sementes e depois das flores.
d. das sementes e antes dos frutos.
e. das flores e antes dos frutos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 12

Reprodução, desenvolvimento e fisiologia das angiospermas



JANNICKE WIIK-NIELSEN/SPL/FOTOARENA

Eletromicrografia no microscópio eletrônico de varredura de uma variedade de grãos de pólen das plantas, cuja ornamentação característica permite associar o pólen à espécie vegetal que o produziu. O estudo de grãos de pólen fósseis tem possibilitado aos paleobiologistas encontrar informações sobre plantas de épocas passadas. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 500×; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Neste capítulo são apresentados aspectos da reprodução e do desenvolvimento das plantas mais abundantes da biosfera: as angiospermas, plantas com flores e frutos. As angiospermas representam cerca de 90% das espécies atuais do reino Plantae, com aproximadamente 300 mil espécies, adaptadas aos mais diversos ambientes. A principal característica que distingue as angiospermas dos outros grupos de plantas é a presença de estruturas reprodutivas denominadas flores. Após a fecundação, as flores originam frutos, dentro dos quais se localizam as sementes.

O item inicial do capítulo trata das flores e da reprodução das angiospermas. O ponto alto desse tema é a produção da semente, que contém em seu interior um pequeno embrião em estado de dormência. Durante o desenvolvimento embrionário, formam-se os tecidos e órgãos da nova planta.

Conhecer a anatomia das plantas, embora seja desafiador, é um investimento em saber científico. Procure observar sempre as plantas no seu dia a dia e tente aplicar o que se aprende na escola e nos livros. Quanto maiores forem os nossos conhecimentos sobre a natureza, mais ampla será nossa visão de mundo. Consequentemente, maiores serão nossas chances de interagir positivamente com a realidade que nos cerca.

1. A reprodução das angiospermas

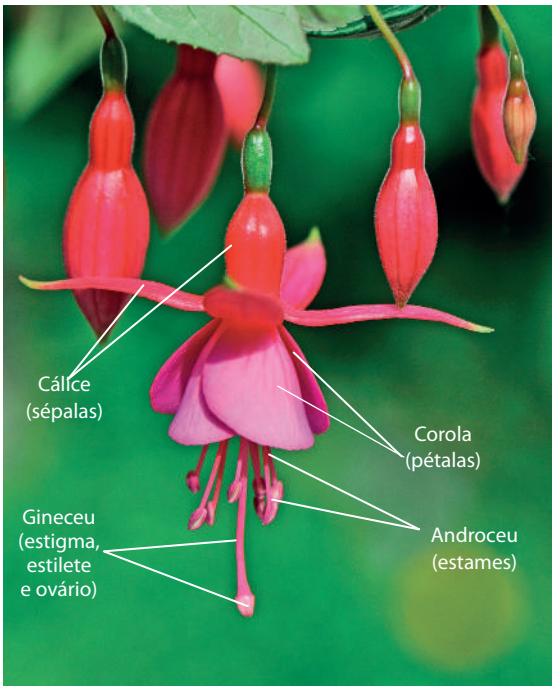
Estrutura e função da flor

A **flor** é o órgão reprodutivo das angiospermas. As flores são constituídas por conjuntos de folhas modificadas denominados **verticilos florais**, implantados no ramo floral. A partir da base do ramo floral, os verticilos florais são o cálice, a corola, o androceu e o gineceu.

O **cálice** e a **corola** são folhas modificadas estéreis, que não formam elementos reprodutivos; elas protegem os verticilos férteis mais internos e, em muitas espécies, atraem polinizadores. O cálice é constituído pelas **sépalas**, geralmente espessas e de cor verde, e a corola é formada pelas **pétalas**, geralmente delicadas e coloridas.

Os elementos férteis da flor, que contêm os órgãos reprodutivos propriamente ditos, são o **androceu** (do grego *andros*, homem, e *oikos*, casa) e o **gineceu** (do grego *gyne*, mulher, e *oikos*, casa), responsáveis pela formação, respectivamente, de grãos de pólen e de óvulos. O androceu é constituído por folhas modificadas denominadas estames, e o gineceu é constituído por folhas modificadas denominadas carpelos. (Fig. 12.1)

O **estame** (do latim *stamen*, filete) é a folha fértil masculina (microsporofilo), constituída por uma haste fina, o **filete**, que sustenta uma estrutura dilatada na extremidade, a **antera**. No interior da antera, diferenciam-se células diploides denominadas **micrósporócitos**, que se dividem por meiose originando **micrósporos** haploides, que se desenvolvem em grãos de pólen (relembre no capítulo anterior). (Fig. 12.2)

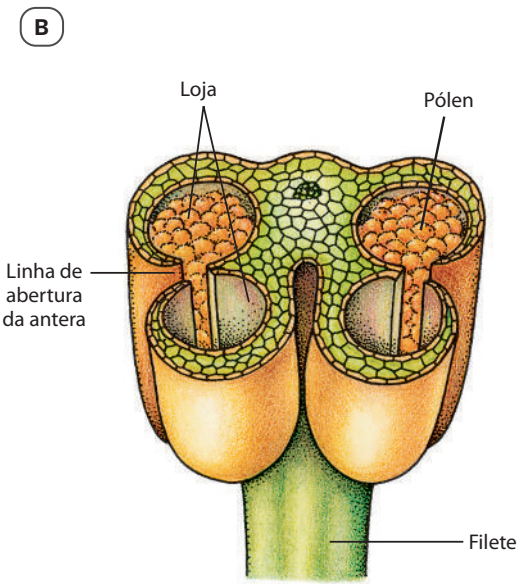


LIJUAN GUO/SHUTTERSTOCK

Figura 12.1. Flor da planta brinco-de-princesa (*Fuchsia magellanica*), que mede de 2 a 4 centímetros de diâmetro, mostrando seus diversos componentes.

Estames

MARIA MOSOLOVA/SPL/FOTOARENA



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

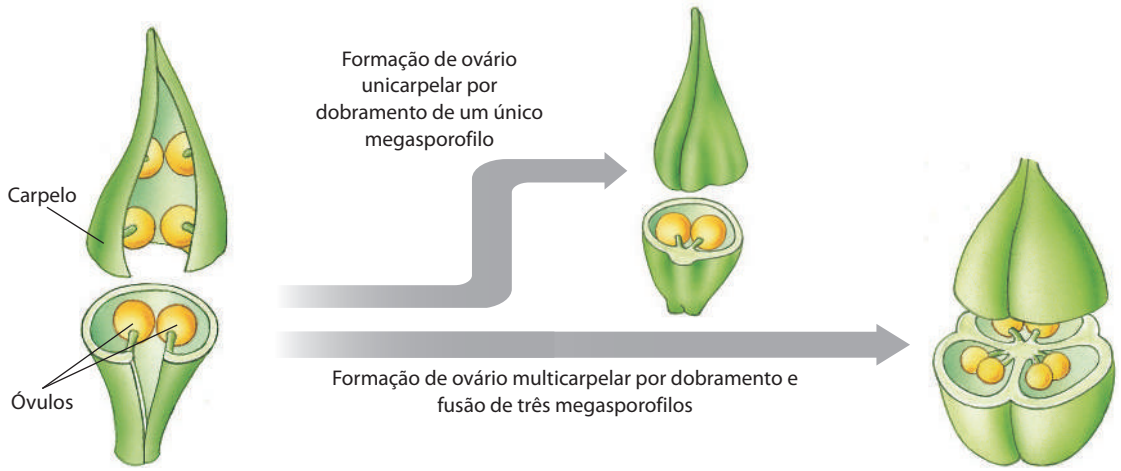
Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.2. (A) A flor de lírio (*Lilium* sp.) tem estames longos, com aproximadamente 7 cm de comprimento; note as anteras de cor escura. (B) Representação esquemática de uma antera em corte transversal mostrando as lojas, nome das cavidades onde se formam os grãos de pólen. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O **carpelo** é a folha fértil feminina (megasporofilo), que forma óvulos. Os carpelos do botão floral em desenvolvimento se dobram e fundem-se, originando uma estrutura em forma de vaso, com base dilatada e extremidade afilada. A base dilatada é o **ovário**, no interior do qual se formam um ou mais óvulos. A porção afilada do carpelo é o **estilete**, em cuja extremidade há o **estigma**, estrutura especializada em receber os grãos de pólen na polinização. O **pistilo** é a estrutura reprodutiva feminina de uma flor, composta por estigma, estilete e ovário. (Fig. 12.3)

Tipos de ovários



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.3. Representação esquemática da formação do ovário por dobramento e por fusão de folhas carpelares. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Estudando flores

A atividade permite a integração com a disciplina de Arte. Acompanhe a dissecação das flores com os alunos e aproveite para rever a função de cada elemento floral.

O objetivo desta atividade é observar as flores, estruturas reprodutivas de plantas angiospermas.

Material

- flores de diversos tipos de planta
- pinça
- estilete
- lâmina de barbear ou bisturi
- lente de aumento ou lupa
- câmera fotográfica
- material de desenho (papel e lápis coloridos)

Cuidado ao manusear os instrumentos cortantes. Mantenha atenção aos procedimentos para evitar acidentes.

Procedimento

1. Colete diversos tipos de flores e observe a diversidade de formas e cores. Anote, em seu caderno, o que mais chamou sua atenção nessa análise preliminar.
2. Examine cada flor tentando identificar seus diversos verticilos: cálice com sépalas, corola com pétalas, estames e pistilo(s).
3. Após o exame dos verticilos, faça desenhos esquemáticos e/ou tire fotografias que registrem os componentes florais.
4. Inicie a análise da flor pela remoção cuidadosa das sépalas e das pétalas, colando-as organizadamente em uma folha de papel. Observe os estames e o(s) pistilo(s) e registre suas características em desenhos e/ou fotografias.
5. Após examinar e documentar o aspecto geral de um estame, observe a antera externamente com a lente de aumento. Faça um esquema do que observou. Utilize a lâmina de barbear ou o bisturi para cortar a antera transversalmente, na região mediana. Observe suas câmaras internas, as lojas, onde se localizam as células-mães dos grãos de pólen, os microsporócitos. Desenhe o que observou, complementando sua ilustração com legendas.
6. Examine os pistilos e identifique suas partes: estigma, estilete e ovário. Corte o ovário transversalmente, na região mediana, e observe suas câmaras internas, com os óvulos presos nas paredes do ovário. Utilize uma lente de aumento e tente desenhar o que observou, complementando sua ilustração com legendas.
7. Finalize a atividade elaborando um relatório de seu trabalho, complementando-o com desenhos e/ou fotografias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fecundação e formação da semente

Os grãos de pólen se formam no interior das anteras, a partir de micrósporos originados por divisão meiótica dos **microsporócitos**. O grão de pólen é o gametófito masculino, ou **microgametófito**. Relembre a formação de grãos de pólen em gimnospermas na Figura 11.13, no capítulo anterior.

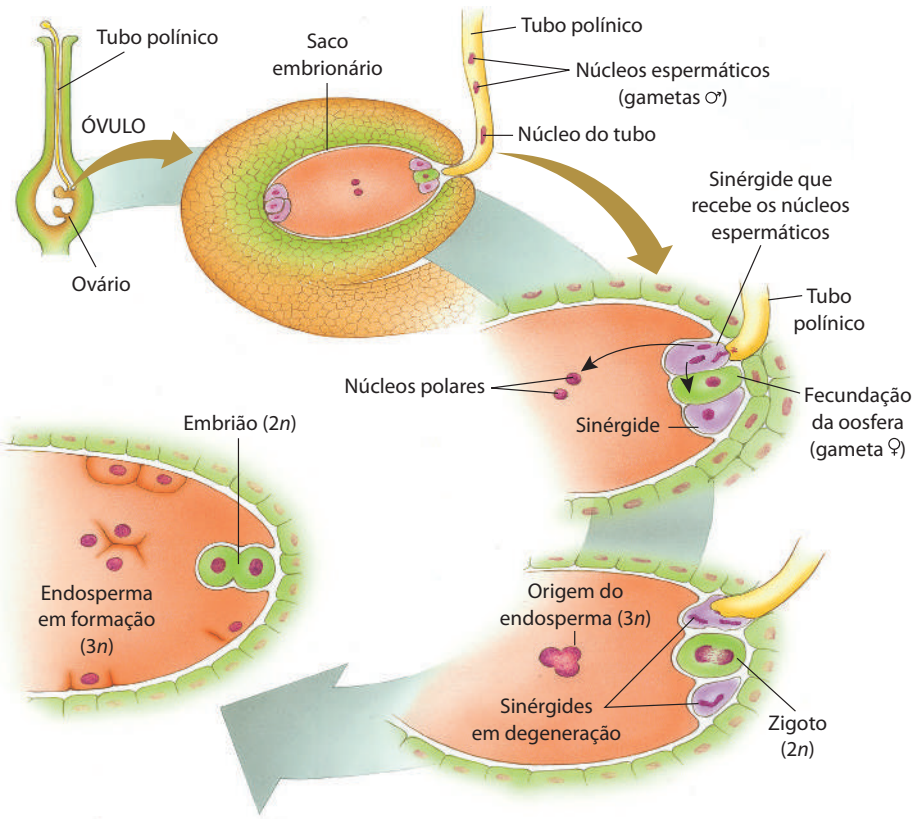
Os óvulos surgem na parede do ovário a partir de **megasporócitos**. Cada megasporócito se divide por meiose originando quatro células haploides, das quais três se degeneram. A célula que resta é o **megásporo** funcional, que cresce e passa por três mitoses sucessivas, originando oito núcleos haploides. Três desses núcleos constituem três células na região próxima à abertura do óvulo, a micrópila ovular. Outros três constituem células no polo ovular oposto. Os dois núcleos restantes permanecem no centro do megásporo. Esse conjunto de células é o gametófito feminino, ou **megagametófito**, também chamado de **saco embrionário** porque em seu interior se desenvolverá o embrião.

O gameta feminino propriamente dito é a **oosfera**, a célula central do trio de células junto à micrópila do óvulo. As duas células que ladeiam a oosfera são denominadas **sinérgides**, e os dois núcleos no centro do saco embrionário são denominados **núcleos polares**. O embrião surge pelo desenvolvimento do **zigoto**, resultante da fecundação da oosfera por uma célula espermática do pólen, como veremos a seguir.

A chegada dos grãos de pólen ao estigma de uma flor é denominada **polinização** e pode ser realizada por diferentes agentes polinizadores, como vento (anemofilia), insetos (entomofilia) e pássaros (ornitofilia), entre outros.

Ao atingir o estigma de uma flor compatível de sua espécie, o grão de pólen germina e origina o **tubo polínico**, que cresce e penetra pelo estilete até atingir a micrópila de um óvulo. Duas células do grão de pólen, as células espermáticas, descem pelo tubo polínico e penetram no óvulo. Uma delas fecunda a oosfera, originando o zigoto diploide ($2n$). A outra célula espermática se une aos dois núcleos polares, originando uma célula triploide ($3n$), que se multiplica por mitoses sucessivas, originando um tecido denominado **endosperma** (do grego *endon*, dentro, e *sperma*, semente). O endosperma acumula substâncias que nutrirão o embrião nas fases iniciais de seu desenvolvimento. Como uma das células espermáticas se une à oosfera enquanto outra se une aos núcleos polares, fala-se em **dupla fecundação**, fenômeno típico das angiospermas que leva à formação simultânea do zigoto diploide e do endosperma triploide. (Fig. 12.4)

A dupla fecundação em angiospermas



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

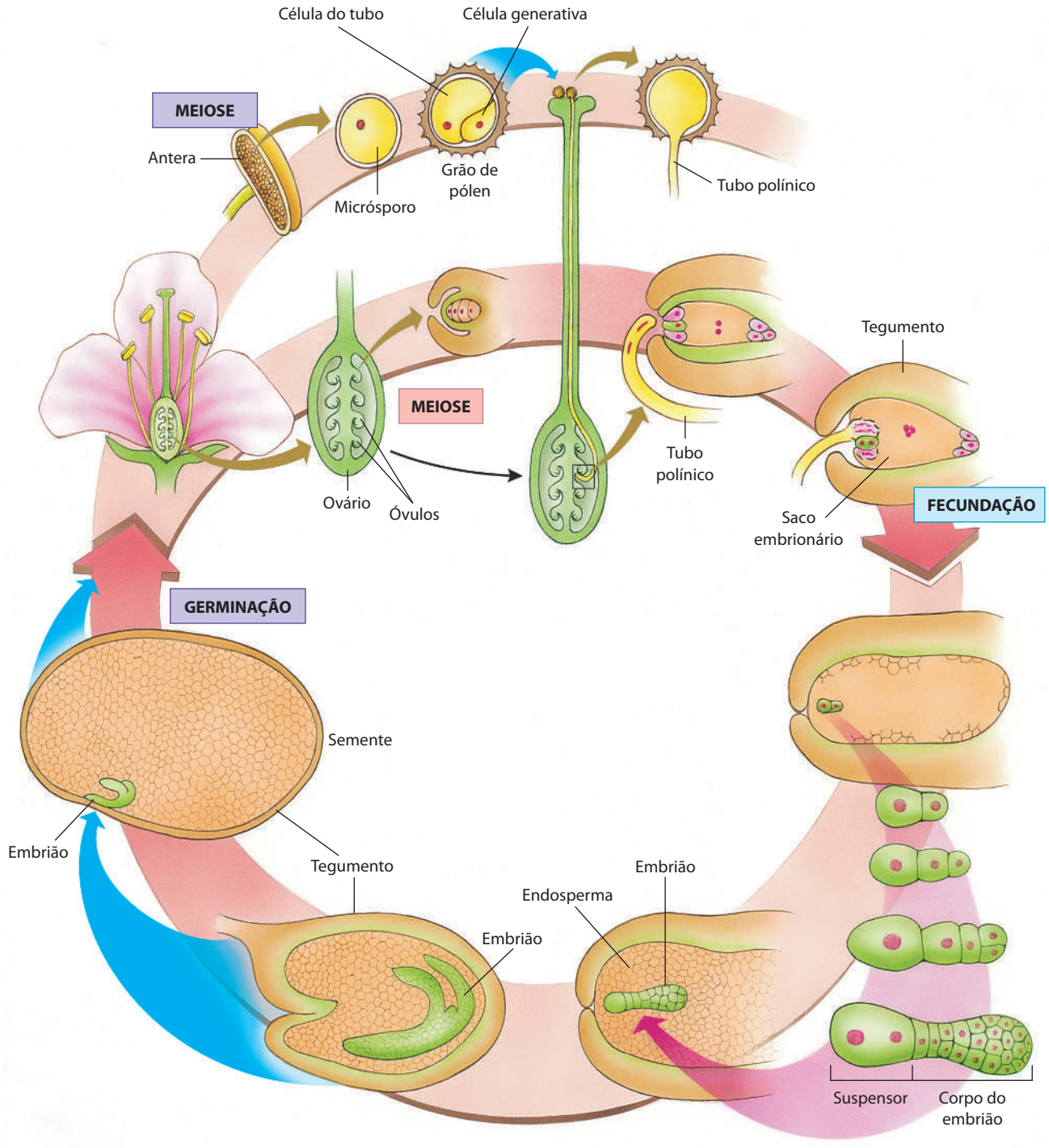
Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.4. O tubo formado pelo grão de pólen penetra em uma das sinérgides, célula situada ao lado da oosfera, e transfere a ela seus dois núcleos espermáticos. Um deles passa para a oosfera e une-se a seu núcleo, originando o zigoto ($2n$). O outro núcleo espermático une-se aos dois núcleos polares, originando a célula triploide ($3n$), que se multiplica por mitose formando o endosperma. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O desenvolvimento embrionário de uma planta começa com a divisão mitótica do zigoto, localizado próximo à micrópila ovular. A célula embrionária voltada para a micrópila dá origem ao **suspensor**, uma fileira de células que posiciona o embrião dentro da semente e transfere nutrientes e hormônios para ele. A outra célula embrionária origina o embrião propriamente dito. Quando o embrião atinge certo grau de desenvolvimento, os envoltórios ovulares diferenciam-se e se transformam em uma casca resistente. Nesse ponto, o óvulo passa a ser chamado de **semente**. (Fig. 12.5)

Ciclo de vida de uma angiosperma



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.5. Representação esquemática do ciclo de vida de uma angiosperma. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Formação do fruto

Sementes em formação liberam hormônios que estimulam o desenvolvimento da parede do ovário, originando o **fruto**. A maioria dos frutos contém sementes. Em poucas espécies, entre elas a banana, os frutos se desenvolvem sem fecundação e formação de sementes, sendo denominados **frutos paternocárpicos**.

Muitos frutos são coloridos, vistosos e perfumados, indicando aos animais, entre eles a espécie humana, a presença de alimento disponível. Ao comer o fruto, o animal geralmente descarta as sementes ou as engole, eliminando-as posteriormente nas fezes, o que contribui para a dispersão das espécies.

Os frutos de certas espécies apresentam projeções em forma de asa (frutos alados), o que favorece seu transporte pelo vento. Certos frutos são dotados de ganchos que permitem sua adesão aos pelos ou às penas de animais, que os espalham pelo ambiente. O coco-da-baía é um fruto cujo mesocarpo fibroso retém ar, possibilitando a flutuação e a dispersão pela água.

O fruto foi uma aquisição evolutiva importante das angiospermas e contribuiu decisivamente para o sucesso evolutivo do grupo. Supõe-se que o papel primordial do fruto tenha sido a proteção das sementes. Posteriormente, teriam ocorrido adaptações do fruto que facilitaram o espalhamento das sementes, fazendo-as chegar a lugares distantes da planta-mãe. Além de levar à colonização de novos ambientes, a dispersão das sementes diminui a concorrência por espaço e condições de vida, aumentando as chances de sobrevivência da espécie.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Antes de responder a uma questão, é interessante observar três aspectos:

1. identificar com clareza o que é solicitado na questão;
2. selecionar as informações necessárias para respondê-la;
3. analisar os conhecimentos a serem mobilizados para a resposta.

Confira esses itens na questão resolvida a seguir.

Questão

Os gametas masculinos das angiospermas, denominados células espermáticas, são produzidos pelo grão de pólen. O gameta feminino, denominado oosfera, é produzido pelo óvulo. Na reprodução sexuada das angiospermas, ocorre um fenômeno denominado "dupla fecundação", termo que se refere ao fato de

a. um único gameta masculino participar do processo, fecundando dois gametas femininos.

b. dois gametas masculinos participarem do processo, fecundando dois gametas femininos.

c. dois gametas masculinos participarem do processo, fecundando um único gameta feminino.

d. dois gametas masculinos participarem do processo, um deles fecundando um gameta feminino e o outro se fundindo às células sinérgides.

e. dois gametas masculinos participarem do processo, um deles fecundando um gameta feminino e o outro se fundindo a dois núcleos polares presentes no óvulo.

Resposta

Os conhecimentos necessários à resolução da questão se referem à dupla fecundação. Na reprodução sexuada das angiospermas, duas células espermáticas do grão de pólen penetram no óvulo pela micrópila. Uma das células espermáticas fecunda a oosfera, originando o zigoto diploide, enquanto a outra célula espermática se une aos dois núcleos polares presentes no óvulo, originando uma célula triploide ($3n$). Esta se multiplica por mitoses sucessivas, originando o endosperma, tecido constituído por células triploides que acumulam substâncias que nutrem o embrião durante o desenvolvimento. Como uma das células espermáticas se une à oosfera e a outra se une aos núcleos polares, o processo é denominado dupla fecundação. Dessa forma, analisando as alternativas, temos:

a. indica que apenas um gameta masculino participa do fenômeno da dupla fecundação nas angiospermas, portanto incorreta.

b. indica que dois gametas femininos, ou seja, duas oosferas participam da dupla fecundação, o que é errado.

c. aponta que os dois gametas masculinos fecundam uma única oosfera, o que é errado.

d. aponta que um gameta masculino fecunda a oosfera enquanto o outro se funde às células sinérgides, que embora sejam adjacentes à oosfera, não são fecundadas, portanto incorreta.

e. indica a fecundação da oosfera por um gameta masculino e a união do outro gameta masculino aos dois núcleos polares presentes no óvulo, originando uma célula triploide, portanto, correta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Estudando a germinação de sementes

Forme um grupo com alguns colegas e divida com eles a tarefa de obter os materiais necessários ao trabalho.

Material

- sementes de milho e de feijão
- 4 placas de Petri ou pires de tamanho médio
- algodão
- água para regar
- material para desenhar (papel e lápis de cor)
- 8 sementes de feijões grandes, como o feijão-branco ou o rajado, que serão utilizados no item 5 do procedimento
- faca de ponta arredondada para cortar a casca dos feijões
- papel-alumínio ou de outro tipo

Cuidado ao manusear a faca!

Procedimento, observações e questões

1. Coloque uma camada de algodão no fundo das placas ou pires e embeba-a com água, sem encharcar demais.
2. Coloque 6 sementes de feijão em cada um dos dois pires; faça o mesmo com o milho. Um pires com feijão e o outro com milho devem ser deixados em local bem iluminado, e os outros dois, no escuro. O algodão tem que ser mantido sempre úmido para o sucesso da germinação.
3. Anote todas as mudanças observadas diariamente. Quando a germinação começar, observe duas vezes por dia. Anote, desenhe e fotografe tudo o que conseguir observar.

   Ao final da atividade, prepare um relatório com seus desenhos, fotos e observações escritas. Você pode dar ênfase ao texto, ilustrando-o com imagens, ou ao aspecto visual, criando infográficos que priorizem as imagens, utilizando informações escritas como legendas.
4. Ao observar e comparar sementes de feijão que germinaram no claro e no escuro, é possível notar diferenças marcantes. Quais são elas? Pesquise e consulte seus professores sobre a resposta de estiolamento e avalie se ela se enquadra nos resultados experimentais. Por que a resposta do estiolamento de uma semente enterrada no solo, por exemplo, pode ser considerada adaptativa?
5. Devidamente protegido, execute um corte superficial na casca de alguns feijões, ao longo da borda, de modo a separar as duas metades; uma ficará com o embrião aderido e a outra não. Aproveite para observar, de preferência com uma lupa, as partes do embrião e onde se inseria a metade (folha cotiledonar) separada. Coloque as metades com e sem embrião sobre o algodão umedecido, com a casca para baixo. Cubra metade dos cotilédones de cada tipo com algodão úmido e papel-alumínio ou de outro tipo, que seja à prova de luz; deixe metade dos cotilédones sem cobrir. Observe diariamente para constatar se ocorreram mudanças. Que hipóteses poderiam ser formuladas com base nesses procedimentos? O que seria esperado para cada grupo experimental, tendo em vista o papel do cotilédone na germinação e na fase inicial do desenvolvimento embrionário?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

MEIO AMBIENTE | CIÊNCIA E TECNOLOGIA | ODS 15

Morte de meio bilhão de abelhas é consequência de agrotóxicos

Em três meses, meio bilhão de abelhas foram encontradas mortas no Brasil. É o que aponta o levantamento da Agência Pública e Repórter Brasil. O professor Tiago Maurício Francoy, do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da USP e especialista em abelhas, explica por que isso está acontecendo e qual alerta temos que ter diante da estatística.

"O que acontece é que as abelhas precisam buscar néctar e pólen das flores e elas acabam visitando as plantações, e esse uso de agrotóxicos, que aqui no Brasil está se tornando cada vez mais intenso e prejudicial, acaba por levar à morte essas abelhas", afirma Francoy.

O regimento de agrotóxicos no Brasil está indo em direção contrária ao que os países desenvolvidos estão fazendo. "Esses agrotóxicos estão banidos na Europa e nos Estados Unidos há muito tempo já. E aqui, no Brasil, estamos seguindo o caminho inverso e liberando cada vez mais agrotóxicos".

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

O especialista pontua que a morte das abelhas provavelmente é maior do que apenas meio bilhão em três meses, "porque quem está fazendo essa conta de quantas abelhas morreram são os apicultores, é quem vai todo dia à colmeia e vê que a abelha morreu. Mas o que acontece é que nós temos ainda uma diversidade de abelhas nativas, tanto sociais quanto solitárias, que estão morrendo silenciosamente, sem ninguém se dar conta, por viverem em matas ou entornos."

A importância das abelhas vai muito além da produção de mel, tendo o papel fundamental de polinização. "As abelhas no mundo são responsáveis pela polinização de 75% de todas as plantas com flores que nós temos disponíveis no planeta".

O uso indiscriminado de agrotóxicos na produção agrícola gera um ciclo vicioso. "A gente usa o agrotóxico para tentar fazer com que menos pragas vão às plantações para devastar aquelas plantações, só que, junto com as pragas morrem também os insetos benéficos. E aí você diminui a produtividade, porque tira o polinizador. E aí você desmata mais o entorno, diminui a área onde a abelha pode morar, usa mais agrotóxico para tentar aumentar a plantação. Só que você diminui a população de polinizadores e diminui também a produção, e assim vai...", explica o especialista.

Além da produção agrícola, as abelhas também são importantes para as áreas verdes, de preservação ambiental. "Em qualquer área de preservação, sem abelhas você tem uma queda brusca na reprodução dessas plantas, e isso leva a uma diminuição na produção de frutos, do tamanho da área verde... e aí entra numa cadeia destrutiva, porque a planta é alimento de herbívoro, herbívoro é alimento de carnívoro. Se você começa a diminuir um, você vai afetar a cadeia inteirinha."

A EACH está desenvolvendo um trabalho de conscientização sobre abelhas nativas sem ferrão, chamadas de jataí, que são sociais e também produzem mel. "A vantagem é que, por não terem ferrão, você consegue criar essas abelhas no fundo de casa. Então, estamos começando agora uma série de cursos que nós vamos ministrar na USP Leste, justamente para ensinar a população em geral a criar essas abelhas. Obviamente nosso intuito é de preservação, mas também demonstrar à população a parte da importância e também poderem explorar numa espécie de agricultura familiar e tirar até uma renda do mel produzido dessas abelhas."

Fonte: ARAGAKI, C. Morte de meio bilhão de abelhas é consequência de agrotóxicos. **Jornal da USP**, 5 abr. 2019. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/morte-de-meio-bilhao-de-abelhas-e-consequencia-de-agrotoxicos/. Acesso em: 2 set. 2024.

Após a leitura, o desafio é condensar ao essencial as informações apresentadas no texto. Por exemplo, o último parágrafo do texto poderia ser resumido a "Vantagens de criar em casa abelhas sem ferrão (jataí) ressalta a importância da preservação ambiental, além da obtenção do mel produzido por essas abelhas". Tendo em vista essa proposta, escreva uma versão condensada de cada um dos parágrafos do texto apresentado anteriormente, elaborando um texto mais sucinto, porém com as informações fundamentais do original. Atualize-se na internet, sobre o tema "morte de abelhas e polinização", concentrando-se nas publicações mais recentes. Selecione as informações que considerar mais importantes ou interessantes e procure condensá-las em um texto curto e objetivo.

2. O desenvolvimento das plantas

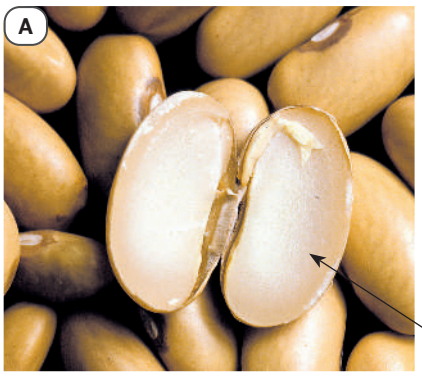
A semente madura abriga um embrião em estado de **dormência**, ou seja, cujo desenvolvimento está temporariamente suspenso. Além do embrião, a semente contém substâncias nutritivas necessárias ao desenvolvimento embrionário. As substâncias nutritivas da semente podem estar armazenadas no **endosperma**, o tecido triploide que circunda o embrião, ou em folhas modificadas denominadas **cotilédones**, ou mesmo em ambos, dependendo da espécie. As plantas do grupo das monocotiledôneas, como o milho, apresentam um cotilédone na semente, enquanto as dicotiledôneas, como o feijão, apresentam dois cotilédones.

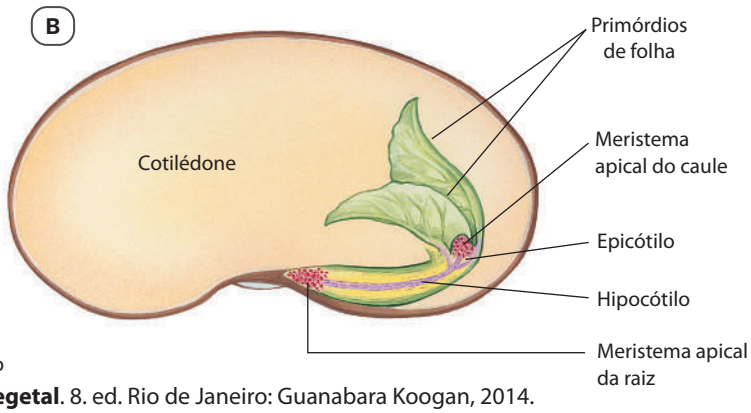
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma das extremidades do embrião é a **radícula** (do latim *radix*, raiz), precursora da raiz. A radícula apresenta em sua extremidade um conjunto de células dotadas de alta capacidade de multiplicação, o **meristema subapical da raiz**. O termo subapical ressalta o fato de esse meristema não estar localizado terminalmente, pois há um envoltório celular externo, a **coifa**. Em seguida à radícula, situa-se o **caulículo**, o precursor do caule, que apresenta em sua extremidade o **meristema apical do caule**. Pouco abaixo da extremidade do caulículo, inserem-se os cotilédones, folhas modificadas especializadas na transferência, para o embrião, dos nutrientes estocados na semente. (Fig. 12.6)

Sementes do feijão *Phaseolus vulgaris*

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO





CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.6. (A) Fotografia de sementes de feijão. Uma delas foi aberta para mostrar o embrião, indicado pela seta. (B) Representação esquemática de uma semente de feijão aberta mostrando o embrião.
O hipocótilo (do grego *hypo*, abaixo, e *kotyledon*, cotilédone) é a região do caulículo situada entre a radícula e o ponto de implantação dos cotilédones. O epicótilo (do grego *epi*, acima) é a região situada entre os cotilédones e o meristema apical do caule. A semente dessa espécie de feijão tem cerca de 1 cm de comprimento. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As sementes liberadas do fruto, se encontrarem condições ambientais favoráveis, iniciam o processo de **germinação**, com a retomada do desenvolvimento embrionário e formação dos diversos tecidos vegetais.

Principais tecidos vegetais

Tecidos meristemáticos

O crescimento inicial das plantas ocorre graças à multiplicação das células de **tecidos meristemáticos** (do grego *merizein*, divisão), presentes nas extremidades de caules e de raízes. Esses tecidos são chamados de **meristemas primários**. Durante o desenvolvimento da planta, as células sofrem **diferenciação celular**, originando tecidos especializados em revestimento, na condução de seiva, na sustentação esquelética etc. As células diferenciadas geralmente perdem a capacidade de se dividir. Entretanto, em certos casos, elas podem se **desdiferenciar**, voltando a apresentar características meristemáticas, inclusive capacidade de se multiplicar. Tecidos meristemáticos que se originam por desdiferenciação de tecidos adultos são denominados **meristemas secundários**.

Tecidos de revestimento

As plantas jovens são revestidas por uma camada de células achatadas e bem encaixadas entre si, denominada **epiderme** (do grego *epi*, superior, e *derma*, pele). As células epidérmicas secretam substâncias impermeabilizantes para a superfície exposta da planta, originando uma película, a **cutícula**, que evita a perda de água por transpiração. As células epidérmicas, exceto as que formam os estômatos, não apresentam cloroplastos. **Estômatos** (do grego *stoma*, boca) são estruturas epidérmicas que permitem a troca de gases entre o ar e a planta.

Como veremos mais adiante, caules e raízes de plantas que apresentam crescimento em espessura, ou **crescimento secundário**, são revestidos por **periderme**, um tecido espesso e resistente. A periderme origina-se pela atividade de um meristema secundário denominado **felogênio**. As células do felogênio se multiplicam e produzem camadas celulares para o interior da planta, a **feloderme**, e camadas para o exterior, o **súber**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enquanto as células da feloderme são vivas, as células do súber morrem durante a diferenciação, restando apenas suas paredes. Em certos pontos da periderme, as células do súber estão frouxamente unidas, formando **lenticelas**, através das quais ocorrem as trocas gasosas entre o ar e o interior de raízes e caules. (Fig. 12.7)

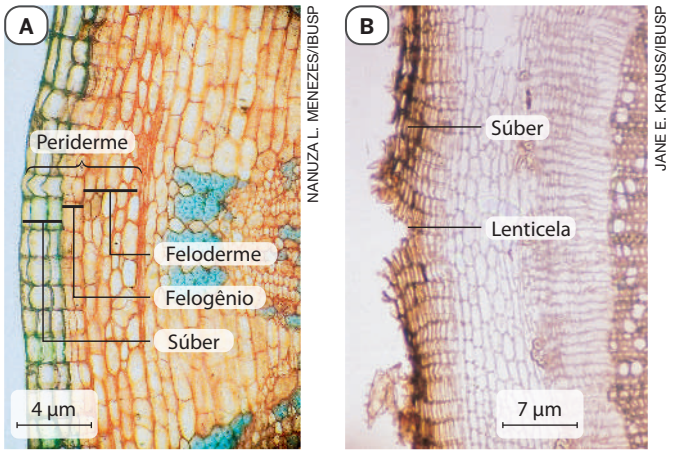


Figura 12.7. (A) Fotomicrografia de corte transversal do caule (*Talauma ovata*) evidenciando as três camadas que compõem a periderme (feloderme, felogênio e súber). Microscópio fotônico; aumento ≈ 110×; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de corte transversal do caule de *Sambucus* sp. mostrando uma lenticela. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 75×; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Plantas da Caatinga

Se você já visitou regiões secas, como uma caatinga ou um deserto, pode ter notado que as plantas que ali vivem são adaptadas à pouca água disponível no solo e na atmosfera. Cactos, por exemplo, têm adaptações como a ausência de folhas, que se transformaram evolutivamente em espinhos, além de apresentar caules suculentos e dotados de uma epiderme revestida por uma espessa cutícula. Seus desafios nesta atividade são:

a. pesquisar e definir o termo xeromorfismo, exemplificando as características principais apresentadas por plantas xeromórficas.

b. redigir um parágrafo que poderia ser introduzido no texto, sobre tecidos de revestimento. Procure destacar as adaptações mais típicas das plantas xeromórficas, como elas se relacionam com o ambiente e em que partes do mundo essas plantas se concentram.

Tecidos de preenchimento: parênquimas

Parênquima é a denominação genérica de tecidos vegetais constituídos por células de paredes finas, compostas basicamente de celulose. Muitos espaços internos das plantas são preenchidos por parênquimas, daí eles serem denominados tecidos de preenchimento. Os chamados **parênquimas de reservas** acumulam amido e outras substâncias ricas em energia; os **parênquimas aeríferos** de plantas aquáticas flutuantes acumulam gases nos espaços intercelulares; os **parênquimas aquíferos** de plantas de regiões áridas são especializados na reserva de água. Nas folhas, órgãos vegetais especializados na fotossíntese, há tecidos parenquimáticos cujas células são ricas em cloroplastos, daí serem chamados de **parênquimas clorofilianos**.

Tecidos de sustentação

As **traqueófitas** (pteridófitas, gimnospermas e angiospermas) apresentam tecidos especializados na sustentação esquelética da planta, o colênquima e o esclerênquima. O **colênquima**, presente principalmente em partes jovens de plantas, é formado por feixes de células vivas, alongadas e com reforços de celulose nas paredes. O **esclerênquima** é constituído por células que morreram no processo de diferenciação, restando apenas suas paredes celulares impregnadas de **lignina**, o que as torna altamente resistentes, com grande capacidade de sustentação esquelética. O esclerênquima está presente em diversas partes da planta, tais como caules, folhas, frutos e sementes. Ele se apresenta na forma de feixes, as **fibras esclerenquimáticas**, ou de pequenas estruturas ramificadas, as **esclereídes**.

Tecidos vasculares

Como foi mencionado anteriormente, as traqueófitas caracterizam-se por apresentar tecidos condutores de seiva. Há dois tipos de tecidos condutores: o **xilema**, cujos vasos conduzem **seiva mineral** da raiz para as folhas, e o **floema**, que conduz a **seiva orgânica** das folhas para as diversas partes da planta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O **xilema**, também chamado de **lenho** (do latim *lignu*, madeira), contém dois tipos de elementos condutores da seiva mineral: **traqueídes** e **elementos de vaso lenhoso**, constituídos por células mortas, das quais restaram apenas as paredes celulares impregnadas de lignina. Os elementos de vaso lenhoso estão presentes somente nas plantas angiospermas. Em pteridófitas e gimnospermas há apenas traqueídes.

Traqueídes apresentam forma alongada com extremidades afiladas e se dispõem formando longos feixes. Nas paredes das traqueídes, há poros que estabelecem canais de comunicação entre elas. **Elementos de vaso lenhoso** são estruturas cilíndricas geralmente mais curtas e grossas que as traqueídes, com grandes perfurações nas paredes das extremidades. Os elementos de vaso dispõem-se em sequência ao longo do comprimento da planta, comunicando-se através das perfurações terminais e formando tubos contínuos, denominados **vasos lenhosos**. Além dos elementos condutores, também fazem parte do xilema células não diretamente envolvidas na condução de seiva, tais como fibras, células parenquimáticas e células secretoras. (Fig. 12.8)

O **floema**, também chamado de **líber** (do latim *liber*, parte interna da casca), é constituído por diversos tipos celulares. As condutoras da seiva orgânica são as **células crivadas** e os **elementos de tubos crivados**. Essas células recebem essa denominação porque suas paredes apresentam áreas com numerosos poros agregados, lembrando crivos de chuveiro. Os poros dessas células são atravessados por finas pontes citoplasmáticas denominadas **plasmodesmos**, que comunicam diretamente o citoplasma de células vizinhas.

Durante sua diferenciação, as células crivadas e os elementos de tubo crivado perdem o núcleo, o vacúolo central, os ribossomos, o complexo golgiense e o citoesqueleto. Elas mantêm-se vivas graças à sua íntima associação com as **células albuminosas**, ou **células companheiras**, que promovem sua nutrição. O floema apresenta ainda fibras de sustentação e células parenquimáticas. (Fig. 12.9)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

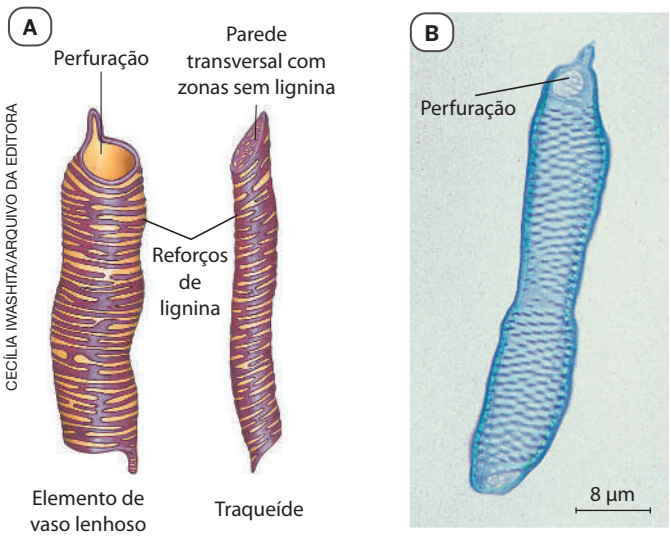
Dialogando com o texto

Fibras vegetais de importância econômica ODS 12

A juta, o sisal e o linho, utilizados na indústria têxtil, são fibras esclerenquimáticas extraídas de folhas e caules de *Corchorus capsularis*, *Agave sisalana* e *Linum usitatissimum*, respectivamente. O revestimento duro de nozes, avelãs e cocos também é constituído principalmente por fibras esclerenquimáticas, e os pequenos grãos que percebemos ao comer uma pera são esclereídes, que dão sustentação aos tecidos do fruto.

A proposta desta atividade é pesquisar sobre a juta, o sisal e o linho, de modo a obter informações sobre o processamento industrial dessas fibras e da importância econômica de cada uma.

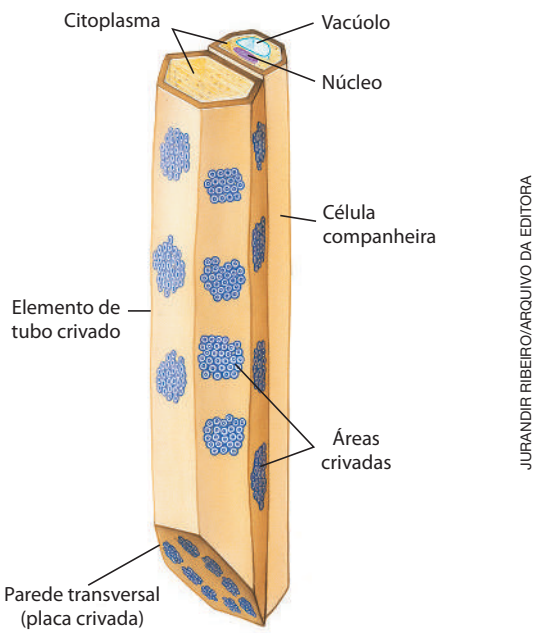
Vaso lenhoso e traqueíde



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.8. (A) Representação esquemática de um elemento de vaso lenhoso e de uma traqueíde. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de um elemento de vaso lenhoso isolado, mostrando a perfuração na extremidade. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 120× cores meramente ilustrativas.)

Componentes do floema



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.9. Representação esquemática de um elemento de tubo crivado e da célula companheira. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

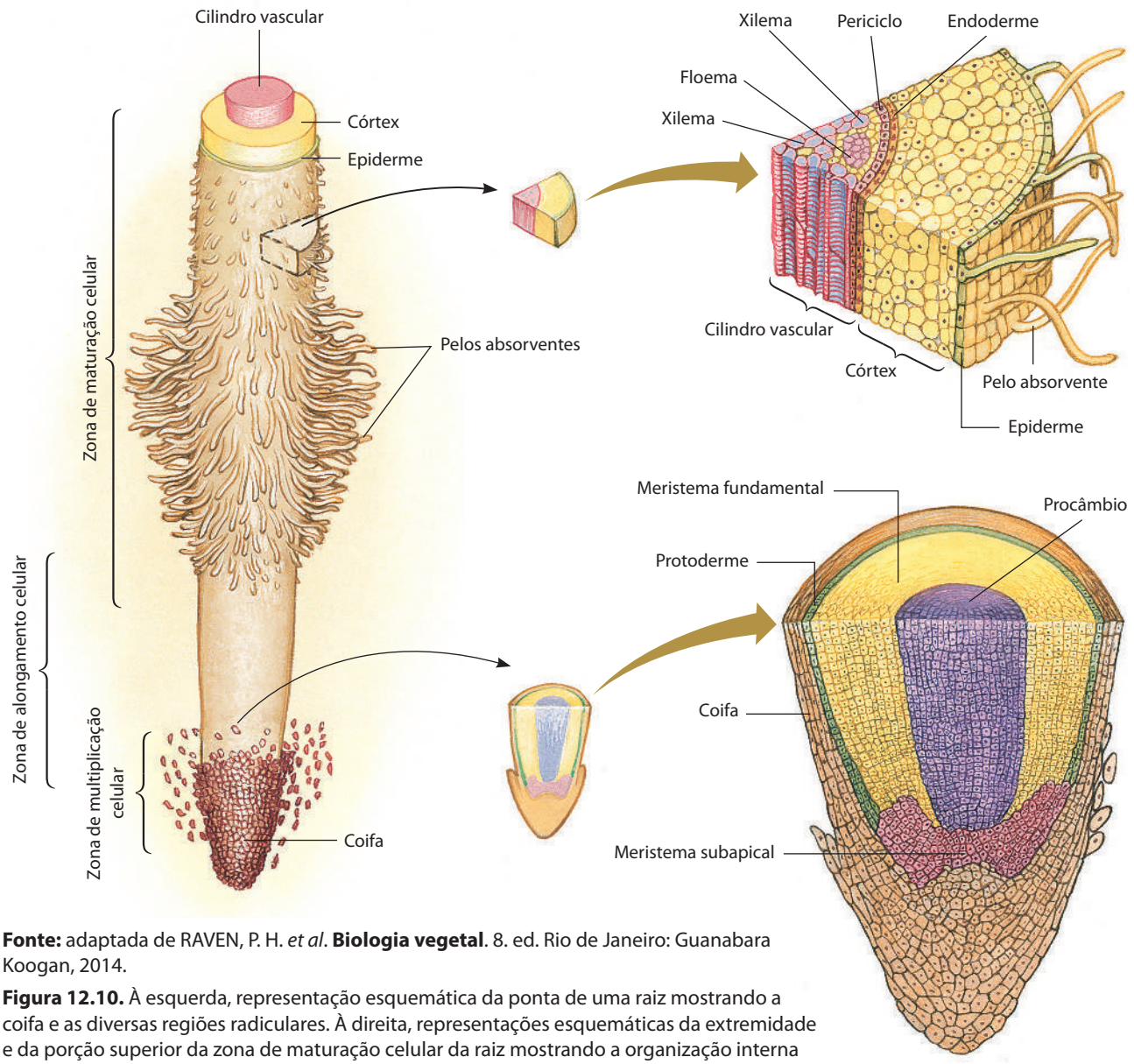
3. A organização corporal das angiospermas

À medida que o desenvolvimento embrionário progride, ocorrem diferenciação dos tecidos vegetais e **morfogênese** (do grego *morphe*, forma, e *genese*, origem), nome do processo em que se diferenciam a raiz, o caule e as folhas da nova planta.

A raiz

As extremidades das raízes são envolvidas por uma estrutura em forma de capuz, a **coifa** (do latim *cofia*, espécie de gorro), que protege a zona de **multiplicação celular da raiz** (o meristema subapical) do atrito com o solo. Em seguida à zona de multiplicação, há a **zona de alongamento celular**, em que as células se distendem e crescem em comprimento. Em seguida, há a **zona de maturação celular**, onde as células começam a se diferenciar em epiderme, córtex e cilindro vascular. Externamente, a zona de maturação pode ser identificada pela presença de numerosos **pelos absorventes**. (Fig. 12.10)

Estrutura da extremidade de uma raiz



Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.10. À esquerda, representação esquemática da ponta de uma raiz mostrando a coifa e as diversas regiões radiculares. À direita, representações esquemáticas da extremidade e da porção superior da zona de maturação celular da raiz mostrando a organização interna dos tecidos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

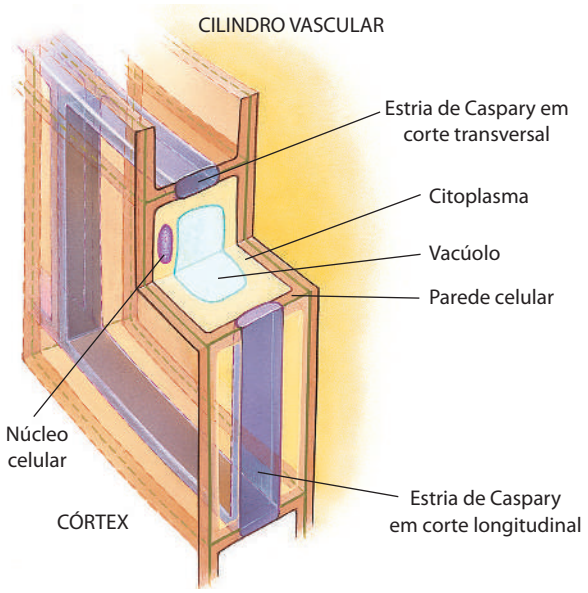
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Internamente ao córtex da raiz, a partir da zona de maturação, a região radicular mais interna, denominada **cilindro central**, ou **cilindro vascular**, é delimitada pela **endoderme** (do grego *endon*, dentro, e *derma*, pele). A parede das células endodérmicas apresenta uma faixa de suberina denominada **estria de Caspary**, ou **estria casparіana**. As células endodérmicas vizinhas mantêm um contato íntimo pela fusão de suas estrias casparianas, que vedam completamente os espaços entre elas. Assim, toda substância que se desloca pelos espaços intercelulares do córtex da raiz tem, obrigatoriamente, que penetrar no citoplasma das células endodérmicas para atingir o cilindro central. Isso possibita à planta controlar o fluxo de substâncias e a composição da seiva mineral. (Fig. 12.11)

O cilindro vascular, tanto nas raízes quanto nos caules, contém os tecidos condutores de seiva. O xilema localiza-se na região mais interna do cilindro central e o floema em posição mais externa. As camadas celulares externas do cilindro vascular, em contato com a endoderme, constituem o **periciclo** (do grego *peri*, ao redor, e *kyklos*, círculo). As células do periciclo podem se desdiferenciar em células meristemáticas e readquirir a capacidade de divisão. Os meristemas secundários originados do periciclo são responsáveis pela formação de raízes laterais. (Fig. 12.12)

Célula da endoderme da raiz

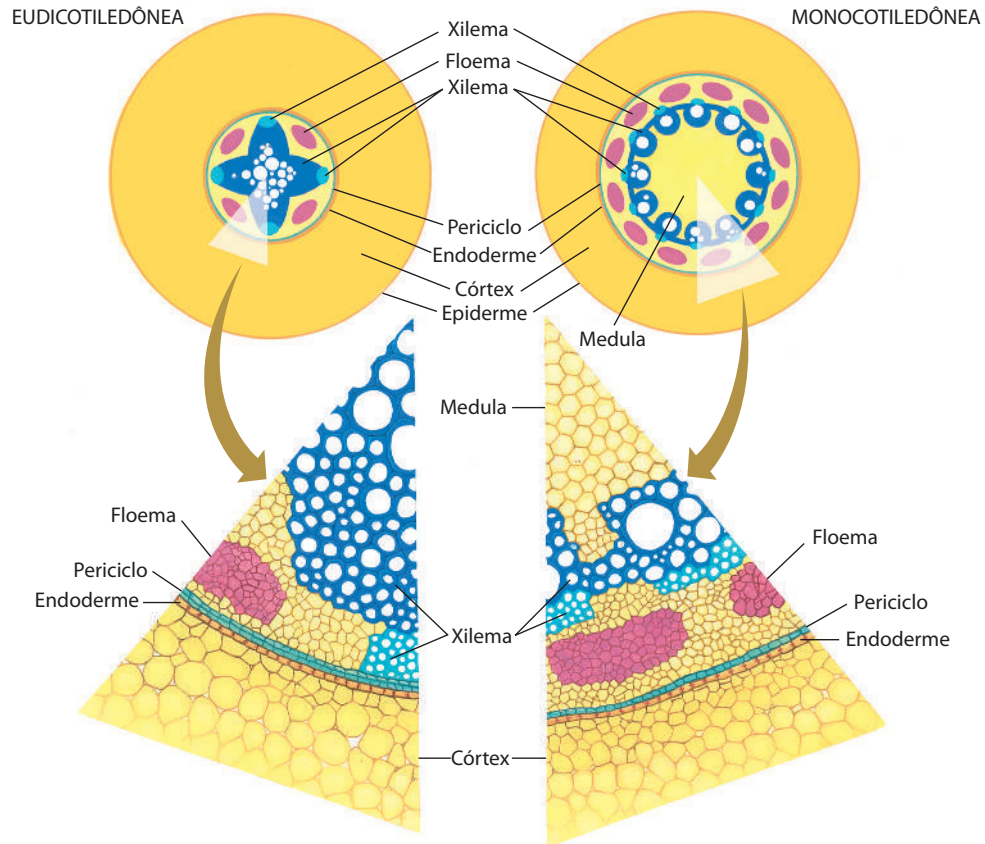


JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.11. Representação esquemática da localização da estria de Caspary nas paredes celulares em contato entre células endodérmicas vizinhas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Organização interna de raízes



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.12. Representação esquemática de cortes transversais mostrando a organização interna de dois tipos de raízes. À esquerda, raiz jovem de dicotiledônea, planta que apresenta dois cotilédones na semente. À direita, raiz de milho, uma monocotiledônea, planta que apresenta apenas um cotilédone na semente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

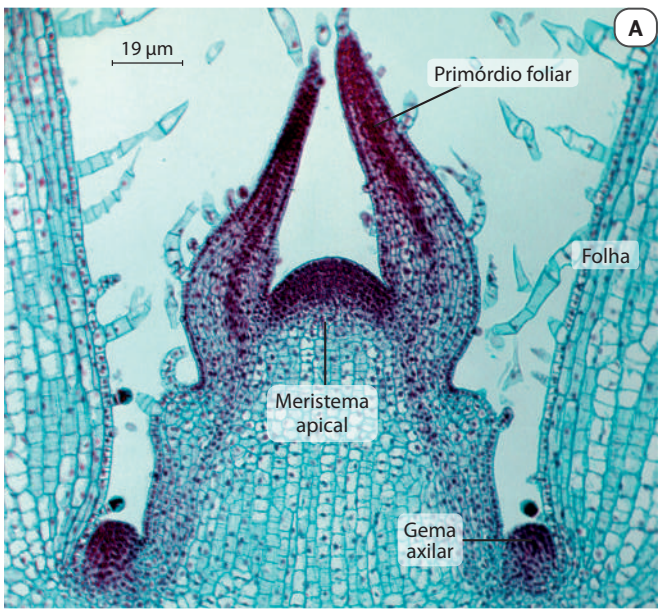
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O caule

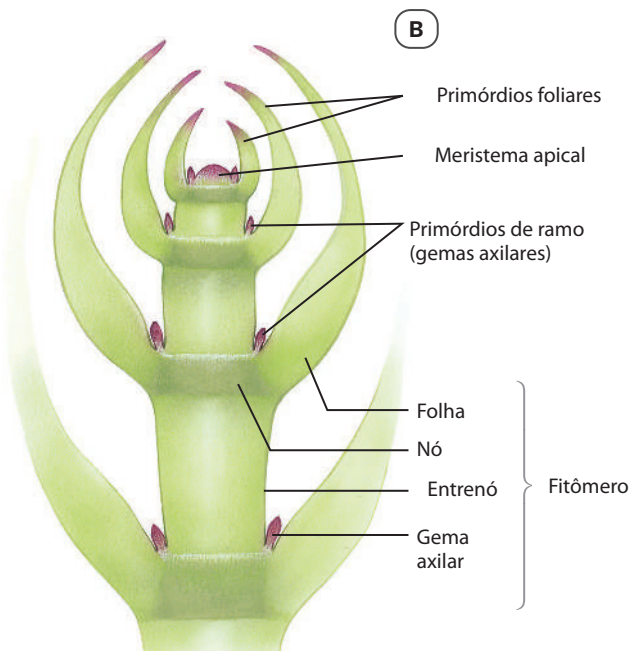
O caule é responsável pelo transporte de água e de substâncias orgânicas entre a raiz e a folha. A parte mais jovem do caule é o ápice, onde se localiza a **gema apical**, constituída pelo meristema apical responsável pelo crescimento em extensão da planta. À medida que o caule cresce, surgem, a espaços regulares, os **primórdios foliares**, onde há células meristemáticas que se multiplicam e originam folhas. Os locais do caule onde as folhas se inserem são denominados **nós**; o espaço entre dois nós vizinhos é o **entrenó**. No ponto de união entre um primórdio de folha e o eixo caulinar, há uma **gema axilar** (do grego *axilla*, axila), ou **gema lateral**, que contém células meristemáticas. As gemas axilares, após passar certo tempo em estado de dormência, podem se tornar ativas e produzir **ramos laterais**. (Fig. 12.13)

Os tecidos condutores em caules de monocotiledôneas e de dicotiledôneas jovens organizam-se em feixes liberolenhosos, nos quais há floema na parte voltada para o exterior e xilema na parte voltada para o interior da planta.

Estrutura da extremidade do caule



ED RESCHKE/GETTY IMAGES



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.13. (A) Fotomicrografia do ápice caulinar de *Coleus* sp. em corte longitudinal, tratado com corantes citológicos. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 55×). (B) Representação esquemática da organização geral de um caule. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

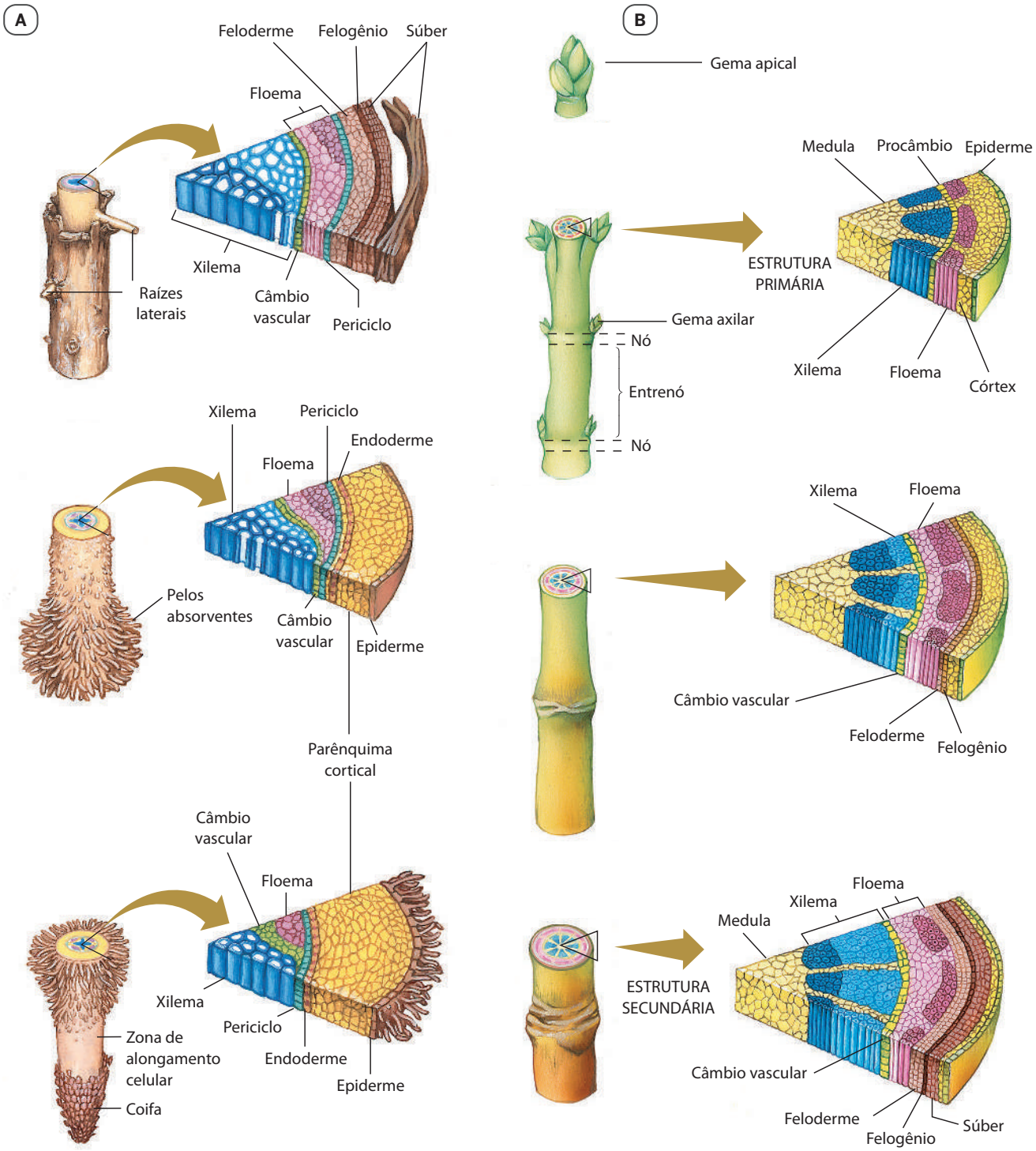
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Crescimento secundário de raízes e caules

Em plantas herbáceas, o crescimento em espessura praticamente termina com o amadurecimento dos tecidos. Fala-se, nesse caso, em **crescimento primário**. Raízes e caules com crescimento primário apresentam uma organização dos tecidos denominada **estrutura primária**. Por outro lado, gimnospermas e a maioria das angiospermas continuam a crescer em espessura à medida que se desenvolvem, de modo que seus caules e raízes podem atingir grandes diâmetros. Esse crescimento em espessura é chamado de **crescimento secundário**, e a organização típica dos tecidos nesse caso é denominada **estrutura secundária**.

O crescimento secundário de uma planta ocorre pela atividade de dois meristemas secundários: o **câmbio vascular**, assim denominado por originar elementos condutores de seiva, e o **câmbio da casca**, ou **felogênio**, que origina a periderme, mencionada anteriormente. As células do câmbio vascular se dispõem entre o floema e o xilema, originando células xilemáticas para o interior do caule e células floemáticas para o exterior. (Fig. 12.14)

Estruturas primária e secundária de raiz e de caule



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

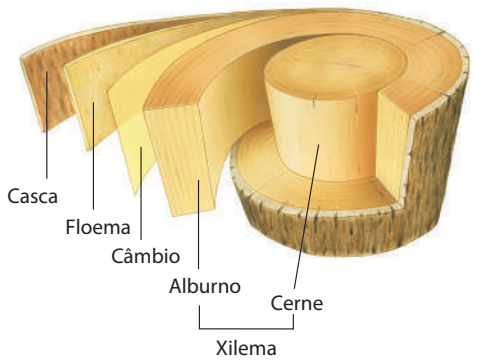
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.14. Representações esquemáticas de cortes tranversais de uma raiz (A) e de um caule. (B) Os cortes foram realizados em três alturas diferentes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O tronco das árvores é constituído principalmente por xilema, que apresenta uma região central mais escura, denominada **cerne**, circundada por uma região externa mais clara, o **alburno**. O cerne é formado por xilema em que os vasos tornaram-se inativos, enquanto o alburno é constituído por xilema com vasos lenhosos ativos no transporte da seiva mineral das raízes para as folhas. (Fig. 12.15)

Organização dos tecidos no tronco de uma árvore



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

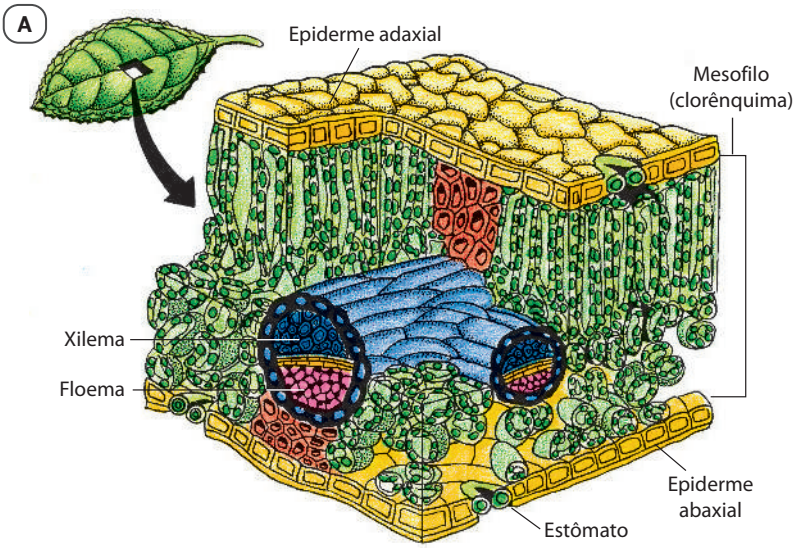
Figura 12.15. Representação esquemática da organização básica dos tecidos no tronco de uma árvore. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A folha

As **folhas** apresentam geralmente estrutura laminar, uma adaptação que possibilita maior captação da luz solar. A porção laminar expandida das folhas é denominada **limbo**, e o pedúnculo que une o limbo ao ramo caulinar é o **pecíolo**. A maioria das folhas é revestida por uma única camada de células epidérmicas, ou seja, a epiderme é uniestratificada, sendo constituída por células geralmente achatadas e justapostas que formam a superfície externa da folha. As células epidérmicas secretam, para o lado externo da folha, uma substância de natureza lipídica denominada **cutina**, que forma uma película impermeável, a **cutícula**. As trocas gasosas entre a folha e o ambiente são realizadas através dos **estômatos**, estruturas presentes principalmente na face inferior da folha e geralmente formadas por duas células arqueadas, entre as quais há um orifício regulável.

O interior da folha é preenchido por um parênquima clorofiliano denominado **mesofilo**. Os tecidos condutores situam-se nas **nervuras foliares**, formadas por feixes vasculares líberolenhosos associados a tecidos de sustentação. As nervuras das folhas são prolongamentos dos feixes líberolenhosos do caule e apresentam o xilema voltado para a face superior da folha e o floema voltado para a face inferior. (Fig. 12.16)

Estrutura da folha



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

JEROME WEXLER/VISUALS UNLIMITED/IMAGEPLUS

AGUS JATY/SHUTTERSTOCK

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.16. (A) Representação esquemática tridimensional de uma folha em corte mostrando sua estrutura interna. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) As fotografias mostram (B) folha de algodão (*Gossypium hirsutum*) com nervuras reticuladas, típicas de eudicotiledôneas, e (C) folha de aveia *(Avena sterilis)* com nervuras paralelas, típicas de monocotiledôneas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Fisiologia vegetal

A nutrição das plantas

A nutrição orgânica das plantas ocorre por meio da fotossíntese, processo em que substâncias orgânicas são produzidas a partir de gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e energia luminosa (relembre no capítulo 6). As substâncias orgânicas produzidas originalmente nas folhas por meio da fotossíntese constituem a **seiva orgânica**, ou **seiva floemática**, que é distribuída para as diversas partes da planta através do floema.

Além de gás carbônico e de água, o organismo vegetal necessita de diversos elementos químicos essenciais ao funcionamento de suas células. Elementos químicos que a planta necessita em quantidades relativamente grandes são chamados de **macronutrientes**, como hidrogênio, carbono, nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio. Elementos necessários em quantidades relativamente pequenas são denominados **micronutrientes**, como cloro, ferro, mangânes, sódio, zinco e cobre. Se faltar à planta algum elemento químico essencial, ela pode apresentar sintomas específicos da deficiência. A falta de magnésio, por exemplo, torna as folhas amareladas em decorrência da diminuição na produção de clorofila.

Os avanços no conhecimento da nutrição vegetal possibilitaram desenvolver técnicas de cultivo sem necessidade de solo. As raízes das plantas cultivadas são mergulhadas em soluções aquosas que contêm os nutrientes minerais necessários ao desenvolvimento em concentrações adequadas. Essa técnica de cultivo é dominada **hidroponia**. (Fig. 12.17)

JOA SOUZA/SHUTTERSTOCK

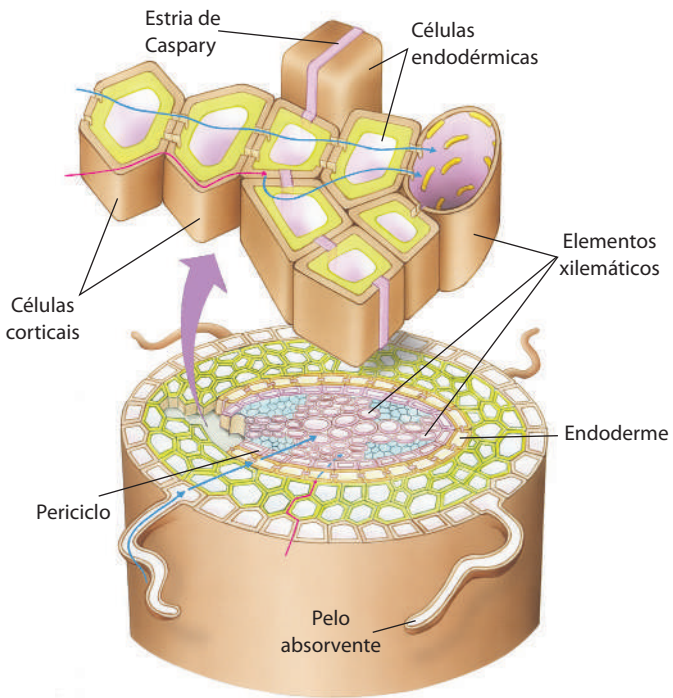
Figura 12.17. Cultivo hidropônico de vegetais. Salvador (BA), 2022.

Absorção e condução da seiva mineral

A água e os sais minerais penetram na planta pelas extremidades das raízes, principalmente através dos pelos absorventes (já apareceu destacado neste capítulo). A solução aquosa absorvida desloca-se pelo córtex, atravessa a endoderme e penetra no cilindro vascular. No cilindro central, a solução aquosa penetra no xilema e passa a constituir a **seiva mineral**, ou seiva xilemática. (Fig. 12.18)

Caminho da água absorvida até o cilindro central da raiz

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA



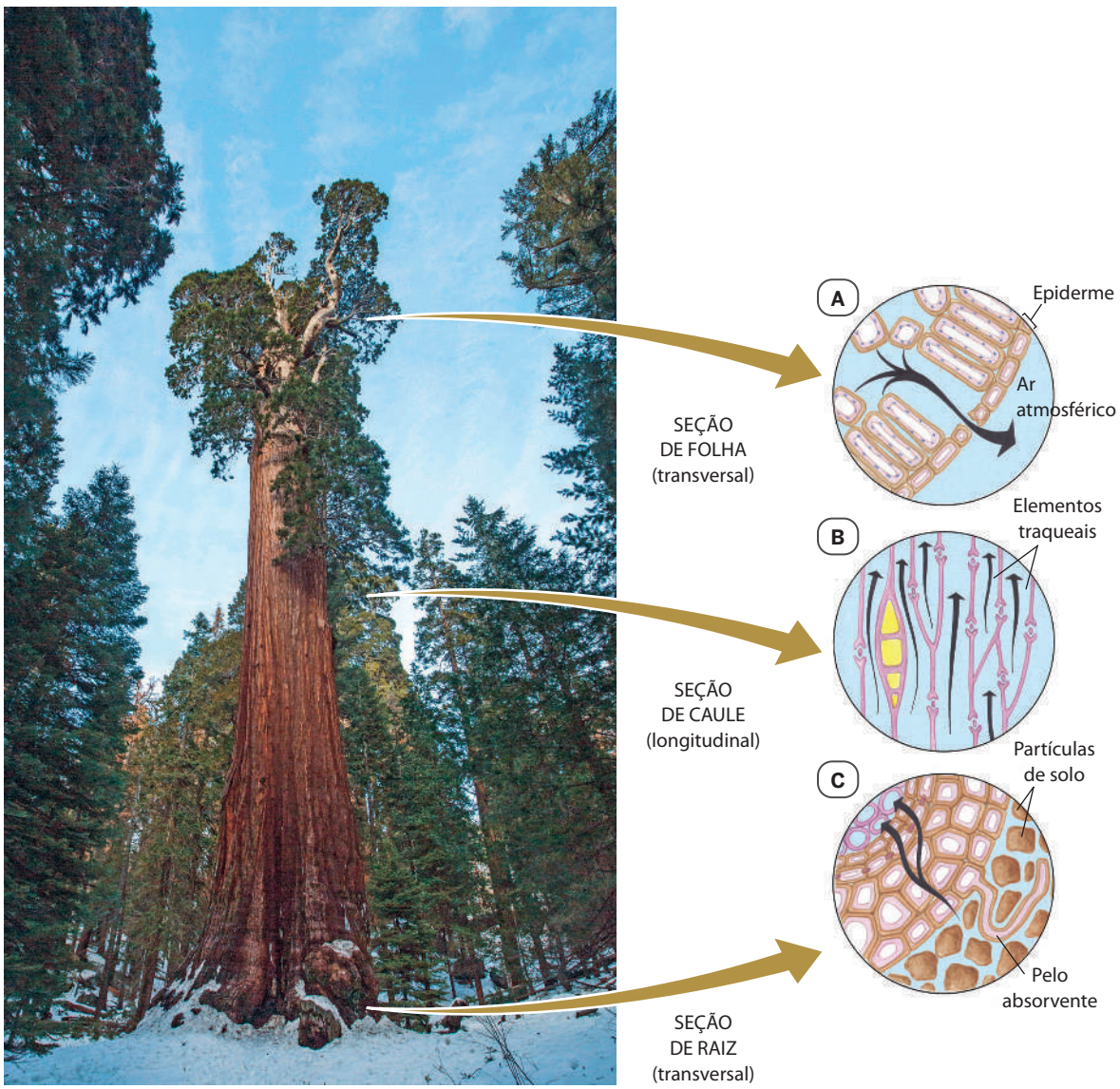
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10 ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.18. Representação esquemática do percurso que a água e os sais minerais realizam do solo até os vasos condutores do cilindro central de uma raiz. O deslocamento pelos espaços intercelulares, indicado em vermelho, é bloqueado pelas estrias de Caspary, e a solução tem obrigatoriamente de entrar no citoplasma celular. As linhas azuis indicam o deslocamento pelo citoplasma das células. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de 19 de fevereiro de 1998.

O deslocamento da seiva mineral pelo xilema é explicado pela **hipótese da coesão-tensão**, ou **hipótese de Dixon**. Segundo essa hipótese, a seiva mineral é arrastada, das raízes até as folhas, por forças geradas pela transpiração foliar. As células das folhas, ao perderem água, têm sua capacidade de absorção de água aumentada, passando a retirar água das células vizinhas, que por sua vez sugam seiva dos vasos xilemáticos. A tensão gerada pela transpiração, combinada à coesão entre as moléculas de água, permite que a coluna de seiva suba pelos elementos xilemáticos da raiz até as folhas. (Fig. 12.19)

Transpiração foliar e deslocamento de água na planta



CAVAN IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

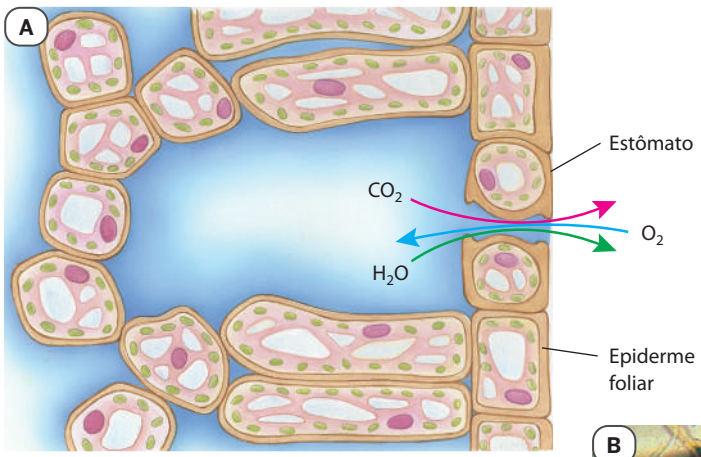
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Figura 12.19. (A) Ao perder água por transpiração, as folhas criam uma tensão osmótica que puxa a seiva nos vasos. (B) A tensão e a coesão entre as moléculas de água fazem a coluna de seiva subir, como uma corda sendo puxada. (C) A tensão da coluna chega até as raízes, levando à retirada de água de suas células e à absorção de água do solo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) A fotografia mostra uma sequoia da espécie *Sequoiadendron giganteum*, gimnosperma que pode atingir 100 m de altura. Estados Unidos, 2023.

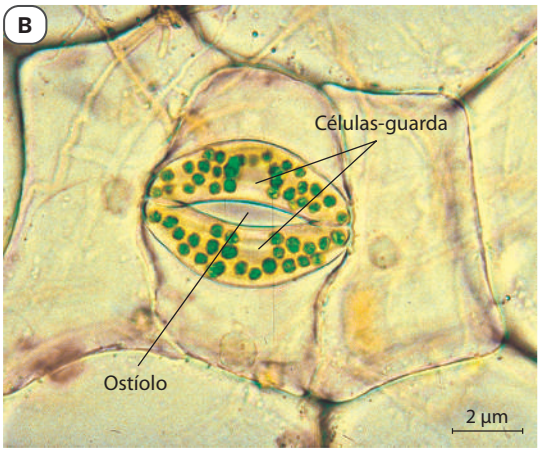
A perda de água nas folhas (transpiração foliar) ocorre principalmente através dos estômatos. Um estômato (do grego *stoma*, boca) é formado por duas células epidérmicas principais, ricas em cloroplastos, denominadas **células-guarda do estômato**. Essas células deixam entre si um orifício, o **ostíolo** (do latim *ostiolu*, pequena porta), que permite as trocas gasosas entre a planta e o ambiente. A abertura e o fechamento do estômato dependem do grau de inchamento, ou turgidez, das células-guarda. Se elas absorvem água e incham, o ostíolo se abre. Se as células-guarda perdem água e murcham, o ostíolo se fecha. (Fig. 12.20)

Estrutura do estômato foliar



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. *et al*. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.



ARQUIVO DO AUTOR

Figura 12.20. (A) Representação de um corte transversal de folha que mostra o intercâmbio de gases pelo estômato. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotomicrografia de estômato de *Tradescantia zebrina* em vista frontal (microscópio fotônico; aumento ≈1000×).

Os principais fatores envolvidos na abertura e no fechamento dos estômatos são a luminosidade, a concentração de gás carbônico (CO_2) e a disponibilidade de água no solo. (Quadro12.1)

Quadro 12.1 Fatores envolvidos na abertura e no fechamento dos estômatos

Condições ambientais		Comportamento do estômato
Intensidade luminosa	Alta	Abre
	Baixa	Fecha
Concentração de CO_2	Alta	Fecha
	Baixa	Abre
Suprimento de água	Alto	Abre
	Baixo	Fecha

Fonte: adaptada de TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Connecticut: Sinauer Associates, 2002.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Hormônios vegetais

O desenvolvimento das plantas é controlado por substâncias orgânicas denominadas **fitormônios** (do grego *horman*, estimular), ou **hormônios vegetais**. Essas substâncias são produzidas em determinadas regiões da planta e migram para os locais onde regulam o desenvolvimento em suas diversas manifestações, tais como o crescimento, a resposta a estímulos e a floração etc. Há cinco grupos principais de fitormônios: as auxinas, as giberelinas, as citocininas, o ácido abscísico e o etileno. (Quadro 12.2)

Quadro 12.2 Principais hormônios vegetais

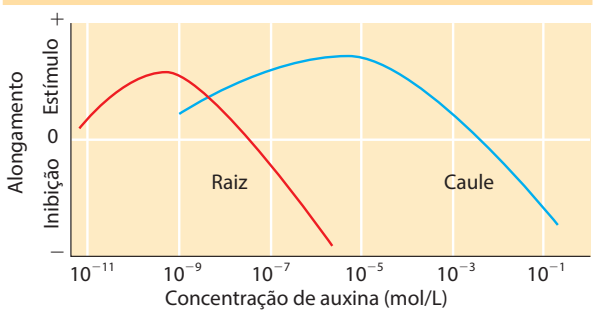
Hormônio	Principais funções	Local de produção	Transporte
Auxina	Estimula o alongamento celular; atua no fototropismo, no geotropismo, na dominância apical e no desenvolvimento dos frutos.	Meristema apical do caule, primórdios foliares, folhas jovens, frutos e sementes em desenvolvimento.	Células do floema e do parênquima associado.
Giberelina	Promove a germinação de sementes e o desenvolvimento de brotos; estimula o alongamento do caule e das folhas, a floração e o desenvolvimento de frutos.	Meristema apical do caule, frutos e sementes em desenvolvimento.	Provavelmente pelo xilema e pelo floema.
Citocinina	Estimula as divisões celulares e o desenvolvimento das gemas; participa da diferenciação dos tecidos e retarda o envelhecimento dos órgãos.	Ápice da raiz, principalmente.	Pelo xilema.
Ácido abscísico	Promove a dormência de gemas e de sementes; induz o envelhecimento de folhas, flores e frutos; induz o fechamento dos estômatos.	Folhas e sementes.	Pelo floema nas folhas e pelo xilema nas raízes.
Etileno	Estimula o amadurecimento de frutos; atua na queda natural das folhas e dos frutos.	Diversas partes da planta.	Difusão pelos espaços entre as células.

Fonte: adaptada de TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Connecticut: Sinauer Associates, 2002.

Auxinas

As **auxinas** causam o alongamento celular, promovendo o crescimento e as respostas da planta a diversos fatores ambientais. A sensibilidade das células às auxinas varia nas diferentes partes da planta. O caule, por exemplo, é menos sensível às auxinas que a raiz. Concentrações de auxina ótimas para o crescimento da raiz são insuficientes para induzir o crescimento do caule. Por sua vez, concentrações de auxina que induzem o crescimento do caule têm efeito inibidor sobre o crescimento da raiz. (Fig. 12.21)

Efeitos da auxina em raízes e caules



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.21. Gráfico que representa o efeito de diferentes concentrações de auxina sobre o crescimento de raízes e de caules.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

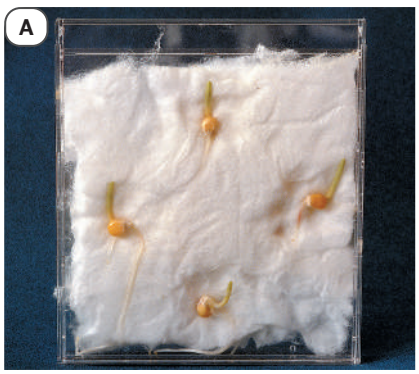
As auxinas atuam no crescimento do caule em direção a uma fonte luminosa, fenômeno denominado **fototropismo positivo**. Quando uma planta é iluminada mais intensamente de um lado, as auxinas migram para o lado oposto menos iluminado, fazendo as células desse lado alongarem-se mais, o que leva o caule a se curvar em direção à fonte luminosa. (Fig. 12.22)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As auxinas também são responsáveis pelo **gravitropismo**, ou **geotropismo**, que é o crescimento da planta influenciado pela força da gravidade. O crescimento em direção ao centro gravitacional da Terra é chamado de **geotropismo positivo**, e em sentido oposto, de **geotropismo negativo**.

Quando um caule fica em posição horizontal, as auxinas concentram-se no lado voltado para baixo. Consequentemente, as células desse lado se alongam mais que as do lado oposto, o que faz o caule apresentar **geotropismo negativo**, curvando-se para cima.

As raízes, ao contrário dos caules, apresentam **gravitropismo positivo**, crescendo no mesmo sentido da força da gravidade. Quando estão em posição horizontal em relação ao solo, as auxinas concentram-se no lado da raiz voltado para o centro gravitacional da Terra, com inibição do alongamento das células desse lado. Assim, as células do lado oposto ao voltado para o solo se alongam mais e a raiz se curva para baixo. (Fig. 12.23)



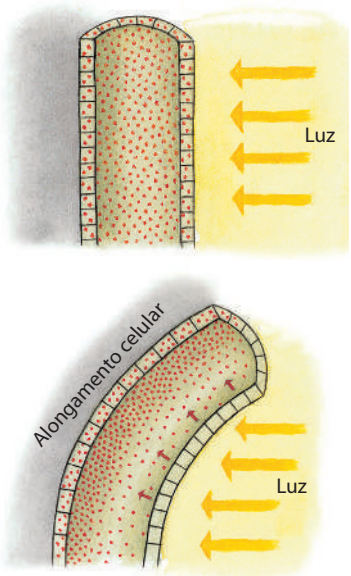
FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

ARQUIVO DO AUTOR

ARQUIVO DO AUTOR

Figura 12.23. (A) Experimento que mostra o gravitropismo negativo do caule e o gravitropismo positivo da raiz em plantas recém-germinadas de milho (*Zea mays*). O caule sempre cresce para cima, e a raiz sempre para baixo, o que é causado do pela diferente sensibilidade desses órgãos aos hormônios, principalmente à auxina. (B) Plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) fotografadas quando os vasos foram colocados em posição horizontal. (C) As mesmas plantas um dia depois. Ocorreu dobramento do caule no sentido oposto ao da gravidade.

Auxinas e fototropismo do caule



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.22. (A) Representação esquemática de um caule em corte iluminado lateralmente. (B) O deslocamento de auxinas para o lado não iluminado faz com que este apresente maior alongamento celular, levando a planta a se curvar em direção à fonte luminosa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Esse comportamento diferenciado nos caules e nas raízes permite orientar o crescimento das raízes para baixo, buscando o solo, e o crescimento de caules e folhas para cima, de modo que aproveitem a luz solar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Observando o geotropismo do caule e da raiz

Esta atividade permite observar as reações de caules e raízes à gravidade terrestre, comportamento conhecido como gravitropismo, ou geotropismo.

Material

- algodão
- 2 caixas de plástico transparente retangulares (como as antigas caixas de CDs)
- grãos de milho
- água
- papel-alumínio
- termômetro ambiental (opcional)

Procedimento

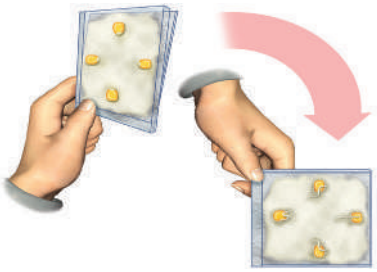
1. Umedeça bem o algodão e distribua-o entre as duas caixas de plástico. Em cada caixa, coloque quatro grãos de milho sobre o algodão, com as pontas dos grãos voltadas para o centro da caixa (veja a ilustração). A quantidade de algodão deve ser suficiente para que as sementes permaneçam

CONTINUA

fixas quando a caixa for fechada e apoiada sobre um dos lados. Feche as caixas e embrulhe-as em papel-alumínio para evitar a interferência da luz sobre o crescimento das raízes. Ponha as caixas sobre um dos lados e marque-o em cada caixa, por exemplo, "↓ Este lado para baixo". A ideia é orientar as sementes que germinam em quatro posições diferentes em cada caixa.

2. Mantenha as caixas nessa posição por quatro dias, quando as raízes devem ter atingido cerca de 3 cm de comprimento, e os caules, cerca de 1 cm. Desembrulhe e observe uma das caixas. Confira as medidas da raiz e do caule, anotando a temperatura local, pois esta pode afetar o desenvolvimento.
3. Depois de observar e desenhar (ou fotografar) a primeira caixa, embrulhe-a novamente e coloque-a de pé, girando-a noventa graus. Mantenha a outra caixa na posição original. Depois de dois dias, desembrulhe as caixas e compare os resultados.

Representação do procedimento



Representação da caixa em pé e depois de girar 90°.

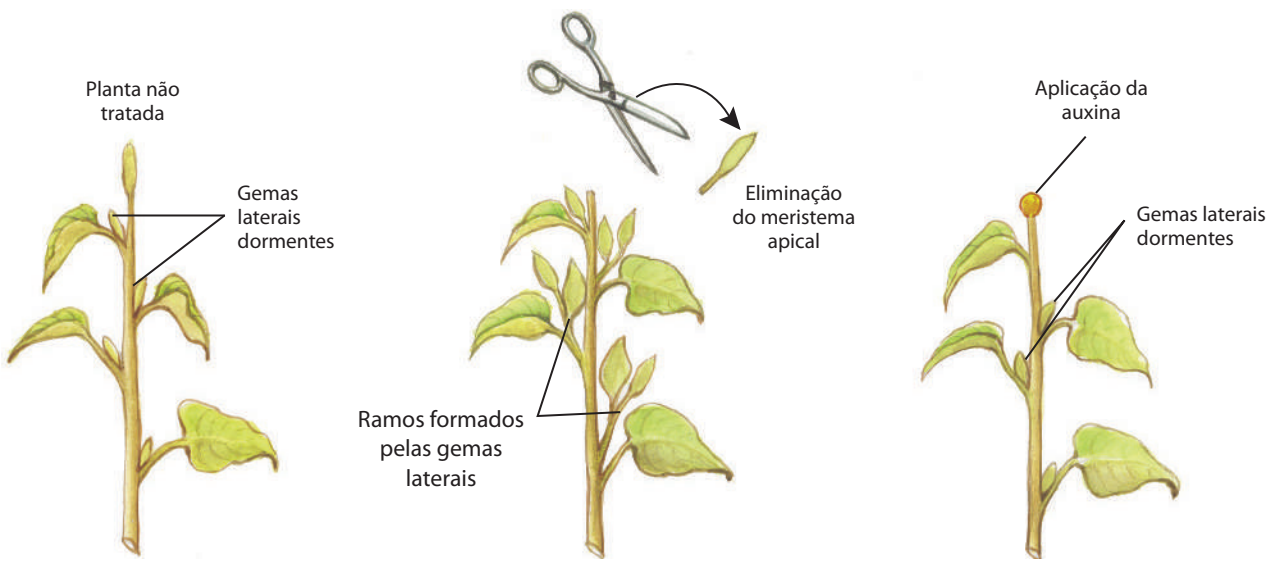
PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

Responda no caderno: Qual seria a explicação adaptativa para esses comportamentos de caules e raízes?

Dominância apical e outros efeitos das auxinas

As auxinas produzidas na gema apical do caule exercem forte inibição sobre as gemas laterais, fazendo com que elas permaneçam em estado de dormência, fenômeno conhecido como **dominância apical**. À medida que o caule cresce, a gema apical se distancia das gemas laterais mais antigas, diminuindo sua influência inibidora. Com isso, as gemas laterais entram em atividade e produzem ramos. Uma técnica utilizada em jardinagem para estimular a formação de ramos laterais é a **poda**, que consiste na eliminação dos ápices caulinares. (Fig. 12.24)

O fenômeno da dominância apical



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 12.24. Representação esquemática que mostra o efeito inibidor da auxina sobre o desenvolvimento das gemas laterais. Ao eliminar o meristema apical e aplicar auxina na região cortada, o desenvolvimento das gemas laterais não ocorre, o que demonstra que esse hormônio é responsável pela inibição. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As auxinas liberadas pelas sementes em desenvolvimento também atuam sobre a parede dos ovários, levando ao desenvolvimento dos **frutos**. Na maioria das espécies vegetais, se a fecundação não ocorrer, as sementes não se formam e o fruto não se desenvolve. A aplicação de auxinas sobre o ovário de certas plantas estimula o desenvolvimento do fruto sem que haja fecundação. Essa técnica é utilizada na produção de frutos sem sementes (partenocárpicos), de maior valor comercial.

Giberelinas

As **giberelinas** são produzidas nos meristemas apicais do caule, nas sementes em desenvolvimento e nos frutos. Um dos principais efeitos das giberelinas é estimular as divisões celulares e o alongamento das células, promovendo o crescimento de caule e folhas. Algumas variedades de plantas anãs não apresentam giberelinas em quantidade suficiente para promover o crescimento normal.

As giberelinas, assim como as auxinas, podem estimular a formação de frutos partenocárpicos. Por exemplo, tangerinas e uvas sem sementes são obtidas pela aplicação de giberelina nas flores.

Citocininas

As **citocininas** são fitormônios que atuam em associação com as auxinas, estimulando a divisão celular. As citocininas atuam na dominância apical com efeitos antagônicos aos das auxinas. Enquanto estas últimas inibem o desenvolvimento das gemas laterais, citocininas provenientes das raízes estimulam as gemas a se desenvolver. Quando a gema apical se distancia das gemas laterais ou o ápice é removido, a ação das auxinas diminui e a das citocininas se sobressai, induzindo o desenvolvimento das gemas laterais. Outro efeito das citocininas é retardar o envelhecimento dos tecidos vegetais. Plantas colhidas mantêm-se vivas e viçosas por mais tempo quando se adiciona citocinina à água dos vasos, ou quando se pulveriza as flores com esse fitormônio.

Ácido abscísico e etileno

O **ácido abscísico** (ABA) é responsável pela interrupção do crescimento das plantas no inverno em regiões de clima temperado, atuando também quando a planta é submetida a situações adversas como falta de água, por exemplo. Outro efeito do ácido abscísico é causar a dormência de sementes, impedindo sua germinação prematura. Em plantas de regiões áridas, as sementes só germinam depois de serem intensamente lavadas pela água da chuva, que remove o excesso de ácido abscísico nelas presente.

O **etileno** (C_2H_4) é uma substância gasosa produzida em diversas partes da planta e seu principal efeito é induzir o amadurecimento dos frutos, sendo muito utilizado comercialmente. O etileno também promove a abscisão das folhas no outono, em certas plantas de regiões de clima frio.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

O amadurecimento dos frutos

O gás etileno, produzido naturalmente pelas plantas, influencia o amadurecimento dos frutos. Quando confinados a ambiente ricos em etileno, os frutos tendem a amadurecer mais rapidamente.

Forme um grupo de colegas para entrevistar produtores e comerciantes de frutas, em feiras e mercados, e descobrir o que eles sabem sobre maneiras rápidas de promover o amadurecimento de frutas verdes, como bananas, por exemplo. O grupo pode anotar ou gravar as entrevistas, se os entrevistados concordarem.

Reparta com os membros do grupo as tarefas de pesquisar na internet sobre o amadurecimento de frutos.

O grupo pode realizar a experiência de embrulhar, em jornal ou papel grosso, frutas verdes de um mesmo lote (por exemplo, bananas de uma mesma penca ou frutos como laranjas e caquis), comparando seu amadurecimento com o de frutas desembrulhadas, que constituem o grupo de controle. Será que essa prática funciona? Em caso afirmativo, por que ocorreria amadurecimento mais rápido dos frutos embrulhados?

Ao final dessas atividades, o grupo pode elaborar um texto objetivo, que resuma os aspectos mais interessantes levantados nas pesquisas sobre o amadurecimento dos frutos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.c A sequência de componentes de uma flor de angiosperma, da periferia para o centro, é
a. corola, gineceu, cálice e androceu.
b. cálice, gineceu, androceu e corola.
c. cálice, corola, androceu e gineceu.
d. androceu, gineceu, cálice e corola.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses nas frases de **2** a **5**.
a. cotilédone
b. endosperma
c. fruto
d. saco embrionário

2. 2.b (■) é um tecido de reserva constituído por células triploides (3*n*) presente nas sementes das angiospermas.

3. 3.d (■) é a estrutura que resulta do desenvolvimento do megásporo das angiospermas, correspondente ao gametófito feminino.

4. 4.a Há uma folha especializada no embrião de plantas angiospermas – o/a – que armazena e/ou transfere para ele reservas alimentares contidas na semente.

5. 5.c Uma estrutura que se origina do desenvolvimento do ovário, após a fecundação dos óvulos, é o/a (■).

6. 6.d A fecundação nas plantas angiospermas ocorre
a. na antera.
b. no estigma.
c. no estilete.
d. no ovário.

7. 7.d Caules e raízes que apresentam estrutura secundária são revestidos por
a. colênquima.
b. epiderme.
c. felogênio.
d. periderme.

Escreva em seu caderno o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses nas frases de **8** a **11**.
a. macronutriente
b. micronutriente
c. seiva mineral
d. seiva orgânica

8. 8.a O(A) (■) é qualquer elemento químico de que a planta necessita em quantidades relativamente grandes.

9. 9.d A solução transportada pelo floema constitui o(a) (■).

10. 10.b Um elemento químico de que a planta necessita em quantidades relativamente pequenas é um(a) (■).

11. 11.c Uma solução transportada pelo xilema constitui o(a) (■).

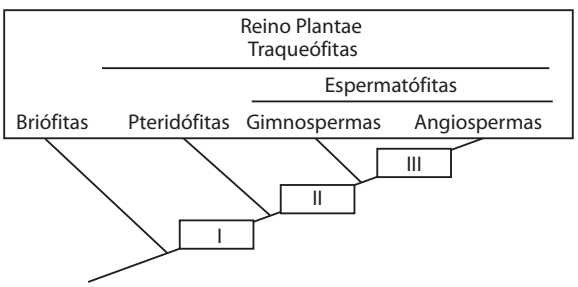
12. 12.a Os estômatos abrem-se, permitindo a livre passagem de gases e de vapor-d'água, quando as células estomáticas
a. absorvem água e ficam túrgidas.
b. absorvem água e ficam flácidas.
c. perdem água e ficam túrgidas.
d. perdem água e ficam flácidas.

Questões de vestibulares e do Enem

13. 13.e **(Enem-MEC)** Caso os cientistas descobrissem alguma substância que impedisse a reprodução de todos os insetos, certamente nos livraríamos de várias doenças em que esses animais são vetores. Em compensação teríamos grandes problemas como a diminuição drástica de plantas que dependem dos insetos para polinização, que é o caso das
a. algas.
b. briófitas como os musgos.
c. pteridófitas como as samambaias.
d. gimnospermas como os pinheiros.
e. angiospermas como as árvores frutíferas.

14. 14.c **(Unifor-CE)** No desenvolvimento posterior à fecundação das angiospermas, o zigoto, o óvulo e o ovário originam, respectivamente,
a. fruto, semente e embrião.
b. embrião, fruto e semente.
c. embrião, semente e fruto.
d. semente, fruto e embrião.
e. semente, embrião e fruto.

15. **(Unicamp-SP)** O esquema abaixo representa o mais recente sistema de classificação do reino Plantae.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

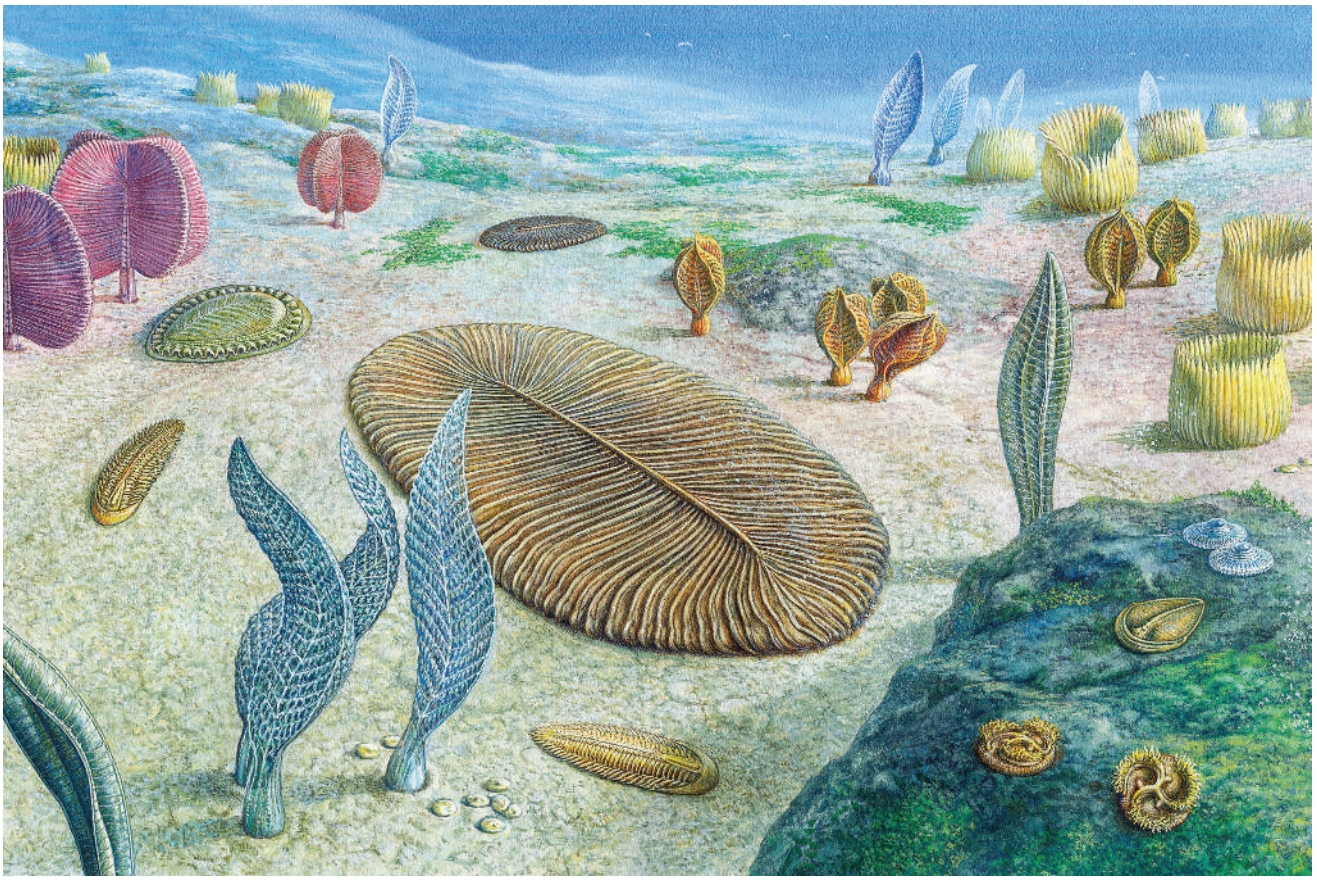
a. Os algarismos romanos representam a aquisição de estruturas que permitiram a evolução das plantas. Quais são as estruturas representadas por I, II e III? Qual a função da estrutura representada em I?
b. A dupla fecundação é característica das angiospermas. Em que consiste e quais os produtos formados com a dupla fecundação?

16. **(UFSC)** Sobre flores, responda:
a. As flores coloridas das angiospermas são interpretadas como uma aquisição evolutiva que aumenta a eficiência da reprodução sexuada. De que modo isso ocorre?
b. Que fator ambiental contribui para a reprodução sexuada de flores não coloridas, como as do capim?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 13

Tendências evolutivas nos animais



JOHN SIBBICK/SPL/FOTOARENA

Reconstrução artística de seres vivos que teriam vivido nos mares da Terra há mais de 600 milhões de anos, no período Ediacarano. Ediacara é o nome de uma região da Austrália onde foram descobertos os mais antigos fósseis de animais, daí o nome dado a esse período geológico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Por volta de 600 milhões de anos atrás, a vida na Terra se recuperava de uma severa era glacial ocorrida entre 850 e 630 milhões de anos atrás. Com o degelo dos oceanos, as condições tornaram-se novamente favoráveis e a vida animal passou por grande diversificação. Em um período relativamente curto para os padrões do tempo geológico, surgiram praticamente todos os grupos animais existentes atualmente. Essa enorme diversificação da vida na Terra levou os cientistas a denominar o fenômeno como "**explosão cambriana**".

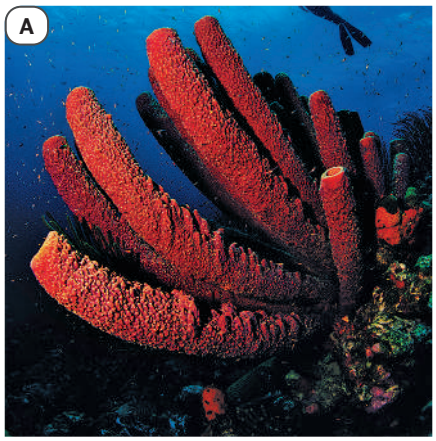
Este capítulo apresenta um pouco da diversidade animal, buscando entender como teriam surgido as principais estratégias evolutivas apresentadas pelos grandes filos animais atuais. À medida que os cientistas passaram a acumular e a integrar novos conhecimentos ao estudo da árvore filogenética animal, as relações evolutivas entre os filos tornaram-se mais evidentes. Entretanto, ainda há muitas lacunas a serem preenchidas nesse campo do conhecimento, uma vez que esses eventos evolutivos ocorreram há centenas de milhões de anos e deixaram poucas evidências fósseis.

Estudar a diversidade animal é conhecer melhor nossos parceiros de reino. Nossas origens remontam aos mares do período Ediacarano, quando a estratégia animal de vida estava começando a ser testada.

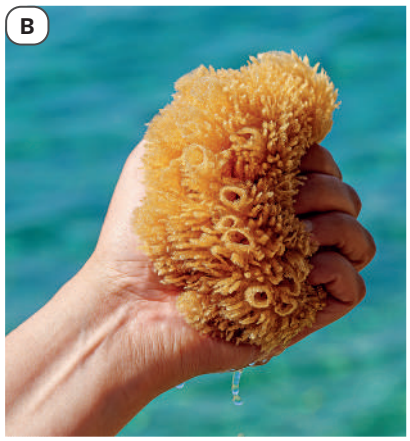
1. Os principais grupos animais

Mais de 1 milhão de espécies animais já foram catalogadas até agora e classificadas em cerca de 35 filos, com base em semelhanças morfológicas, fisiológicas e genéticas. Este capítulo aborda apenas nove desses filos, apresentados a seguir, que reúnem as espécies de animais mais conhecidas.

O filo **Porifera** reúne os **poríferos**, ou **espongiários**, animais aquáticos, em sua maioria marinhos, que vivem presos e a rochas e a objetos submersos. Os poríferos apresentam organização corporal simples, não possuindo tecidos diferenciados e nenhum tipo de órgão. Antes do advento dos materiais sintéticos, o esqueleto proteico de certas espécies de poríferos foi muito utilizado como esponja de banho. Ainda hoje é possível encontrar esponjas naturais à venda no comércio. (Fig. 13.1)



LUIZ FERNANDO CASSINO/TYBA



REPINA VALERIYA/SHUTTERSTOCK

Figura 13.1. Representantes do filo Porifera. (A) Esponja da espécie *Aplysina archeri*, que pode chegar a 1,5 m de altura. (B) Esqueleto de esponja constituído por fibras de espongina e utilizado como esponja de banho.

O filo **Cnidaria** reúne os **cnidários**, ou **celenterados**, animais aquáticos cujos representantes mais conhecidos são as águas-vivas, os corais, as caravelas e as anêmonas-do-mar. A maioria dos cnidários é marinha. Certas espécies vivem fixadas a objetos submersos, como os corais e as anêmonas-do-mar, enquanto outras espécies são flutuantes, como as caravelas, ou livres-natantes, como as águas-vivas. (Fig. 13.2)

SHPATAK/SHUTTERSTOCK

Figura 13.2. Medusa do gênero *Polyorchis*, representante do filo Cnidaria. Algumas espécies desse gênero chegam a apresentar mais de 100 tentáculos e ultrapassar 50 cm de diâmetro.

O filo **Platyhelminthes** reúne os **platelmintos**, animais com corpo achatado dorsoventralmente e que vivem em água doce ou salgada, em ambientes de terra firme úmidos ou no interior de outros animais como parasitas. As espécies de vida livre, aquáticas ou de terra firme são conhecidas popularmente como planárias. Entre os platelmintos parasitas, os mais conhecidos são as tênias e os esquistossomos. (Fig. 13.3)

O filo **Nematoda** reúne os **nematódeos**, animais de corpo cilíndrico e afilado nas extremidades. Os nematódeos vivem em todos os tipos de ambientes, como água doce ou salgada, terra úmida ou no interior do corpo de animais e plantas, como parasitas. Nematódeos parasitas bem conhecidos são as lombrigas, causadoras da ascaridíase; os ancilóstomos, causadores do amarelão; e as filárias, causadoras da elefantíase. (Fig. 13.4)

GREGORY G. DIMIJIAN, M.D./SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 13.3. A planária *Bipalium* sp. é um representante do filo Platyhelminthes. Esse exemplar tem 7 cm de comprimento.

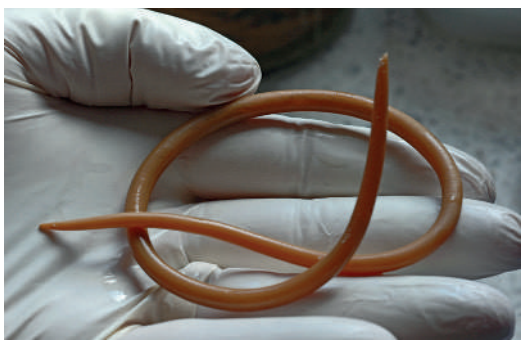

CLOUDS HILL IMAGING LTD/SPL/ FOTOARENA

Figura 13.4. O nematódeo *Ascaris lumbricoides*, conhecido como lombriga, chega a medir 40 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O filo **Mollusca** reúne os **moluscos**, animais de corpo macio, geralmente revestido por uma concha calcária rígida, que pode ou não envolver completamente o corpo do animal. Os moluscos vivem em água doce ou salgada e em ambientes úmidos de terra firme. Representantes desse grupo são os caramujos, os mexilhões, as lesmas, os polvos e as lulas. (Fig. 13.5)

O filo **Annelida** reúne os **anelídeos**, animais de corpo cilíndrico dividido em segmentos transversais. Os anelídeos vivem em água doce ou salgada e em solos úmidos. Exemplos de anelídeos são as minhocas, as sanguessugas e os poliquetos. (Fig. 13.6)

DAVEALAN/GETTY IMAGES

Figura 13.5. Caramujo da espécie *Monadenia fidelis*, molusco que pode atingir 3,6 cm de comprimento.

FLPA/ALAMY/FOTOARENA

Figura 13.6. Minhoca da espécie *Lumbricus terrestris*, anelídeo com aproximadamente 25 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O filo **Arthropoda** reúne os **artrópodes**, animais cujo corpo é revestido por um esqueleto externo constituído basicamente pela proteína quitina. Os artrópodes são geralmente divididos em três subfilos: crustáceos, quelicerados e unirrâmios (ou unirremes). Exemplos de **crustáceos** são os camarões, as lagostas, os caranguejos e os tatuzinhos-de-quintal. Exemplos de **quelicerados** são as aranhas, os escorpiões, os carrapatos e os ácaros. Exemplos de **unirrâmios** são os insetos, os piolhos-de-cobra e as centopeias. (Fig. 13.7)

O filo **Echinodermata** reúne os **equinodermos**, animais exclusivamente marinhos e considerados pelos cientistas os mais aparentados aos cordados. Os equinodermos mais conhecidos são as estrelas-do-mar, os ouriços-do-mar, as bolachas-da-praia e os pepinos-do-mar (holotúrias). (Fig. 13.8)

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 13.7. A maria-farinha (*Ocypode* sp.) é um crustáceo cuja carapaça pode chegar a 4 cm de largura.

NORBERT WU/MINDEN PICTURES/FOTOARENA

Figura 13.8. A estrela-do-mar (*Orthasterias koehleri*) pertence à classe Asteroidea. Junto a ela, braço de uma estrela-do-mar regenerando um novo indivíduo. Esse animal adulto mede cerca de 50 cm de diâmetro.

O filo **Chordata** reúne os **cordados**, representados por alguns invertebrados aquáticos, como as ascídias e os anfioxos, e pelos vertebrados, grupo ao qual pertencemos. Os principais grupos de vertebrados são os peixes, os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos. (Fig. 13.9)

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 13.9. A anta da espécie *Tapirus terrestris* é um mamífero terrestre que pode chegar a 2,40 m de comprimento.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Pesquisando sobre animais

Forme um grupo de colegas para pesquisar sobre cada um dos nove filos de animais estudados no livro, acrescentando observações pessoais de cada membro do grupo sobre esses animais. Por exemplo, se alguém já viu ou teve contato com uma água-viva, ou leu uma notícia sobre a proliferação desses animais em uma praia, isso conta, assim como conhecer alguém que foi afetado por uma verminose, por exemplo. O grupo pode confeccionar uma tabela como a mostrada a seguir, em que são listados os nove filos de animais estudados, as características principais de cada um deles e se algum colega do grupo já observou de perto ou já interagiu com algum dos representantes de cada filo citado.

Filo animal	Características principais	Experiências pessoais de colegas do grupo com um ou mais representantes do filo animal citado
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

MODELO

A diversificação dos animais

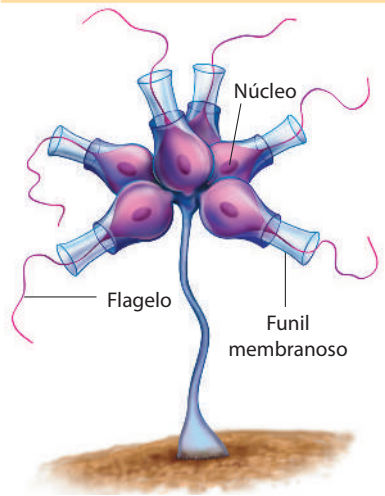
Qual teria sido o ancestral dos animais? A hipótese mais aceita atualmente é que os animais descendem de protozoários coanoflagelados, organismos unicelulares dotados de uma expansão membranosa que lembra um coador em torno da base do flagelo. Uma possível evidência disso seria o fato de as esponjas, os animais mais simples da escala zoológica, apresentarem células coanoflageladas, denominadas **coanócitos**, revestindo suas cavidades corporais. (Fig. 13.10)

Animais diblásticos e animais triblásticos

Os ancestrais dos animais teriam progressivamente se diversificado em diferentes linhagens, que originaram os diferentes filos. Imagina-se que, em uma linhagem ancestral, as células tornaram-se mais especializadas e se organizaram em grupos funcionais, os **tecidos**. Uma linhagem sem essas especializações teria originado os poríferos, únicos animais que não apresentam tecidos corporais, enquanto a linhagem com tecidos diferenciados teria originado os outros grupos animais.

Os tecidos animais começam a se diferenciar no decorrer do desenvolvimento embrionário, originando em uma primeira etapa os **folhetos germinativos**, a partir dos quais se diferenciam todos os demais tecidos do corpo do animal. Com base no número de folhetos germinativos presentes no embrião, os animais podem ser divididos em dois grupos: **diblásticos**, cujos embriões apresentam dois folhetos germinativos, o **ectoderma** e o **endoderma**; e **triblásticos**, cujos embriões apresentam um terceiro folheto germinativo, o **mesoderma**. Dos nove filos de animais estudados neste livro, os cnidários são os únicos diploblásticos, os demais filos são constituídos por animais triploblásticos.

Protozoário colonial coanoflagelado



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.10. Representação esquemática do coanoflagelado colonial do gênero *Codosiga*, que mede cerca de 5 µm de comprimento. Seres similares a esse podem ter sido os ancestrais dos animais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Simetria corporal

O conceito de **simetria corporal** refere-se ao número de planos longitudinais imaginários em que se pode dividir o corpo de um animal, obtendo metades simétricas ou semelhantes. Dentre os nove filos de animais estudados, apenas os cnidários e algumas espécies de poríferos apresentam **simetria radial**, em que o corpo pode ser dividido imaginariamente por infinitos planos longitudinais que resultam em metades simétricas.

Na maioria dos filos animais, o corpo pode ser dividido por apenas um plano que resulta duas metades simétricas, a esquerda e a direita. Esse tipo de simetria é denominada **simetria bilateral**. No filo dos equinodermos (estrelas-do-mar e ouriços-do-mar), os animais adultos apresentam simetria radial, enquanto as larvas apresentam simetria bilateral. A simetria radial dos adultos de equinodermos é interpretada como resultado da adaptação desses animais a um modo de vida séssil ou com movimentação reduzida. (Fig. 13.11)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

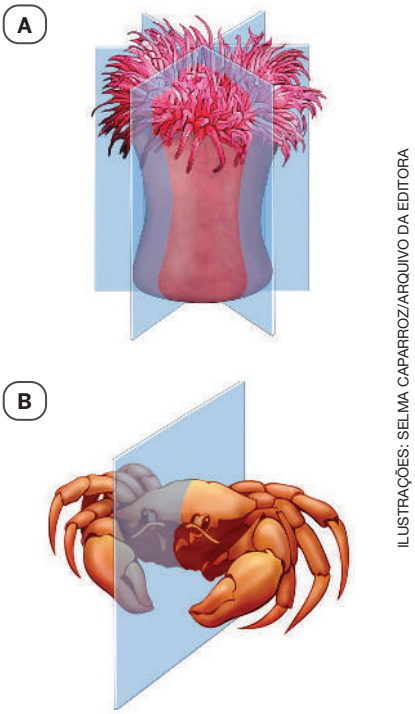
Registre as respostas em seu caderno.

Noções de simetria

O objetivo da atividade é exercitar noções referentes à simetria. Escolha uma laranja com o formato mais regular possível. Quantos planos de corte se pode fazer dividindo a laranja longitudinalmente em metades simétricas? Se a laranja fosse cortada transversalmente, as metades resultantes seriam simétricas? Com base nessas questões, o que se poderia dizer quanto ao tipo de simetria apresentada pela laranja?

Analise a simetria de um ouriço-do-mar adulto. Se possível, observe um animal vivo ou um esqueleto de ouriço-do-mar, que pode ser encontrado em praias ou eventualmente no comércio. Analise também a simetria de uma pessoa, desenhando esses organismos esquematicamente em seu caderno e dividindo-os por planos imaginários de simetria. Que tipos de simetria apresentam um ouriço-do-mar e uma pessoa? Elabore um texto ilustrado com suas respostas.

Simetrias bilateral e radial



ILUSTRAÇÕES: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.11. (A) Cnidários apresentam simetria radial, com muitos planos longitudinais, dividindo o corpo do animal em metades simétricas. (B) Crustáceos apresentam simetria bilateral, em que um único plano divide o corpo em duas metades simétricas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Animais protostômios e animais deuterostômios

O filo Cnidaria é o grupo de animais mais antigo na escala evolutiva a apresentar **sistema digestivo**, cuja função é processar e absorver nutrientes. O sistema digestivo dos cnidários consiste em uma bolsa dotada de uma só abertura, a **boca**, por onde o alimento entra e por onde saem os resíduos da digestão. Originalmente denominados **incompletos**, esses sistemas digestivos com uma única abertura (a boca), são hoje classificados como **de fluxo bidirecional**, pela alternância de entrada e saída de substâncias por essa mesma abertura.

Com exceção de poríferos e de cnidários, todos os outros animais apresentam sistema digestivo com duas aberturas, a boca, por onde o alimento entra, e o **ânus**, por onde saem os resíduos da digestão. Esse tipo de sistema digestivo é atualmente denominado **sistema digestivo com fluxo unidirecional**, pois o fluxo através dele ocorre em uma única direção, da boca para o ânus. Esse tipo de sistema digestivo foi originalmente denominado **sistema digestivo completo**.

O sistema digestivo surge a partir do arquêntero, uma cavidade embrionária presente na fase de gástrula e que se comunica com o meio externo por uma abertura denominada **blastóporo** (relembre no capítulo 7). Quanto ao destino do blastóporo, os animais podem ser divididos em dois grupos, um em que o blastóporo origina a boca e outro em que o blastóporo origina o ânus. Animais do primeiro grupo são denominados **protostômios** (do grego *protos*, primeiro, e *stoma*, boca), e os do segundo, **deuterostômios** (do grego *deuteros*, segundo). Entre os grupos animais estudados no capítulo são protostômios os nematódeos, os moluscos, os anelídeos e os artrópodes, e são deuterostômios os equinodermos e os cordados.

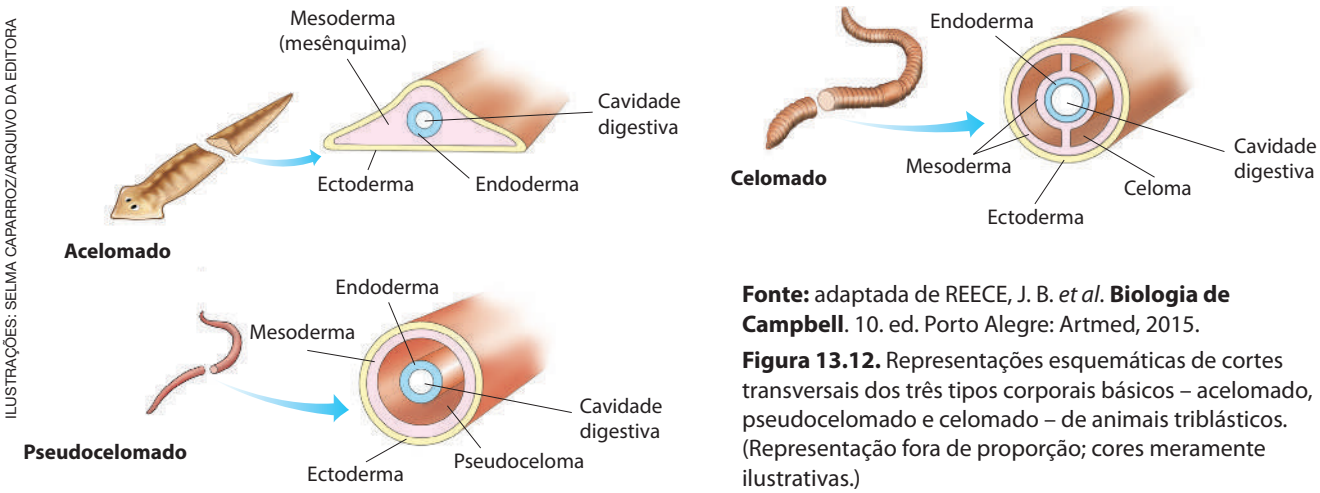
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cavidades corporais e metameria

Muitos grupos de animais desenvolveram uma ou mais cavidades corporais internas preenchidas por líquido, cujas principais funções são a absorção de choques mecânicos, a maior facilidade em distribuir substâncias pelo corpo e fornecer apoio à ação dos músculos. De acordo com o tipo de revestimento da cavidade corporal, ela é chamada de **celoma** se for completamente revestida por tecido de origem mesodérmica. Se a cavidade corporal for revestida por tecidos mesodérmicos e endodérmicos, ela é chamada de **pseudoceloma** (do grego *pseudo*, falso).

Com base na presença e no tipo de cavidade corporal, os animais triblásticos podem ser classificados em acelomados, pseudocelomados e celomados. Animais **acelomados** são os que não apresentam outra cavidade corporal além da cavidade digestiva. Entre os nove filos animais tratados neste livro, os únicos acelomados são os platelmintos, e os únicos dotados de pseudoceloma – **pseudocelomados** – são os nematódeos. Os animais dotados de celoma – **celomados** – são os moluscos, os anelídeos, os artrópodes, os equinodermos e os cordados. (Fig. 13.12)

Tipos corporais de animais triblásticos



ILUSTRAÇÕES: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

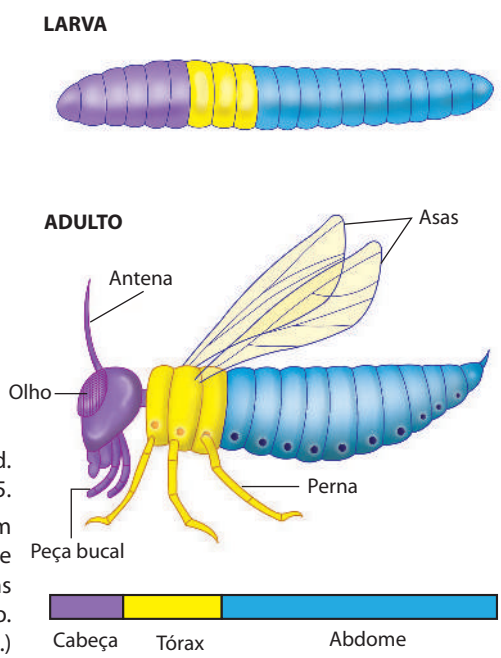
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.12. Representações esquemáticas de cortes transversais dos três tipos corporais básicos – acelomado, pseudocelomado e celomado – de animais triblásticos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Uma característica que certos grupos animais desenvolveram ao longo da evolução foi a **metameria**, que significa apresentar o corpo organizado em segmentos semelhantes denominados **metâmeros**. A metameria é facilmente observável em animais como minhocas, centopeias e larvas de insetos.

Uma das principais vantagens da metameria é conferir ao animal flexibilidade e versatilidade na movimentação corporal. Estudos recentes sugerem que a metameria pode ter surgido independentemente nas linhagens ancestrais de anelídeos, artrópodes e cordados. A metameria é observada nos embriões de todos esses grupos, embora possa não se evidenciar nos adultos devido à união e diferenciação dos segmentos corporais, que originam diferentes partes do corpo. Na espécie humana, por exemplo, a metameria é evidente nos embriões, mas não no aspecto geral do corpo das pessoas. Entretanto, a metameria pode ser notada na divisão da coluna vertebral em vértebras e na musculatura segmentada do abdome humano. (Fig. 13.13)

Metameria em larva e adulto de inseto



ILUSTRAÇÕES: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

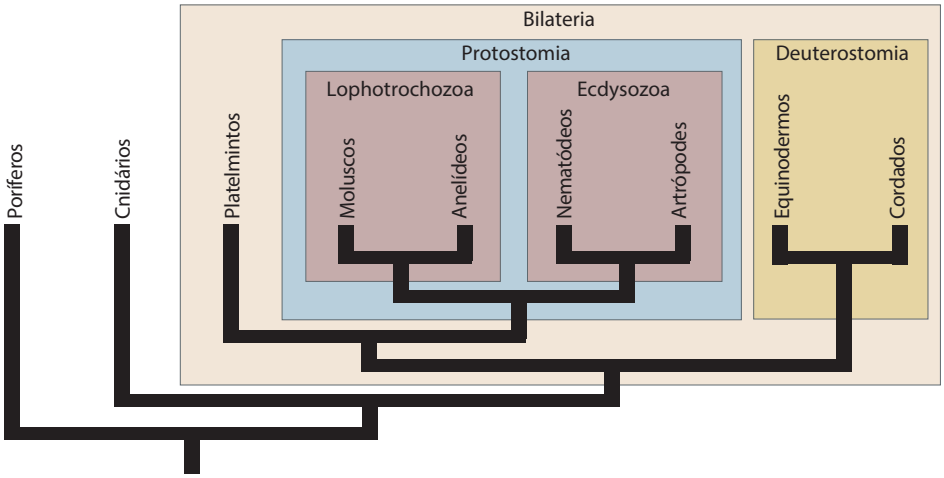
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.13. Representações esquemáticas de uma larva e de um adulto de inseto. As diferentes cores indicam a correspondência entre os metâmeros nesses dois estágios do ciclo de vida. Nos insetos, alguns metâmeros se fundem originando diferentes partes do corpo do adulto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura a seguir mostra uma filogenia (árvore filogenética) com o possível parentesco evolutivo dos grupos animais estudados no capítulo. A filogenia foi elaborada com base em informações anatômicas e genéticas. (Fig. 13.14)

Árvore filogenética dos principais grupos de animais



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13.14. Árvore filogenética que mostra possíveis relações evolutivas entre os nove principais filos animais. Moluscos e anelídeos são reunidos no clado Lophotrochozoa com base no tipo de larva e em semelhanças genéticas. Nematódeos e artrópodes, além de diversas semelhanças genéticas, apresentam o mesmo tipo de muda de exoesqueleto, sendo por isso reunidos no clado Ecdysozoa (do grego *ecdisis*, muda, troca de pele, e *zoon*, animal).

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

MEIO AMBIENTE ODS 15

Brasil desperdiça o potencial de sua biodiversidade, um ativo único e inigualável

[...] O Brasil tem a maior biodiversidade do mundo — isso, todo mundo já sabe. Mas e daí? O que o País ganha com isso? Maior segurança alimentar, energética, hídrica e climática; proteção contra erosão, enchentes, deslizamentos e outros desastres socioambientais; proteção natural contra pragas no campo e doenças nas cidades; potencial para a descoberta de novos fármacos, cosméticos e outros produtos naturais; preservação de culturas, saberes e costumes de populações tradicionais; paisagens belíssimas; incontáveis oportunidades de negócios ligadas ao ecoturismo, lazer e bem-estar social. Tá bom, ou quer mais?

Esses são alguns exemplos dos serviços prestados gratuitamente pela natureza à sociedade, descritos no primeiro diagnóstico da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES, na sigla em inglês). [...]

IMAGENS: BPBES - PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

O diagnóstico deixa claro que o Brasil é um país extremamente privilegiado em termos de biodiversidade e recursos naturais — tem o maior número de espécies de fauna e flora, a maior reserva de água doce, a maior floresta tropical, e por aí vai —, com enorme potencial para o desenvolvimento de um modelo econômico sustentável. [...]

Por outro lado, e ao mesmo tempo, é um país que se aproveita e cuida muito mal desse patrimônio natural único, com taxas elevadas de perda, degradação e fragmentação ambiental. Estudos indicam, por exemplo, que o Brasil poderá perder entre 20% e 25% de sua biodiversidade até 2050, comparado a 1970, "dependendo da trajetória de desenvolvimento considerada". [...]

Uma estratégia que tem se mostrado eficaz para a proteção e uso sustentável da biodiversidade é a criação de áreas protegidas, incluindo terras indígenas e unidades de conservação (UCs) geridas pelo poder público, como os parques nacionais. Segundo os dados compilados pelo diagnóstico, o turismo nessas unidades gera 43 mil empregos e movimenta R$ 4 bilhões por ano – com potencial para crescer muito mais. [...]

Fonte: ESCOBAR, H. Brasil desperdiça o potencial de sua biodiversidade, um ativo único e inigualável. **Jornal da USP**, São Paulo, 20 set. 2019. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-ambientais/brasil-desperdica-o-potencial-de-sua-biodiversidade-um-ativo-unico-e-inigualavel/. Acesso em: 4 set. 2024.

Depois de ler o texto, escreva um comentário destacando os aspectos que considerou mais importantes e interessantes. Por exemplo, escolha um dos benefícios da biodiversidade mencionados no texto e elabore um argumento defendendo sua importância para a sociedade.

2. Sistemas corporais dos animais

O organismo animal apresenta quatro sistemas corporais básicos, responsáveis pelas principais funções vitais. São eles: a) **sistema digestivo**, responsável pela digestão de alimentos; b) **sistema respiratório**, responsável pela captação de gás oxigênio (O_2) e pela eliminação de gás carbônico (CO_2); c) **sistema circulatório**, que distribui substâncias úteis e recolhe as substâncias potencialmente tóxicas produzidas pelas células; d) **sistema urinário**, ou **sistema excretor**, responsável pelo equilíbrio de sais no corpo e pela eliminação de substâncias tóxicas originadas no metabolismo.

Sistemas digestivos

Nos poríferos, os alimentos são capturados por filtração da água e fagocitados pelas células que revestem certas câmaras corporais, os **coanócitos**. A digestão desses alimentos ocorre inteiramente dentro das células, o que é dominado **digestão intracelular**. Em cnidários e platelmintos, a digestão começa extracelularmente na cavidade digestiva e termina no interior das células, sendo por isso denominada **digestão extra e intracelular**. Em todos os outros animais, a maior parte da digestão ocorre na cavidade digestiva, fora das células, sendo por isso denominada **digestão extracelular**. Os produtos da digestão extracelular são absorvidos por células que revestem a cavidade digestiva e distribuídos às outras células.

Animais com sistema digestivo de fluxo unidirecional (sistema digestivo completo) apresentam um conduto digestivo que se inicia na **boca**, por onde o alimento entra, e termina no **ânus**, por onde são eliminados os resíduos alimentares não aproveitados na digestão. O conduto digestivo de muitos animais é um longo tubo com regiões diferenciadas, cada uma delas especializada em um aspecto da digestão. Na espécie humana, por exemplo, o tubo digestivo tem início na boca, à qual segue a faringe, o esôfago, o estômago, o intestino e o ânus. Nas aves, há uma bolsa na porção final do intestino onde desembocam os dutos provenientes dos sistemas genital e urinário. Essa bolsa comum aos sistemas digestivo, genital e urinário é denominada **cloaca**.

O sistema digestivo geralmente apresenta glândulas associadas, que atuam no processo de digestão. Exemplos são as glândulas salivares, o fígado e o pâncreas, cujas funções serão estudadas mais adiante neste livro.

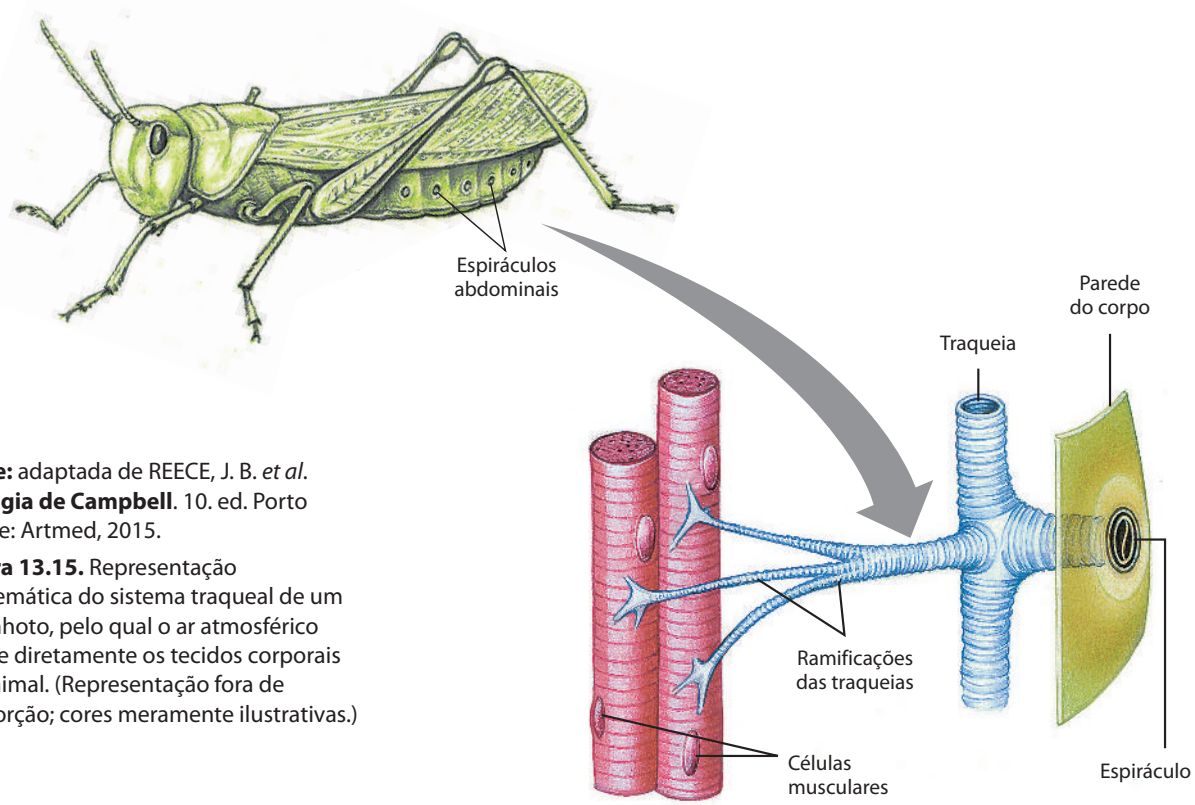
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sistemas respiratórios

Denomina-se **respiração** o processo de trocas gasosas que ocorre entre o corpo animal e o ambiente. Por meio da respiração, as células recebem gás oxigênio (O_2) do ambiente, nele eliminando o gás carbônico (CO_2) produzido no metabolismo celular. Os tipos de respiração variam de acordo com os órgãos envolvidos no processo. Há animais que realizam as trocas gasosas respiratórias pela superfície corporal, o que se denomina **respiração cutânea**. Esse tipo de respiração ocorre em poríferos, cnidários, platelmintos, nematódeos, alguns anelídeos e anfíbios.

Nos artrópodes, animais adaptados à vida em terra firme, as trocas gasosas com o ambiente são realizadas por um sistema de tubos corporais com reforços espiralados denominados **traqueias**. Fala-se, assim, em **respiração traqueal**. As traqueias se comunicam com o ambiente externo por meio de poros localizados na parede corporal, os **espiráculos**. O ar atmosférico rico em gás oxigênio (O_2) penetra pelos espiráculos corporais e atinge as traqueias de maior calibre, que se ramificam progressivamente em traqueias mais finas, cujas extremidades chegam a todas as células do corpo. O sistema traqueal transporta gás oxigênio (O_2) diretamente às células, que eliminam nas traqueias o gás carbônico (CO_2) produzido no metabolismo celular. (Fig. 13.15)

Sistema traqueal dos insetos



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.15. Representação esquemática do sistema traqueal de um gafanhoto, pelo qual o ar atmosférico atinge diretamente os tecidos corporais do animal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Registre as respostas em seu caderno.

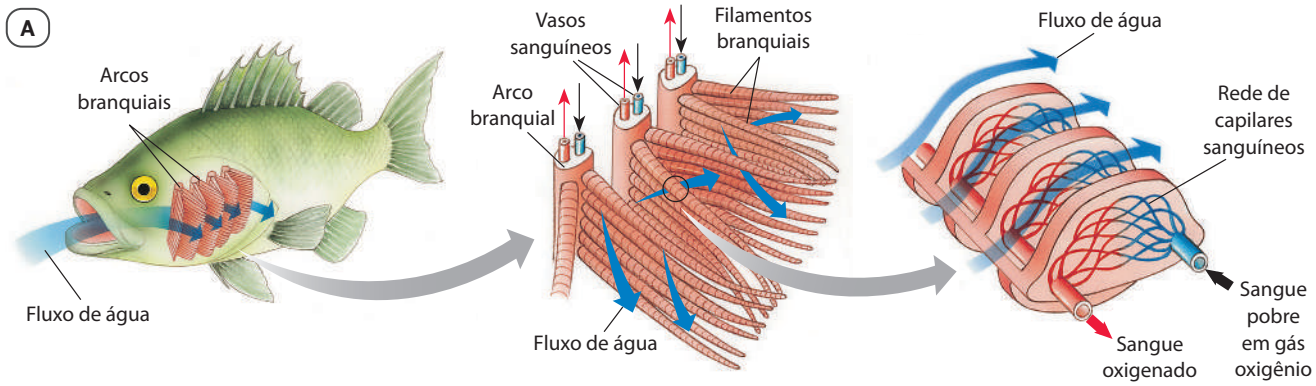
Por que os inseticidas atingem rapidamente os tecidos do inseto?

Inseticidas em aerossóis são liberados no ar em forma de microgotículas. A rapidez e eficiência desses produtos poderiam ser explicadas pelo fato de a respiração dos insetos ocorrer pelo sistema traqueal? Escreva um texto sobre essa possível correlação, tendo em vista a estrutura e a função desse tipo de sistema respiratório.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em animais aquáticos, como certos anelídeos, moluscos, crustáceos, equinodermos, peixes e larvas de anfíbios, as trocas gasosas com a água ocorrem em estruturas denominadas **brânquias**, daí a denominação de **respiração branquial**. Em peixes e anfíbios, por exemplo, as brânquias são formadas pelo tecido altamente vascularizado que reveste as fendas branquiais. Ao passar pelos vasos capilares que irrigam as brânquias, o fluido circulatório fica suficientemente próximo da água circundante, possibilitando trocas gasosas por difusão com o ambiente aquático. (Fig. 13.16)

Sistemas branquiais

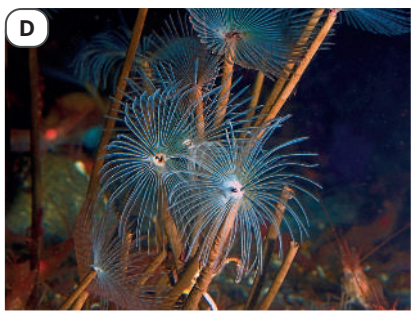


JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

DANTE FENOLIO/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA



ALF JACOB NILSEN/ALAMY/FOTOARENA

Figura 13.16. (A) Representação esquemática da estrutura das brânquias de um peixe mostrando o caminho da água entre os filamentos branquiais (setas azuis). Os arcos branquiais são estruturas ósseas ou cartilaginosas que sustentam filamentos branquiais, formados por tecidos altamente vascularizados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Brânquias do peixe tucunaré (*Cichla* sp.), que, pode atingir até 70 cm de comprimento. (C) Brânquias externas da larva de salamandra da espécie *Eurycea wallacei*, que, ao atingir a fase adulta, chega a medir 8 cm de comprimento; (D) Brânquias de *Sabella pavonina*, um anelídeo que vive parcialmente enterrado na areia e pode atingir até 30 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Reconhecendo peixes frescos

Quando se vai comprar peixe para consumo é importante verificar se ele está fresco, ou seja, se foi recém-pescado e bem conservado sob refrigeração. Uma das maneiras de verificar se o peixe é fresco é observar suas guelras, nome popular das brânquias. Para isso, levanta-se o opérculo atrás da cabeça do peixe. Pesquise o que se espera observar quando o peixe é fresco e explique, em um texto, essas observações com base nos conhecimentos adquiridos no capítulo e em eventuais pesquisas sobre o tema. Se possível, anexe uma fotografia das brânquias de um peixe.

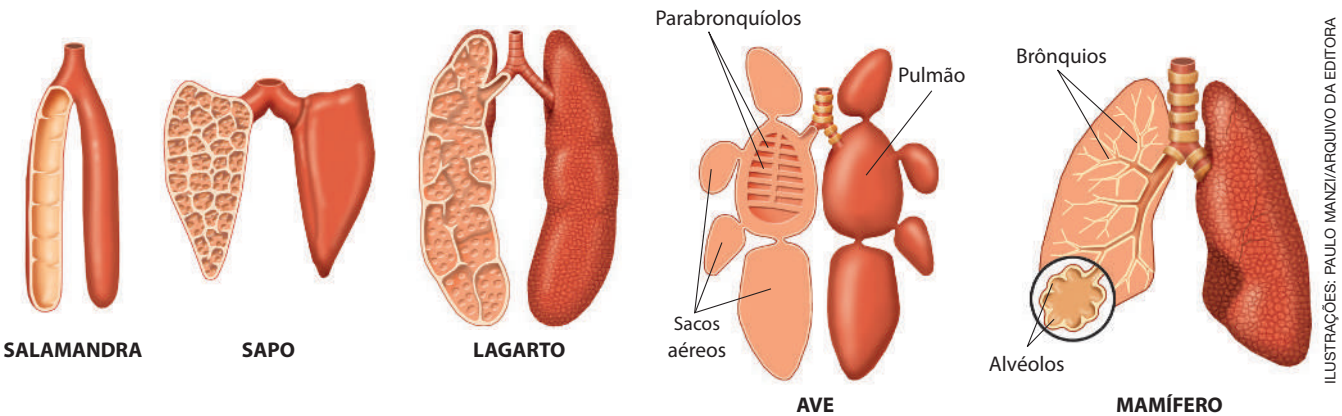
Em animais de terra firme, como certos moluscos, anfíbios adultos, répteis, aves e mamíferos, as trocas gasosas são realizadas por órgãos internos ricamente vascularizados chamados **pulmões**, daí a denominação **respiração pulmonar**.

A estrutura dos pulmões varia nos diferentes animais. Em moluscos terrestres como os caracóis, os pulmões consistem em uma bolsa ricamente vascularizada situada dentro da concha e, que se comunica com o meio aéreo externo por um poro respiratório.

Pulmões de anfíbios e répteis são bolsas torácicas ligadas a condutos por onde o ar penetra. Os pulmões das aves são constituídos por finíssimos tubos paralelos denominados **parabronquíolos**, cujas paredes são irrigadas por capilares sanguíneos, o que possibilita trocas gasosas eficientes entre o sangue e o ar inalado. Além disso, os pulmões das aves estão ligados a bolsas chamadas de **sacos aéreos**, que ocupam as regiões anterior e posterior do corpo, chegando a penetrar em alguns ossos. A função dos sacos aéreos, ao que tudo indica, é tornar menos denso o corpo das aves, facilitando o voo.

Os pulmões dos mamíferos são formados por milhões de minúsculas bolsas denominadas **alvéolos pulmonares**, cujas paredes apresentam uma única camada de células. Os alvéolos situam-se nas extremidades de finos tubos denominados **bronquíolos**. Estes são ramificações dos **brônquios**, condutos maiores ligados à **traqueia**, por onde penetra o ar atmosférico oriundo da laringe. As paredes dos alvéolos pulmonares são recobertas por grande quantidade de capilares sanguíneos, responsáveis pelas trocas gasosas entre o sangue e o ar alveolar. (Fig. 13.17)

Pulmões de vertebrados



ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.17. Representações esquemáticas de pulmões de vertebrados parcialmente cortados para mostrar a estrutura interna. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Mapa de conceitos na respiração animal

Conceitos podem ser definidos como rótulos utilizados para caracterizar objetos ou eventos. **Objetos** são entidades materiais, e **eventos** são acontecimentos reais ou imaginários. Um **mapa de conceitos** consiste em dois ou mais conceitos interligados por setas que identificam o tipo de relação que há entre eles. A proposta dos mapas de conceitos é tornar claras as relações importantes que existem entre conceitos de uma área de conhecimento.

Em sua forma mais simples, um mapa de conceitos consiste em dois conceitos unidos por uma ou mais palavras de ligação, formando uma **proposição**. As proposições expressam as relações entre cada par de conceitos considerados. Por exemplo, os conceitos "RESPIRAÇÃO ANIMAL" e "TROCAS GASOSAS COM O AMBIENTE", unidos pelo termo de ligação "*consiste em*", formam a proposição:

Respiração animal → *consiste em* → Trocas gasosas com o ambiente

A concatenação de diversas proposições em um mapa de conceitos permite uma visão ampla e integrada sobre um tema. Entre as diversas utilidades dos mapas de conceitos como organizadores da atividade de ensino e aprendizagem, podem ser destacadas as seguintes: a) aumentam a integração entre conceitos; b) diminuem a possibilidade de omitir conceitos importantes ao falar sobre determinado assunto; c) aumentam as chances de encontrar diversos caminhos corretos para a construção de significados.

A questão a seguir apresenta um mapa de conceitos sobre respiração animal, em que alguns conceitos foram substituídos por letras.

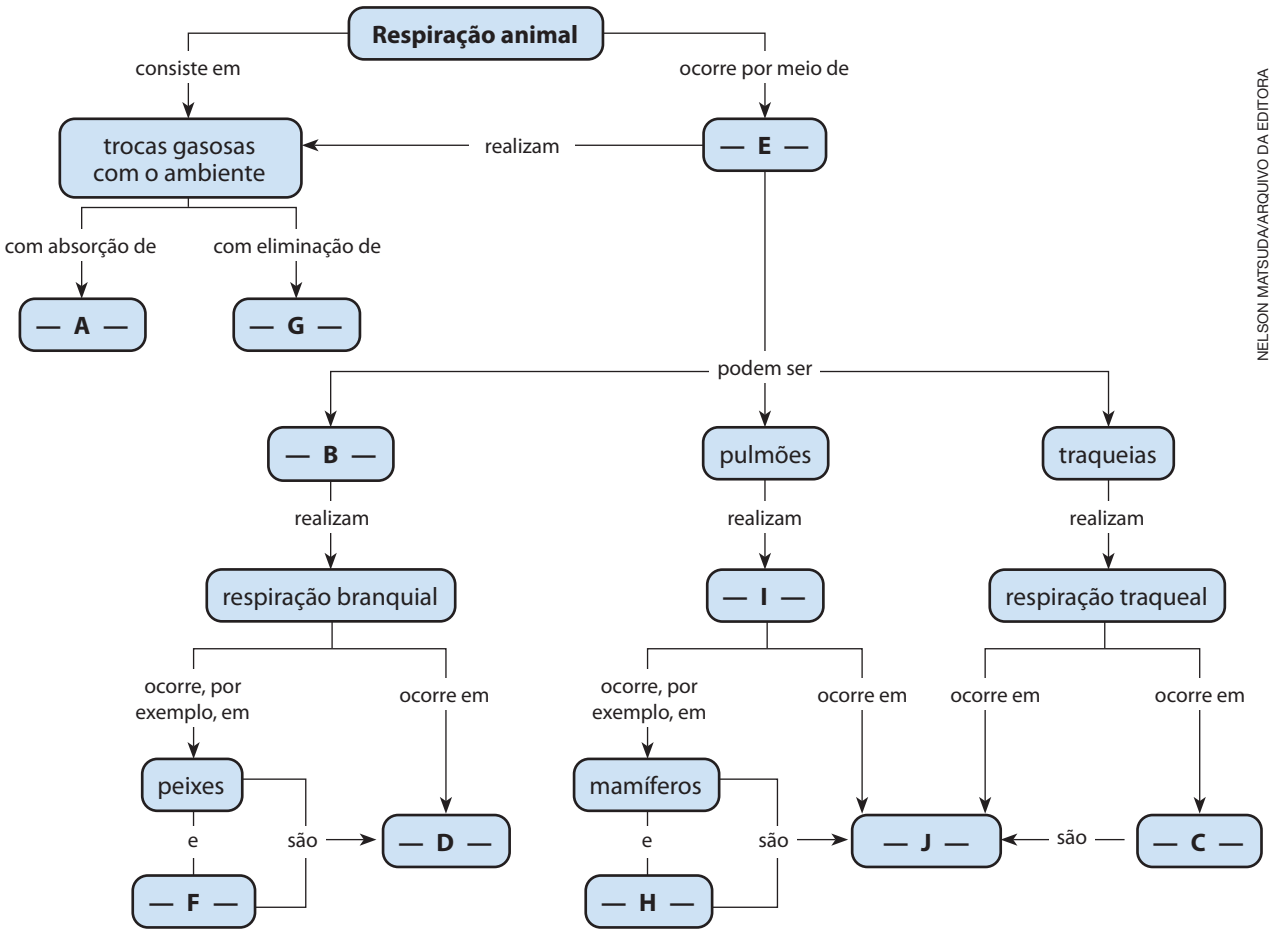
CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questão

Complete o mapa de conceitos substituindo cada uma das letras de A a J por um dos conceitos apresentados na lista a seguir.

1. animais aquáticos
2. animais de terra firme
3. aves
4. brânquias
5. gás carbônico (CO_2)
6. gás oxigênio (O_2)
7. insetos
8. órgãos respiratórios
9. ostras
10. respiração pulmonar



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Resposta

A = gás oxigênio
B = brânquias
C = insetos
D = animais aquáticos
E = órgãos respiratórios
F = ostras
G = gás carbônico
H = aves
I = respiração pulmonar
J = animais de terra firme

Resolução

A letra E, substituída pelo conceito "**órgãos respiratórios**", forma duas proposições válidas: a) **"Respiração animal** ocorre por meio de **órgãos respiratórios"** e b) **"órgãos respiratórios** realizam **trocas gasosas com o ambiente"**.
As letras A e G são substituídas corretamente pelos conceitos: "**gás oxigênio** (O_2)" e "**gás carbônico** (CO_2)". Esses gases são, respectivamente, absorvidos e eliminados na respiração dos animais.
A letra B, substituída pelo conceito **brânquias**, forma a proposição válida: **"brânquias** realizam **respiração branquial"**.
A substituição da letra D pelo conceito **"animais aquáticos"** forma a proposição válida **"respiração branquial"** ocorre em **"animais aquáticos"**.
A substituição da letra F pelo conceito **"ostras"** forma a proposição válida "peixes e **ostras** são **animais aquáticos"**.
A letra I, substituída pelo conceito **respiração pulmonar**, forma as proposições válidas: a) "pulmões realizam **respiração pulmonar**" e b) **"respiração pulmonar"** ocorre, por exemplo, em mamíferos e **"aves"**.
As substituições das letras H, J e C, respectivamente, pelos conceitos: **aves, animais de terra firme** e **insetos**, formam as seguintes proposições válidas: a) "mamíferos e **aves** são **animais de terra firme**"; b) "respiração traqueal ocorre em **animais de terra firme**"; c) "respiração traqueal ocorre em **insetos**".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sistemas circulatórios

Ao longo de sua evolução, os animais desenvolveram estratégias para garantir o transporte de substâncias nutritivas e gases respiratórios pelo corpo. Em poríferos, cnidários e platelmintos, animais de tamanho reduzido, a distribuição de substâncias ocorre por difusão célula a célula. Embora lenta, a difusão é eficiente em animais de corpo pequeno, em que todas as células estão relativamente próximas da cavidade digestiva e das superfícies respiratórias.

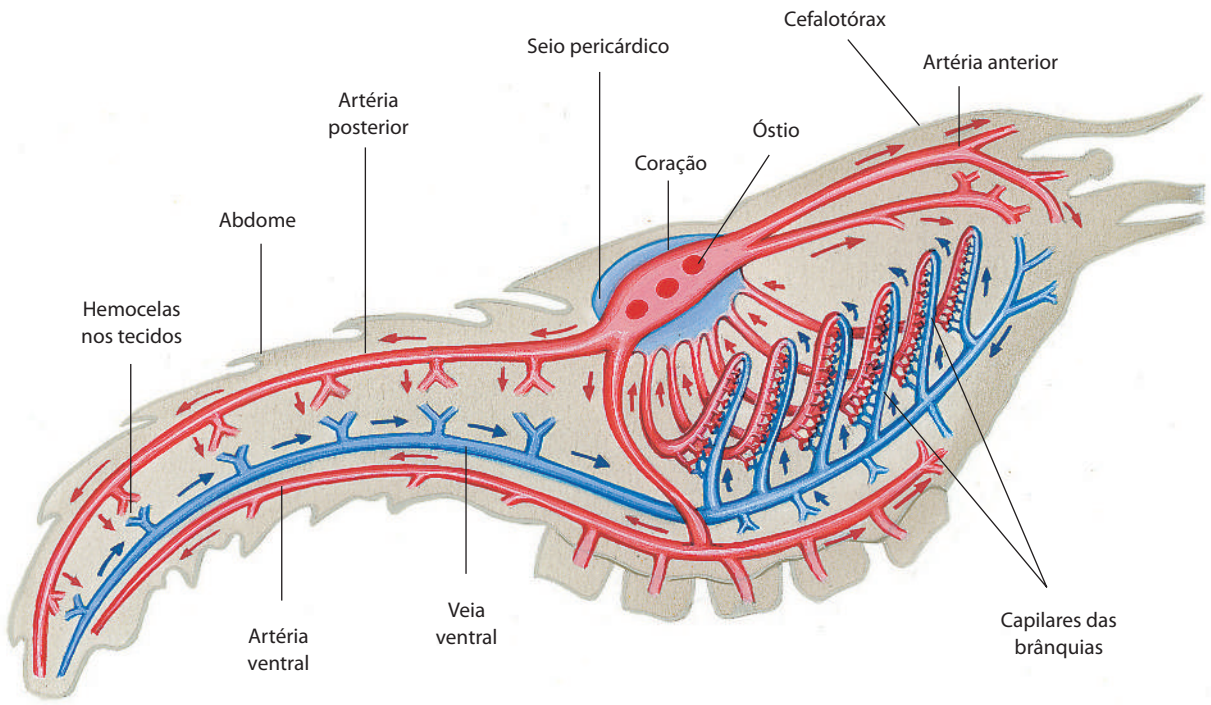
Nos nematódeos, a distribuição de substâncias pelo corpo ocorre pelo líquido que preenche o pseudoceloma. O gás oxigênio absorvido na superfície corporal e os nutrientes assimilados pela parede do tubo digestivo difundem-se para o líquido pseudocelômico, que banha as diversas partes do corpo.

Anelídeos, moluscos, artrópodes e cordados apresentam sistemas circulatórios constituídos por redes de tubos ramificados denominados **vasos circulatórios**. Nesses vasos, circula um fluido que geralmente distribui nutrientes, hormônios e gás oxigênio (O_2) para as células e delas recolhe gás carbônico (CO_2) e excreções produzidos no metabolismo. O sistema circulatório dos insetos não realiza o transporte de gases respiratórios, função exercida pelo sistema traqueal.

O fluido circulatório é impulsionado no interior dos vasos pela contração do **coração**. Alguns animais, como as minhocas e os insetos, apresentam vários corações; outros animais, como os vertebrados, possuem apenas um. Os vasos que partem do coração e levam fluido circulatório para as diversas partes do corpo são denominados **artérias**, enquanto os vasos que trazem o fluido circulatório do corpo para o coração são chamados de **veias**.

A maioria dos moluscos e dos artrópodes apresenta **sistema circulatório aberto**, no qual as artérias desembocam em **hemocelas**, que são cavidades localizadas entre os tecidos corporais. Nas hemocelas, o fluido circulatório, denominado **hemolinfa**, entra em contato direto com os tecidos que as circundam, possibilitando o intercâmbio de substâncias. A hemolinfa, depois de passar pelas hemocelas, retorna ao coração pelas veias, que possuem válvulas que evitam o refluxo da hemolinfa quando o coração se contrai. (Fig. 13.18)

Circulação da hemolinfa em crustáceos



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

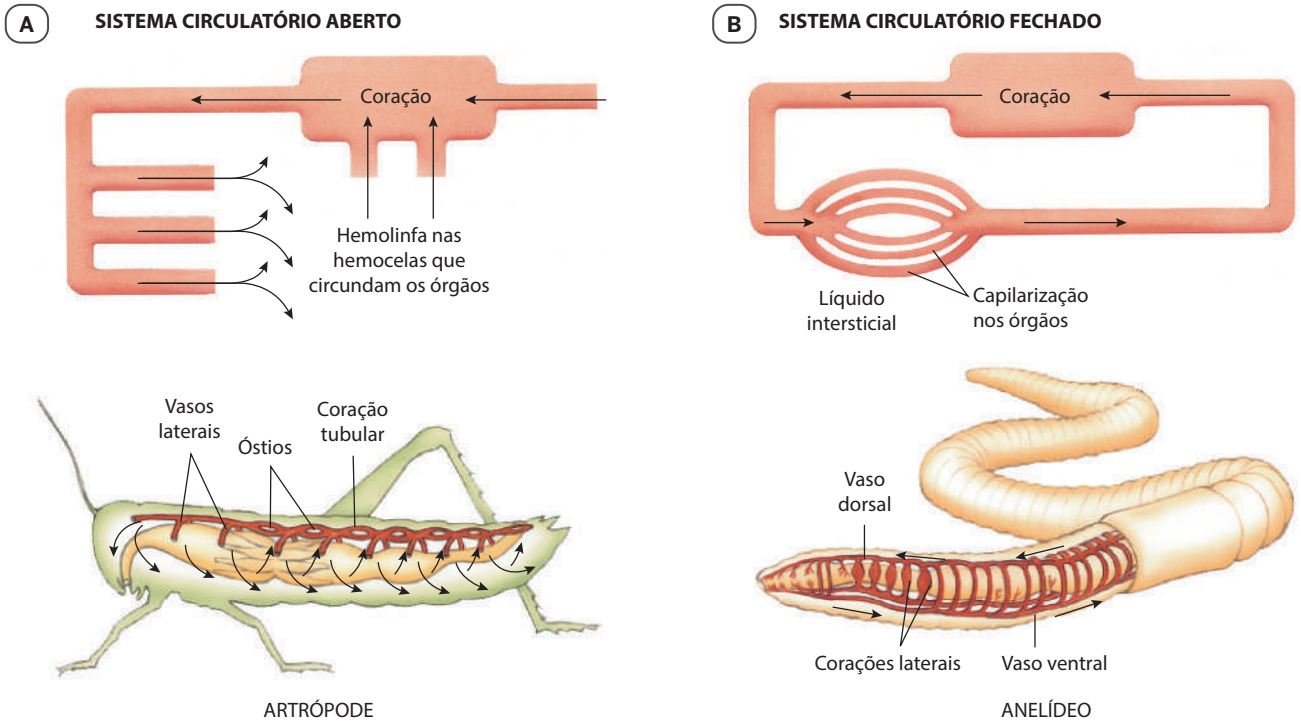
Fonte: PECHENIK, J. A. **Biologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: AMGH, 2016.

Figura 13.18. Representação esquemática do sistema circulatório aberto de um camarão. As setas vermelhas indicam o caminho da hemolinfa oxigenada nas brânquias, e as setas azuis, o retorno às brânquias da hemolinfa pobre em gás oxigênio. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em animais como anelídeos, moluscos cefalópodes e cordados, os vasos circulatórios formam um circuito fechado, constituindo o que se denomina **sistema circulatório fechado**. O coração está ligado a grandes artérias, que se ramificam progressivamente à medida que se distanciam do coração, tornando-se cada vez mais finas. Os vasos sanguíneos nos tecidos corporais são tão finos que recebem o nome de **capilares sanguíneos**. A parede dos capilares tem apenas uma camada de células de espessura, o que possibilita a difusão eficiente de substâncias nutrientes e de gás oxigênio (O_2) do sangue para as células. Gás carbônico (CO_2) e substâncias excretadas fazem o caminho inverso, penetrando nos capilares e sendo levados pelo sangue. Nos tecidos, os capilares reúnem-se progressivamente formando veias de calibres cada vez maiores à medida que se aproximam do coração, para onde o sangue retorna. (Fig. 13.19)

Sistemas circulatórios aberto e fechado



Fonte: PECHENIK, J. A. **Biologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: AMGH, 2016.

Figura 13.19. Representações esquemáticas do sistema circulatório aberto de um artrópode (A) e de sistema circulatório fechado de um anelídeo (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sistemas excretores

A principal substância excretada pelas células animais é a **amônia** (NH_3), resultante da degradação de moléculas orgânicas ricas em nitrogênio, principalmente proteínas e ácidos nucleicos. A amônia, por causa da sua toxidez para as células, precisa ser rapidamente eliminada do corpo ou transformada em substâncias menos tóxicas. Animais aquáticos ou que vivem em ambientes úmidos, como larvas de anfíbios (girinos) e minhocas, excretam amônia. Mamíferos, por sua vez, convertem amônia em **ureia**, menos tóxica que amônia. Entretanto, por ser muito solúvel, a ureia acarreta grande gasto de água para ser eliminada, o que constitui um problema para animais terrestres. Uma adaptação metabólica desenvolvida por animais terrestres como insetos, répteis e aves foi converter a amônia em **ácido úrico**, substância pouco tóxica e com baixa solubilidade em água. A eliminação de ácido úrico pode ser feita com pequeno gasto de água. A urina de aves e de répteis, por exemplo, é uma massa esbranquiçada de consistência pastosa eliminada com as fezes.

Tipos de sistemas excretores

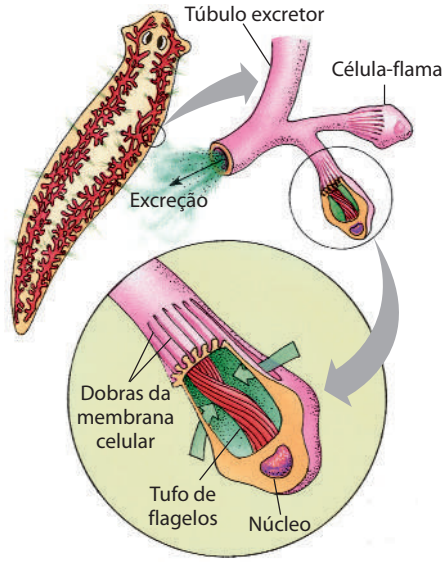
As células de poríferos e cnidários estão em contato com a água do ambiente, onde a amônia é eliminada por simples difusão através das membranas celulares. Assim, esses animais não apresentam nenhum sistema especializado em excreção. Todos os outros animais, entretanto, apresentam **sistemas excretores**, que participam da eliminação de substâncias tóxicas ou indesejáveis do organismo.

O sistema excretor dos platelmintos é constituído por **protonefrídios**, que apresentam uma célula flagelada, denominada **célula-flama**, ou **solenócito**, que retira água e sais dos espaços intercelulares, encaminhando essas substâncias para túbulos excretores, que se abrem em poros localizados na superfície do corpo. (Fig. 13.20)

Nos nematódeos, excreções nitrogenadas, certos íons e outras substâncias indesejáveis formadas no metabolismo são eliminadas no líquido do pseudoceloma. Parte dessas substâncias é eliminada por simples difusão através da parede intestinal, enquanto outra parte é eliminada através de dois dutos excretores dispostos ao longo das laterais do corpo.

Anelídeos e moluscos têm órgãos excretores chamados de **metanefrídios**, que consistem em um tubo aberto nas duas extremidades, uma das quais é o **nefróstoma**, que tem a forma de um funil ciliado, enquanto a outra é estreita, constituindo o **nefridióporo**, ou **poro excretor**. Moluscos apresentam entre um e sete pares de metanefrídios, cujos nefróstomas se abrem na cavidade que envolve o coração, o **pericárdio**. Da cavidade pericárdica, as excreções são conduzidas até poros excretores, que se abrem na superfície do corpo. Anelídeos como a minhoca apresentam um par de metanefrídios por segmento corporal, cada um deles abrindo-se em um nefridióporo situado na parede lateral do segmento. O nefróstoma de cada nefrídio abre-se no celoma do segmento imediatamente anterior, de onde remove as excreções. (Fig. 13.21)

Sistema excretor da planária (platelminto)



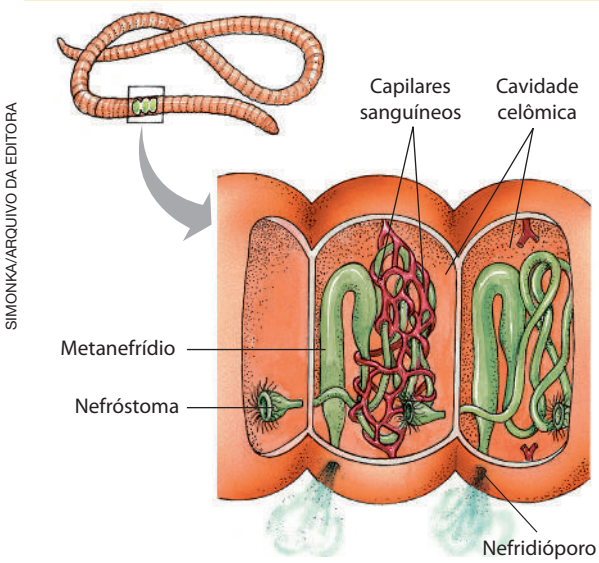
SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: PECHENIK, J. A. **Biologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: AMGH, 2016.

Figura 13.20. Esquema da organização do protonefrídio na planária. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Artrópodes apresentam diferentes tipos de órgãos excretores. Em crustáceos, por exemplo, a excreção ocorre por meio de duas glândulas semelhantes a metanefrídios, que se abrem na base das antenas, sendo por isso denominadas **glândulas antenais**, ou **glândulas verdes**. Na maioria das espécies de aranhas, a excreção é realizada por glândulas excretoras localizadas na base das pernas, por isso chamadas de **glândulas coxais**, que funcionam de modo semelhante às glândulas antenais dos crustáceos. (Fig. 13.22)

Sistema excretor da minhoca (anelídeo)

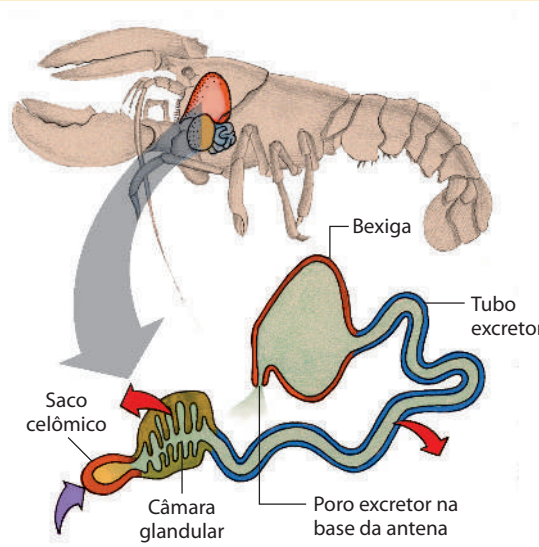


SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 13.21. Representação esquemática da organização dos metanefrídios da minhoca. No metâmero mais à direita, não foram representados os capilares sanguíneos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sistema excretor da lagosta (crustáceo)



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

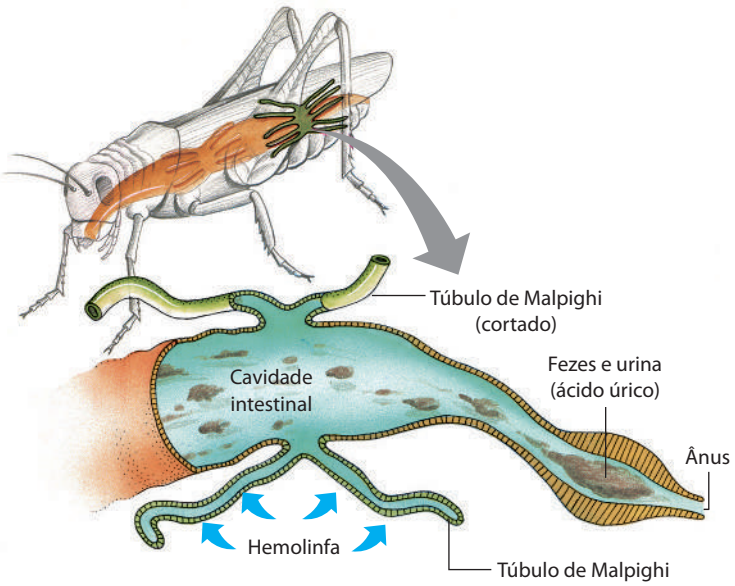
Figura 13.22. Representação esquemática da estrutura da glândula antenal de um crustáceo. A seta de cor roxa indica a absorção de substâncias da hemolinfa, e as setas em vermelho indicam a reabsorção de substâncias úteis do filtrado glandular. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Insetos, quilópodes, diplópodes e algumas espécies de aranhas eliminam excreções por meio de **túbulos de Malpighi**, estruturas tubulares alongadas presentes nas cavidades corporais em contato direto com a hemolinfa. Uma das extremidades do túbulo de Malpighi é fechada, e a outra se abre na região mediana do intestino. Os túbulos de Malpighi filtram a hemolinfa, removendo as excreções, que são então lançadas no intestino, de onde são eliminadas com as fezes. (Fig. 13.23)

As estruturas excretoras dos vertebrados são os néfrons, que se organizam em órgãos denominados **rins**. O **néfron** é um tubo especializado que circunda um pequeno novelo de capilares sanguíneos chamado **glomérulo renal**, de onde as excreções são retiradas e conduzidas até canais excretores. Estes se abrem em uma bexiga urinária ou diretamente para fora do corpo. Mais detalhes sobre a estrutura e o funcionamento dos néfrons serão vistos no capítulo 15 deste livro.

Sistema excretor do gafanhoto (inseto)



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: PECHENIK, J. A. **Biologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: AMGH, 2016.

Figura 13.23. Representação esquemática dos túbulos de Malpighi de um inseto. Essas estruturas absorvem excreções e sais da hemolinfa (setas azuis), eliminando-os no intestino. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 4.

a. deuterostômio
b. diploblástico
c. protostômio
d. triploblástico

1. O termo (■) é usado para designar animais cujos embriões apresentam apenas dois folhetos germinativos. 1.b

2. Um animal em que o blastóporo origina a boca é chamado (■). 2.c

3. Um animal cujo embrião apresenta três folhetos germinativos é chamado (■). 3.d

4. O termo (■) designa animais em que o blastóporo origina o ânus. 4.a

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 5 a 9.

a. respiração branquial
b. respiração celular
c. respiração cutânea
d. respiração pulmonar
e. respiração traqueal

5. A (■) é realizada por muitos animais aquáticos, por meio de órgãos filamentosos externos ricamente vascularizados. 5.a

6. Animais em que as trocas gasosas com o ambiente ocorrem através de toda a superfície corporal, e não apenas em áreas especializadas, têm (■). 6. c

7. O processo metabólico em que moléculas orgânicas reagem com gás oxigênio, produzindo gás carbônico e água e liberando energia para as atividades vitais, é a (■). 7.b

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. (■) é um processo de trocas gasosas em que o ar atmosférico chega diretamente aos tecidos corporais por meio de um sistema de túbulos ramificados.
8.e

9. A (■) é realizada por diversos animais de terra firme, em órgãos ricamente vascularizados internos ao corpo.
9.d

10. Animais tipicamente de terra firme apresentam respiração
10.c
a. branquial ou pulmonar.
b. cutânea ou branquial.
c. pulmonar ou traqueal.
d. traqueal ou cutânea.

11. Suponha que você encontre a seguinte notícia em um jornal: "Cientista descobre primeiro porífero de terra firme". Argumente, com base nas características das esponjas, que a notícia não pode ser verdadeira.

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

12. Grande número de animais é utilizado anualmente em laboratórios de ensino e de pesquisa científica em todo o mundo. Na área médica, utilizam-se principalmente mamíferos (ratos, camundongos, cães, gatos e macacos, entre outros) para testar técnicas e substâncias que podem dar origem a tratamentos para doenças humanas. Algumas entidades de defesa dos animais têm criticado o sacrifício indiscriminado de animais de laboratório. A organização AWI (***A**nimal **W**elfare **I**nstitute*; Instituto do Bem-estar Animal, em inglês), por exemplo, tem como um de seus principais objetivos melhorar as condições de acomodação e de manipulação dos animais experimentais, reduzindo o desconforto, a dor, o medo, o estresse e o sofrimento a que estão submetidos.

Nesta atividade, você poderá opinar sobre a utilização de animais em pesquisas científicas. A primeira providência é informar-se sobre o assunto: visite *sites* de organizações que tratam do tema, busque por reportagens relacionadas e troque ideias com seus colegas e parentes. Após ter formado uma opinião bem embasada nas pesquisas, considerando tanto argumentos contra quanto a favor da utilização de animais, elabore um cartaz, em tamanho grande, com imagens e textos curtos e impactantes, deixando clara a sua posição.

Questões de vestibular

13. (Vunesp) Nefrídios, células-flama e túbulos de Malpighi são, respectivamente, órgãos excretores dos
13.e
a. equinodermos, platelmintos e insetos.
b. platelmintos, moluscos e insetos.
c. anelídeos, moluscos e insetos.
d. moluscos, platelmintos e equinodermos.
e. anelídeos, platelmintos e insetos.

14. (Unicamp-SP) Para suprirem suas células com oxigênio e removerem o gás carbônico dos tecidos, os animais realizam trocas gasosas com o ambiente, processo denominado respiração. Na tabela abaixo estão listados 4 grupos de animais e 4 tipos de respiração.
14.a

Grupo de animais	Tipo de respiração
I Poríferos	A Branquial
II Crustáceos	B Traqueal
III Insetos	C Cutânea
IV Répteis	D Pulmonar

As relações corretas entre os grupos de animais mencionados à esquerda e os tipos de respiração mencionados à direita são:
a. IC; IIA; IIIB; IVD.
b. IB; IIA; IIIC; IVD.
c. IA; IIB; IIIC; IVD.
d. IC; IID; IIIA; IVB.

15. (UFMS) Quando um determinado organismo é triblástico, celomado, com simetria bilateral e o corpo segmentado em metâmeros, é correto afirmar que esse animal pertence ao filo
15.a
a. Annelida.
b. Porifera.
c. Nematoda.
d. Platyhelminthes.
e. Cnidaria.

16. (Fuvest-SP) A tabela a seguir reúne algumas características de quatro animais não cordados A, B, C e D. Quais podem ser, respectivamente, os animais A, B, C e D?

Animal	Sistema digestório	Sistema circulatório	Sistema respiratório	Sistema excretor	Hábitat
A	Incompleto	Ausente	Ausente	Solenócito (célula-flama)	Aquático
B	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Aquático
C	Completo	Aberto	Traqueal	Túbulo de Malpighi	Terrestre
D	Completo	Fechado	Ausente	Nefrídio	Terrestre

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 14

Principais grupos de animais

KARIME XAVIER/FOLHAPRESS

Prato de farofa misturada com formigas-saúvas (*Atta* sp.), também chamadas de içás, servido em um restaurante. As formigas-saúvas podem chegar a 1,5 cm de comprimento. O costume de consumir essa iguaria foi herdado de povos indígenas e se mantém em alguns municípios. São Paulo (SP), 2012.

A importância do assunto

MEIO AMBIENTE ODS 14 ODS 15

É interessante investigar a comestibilidade, para a espécie humana, dos representantes de diferentes filos animais. Pelo que se sabe, ninguém come os representantes do filo que reúne os animais mais simples, Porifera (esponjas), nem mesmo os das espécies macias e flexíveis.

Cnidários, com certeza, estão muito longe de ser bons quitutes. Anêmonas-do-mar e águas-vivas, apesar de seu aspecto carnudo ou gelatinoso, são dotadas de células urticantes, que queimam ao contato.

Não se tem notícia de nenhum povo do mundo que utilize platelmintos ou nematódeos como alimento. Pelo contrário, são eles que se alimentam de nós, parasitando nosso intestino, fígado e outros órgãos.

Com os anelídeos as coisas começam a mudar. Sabe-se que os povos orientais consomem minhocas. Em Samoa, arquipélago do Pacífico Sul, os anelídeos marinhos conhecidos como palolos (*Eunice viridis*) são consumidos crus ou levemente grelhados.

Moluscos são muito apreciados nos diversos níveis da gastronomia. Entre eles se destacam mariscos, ostras, mexilhões e vieiras, *escargots*, lulas, polvos e calamares.

Entre os representantes do filo Arthropoda, nem todos são comestíveis, mas o grupo dos crustáceos reúne alguns alimentos marinhos muito apreciados: camarões e lagostas. Aracnídeos, apesar de venenosos, não deixam de ser degustados por alguns povos. No Camboja, por exemplo, comem-se tarântulas assadas. Escorpiões fritos são uma iguaria em Cingapura. Os insetos, em particular, são muito apreciados por diversos povos. Os destaques ficam para larvas de mariposa fritas, formigas gigantes cobertas de chocolate e grilos crocantes. No início do século XX, abdomes cheios de ovos de formigas-saúvas rainhas (içás) eram vendidas em frente ao Teatro Municipal de São Paulo, torradas e salgadas. No interior do Brasil, ainda hoje a farofa de içá é um prato muito apreciado e consumido.

Os últimos pratos desse passeio gastronômico pelo reino animal envovem os representantes do filo Echinodermata. Na culinária japonesa ovas de ouriço-do-mar são consumidas em *sushis*. Na China e no sul da Ásia, os equinodermos mais apreciados são os pepinos-do-mar. Esses animais são fervidos, desidratados e comercializados secos. Depois de reidratados, são utilizados em sopas e outros pratos.

Encare o estudo sistemático dos animais como se fosse um passeio. Ao estudar cada filo, procure sempre ter em mente os organismos daquele grupo que você conhece melhor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Poríferos

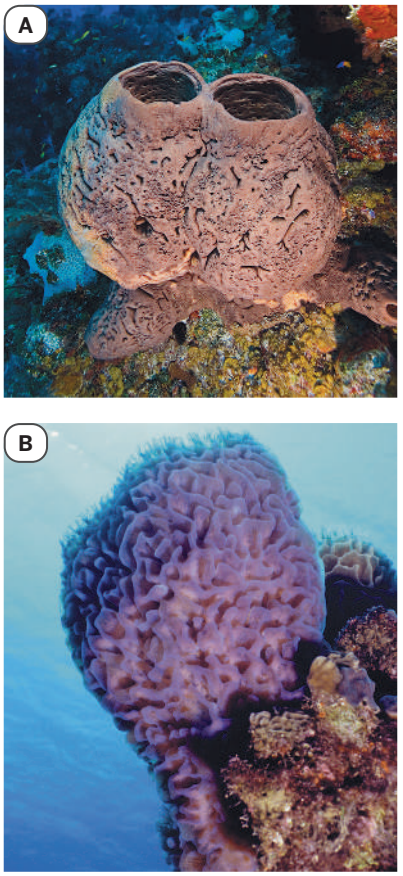
Os **poríferos** (filo **Porifera**, do grego *poris*, poro, e *phoros*, portador), também chamados de **espongiários**, ou **esponjas**, são os animais com organização mais simples, distinguindo-se de todos os outros por não apresentarem células nervosas, células musculares nem células sensoriais. A maioria dos poríferos mede poucos centímetros de tamanho, mas há espécies que chegam a quase 2 m de altura. Das quase 9 mil espécies de poríferos descritas, cerca de uma centena vive em água doce, enquanto as demais espécies são marinhas. Muitas esponjas apresentam corpo macio e flexível, enquanto outras têm consistência rígida, lembrando rochas ou corais. A maioria das esponjas é assimétrica, mas algumas espécies apresentam simetria radial.

Quanto à coloração, esponjas marinhas de águas profundas são frequentemente cinzentas ou marrons, enquanto as de águas rasas podem ser vermelhas, alaranjadas, amarelas ou violetas. (Fig. 14.1)

O corpo das esponjas mais simples assemelha-se a um vaso tubular, com a base fixada ao substrato e um grande orifício denominado **ósculo** localizado na extremidade livre. A parede corporal dos poríferos, a **ectoderme**, é perfurada por inúmeros **poros** microscópios, daí o nome Porifera, dado ao filo. Os poros das esponjas são canais que atravessam células da epiderme denominadas **porócitos**.

Os poríferos são **animais filtradores**. A água circundante penetra pelos poros da parede do corpo, passa por cavidades internas e sai pelo ósculo. O fluxo da água através do corpo da esponja é promovido pelo batimento de flagelos dos coanócitos, células que revestem inteiramente a cavidade do corpo de esponjas simples e certas câmaras internas de esponjas com organização corporal mais complexa.

O **coanócito** (do grego *coanós*, funil) apresenta um único flagelo, cuja base é circundada por uma projeção da membrana celular em forma de funil. O fluxo líquido gerado pelo batimento dos flagelos arrasta partículas orgânicas em suspensão para dentro da esponja, as quais são retidas pelo funil membranoso dos coanócitos e capturadas por fagocitose. Os coanócitos digerem partículas ingeridas, liberando em seguida substâncias nutritivas para células denominadas **arqueócitos**, que se encarregam de sua distribuição para as demais células da esponja. (Fig. 14.2)



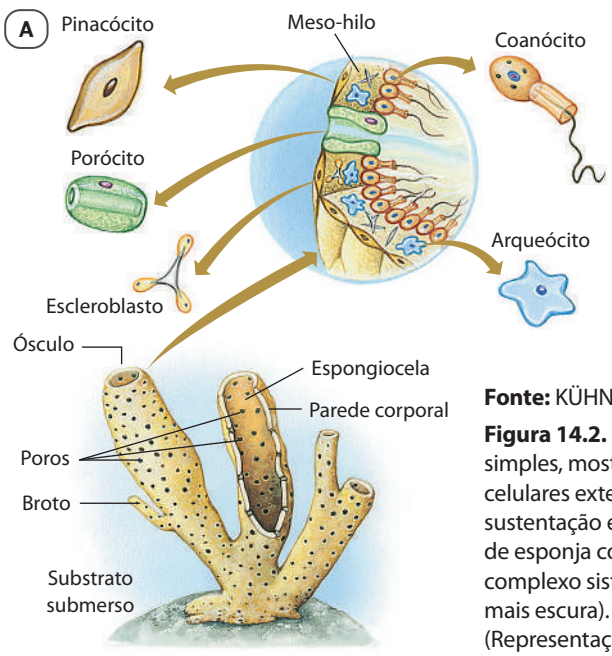
MASA USHIODA/ALAMY/FOTOARENA

CHARLES V. ANGELO/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

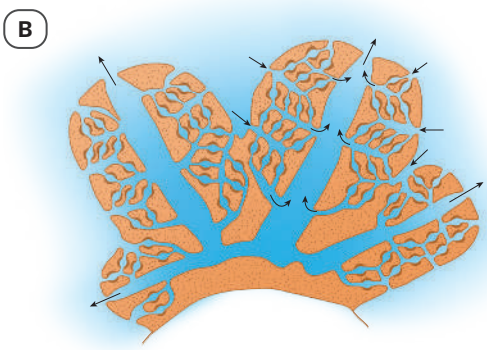
Figura 14.1. Exemplos de poríferos. (A) Esponja tubular *Agelas conifera*, que pode atingir 50 cm de altura. (B) Esponja vaso-azul (*Callyspongia plicifera*), que pode atingir cerca de 25 cm de altura.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrutura de algumas esponjas



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA



RENAN ORAGIC/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: KÜHN, A. **Zoologia geral**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1964.

Figura 14.2. (A) Representação esquemática da organização celular de uma esponja simples, mostrando os principais tipos de células. A região entre as camadas celulares externa e interna é o meso-hilo, no qual há amebócitos e elementos de sustentação esquelética. (B) Representação esquemática de corte de uma espécie de esponja colonial com parede corporal espessa. Nas paredes do corpo há um complexo sistema de canais e câmaras revestidas por coanócitos (destacadas em cor mais escura). As setas indicam o sentido do fluxo da água pelo corpo da esponja. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os elementos de sustentação esquelética das esponjas podem ser fibras de **espongina**, proteína semelhante ao colágeno, ou **espículas minerais**, que podem ser de sílica (SiO_2) ou de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). (Fig. 14.3)

As esponjas apresentam **reprodução assexuada**, por **fragmentação** ou por **brotamento**. Certas esponjas de água doce formam estruturas denominadas **gêmulas**, capazes de resistir a períodos de frio extremo e falta de água.

Algumas espécies de esponjas apresentam **reprodução sexuada**. O zigoto resultante da união dos gametas desenvolve-se em uma larva multicelular ciliada e livre-natante, a plânula.

DOUGAL WATERS/DIGITALVISION/GETTY IMAGES

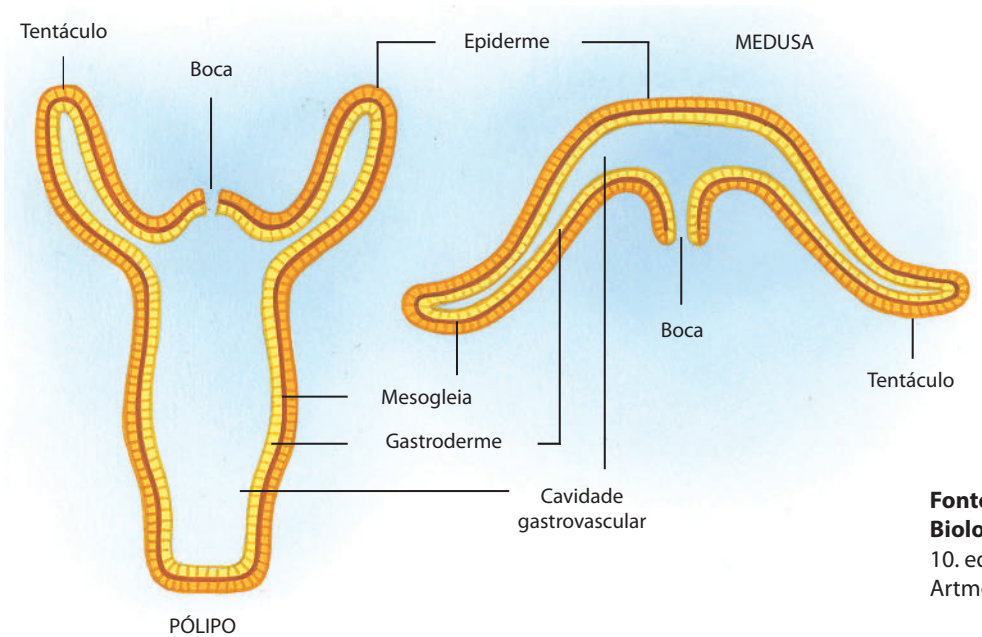
Figura 14.3. O esqueleto flexível dos poríferos utilizados como esponja de banho é constituído por fibras da proteína espongina.

2. Cnidários

O filo **Cnidaria** (do grego *knide*, urtiga) reúne cerca de 10 mil espécies de animais, cujos representantes mais conhecidos são as anêmonas-do-mar, os corais e as águas-vivas. A maioria dos cnidários é marinha, mas há espécies que vivem em rios e lagos de água doce e límpida. O contato físico com certas espécies de cnidários pode causar irritações na pele. O nome do filo deriva justamente da propriedade desses animais de causar irritações urticantes.

Os cnidários apresentam duas formas básicas de organização corporal: pólipo e medusa. A forma de **pólipo**, ou **polipoide**, lembra um cilindro com a base fixada a um objeto submerso e a extremidade oposta livre, na qual se situam a boca e os tentáculos. A forma de **medusa**, ou **medusoide**, lembra um guarda-chuva, com a boca situada em posição central na face côncava. Ao redor da boca e nas bordas do corpo pode haver **tentáculos**. (Fig. 14.4)

Pólipo e medusa de cnidários



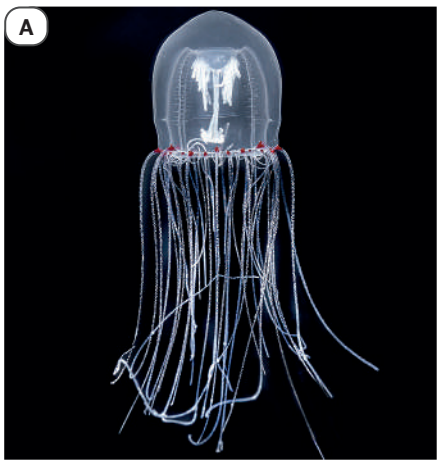
CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 14.4. Representação esquemática das duas formas corporais dos cnidários, pólipo e medusa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Há três grupos principais de cnidários: **hidrozoários** (Hidrozoa), **cifozoários** (Scyphozoa) e **antozoários** (Anthozoa). Exemplos de hidrozoários são as hidras de água doce e a caravela-portuguesa, um cnidário colonial. Exemplo de cifozoário são as águas-vivas. Exemplos de antozoários são os corais e as anêmonas-do-mar. Os pólipos dos corais secretam compostos minerais, principalmente carbonato de cálcio, que se acumulam na base dos pólipos formando um esqueleto. Após a morte e decomposição dos pólipos, os esqueletos de carbonato de cálcio persistem e formam rochas coralíneas, sobre as quais as colônias de pólipos continuam a se desenvolver. (Fig. 14.5)



GERALD CORSI/ISTOCK/GETTY IMAGES

ALL CANADA PHOTOS/ALAMY/FOTOARENA

Figura 14.5. Exemplos de cnidários. (A) A medusa *Polyorchis* sp. mede cerca de 6 cm de diâmetro. (B) Pólipo de *Urticina piscivora*, cnidário que pode atingir 10 cm de diâmetro.

As células mais típicas dos cnidários são os **cnidoblastos**, presentes na epiderme. Cnidoblastos apresentam uma cápsula interna ovoide, o **nematocisto**, ou **cápsula urticante**, que contém em seu interior um filamento enrolado e substâncias com propriedades tóxicas, capazes de paralisar as presas. O cnidoblasto pode reagir a estímulos mecânicos ou a determinadas substâncias químicas, disparando o nematocisto. Este se abre e o filamento interno se expande rapidamente, com liberação do líquido tóxico. Uma vez descarregados, os cnidoblastos degeneram. Novos cnidoblastos são continuamente produzidos por diferenciação de células da epiderme.

Veja respostas no Suplemento para o professor.

Em destaque

Colônia ou organismo?

Se você frequenta praias de água limpa, pode já ter visto uma caravela-portuguesa, um cnidário flutuante de cores vivas roxas ou azuladas, classificado no gênero *Physalia*. As caravelas são cnidários coloniais marinhos, dotados de um grande pólipo cheio de gás que mantém a colônia flutuando. A esse flutuador estão ligados outros tipos de pólipos, como os gastrozoides, especializados na digestão, e os gonozoides, que formam os gametas. As caravelas apresentam longos tentáculos, que são pólipos especializados dotados de muitos cnidoblastos, que atuam na captura das presas e na defesa.

1. Se você já observou de perto uma caravela-portuguesa, escreva suas impressões sobre ela. Se nunca viu uma caravela, observe a imagem e responda: o que teria levado à denominação caravela-portuguesa dada a esses animais?
2. Que características da caravela podem levar a pensar que a colônia é um único organismo?

NATURE PHOTOGRAPHERS LTD/ALAMY/FOTOARENA

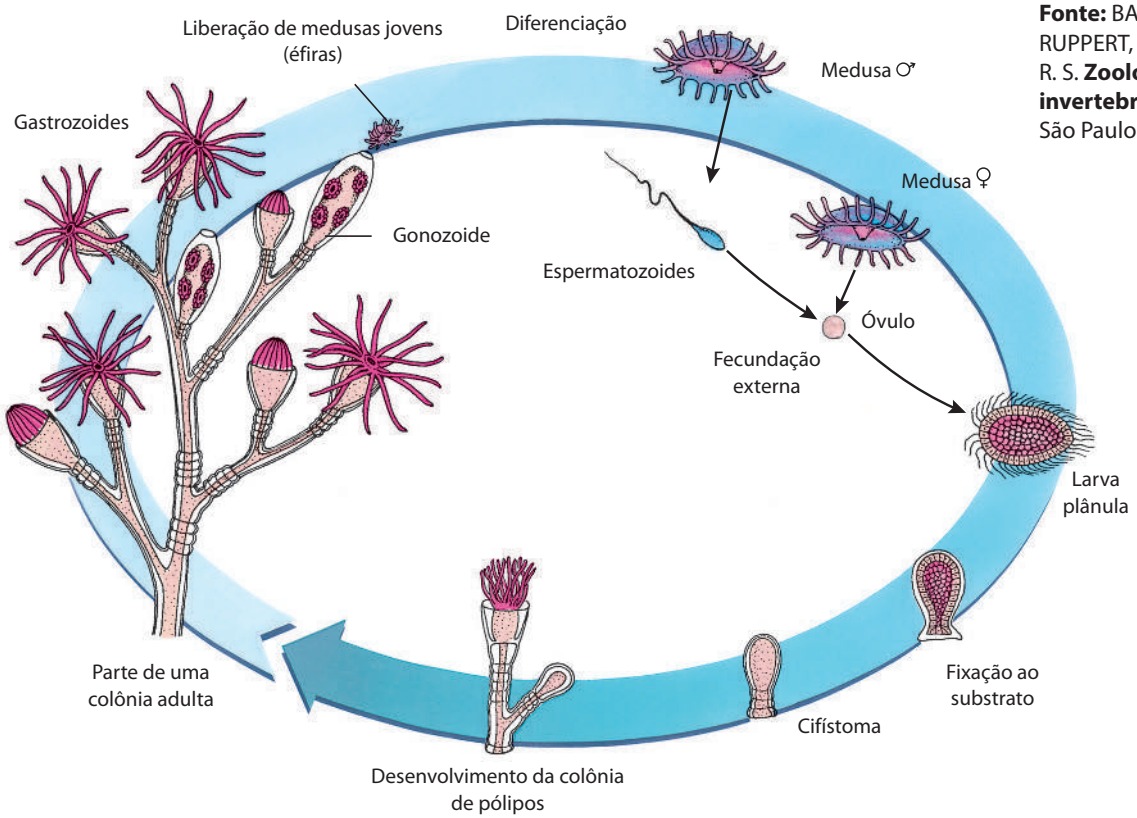
O flutuador da caravela-portuguesa *Physalia physalis* pode medir 30 cm de comprimento, os tentáculos podem atingir 10 m de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução e ciclo de vida dos cnidários

Muitas espécies de cnidários apresentam alternância entre formas polipoides e medusoides em seu ciclo de vida, fenômeno conhecido como **metagênese**, ou **alternância de gerações**. As formas medusoides são sexuadas. O zigoto resultante da união do óvulo com o espermatozoide se desenvolve e origina um pólipo assexuado. Na maturidade o pólipo sofre divisões transversais, originando pequenas medusas. (Fig. 14.6)

Alternância de gerações em cnidários



Fonte: BARNES, R. D.; RUPPERT, E. E.; FOX, R. S. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.

SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14.6. Representação esquemática do ciclo de vida de *Obelia* sp. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 14

O branqueamento de corais

O branqueamento de corais é um problema ecológico relacionado principalmente com o aumento da temperatura da água dos oceanos. No fenômeno de branqueamento, os corais tornam-se translúcidos em razão da morte ou da expulsão das algas zooxantelas que vivem dentro deles em associação de troca mútua de benefícios. O branqueamento pode ser temporário ou levar à morte do coral.

Pesquise na internet sobre o branqueamento dos corais. Levante informações mais detalhadas sobre o assunto, destacando as que julgar mais interessantes. Concentre-se em descobrir locais onde o branqueamento de corais esteja ocorrendo e possíveis maneiras de evitar ou minimizar o problema. Escreva um texto objetivo a respeito.

3. Platelmintos

Os **platelmintos** (filo **Platyhelminthes**, do grego *platys*, achatado) são animais de corpo achatado, acelomados e com **sistema digestivo incompleto**, ou de **fluxo bidirecional**. Os platelmintos são divididos em três grupos principais: turbelários, trematódeos e cestoides.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **turbelários** (Turbellaria) são animais de vida livre que habitam ambientes úmidos de terra firme ou ambientes aquáticos, marinhos ou de água doce. Os representantes mais conhecidos desse grupo são as planárias. (Fig. 14.7)

Figura 14.7. (A) *Pseudoceros bifurcus*, planária marinha que mede cerca de 6 cm de comprimento. (B) *Bipalium* sp., planária terrestre que chega a 15 cm de comprimento. (C) Fotomicrografia da planária *Dugesia japonica* fixada e corada, evidenciando a cavidade digestiva altamente ramificada. (Microscópio óptico; aumento ≈14×.)

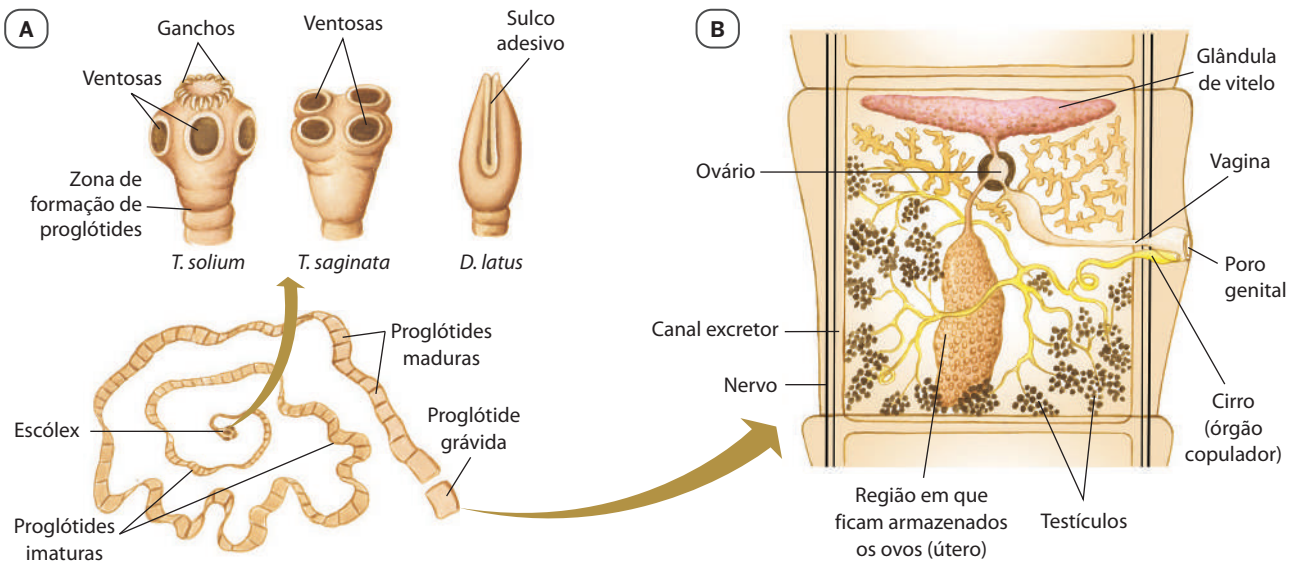
O corpo das planárias é revestido por uma epiderme uniestratificada, com uma só camada de células. As células da região ventral apresentam cílios, cujo batimento coordenado, atuando em conjunto com a contração da musculatura, permite às planárias deslizarem sobre uma trilha de muco secretado por glândulas mucosas.

Trematódeos são platelmintos parasitas dotados de duas ventosas aderentes, uma em torno da boca e outra na região ventral anterior. As ventosas permitem a fixação do verme ao corpo do hospedeiro.

Cestoides são platelmintos parasitas que vivem no intestino de animais vertebrados. Cestoides bem conhecidos são as tênias, ou solitárias, que apresentam corpo alongado e achatado, podendo atingir entre 2 m e 7 m de comprimento por 3 cm a 4 cm de largura. Tênias não têm sistema digestivo, absorvendo nutrientes diretamente da cavidade intestinal do hospedeiro. Na extremidade anterior da tênia, situa-se o **escólex**, ou **escólece**, no qual pode haver ventosas, ganchos ou sulcos adesivos, dependendo da espécie de tênia. O escólex permite a fixação do parasita ao intestino do hospedeiro. (Fig. 14.8-A)

O corpo da tênia é formado por dezenas ou centenas de segmentos transversais denominados **proglótides**, ou **proglotes**. Novas proglótides formam-se continuamente por divisão transversal pouco abaixo do escólex, processo denominado **estrobilização**. As proglótides são hermafroditas. Quando as proglótides mais distantes do escólex atingem a maturidade sexual, espermatozoides provenientes de uma proglótide próxima penetram na proglótide madura e fecundam seus óvulos. Ocorre, portanto, **autofecundação**. A proglótide fecundada pode conter centenas de ovos, sendo denominada proglótide grávida. Proglótides grávidas soltam-se do corpo da tênia e são eliminadas com as fezes do hospedeiro. (Fig. 14.8-B)

Organização corporal das tênias



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 14.8. (A) Representação esquemática que compara o escólex de três espécies de tênia (*Taenia solium*, *Taenia saginata* e *Dibothriocephalus latus*). (B) Representação esquemática de uma proglótide sexualmente madura mostrando suas diferentes partes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

SAÚDE ODS 6

Verminoses humanas: esquistossomose e teníase

Forme um grupo de colegas para compartilhar as tarefas desta atividade, que se refere a duas verminoses humanas: a esquistossomose e a teníase.

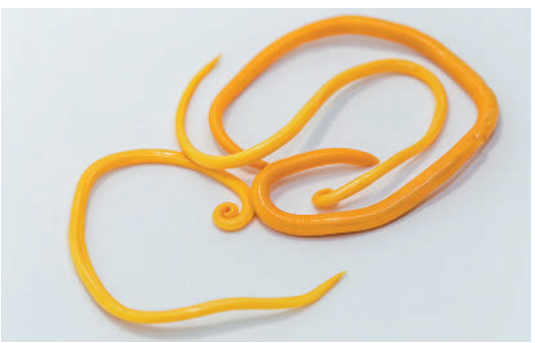
Os membros do grupo podem pesquisar a respeito dessas verminoses em *sites* disponíveis na internet, identificando o agente causador de cada verminose, o hospedeiro intermediário no ciclo de vida e as principais maneiras de prevenir a infestação. Por exemplo, no endereço eletrônico https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/esquistossomose (acesso em: 7 out. 2024) há informações importantes sobre a esquistossomose. Sobre a teníase, igualmente há *sites* interessantes. Pesquise também sobre a cisticercose, que ocorre quando a pessoa ingere ovos de tênia, fazendo o papel de hospedeiro intermediário da tênia. É possível pesquisar, também, especificamente sobre tênias de peixe, que afetam principalmente pessoas que consomem peixe cru.

O grupo pode definir tarefas diferentes de pesquisa para cada estudante; por exemplo, um membro do grupo fica encarregado de levantar informações epidemiológicas, isto é, dados referentes aos locais e à incidência da verminose, enquanto outros pesquisam aspectos sintomáticos da infestação, ciclo de vida, hospedeiros etc.

Após as pesquisas, o grupo pode debater atitudes em favor da prevenção dessas verminoses. O que se pode fazer em prol da prevenção individual (lavar as mãos com frequência, por exemplo) e coletiva, como cobrar das autoridades medidas de saneamento básico, como coleta e tratamento de esgoto? Com base nessas discussões, o grupo pode elaborar dois cartazes em tamanho grande sobre a prevenção da esquistossomose e da teníase. Se alguém do grupo conhecer formas digitais de divulgar cartazes, essas informações podem alcançar maior número de pessoas.

4. Nematódeos

Os **nematódeos** (filo **Nematoda**, do grego *nematos*, fio) são animais de corpo cilíndrico, alongado e afilado nas extremidades. A maioria dos nematódeos mede menos de 2,5 mm de comprimento, mas há espécies com mais de 1 m. Das mais de 20 mil espécies conhecidas, 30% são parasitas de animais e de plantas, causando prejuízos à agricultura e à pecuária, além de diversas doenças humanas. Nematódeos de vida livre vivem em solos úmidos e ricos em matéria orgânica e em ambientes aquáticos como rios, lagos e oceanos. Um nematódeo parasita bem conhecido por infestar pessoas é a lombriga (*Ascaris lumbricoides*). (Fig. 14.9)



SINHYU PHOTOGRAPHER/SHUTTERSTOCK

Figura 14.9. Nematódeos da espécie *Ascaris lumbricoides*, popularmente conhecidos como lombrigas. Esses vermes são parasitas do intestino humano e chegam a medir 40 cm de comprimento.

A infestação por nematódeos do gênero *Ascaris* é chamada de **ascaridíase**, sendo uma das verminoses mais comuns no mundo. As pessoas adquirem os vermes pela ingestão de água ou de alimentos contaminados por ovos de áscaris. No intestino delgado, as cascas dos ovos são digeridas e deles emergem pequenas larvas, com cerca de 0,2 mm de comprimento. Embora já estejam no ambiente em que viverão quando adultas, as larvas precisam realizar uma migração pelo corpo do hospedeiro antes de se estabelecerem definitivamente no intestino.

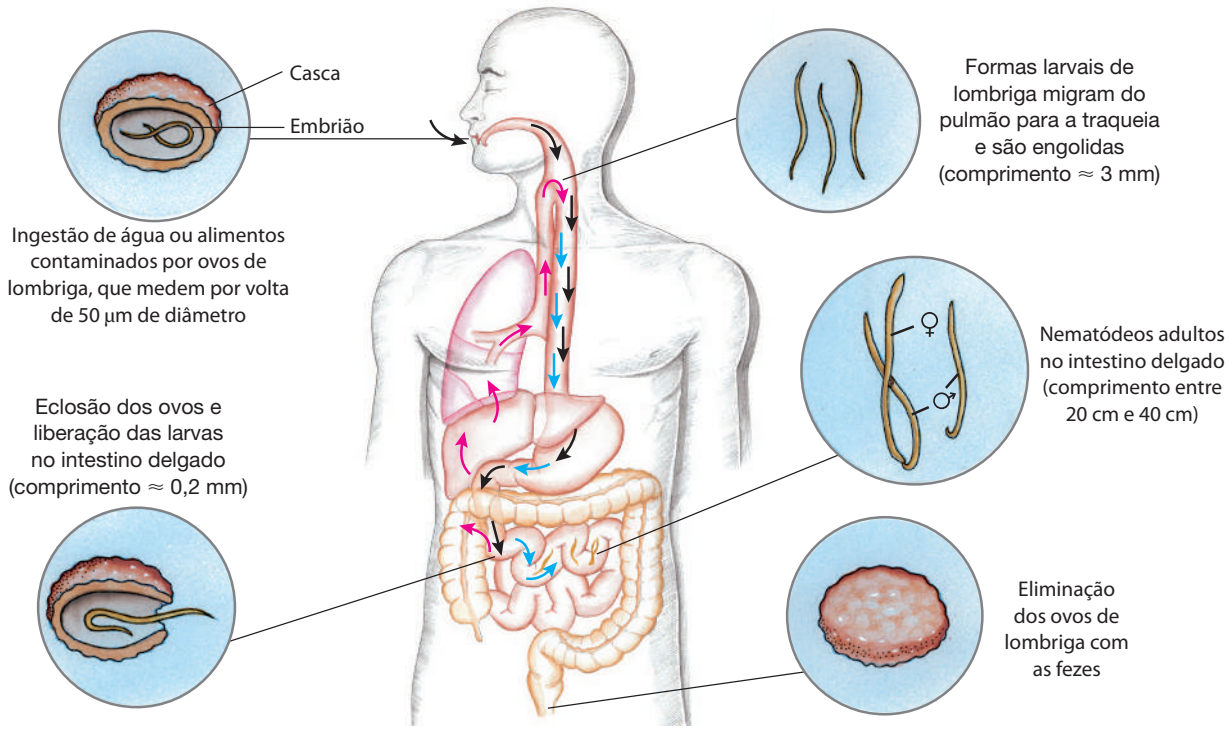
As larvas recém-saídas dos ovos perfuram a parede intestinal do hospedeiro e penetram na corrente sanguínea. Depois de alguns dias, jovens lombrigas com cerca de 3 mm de comprimento atingem os pulmões, perfurando os alvéolos pulmonares e atingindo a traqueia. Daí passam para a faringe e são engolidas, chegando ao intestino, onde crescem e atingem a maturidade sexual. Machos e fêmeas copulam, e os ovos fecundados são depositados no intestino.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada fêmea produz diariamente mais de 200 mil ovos fecundados, que são eliminados com as fezes do hospedeiro. (Fig. 14.10)

A infestação por áscaris geralmente causa poucos transtornos às pessoas infestadas. Porém, se a quantidade de vermes for muito grande, pode haver obstruções intestinais, desnutrição, pancreatite e distúrbios hepáticos, entre outras complicações. O tratamento pode ser feito com vermífugos. A prevenção da ascaridíase demanda instalações sanitárias adequadas, que impeçam a contaminação do solo e da água por ovos do parasita.

Ciclo de vida da lombriga



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Ascariasis**, [*s. l.*], 19 jul. 2019. Disponível em: https://www.cdc.gov/dpdx/ascariasis/index.html. Acesso em: 21 ago. 2024.

Figura 14.10. Representação esquemática da migração do nematódeo *Ascaris lumbricoides* pelo corpo da pessoa infestada por ascaridíase. As setas pretas indicam o percurso desde a ingestão dos ovos até a liberação das larvas no intestino. As setas rosa indicam a migração das larvas pela circulação sanguínea até os pulmões e a subida pela traqueia. As setas azuis mostram a parte final da migração das larvas e sua chegada ao seu ambiente definitivo, o intestino. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Outra verminose causada por nematódeos é a **ancilostomose**, conhecida popularmente como **amarelão**, e causada pela infestação por *Ancylostoma duodenales* ou por *Necator americanus*, também conhecidos como ancilóstomos. Os vermes adultos, com cerca de 1 e 1,5 cm de comprimento, vivem no intestino de pessoas infestadas. Ovos fecundados do verme são eliminados com as fezes. No solo os ovos eclodem, liberando pequenas larvas que se alimentam de bactérias. As larvas tornam-se capazes de penetrar ativamente na pele das pessoas e atingir a corrente sanguínea, por onde chegam aos pulmões, perfuram os alvéolos pulmonares, sobem pelos brônquios e atingem a traqueia, de onde passam para a faringe e chegam ao intestino.

Os vermes do amarelão atacam a parede intestinal da pessoa infestada, causando sintomas como dor abdominal, náuseas, vômitos, cansaço, diarreia e eventualmente sangramento intestinal. O termo "amarelão" deve-se à palidez decorrente da anemia apresentada por pessoas com altos níveis de infestação. O amarelão pode ser tratado com medicamentos antiparasitários e prevenido com instalações sanitárias adequadas, que impeçam a contaminação da água e do solo por ovos do parasita. Outra medida preventiva é utilizar calçados para evitar a penetração das larvas pelos pés, a maneira mais comum de contrair a doença.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

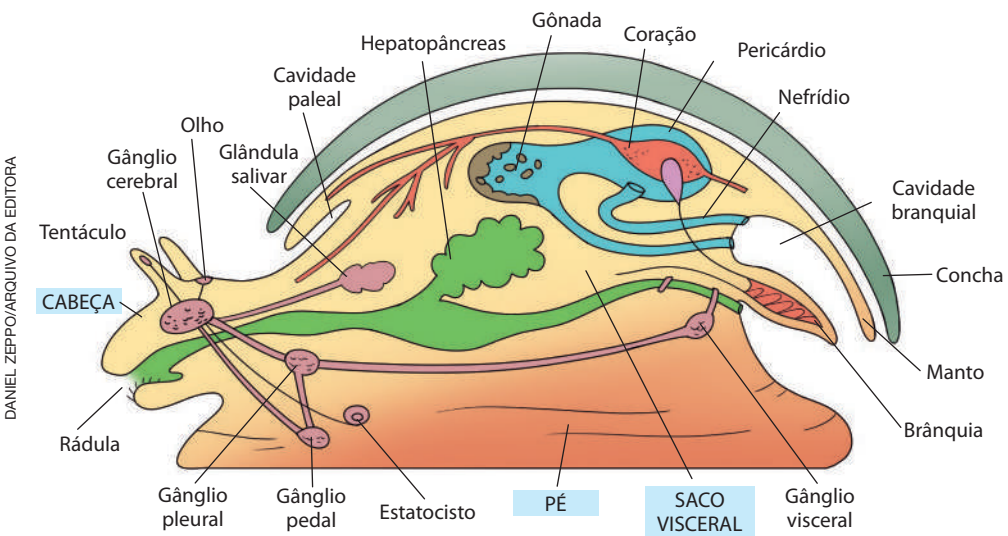
5. Moluscos

Os **moluscos** (filo **Mollusca**, do latim *mollis*, mole) são animais de corpo macio e flexível, sem segmentação e geralmente dotado de concha calcária externa. Exemplos de moluscos são as ostras, os mexilhões, as vieiras, os caramujos, as lesmas, as lulas e os polvos. As características da concha e o desenvolvimento das partes corporais básicas dos moluscos são os principais critérios para sua classificação. Grupos bem conhecidos de moluscos são os **bivalves** (Bivalvia), os **gastrópodes** (Gastropoda) e os **cefalópodes** (Cephalopoda). (Fig. 14.11)

Figura 14.11. Exemplos de moluscos. (A) *Cerastoderma edule* (berbigão), bivalve que atinge até 6 cm de comprimento. (B) *Monadenia fidelis* (caracol), gastrópode cuja concha mede cerca de 3,5 cm de diâmetro. (C) *Amphioctopus marginatus* (polvo), cefalópode que mede aproximadamente 25 cm de comprimento.

O filo Mollusca reúne mais de 100 mil espécies catalogadas. A maioria dos moluscos vive no mar, principalmente em águas rasas dos litorais, mas há diversas espécies de água doce e de terra firme. O corpo dos moluscos apresenta três partes básicas: cabeça, pé e saco visceral. Há diferentes desenvolvimentos das partes corporais em moluscos, em função da adaptação das espécies a diferentes modos de vida. (Fig. 14.12)

Organização corporal de um molusco



Fonte: adaptada de KÜHN, A. **Zoologia geral**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1964.

Figura 14.12. Representação esquemática da organização corporal de um molusco. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A **cabeça** é bem desenvolvida em gastrópodes (caramujos e caracóis) e em cefalópodes (lulas e polvos), sendo reduzida ou praticamente inexistente em bivalves (mexilhões e ostras). O grau de desenvolvimento da cabeça está relacionado com as adaptações de gastrópodes e cefalópodes à busca ativa do alimento, tarefa para a qual a cabeça é importante por reunir diversos órgãos sensoriais. Por outro lado, nos bivalves, que obtêm alimento por filtração da água circundante, a cabeça é reduzida e pouco diferenciada.

O **pé** é uma estrutura musculosa com diferentes graus de especialização entre os moluscos. Em gastrópodes, por exemplo, o pé permite a locomoção por deslizamento. Em cefalópodes, o pé divide-se em tentáculos, que permitem nadar, caminhar ou capturar presas. Em muitos bivalves, o pé é adaptado para cavar ou para fixar o animal a um substrato.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O **saco visceral** contém os órgãos internos (vísceras). Em diversos moluscos, o envoltório do saco visceral, denominado **manto**, ou **pálio**, apresenta uma dobra na qual desembocam o ânus e o poro excretor. O manto apresenta glândulas produtoras de muco e glândulas que secretam o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) que forma a **concha**. Esta protege e dá sustentação esquelética ao animal. Alguns moluscos, como polvos e lesmas, não apresentam conchas. Outros, como as lulas, apresentam concha interna e pouco desenvolvida.

Os moluscos têm nutrição variada, com espécies carnívoras, herbívoras e filtradoras. Com exceção dos bivalves, que filtram partículas alimentares da água, todos os outros moluscos são dotados de uma espécie de língua raladora denominada **rádula**, dotada de várias fileiras de pequenos dentes de quitina. O alimento ralado pelos dentículos de quitina é misturado ao muco secretado na cavidade bucal por glândulas salivares, o que facilita a ingestão.

Os cefalópodes apresentam uma glândula no final do intestino, a **bolsa de tinta**, cuja secreção de cor escura é expulsa para o exterior através do ânus em situações de perigo, turvando a água e confundindo um eventual predador.

6. Anelídeos

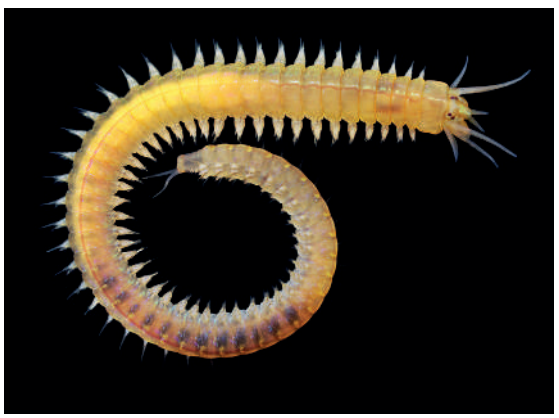
Os **anelídeos** (filo **Annelida**, do latim *annellus*, anel) são animais de corpo alongado e cilíndrico, dividido em segmentos transversais, os metâmeros, dispostos em sequência. Os metâmeros são separados externamente por sulcos transversais e neles se repetem, em sucessão regular, órgãos e estruturas internas e externas. Apenas o primeiro segmento, o segmento cefálico, no qual se situam a boca e órgãos sensoriais, se distingue dos demais, que são todos equivalentes entre si. A maioria dos anelídeos apresenta **cerdas** de quitina na superfície do corpo, que auxiliam no deslocamento do animal tanto em ambiente terrestre quanto aquático.

O corpo dos anelídeos é revestido por uma cutícula proteica fibrosa e permeável, secretada pelo epitélio, constituído por uma única camada de células. Imediatamente abaixo do epitélio, localiza-se uma musculatura circular e, abaixo dela, blocos de musculatura longitudinal.

O sistema digestivo é constituído por um tubo retilíneo que percorre todo o corpo do anelídeo desde a boca, localizada ventralmente no primeiro segmento corporal, até o ânus, localizado na extremidade posterior do corpo.

O filo Annelida compreende cerca de 16,5 mil espécies catalogadas de anelídeos, distribuídas em três grupos principais: poliquetos (Polychaeta), oligoquetos (Oligochaeta) e hirudíneos (Hirudinea).

Os **poliquetos** (do grego *polys*, muito, e *chaite*, cerda) são anelídeos dotados de grande número de cerdas quitinosas, fixadas em expansões laterais de cada segmento do corpo, os **parápodes**, ou **parapódios** (do grego *para*, semelhante, e *podos*, pé, perna). Os poliquetos apresentam cabeça bem diferenciada com palpos, antenas, olhos etc. Eles são animais **bentônicos**, nome que se dá a seres relacionados ao fundo marinho. Os poliquetos habitam desde a faixa das marés, em praias e costões rochosos, até profundezas abissais marinhas. (Fig. 14.13)



ALEXANDER SEMENOV/SPL/ FOTOARENA

Figura 14.13. O poliqueto *Nereis* sp., com cerca de 30 cm de comprimento, desloca-se no fundo marinho (hábito errante).

Os **oligoquetos** (do grego *oligos*, pouco, e *chaite*, cerda) são anelídeos com relativamente poucas cerdas corporais, cujos representantes mais conhecidos são as minhocas. É difícil ver as cerdas das minhocas a olho nu, mas é fácil senti-las se percorrermos o corpo do animal com a ponta dos dedos, da região posterior para a anterior. Os oligoquetos vivem em solos úmidos ou em ambientes de água doce. *Tubifex* é um gênero de pequenas minhocas avermelhadas que vivem no lodo do fundo de lagos e rios de águas poluídas, alimentando-se de detritos orgânicos e cuja presença é um indicador de poluição da água.

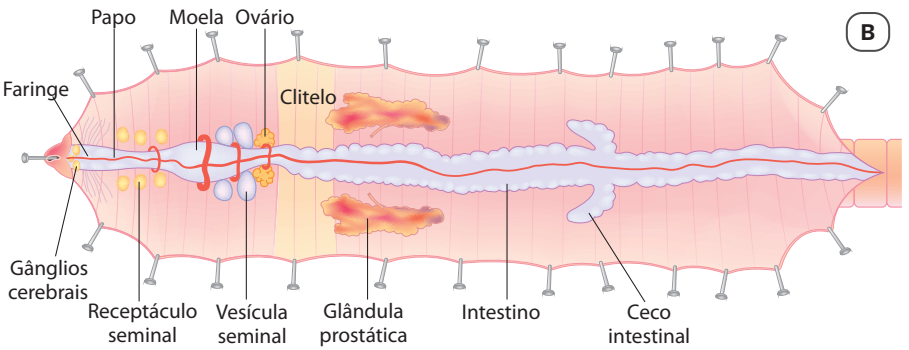
Um oligoqueto de terra firme bem conhecido no Brasil é a minhoca *Pheretima hawayana*, chamada de minhoca-louca por se contorcer freneticamente quando incomodada. Minhocas sexualmente maduras apresentam um conjunto de três segmentos diferenciados no terço anterior do corpo, o **clitelo**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os segmentos do clitelo secretam um casulo, no interior do qual ocorre a fecundação dos óvulos e o desenvolvimento das jovens minhocas. (Fig. 14.14)

Organização corporal da minhoca

PHIL DEGGINGER/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA



PHIL DEGGINGER/SCIENCE SOURCE/LATINSTOCK

Fonte: BARNES, R. D.; RUPPERT, E. E.; FOX, R. S. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.

Figura 14.14. (A) *Lumbricus terrestris*, a minhoca-louca, que mede aproximadamente 10 cm de comprimento. A região do clitelo é mais espessa e tem cor mais clara. (B) Representação esquemática de uma minhoca dissecada mostrando seus principais órgãos internos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As minhocas desempenham papel importante na reciclagem de materiais orgânicos e na fertilização do solo. Os túneis escavados pelas minhocas contribuem para a aeração do solo, favorecendo a respiração das raízes das plantas. Ao se alimentarem de restos orgânicos, principalmente de folhas, as minhocas auxiliam o processo de decomposição. As fezes e a urina constituem o húmus de minhoca, um adubo de alta qualidade, rico em substâncias nitrogenadas fertilizantes.

Os **hirudíneos** são anelídeos achatados dorsoventralmente e sem cerdas corporais. Há hirudíneos de água doce e marinhos, e algumas espécies habitam brejos e pântanos. Hirudíneos bem conhecidos são as sanguessugas, que se alimentam de sangue de animais vertebrados, incluindo a espécie humana. As sanguessugas têm duas ventosas para fixação ao corpo do hospedeiro, uma ao redor da boca e outra na extremidade oposta. Uma vez fixado, o animal é capaz de perfurar a pele da vítima sem causar dor. O hirudíneo suga então o sangue da vítima, que não coagula graças à presença de uma substância anticoagulante produzida pelas glândulas salivares do animal. (Fig. 14.15)

ST BARTHOLOMEW'S HOSPITAL/SPL/FOTOARENA

Figura 14.15. Sanguessugas da espécie *Hirudo medicinalis* aplicadas nas costas de uma pessoa com hematomas pós-cirúrgicos. Esses animais têm de 6 a 10 cm de comprimento. Sanguessugas foram utilizadas no passado para realizar sangria, técnica terapêutica baseada na crença de que doenças poderiam ser eliminadas do corpo pela retirada de sangue. Com os avanços da medicina, esse tipo de terapia foi abandonado a partir de meados do século XIX.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Construindo um minhocário

Construir um minhocário é fácil, ecológico e sustentável. Bastam algumas caixas plásticas, minhocas, um pouco de terra e folhas secas ou serragem. Seguindo algumas regras você poderá colocar no minhocário grande parte dos resíduos orgânicos gerados em sua casa. O minhocário não deixa cheiro nem suja o ambiente. Com ele você aproveita os resíduos orgânicos para obter um excelente adubo para jardins e vasos. Além disso, o minhocário permite observar melhor o comportamento das minhocas.

Material

- três caixas plásticas grandes de laterais e fundos fechados, que possam ser sobrepostas
- uma tampa para as caixas
- torneira plástica pequena, como as usadas em filtros (opcional)
- minhocas (podem ser compradas em lojas especializadas ou coletadas)
- terra ou húmus de minhoca
- resíduos orgânicos (cascas de frutas, sementes etc.)
- folhas secas ou serragem (material seco de origem orgânica)
- pá ou rastelo de mão

Procedimentos

1. Coloque as caixas superpostas. Uma delas ficará na base do minhocário e permitirá a coleta periódica do chorume, resíduo líquido resultante da decomposição dos resíduos orgânicos. Pode-se adaptar uma torneira de plástico na base dessa caixa para retirada do resíduo ou simplesmente desencaixá-la das outras caixas e recolher o líquido. O chorume pode ser usado

CONTINUA

como adubo, mas deve ser bem diluído em água antes de ser aplicado nas plantas.

2. Faça furos na base da segunda e da terceira caixas empilhadas para permitir a drenagem do chorume e a passagem das minhocas. Forre a caixa do meio com folhas secas ou serragem grossa, de modo que cubra os furos. Sobre a forração disponha uma camada fina de terra ou húmus. Coloque sobre essa camada minhocas, resíduos orgânicos úmidos e matéria seca (folhas secas ou serragem). Para evitar mau cheiro, ao colocar os resíduos coloque a mesma quantidade de material seco.
3. Quando a caixa do meio estiver cheia, passe a colocar os resíduos orgânicos e a matéria seca na caixa superior. Pouco a pouco, as minhocas atravessarão os furos e passarão para essa última caixa. A migração poderá levar semanas ou meses. Quando a caixa de cima já tiver muitas minhocas, o húmus da caixa do meio já poderá ser utilizado como adubo. Depois de esvaziar seu conteúdo, retorne a caixa para a posição superior. Repita esse procedimento sempre que necessário.
4. Duas ou três vezes por semana use a pá ou um rastelo de mão para revirar e oxigenar o material orgânico, com cuidado para não machucar as minhocas.

Veja o que pode ser colocado no minhocário:

- cascas e restos de frutas (exceto de limão e laranja), verduras e legumes;
- frutas, verduras e legumes estragados;
- cascas de ovo;
- folhas secas.

O que **não** deve ser colocado no minhocário:

- comida temperada;
- leite e derivados;
- resíduos de origem animal (carnes, ossos, gordura);
- líquidos;
- plástico, papel, alumínio, isopor ou qualquer outro material inorgânico.

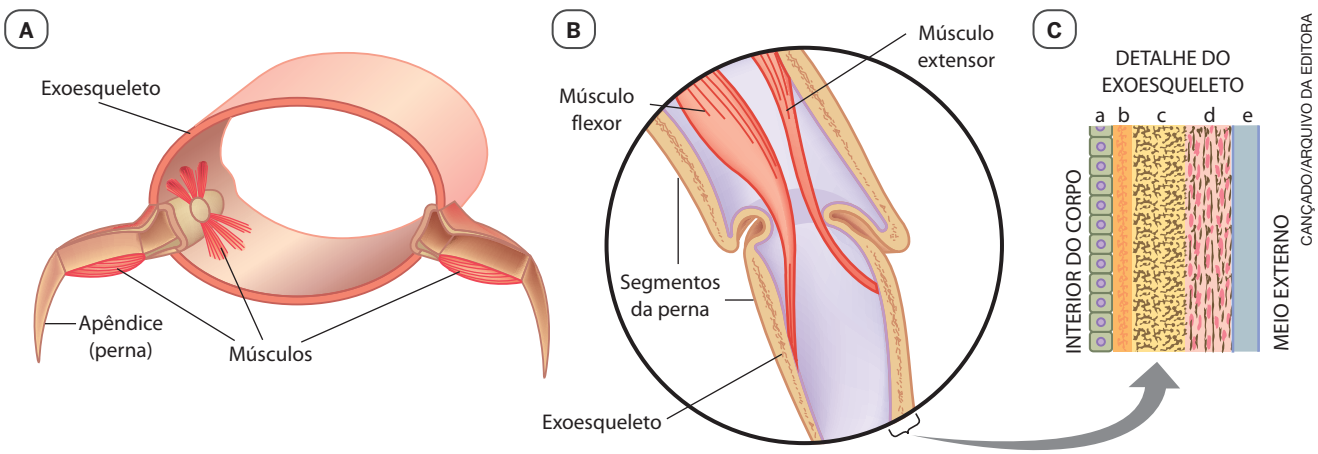
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. Artrópodes

Os **artrópodes** (filo **Artropoda**, do grego *arthron*, articulação, e *podos*, perna) são animais que apresentam **apêndices articulados**, tais como pernas, antenas e peças bucais. O corpo dos artrópodes é totalmente revestido por um **exoesqueleto** constituído pela proteína quitina. Certos crustáceos, como lagostas e caranguejos, podem apresentar o exoesqueleto quitinoso impregnado de carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Os artrópodes precisam trocar periodicamente o exoesqueleto, fenômeno denominado **ecdise**, ou **muda**. O crescimento corporal ocorre após a muda, enquanto o novo exoesqueleto que está se formando ainda apresenta elasticidade. Mudas de exoesqueleto podem ocorrer várias vezes ao longo da vida de um artrópode, dependendo da espécie. (Fig. 14.16)

O exoesqueleto dos artrópodes



Fonte: BARNES, R. D.; RUPPERT, E. E.; FOX, R. S. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.

Figura 14.16. (A) Representação esquemática do exoesqueleto de um segmento corporal de artrópode. (B) Representação esquemática da articulação de uma perna de crustáceo mostrando os músculos responsáveis por sua movimentação. (C) Representação esquemática da organização do exoesqueleto de artrópode mostrando a epiderme (a), quitina não calcificada (b), quitina calcificada (c), camada pigmentada (d) e a epicutícula (e). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A metameria dos artrópodes é visualizada em sulcos presentes na superfície do corpo e no arranjo segmentar dos apêndices corporais. A maioria das espécies de artrópodes apresenta fusão de metâmeros durante o desenvolvimento embrionário, o que origina diferentes partes do corpo, ou **tagmas**.

O corpo dos insetos, por exemplo, é composto de três tagmas: **cabeça**, **tórax** e **abdome**. A cabeça resulta da fusão dos seis primeiros metâmeros corporais. Em crustáceos como os camarões, há fusão entre os metâmeros que formam a cabeça e o tórax, originando o tagma denominado **cefalotórax**.

Com base na organização e nos apêndices corporais, os artrópodes são divididos em quatro grupos principais: a) crustáceos (Crustacea), que reúne camarões, siris, lagostas etc.; b) quelicerados (Chelicerata), que reúne aranhas, escorpiões, ácaros etc.; c) hexápodes (Hexapoda), que reúne principalmente os insetos; d) miriápodes (Myriapoda), que reúne lacraias, piolhos-de-cobra etc.

Crustáceos

Os **crustáceos** apresentam **dois pares de antenas** e corpo geralmente dividido em dois tagmas, **cefalotórax** e **abdome**, ambos dotados de apêndices locomotores. A maioria das mais de 40 mil espécies conhecidas de crustáceos vive em ambientes aquáticos, marinhos ou de água doce, e respira por meio de **brânquias**. A excreção dos crustáceos é feita através das **glândulas antenais**.

Há espécies de crustáceos sésseis, como as cracas, que vivem fixadas a rochas e a outros substratos submersos, e espécies livres-natantes, como certos camarões. Há ainda espécies que se deslocam caminhando sobre o fundo marinho, como é o caso de siris e lagostas. Entre os poucos crustáceos de terra firme, destacam-se os tatuzinhos-de-jardim, que vivem em ambientes úmidos sob pedras ou troncos apodrecidos, e as baratas-de-praia, que habitam ambientes rochosos do litoral marinho. (Fig. 14.17)

Quelicerados

O grupo dos **quelicerados** reúne cerca de 65 mil espécies, caracterizadas por apresentar dois tagmas corporais, o **cefalotórax** e o **abdome**, este último destituído de apêndices. No cefalotórax dos quelicerados, há seis pares de apêndices articulados, sendo um par de quelíceras, um par de pedipalpos e quatro pares de pernas locomotoras. As **quelíceras** são os apêndices que caracterizam o grupo, atuando como garras ou pinças na captura de alimento. Os **pedipalpos** são apêndices localizados nos lados da boca e que permitem manipular os alimentos. Em algumas espécies, os pedipalpos atuam como órgãos copuladores, sendo utilizados pelos machos para introduzir os espermatóforos no poro genital das fêmeas. Exemplos de quelicerados são as aranhas, os escorpiões, os carrapatos e os ácaros. (Fig. 14.18)

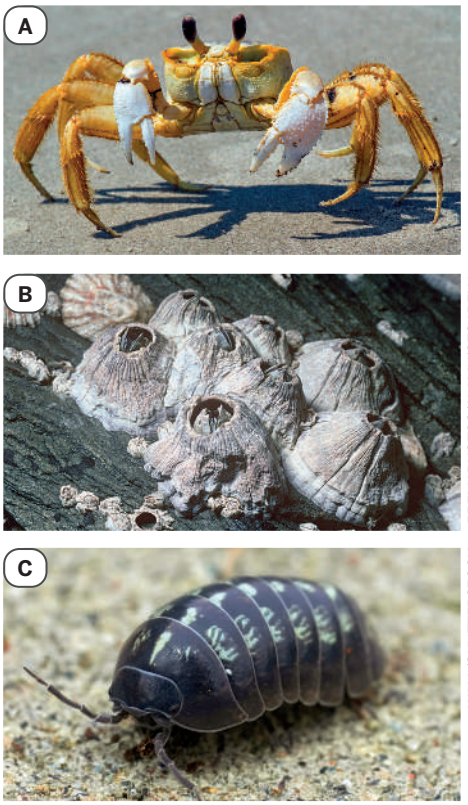


Figura 14.17. Exemplos de crustáceos. (A) O caranguejo maria-farinha (*Ocypode quadrata*) mede cerca de 8 cm de comprimento. (B) *Balanus perforatus*, uma craca, mede cerca de 2 cm de diâmetro. (C) *Armadillidium vulgare*, o tatuzinho-de-jardim, tem aproximadamente 1,5 cm de comprimento.

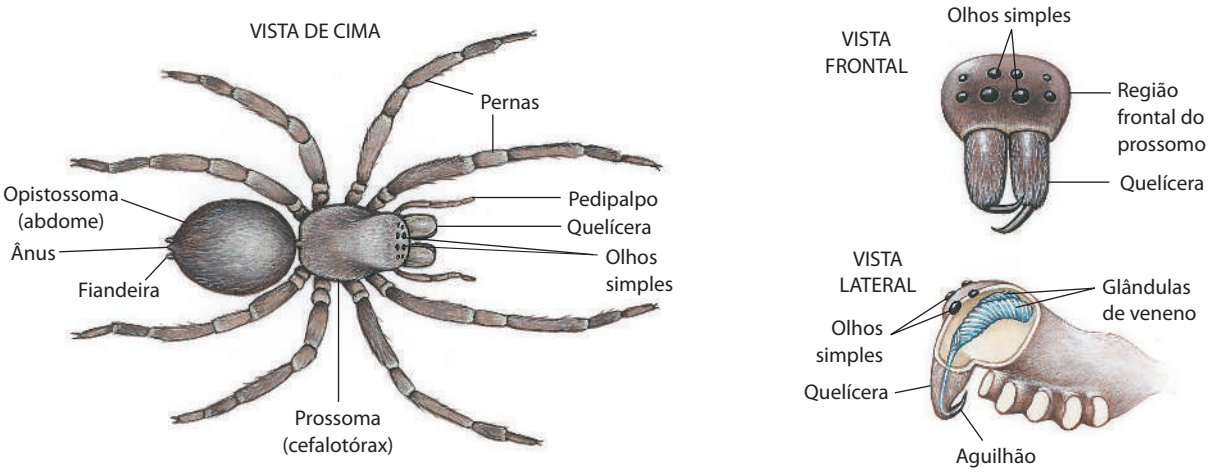
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 14.18. Exemplos de quelicerados. (A) A aranha *Hogna carolinensis* mede cerca de 3,5 cm de comprimento. (B) *Amblyomma cajennense*, o carrapato-estrela, mede cerca de 8 mm de comprimento. (C) *Pandinus imperator*, o escorpião imperador pode medir 20 cm de comprimento.

O maior grupo de quelicerados é o dos **aracnídeos** (Arachnida), que reúne aranhas, opiliões, escorpiões, carrapatos e ácaros, animais adaptados à terra firme. Aranhas vivem em matas, pântanos, desertos e casas. Escorpiões passam o dia escondidos em tocas, saindo à noite para caçar pequenos animais, geralmente insetos.

Muitos aracnídeos podem produzir **peçonhas** (venenos) com propriedades tóxicas. Aranhas, por exemplo, injetam a peçonha em suas presas por meio das quelíceras, enquanto os escorpiões injetam sua peçonha pelo aguilhão caudal. (Fig. 14.19)

Anatomia de uma aranha



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

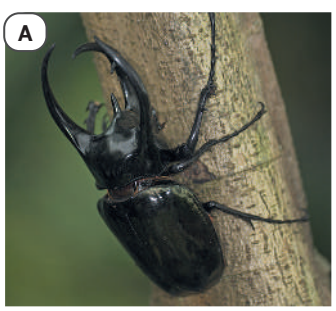
Figura 14.19. Representação esquemática da anatomia externa de uma aranha. Fiandeiras são estruturas nas quais desembocam as glândulas produtoras de seda, utilizada na confecção da teia. Na vista lateral, cefalotórax da aranha com parte removida para mostrar as glândulas de veneno e uma quelícera. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Hexápodes

Os **hexápodes** (do grego *hexa*, seis, e *podos*, perna) são artrópodes dotados de três pares de pernas e um par de antenas. A maioria pertence ao grupo dos insetos, o mais diversificado do filo Arthropoda, com mais de 900 mil espécies catalogadas. Hexápodes bem conhecidos são besouros, moscas, mosquitos, gafanhotos, baratas, traças, formigas, abelhas, libélulas, piolhos e pulgas, entre outros. (Fig. 14.20)

Os **insetos** são adaptados a ambientes de terra firme, sendo os únicos invertebrados capazes de voar. A estratégia do voo possibilitou ao grupo colonizar todas as regiões do planeta. A cabeça dos insetos resulta da fusão de seis metâmeros e apresenta um par de antenas (sensoriais), três ocelos e um par de olhos compostos (sensibilidade à luz e visão) e diversas peças bucais. As peças bucais localizam-se na parte inferior da cabeça e têm funções diversas, como mastigar, sugar ou lamber o alimento, dependendo do animal.

O tórax dos insetos é formado por três metâmeros, cada um com um par de pernas articuladas. Os dois últimos metâmeros do tórax apresentam, cada um, um par de **asas**, expansões foliáceas do tegumento. Nos dípteros há apenas um par de asas, localizadas no segundo segmento torácico. No último segmento torácico ocorreu uma transformação evolutiva da estrutura precursora das asas, originando os **balancins**, ou **halteres**, órgãos em forma de bastonete, móveis e que atuam no equilíbrio do voo.



PAPILIO/ALAMY/FOTOARENA

ED RESCHKE/STONE/GETTY IMAGES

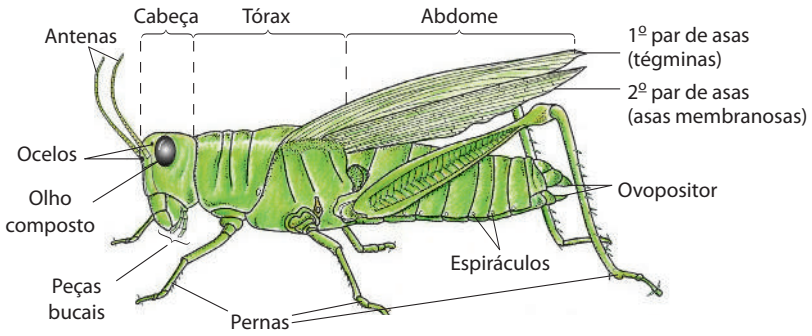
Figura 14.20. Exemplos de insetos. (A) *Chalcosoma caucasus*, besouro que chega a medir 12 cm de comprimento. (B) *Celithemis elisa*, libélula com aproximadamente 3 cm de envergadura.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O abdômen dos insetos compõe-se de onze metâmeros bem distintos e sem apêndices. É possível notar, na região lateral inferior de cada metâmero abdominal, um par de aberturas do sistema respiratório traqueal, os **espiráculos**. As genitálias de machos e fêmeas situam-se nos últimos metâmeros do corpo. As fêmeas geralmente apresentam uma estrutura afilada na extremidade do abdômen adaptada à postura dos ovos, denominada **ovopositor**. (Fig. 14.21)

Anatomia de um gafanhoto

SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 14.21. Representação esquemática da anatomia externa de um gafanhoto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os insetos apresentam três padrões de desenvolvimento: holometábolos, hemimetábolos e ametábolos. Insetos **holometábolos** são aqueles que apresentam desenvolvimento indireto, com diferentes estágios larvais, durante os quais o animal passa por uma **metamorfose completa**. O animal que eclode do ovo do inseto holometábolo é um ser vermiforme denominado **larva**, que apresenta corpo segmentado, é destituído de asas e pode ou não apresentar cabeça e pernas rudimentares, dependendo do grupo. Após certo número de mudas surge a **pupa**. Uma vez completada a metamorfose no interior da pupa surge o inseto adulto, denominado **imago**, que não sofre mais mudas.

Os insetos **hemimetábolos** apresentam desenvolvimento indireto com estágios imaturos, durante os quais o inseto sofre **metamorfose gradual**, ou metamorfose incompleta. O inseto hemimetábolo que eclode do ovo é chamado de **ninfa**, passa por várias mudas e se transforma gradualmente em adulto, que não sofre mais mudas.

Os insetos **ametábolos** (do grego *a*, negação, e *metabole*, transformar) não sofrem metaformose. O animal que eclode do ovo é um adulto em miniatura, e as mudas que sofre permitem apenas o crescimento do corpo, sem mudanças estruturais. As mudas ocorrem até o animal atingir o tamanho adulto.

Miriápodes

O grupo dos Myriapoda (do grego *miria*, numeroso, e *podos*, perna) reúne animais de corpo alongado, com segmentação evidente, dotados de várias pernas e um par de antenas. Os miriápodes compreendem centopeias, lacraias e piolhos-de-cobra (embuás). (Fig. 14.22)

LARRY MILLER/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

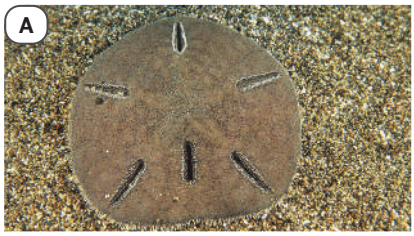
PREMAPHOTOS/NATUREPL/FOTOARENA

Figura 14.22. (A) Lacraia da espécie *Scolopendra heros*, miriápode com cerca de 8 cm de comprimento. (B) Piolho-de-cobra, ou embuá, miriápode da espécie *Cylindroiulus punctatus*, que chega a medir 3 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

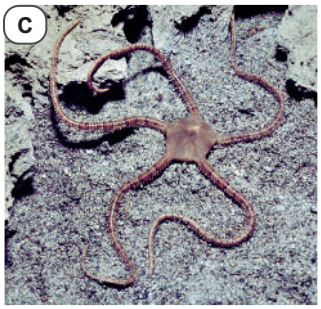
8. Equinodermos

Os **equinodermos** (filo **Echinodermata**, do grego *echinos*, espinho, e *dermatos*, pele) compreendem cerca de 7 mil espécies atuais. Os equinodermos mais conhecidos são as estrelas-do-mar (clado Asteroidea), os ouriços-do-mar e as bolachas-de-praia (clado Echinoidea), os pepinos-do-mar (clado Holothuroidea e as serpentes-do-mar (clado Ophiuroidea). (Fig. 14.23)



ANDREW J. MARTINEZ/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

PAPILIO/ALAMY/FOTOARENA



DEA PICTURE LIBRARY/ GETTY IMAGES

Figura 14.23. Exemplos de equinodermos. (A) *Leodia sexiesperforata* é uma bolacha-de-praia, do grupo dos equinoides, com cerca de 10 cm de diâmetro. (B) *Protoreaster nodosus* é uma estrela-do-mar, do grupo dos asteroides, com cerca de 30 cm de diâmetro. (C) *Ophioderma longicauda* é uma serpente-do-mar, do grupo dos ofiuroides, com cerca de 15 cm de diâmetro.

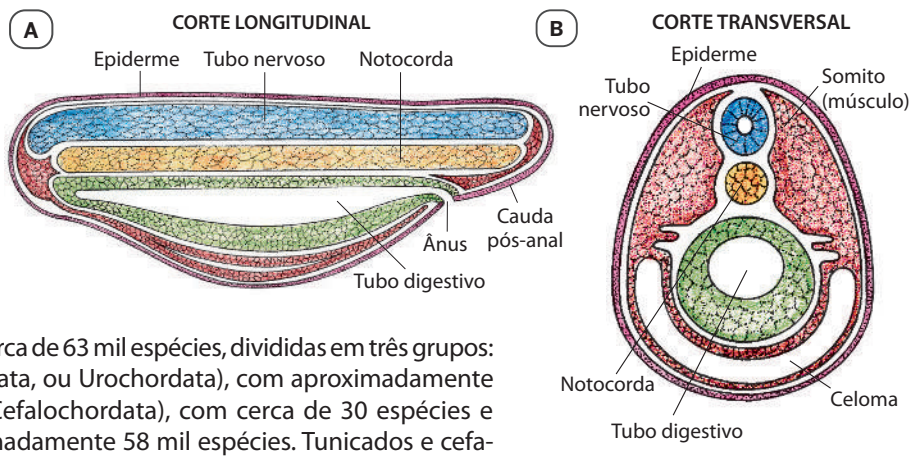
O corpo dos equinodermos é revestido por uma epiderme fina. O esqueleto situa-se internamente à epiderme, constituindo um **endoesqueleto**. Nos ouriços-do-mar, o endoesqueleto é constituído por placas calcárias bem encaixadas entre si. Nas holotúrias (pepinos-do-mar), o endoesqueleto é constituído por uma rede proteica de colágeno com ossículos calcários entremeados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. Cordados

Os **cordados** (filo **Chordata**, do latim *chorda*, corda ou cordão) são animais que apresentam, na fase embrionária, um cordão semirrígido ao longo do dorso do corpo, a **notocorda** (do grego *noto*, dorso), ou **corda dorsal**. A notocorda é uma exclusividade do filo Chordata e sua presença é um indicativo de que tunicados, anfioxos, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos tiveram um ancestral comum no passado, do qual herdaram essa característica. A notocorda desaparece ainda na fase embrionária da maioria dos cordados, mas persiste durante toda a vida em cordados primitivos. Além da notocorda, outras características presentes nos embriões de cordados são **tubo nervoso dorsal**, **fendas na faringe** e **cauda**, que é o prolongamento terminal do corpo após o ânus. O tubo nervoso origina-se a partir do ectoderma e é sustentado pela notocorda. É a partir desse tubo que se origina o sistema nervoso dos cordados. (Fig. 14.24)

Organização corporal interna de embrião de anfíbio



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14.24. Representações esquemáticas de um embrião de anfíbio (A) em corte longitudinal e (B) em corte transversal. As fendas na faringe, também chamadas de fendas faringianas, são aberturas que surgem durante o desenvolvimento embrionário. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Os cordados compreendem cerca de 63 mil espécies, divididas em três grupos: tunicados, ou urocordados (Tunicata, ou Urochordata), com aproximadamente 3 mil espécies; cefalocordados (Cefalochordata), com cerca de 30 espécies e craniados (Craniata), com aproximadamente 58 mil espécies. Tunicados e cefalocordados são reunidos sob a designação de **protocordados** (do grego *protos*, primitivo) por conservarem traços do filo Chordata considerados primitivos e não serão estudados detalhadamente neste livro.

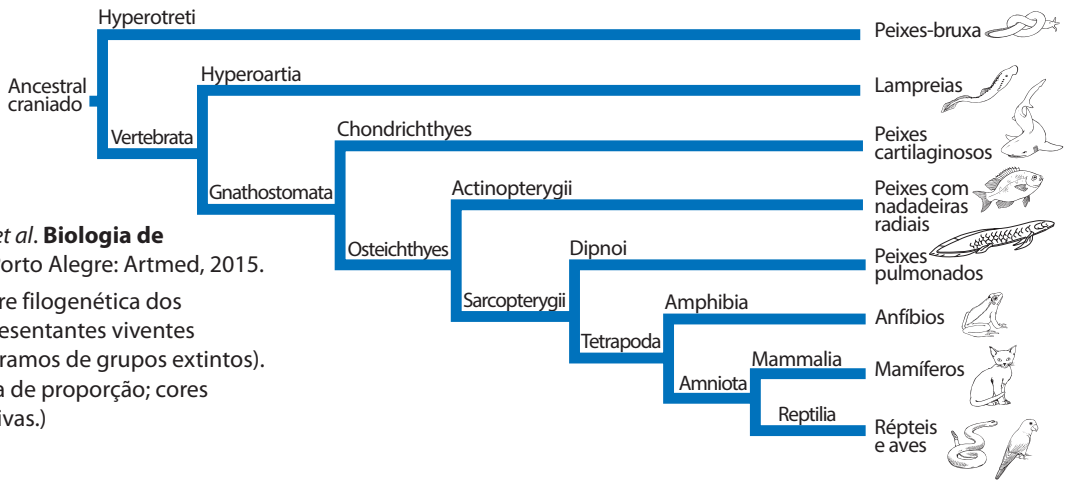
Os cordados craniados

Craniados são animais cordados dotados de **crânio**, compartimento localizado na cabeça que contém o encéfalo e a maioria dos órgãos sensoriais (olfativos, visuais, auditivos e de equilíbrio). Com poucas exceções, todos os craniados são **vertebrados**, apresentando **coluna vertebral**, uma estrutura de suporte corporal constituída por **vértebras** cartilaginosas ou ósseas, alinhadas ao longo do dorso e da cauda.

Os primeiros vertebrados craniados teriam surgido nos mares há aproximadamente 480 milhões de anos. Inicialmente teriam surgido dois ramos de vertebrados, um que teria originado animais sem mandíbula (agnatos, do prefixo grego *a*, negação, e *gnathos*, mandíbula) e outro que teria originado os animais com **mandíbula** (gnatostomados, do grego *gnathos*, mandíbula, e *stomatos*, boca). A mandíbula é uma estrutura esquelética que se articula à caixa craniana e permite ao animal abrir e fechar a boca.

Ao longo da evolução, os gnatostomados teriam originado o ramo dos **condrictes**, ou **peixes cartilaginosos** (Chondrichthyes), cujos representantes atuais mais conhecidos são os tubarões e as raias. Um segundo ramo de gnatostomados teria se dividido em dois e originado, por um lado, os peixes com nadadeiras radiais, os **actinopterígios** (Ostheichthyes, ou peixes ósseos) e, por outro, os peixes com nadadeiras lobadas, os **sarcopterígios** (Sarcopterygii). Linhagens ancestrais de sarcopterígios teriam se diversificado, originando os **tetrápodes**, vertebrados dotados de quatro membros (pernas e braços), e os **peixes pulmonados** atuais. A linhagem dos tetrápodes, por sua vez, teria se diversificado originando os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos. (Fig. 14.25)

Árvore filogenética dos craniados



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 14.25. Árvore filogenética dos craniados com representantes viventes (foram omitidos os ramos de grupos extintos). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A reprodução dos craniados é diversificada, com espécies monoicas (hermafroditas) e dioicas (sexos separados). Dependendo da espécie, pode ocorrer fecundação externa ou interna e desenvolvimento direto ou indireto. Há craniados **ovíparos**, em que as fêmeas produzem e eliminam ovos ricos em nutrientes que sustentam o desenvolvimento embrionário. Exemplos de craniados ovíparos são os peixes (a maioria), os anfíbios, os répteis, as aves e raros mamíferos. A maioria dos mamíferos é **vivípara**, com os embriões desenvolvendo-se dentro do corpo da mãe, que fornece ao embrião os nutrientes que sustentam seu desenvolvimento.

Peixes

OBJETO DIGITAL Vídeo: Espécies que habitam o mar profundo

O termo **peixe** é utilizado para designar craniados aquáticos que respiram por meio de brânquias. Exemplos são os peixes-bruxa (também chamados de enguias-de-muco), as lampreias (representantes dos agnatos, ou ciclostomados), que são vertebrados sem mandíbula, os condrictes, ou peixes cartilaginosos, e os osteíctes, ou peixes ósseos.

Peixes-bruxa são animais marinhos de corpo alongado e coloração rosa-acinzentada, com até 1 metro de comprimento. Seu esqueleto é constituído de crânio, notocorda e raios cartilaginosos da nadadeira caudal. Os peixes-bruxa vivem semienterrados no fundo dos mares, geralmente a centenas de metros de profundidade, e seu corpo é revestido por uma espessa camada mucosa, daí serem chamados de enguias-de-muco. (Fig. 14.26)

TOM MCHUGH/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 14.26. Peixe-bruxa (*Eptatretus stoutii*) com aproximadamente 60 cm de comprimento. O muco escorregadio sobre seu corpo serve para proteção contra predadores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Condrictes (do grego *chondros*, cartilagem, e *ichthyos*, peixes) são vertebrados aquáticos com esqueleto constituído por cartilagens. Os condrictes mais conhecidos são os elasmobrânquios, grupo que reúne tubarões e raias. Outros condrictes são as quimeras, que vivem em grandes profundidades e são representadas por apenas 30 espécies conhecidas. (Fig. 14.27)

Figura 14.27. Representantes de peixes cartilaginosos. (A) Tubarão-de-Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), que pode atingir 3 m de comprimento. (B) Raia-bicuda (*Dasyatis americana*), espécie que chega a medir 2 m de envergadura. (C) Quimera (*Chimaera monstrosa*), que pode atingir 1,5 m de comprimento.

Os peixes cartilaginosos são dioicos (sexos separados), com fecundação interna e desenvolvimento direto. Há espécies em que as fêmeas retêm os ovos no corpo até o final do desenvolvimento embrionário, dando à luz jovens peixes. Esse tipo de desenvolvimento é denominado **ovovivíparo**. Algumas espécies de condrictes são vivíparas, com embriões que se desenvolvem dentro do corpo da fêmea, alimentando-se de substâncias retiradas do sangue materno por uma estrutura análoga à placenta.

Osteíctes (do grego *osteon*, osso, e *ichthyos*, peixes) são vertebrados aquáticos dotados de esqueleto ósseo que vivem em lagos, córregos, rios e oceanos, desde as regiões polares até os trópicos. Os peixes ósseos são divididos em dois grupos: **actinopterígios** (clado Actinopterygii), peixes dotados de nadadeiras radiais sustentadas por raios ósseos, ou espinhos, e **sarcopterígios** (clado Sarcopterygii), peixes dotados de nadadeiras carnosas sustentadas por ossos. (Fig. 14.28)

Figura 14.28. (A) O cavalo-marinho *Hippocampus kuda*, que mede cerca de 8 cm de comprimento, e (B) a barracuda *Sphyraena barracuda*, que mede aproximadamente 90 cm de comprimento, são peixes actinopterígios, dotados de nadadeiras radiais. (C) O celacanto *Latimeria chalumnae*, que mede cerca de 1,2 m de comprimento, é um peixe sarcopterígio, que apresenta nadadeiras carnosas com sustentação óssea.

Os actinopterígios apresentam, na parte superior da cavidade abdominal, uma bolsa altamente vascularizada denominada **bexiga natatória**. Gases do sangue podem passar para a bexiga natatória, inflando-a, ou passar da bexiga para o sangue, esvaziando-a. O inflamento ou esvaziamento da bexiga natatória altera a densidade do corpo do peixe, possibilitando seu ajustamento a diferentes profundidades sem gasto de muita energia.

Os osteíctes são dioicos (sexos separados) e a maioria das espécies é ovípara. Ocorre fecundação externa na maioria das espécies, geralmente precedida de rituais de corte nupcial. O desenvolvimento pode ser direto ou indireto. Filhotes de actinopterígios com fecundação externa são denominados **alevinos** e geralmente apresentam um grande saco vitelínico ligado ao abdome.

Tetrápodes

Os **tetrápodes** (do grego *tetra*, quatro, e *podos*, perna) são vertebrados dotados de quatro membros, a maioria adaptada à vida em terra firme. Baleias e golfinhos estão entre os poucos tetrápodes que, no curso de sua evolução, voltaram a se adaptar à vida na água. Os tetrápodes atuais compreendem mais de 21 mil espécies, classificadas em dois grandes grupos: **anfíbios** (Amphibia) e **amniotas** (Amniota), este último grupo formado por répteis, aves e mamíferos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **anfíbios** (do grego *amphi*, duas, e *bios*, vida) geralmente apresentam uma fase larval aquática, com respiração branquial, e uma fase adulta adaptada ao ambiente de terra firme. Os anfíbios mais conhecidos são os **anuros** (Anura, do grego *an*, prefixo de negação, e *uros*, cauda), que reúnem anfíbios sem cauda como sapos, rãs e pererecas. Os **urodelos** (Urodela, do grego *uros*, cauda) são anfíbios dotados de cauda, como as salamandras. Um grupo menos conhecido de anfíbios é o dos **ápodes** (Apoda, do prefixo grego *a*, negação, e *podos*, perna), animais com corpo cilíndrico e alongado, destituído de pernas, como as cobras-cegas. (Fig. 14.29)

Figura 14.29. Representantes dos anfíbios. (A) Pererecа, *Hyla cinerea* (Anura), que mede aproximadamente 6 cm de comprimento. (B) Salamandra, *Gyrinophilus porphyriticus* (Urodela), que mede cerca de 16 cm de comprimento. (C) Cecília, *Ichthyophis bombayensis* (Apoda), com cerca de 40 cm de comprimento.

Anfíbios adultos apresentam glândulas produtoras de muco na pele, o que mantém a superfície corporal úmida e lubrificada, permitindo a **respiração cutânea** (trocas gasosas entre vasos sanguíneos da pele e o ambiente). Muitos anfíbios apresentam pele colorida, o que pode servir como camuflagem, como atrativo sexual ou como coloração de alerta, indicando a eventuais predadores a presença de substâncias tóxicas na pele. Anuros e salamandras adultos são animais carnívoros, alimentando-se de insetos, vermes, pequenos crustáceos, moluscos e outros animais. As larvas aquáticas de anuros são os **girinos**, que se alimentam de algas e de restos de organismos mortos.

Os anfíbios são animais dioicos (sexos separados). e a maioria apresenta fecundação externa, com ovos que se desenvolvem fora do corpo da fêmea (ovíparos). Os anuros machos geralmente vocalizam sons, cuja função é delimitar território e atrair fêmeas. O ato sexual consiste em um abraço do macho ao dorso da fêmea, chamado de **amplexo nupcial**, que estimula a liberação dos óvulos, sobre os quais o macho libera os espermatozoides. (Fig. 14.30)

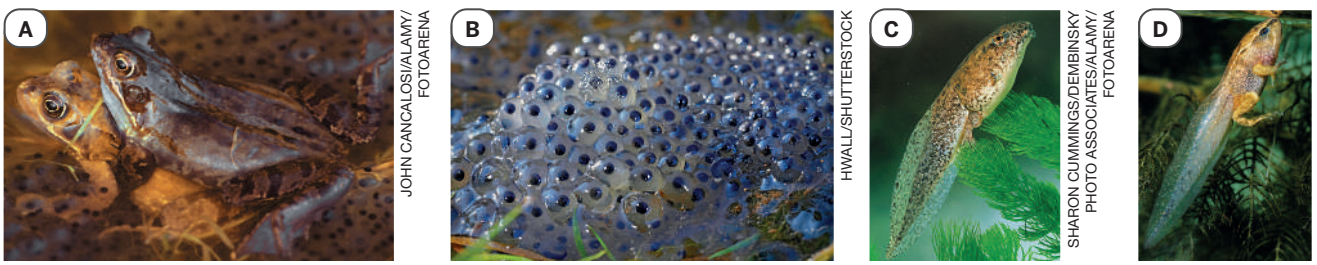


Figura 14.30. (A) Casal de rãs da espécie *Rana temporaria* fotografado durante o amplexo nupcial. O macho, geralmente menor que a fêmea, mede cerca de 10 cm de comprimento. (B) Ovos da rã *Rana temporaria*, com aproximadamente 2 mm de diâmetro. (C) Girino jovem de *Rana clamitans*, com a cauda e as pernas traseiras desenvolvidas. (D) Girino de *R. temporaria* com pernas anteriores e posteriores desenvolvidas e ainda apresentando cauda.

Na maioria dos anfíbios, os ovos fecundados se desenvolvem originando larvas dotadas de brânquias. O desenvolvimento larval se encerra com a metamorfose, processo em que as brânquias desaparecem e surgem os pulmões. Na metamorfose dos anuros, ocorre regressão da cauda e surgimento das pernas. A cauda das larvas de salamandras não regride na metamorfose, persistindo na fase adulta. Há espécies de salamandra que vivem permanentemente na água e não sofrem metamorfose, conservando as características larvais durante toda a vida.

Os **répteis** (do latim *reptilis*, que se arrasta) apresentam epiderme dotada de uma espessa camada de queratina, adaptação que reduz a perda de água por transpiração. Outra característica adaptativa dos répteis à vida em terra firme é a respiração por meio de pulmões eficientes nas trocas gasosas com o ambiente aéreo. Répteis bem conhecidos são serpentes, lagartos, jacarés, crocodilos, jabutis e tartarugas.

Os répteis são divididos em quatro grupos: esquamatos (Squamata), quelônios (Chelonia), crocodílios (Crocodilia) e rincocéfalos (Rhynchocephalia). O grupo dos **esquamatos** reúne os répteis mais abundantes e diversificados, representados principalmente por serpentes e lagartos, a maioria vivendo em terra firme.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O grupo dos **quelônios** reúne tartarugas marinhas, cágados de água doce e jabutis de terra firme. O grupo dos **crocodílios** reúne crocodilos e jacarés, que vivem em rios e lagos de água doce em regiões quentes. Uma espécie de crocodilo, o *Crocodylus porosus*, habita rios e estuários, mas pode ser encontrado em zonas costeiras de mar aberto, daí ser chamado popularmente de crocodilo-marinho, ou crocodilo-de-água-salgada. Os **rincocéfalos** são as tuataras, com apenas duas espécies atuais, restritas à Nova Zelândia. (Fig. 14.31)

FABIO COLOMBINI/ ARQUIVO DA EDITORA

KIM TAYLOR/NATUREPL/ FOTOARENA

JAMES L. AMOS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 14.31. Representantes dos répteis. (A) Cascavel *Crotalus durissus* (Squamata), que mede até 1,2 m de comprimento. (B) Camaleão *Chamaeleo gracilis* (Squamata), que chega a medir cerca de 35 cm de comprimento. (C) Tuatara *Sphenodon* sp. (Rhynchocephalia), que mede cerca de 30 cm de comprimento.

A maioria dos répteis é dioica (sexos separados), e os ovos se desenvolvem fora do corpo (ovíparos). Durante a cópula, o macho introduz espermatozoides na cloaca da fêmea. Ocorre fecundação interna e desenvolvimento direto, sem estágios larvais.

A grande novidade evolutiva que permitiu aos répteis conquistarem o ambiente de terra firme foi o surgimento do **ovo amniótico**. Esse ovo é protegido por uma casca membranosa ou calcária e em seu interior desenvolve-se um embrião, ligado a estruturas extraembrionárias anexas, que permitem a sobrevivência fora da água. Os anexos extraembrionários característicos do ovo amniótico são o saco vitelínico, o âmnio, o cório e o alantoide (relembre no capítulo 7). Esses anexos ocorrem também em aves e em mamíferos, o que levou os sistematas a reunir répteis, aves e mamíferos no grupo Amniota, em referência ao âmnio, bolsa cheia de líquido que envolve o embrião e o protege da dessecação e de choques mecânicos.

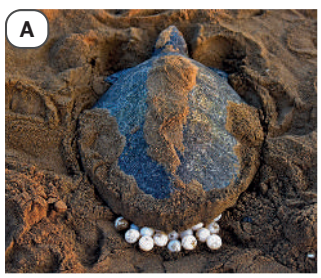
Os ovos dos répteis, assim como os das aves, contêm água e alimento suficientes para todo o desenvolvimento embrionário. As trocas do embrião com o ambiente restringem-se aos gases respiratórios, que se difundem pelos envoltórios do ovo. (Fig. 14.32)

Répteis, anfíbios e a maioria dos peixes são chamados popularmente de **animais de sangue frio**. Como esses animais não utilizam calor gerado no metabolismo para se aquecer, sua temperatura corporal é próxima à temperatura ambiente. Assim, como têm que utilizar calor externo para se aquecer, esses animais são mais apropriadamente chamados de **ectotérmicos** (do grego *ektós*, de fora, e *thermo*, calor). Recentemente, descobriu-se que o teiú, um dos maiores lagartos americanos, é o único lagarto endotérmico conhecido pela ciência. A descoberta da capacidade de regulação térmica nos teiús pode fornecer uma pista importante para o entendimento da evolução da endotermia nos ancestrais dos mamíferos e das aves (e dinossauros).

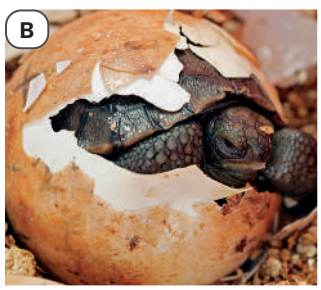
Aves e mamíferos, por outro lado, são popularmente chamados de **animais de sangue quente**, mantendo temperaturas corporais relativamente elevadas, da ordem de 35 °C ou mais. Além de possuir mecanismos eficientes contra a perda de calor, os animais de sangue quente utilizam o calor gerado no metabolismo para se aquecer, sendo mais apropriadamente chamados de **endotérmicos** (do grego *éndon*, dentro).

As **aves** têm como principal característica a capacidade de voar, embora algumas espécies, como avestruzes e emas, tenham perdido essa habilidade no curso da evolução. Há cerca de 9 mil espécies conhecidas de aves vivendo em todas as regiões do planeta. O grupo apresenta grande diversidade de formas e tamanhos, desde beija-flores, com menos de 6 cm de comprimento e 2 g de massa corporal, até avestruzes, com mais de 2,5 m de altura e massa de 160 kg.

A pele das aves apresenta **penas**, formações epidérmicas características do grupo. As penas se formam no interior de folículos de maneira similar aos pelos dos mamíferos, com a diferença que nos folículos das penas não há glândulas sebáceas como nos pelos. A secreção gordurosa responsável pela lubrificação das penas está a cargo da **glândula uropigiana**, localizada na parte superior da cauda e espalhada com o bico. As penas protegem as aves contra choques mecânicos, impermeabilizam a pele, atuam como isolante térmico e possibilitam voar.



ASIT KUMAR/AFP



OLIVIER BORN/BIOSPHOTO/AFP

Figura 14.32. (A) Parte posterior da tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*), com cerca de 72 cm de comprimento, colocando ovos na areia da praia (Rushikulya, Índia, 2017). (B) Filhote de tartaruga-oliva saindo do ovo. Essa tartaruga adulta mede cerca de 60 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aves são dioicas (sexos separados) e ovíparas, com desenvolvimento direto. Todas as espécies apresentam cópula e fecundação interna. Na maioria das espécies, o macho não tem órgão copulador. A transferência dos espermatozoides para a fêmea ocorre pela justaposição das aberturas cloacais dos parceiros. A quase totalidade das aves choca os ovos, o que garante a temperatura adequada ao desenvolvimento embrionário. A maioria das aves apresenta **dimorfismo sexual**, com nítida diferença morfológica entre os machos e as fêmeas da espécie. Os machos geralmente têm plumagens coloridas e exuberantes, enquanto as fêmeas têm plumagens menos vistosas. Em diversas espécies, os machos delimitam territórios de procriação, garantindo assim o direito de acasalar com as fêmeas ali presentes. (Fig. 14.33)

MICHAEL WEBER/IMAGEBROKER/FOTOARENA

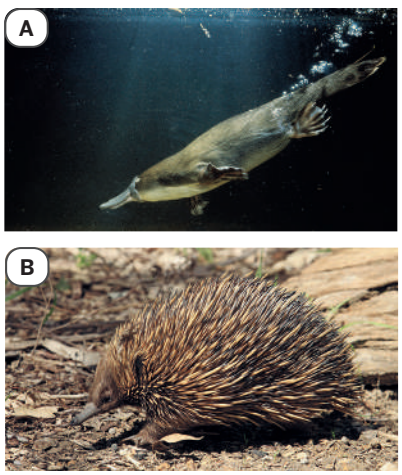
Figura 14.33. A maioria das aves, como esse casal de cegonhas-brancas (*Ciconia ciconia*), constrói ninhos nos quais choca os ovos e cuida da prole. A cegonha-branca adulta pode atingir 1,2 m de altura.

Os **mamíferos** apresentam duas características principais típicas do grupo: **glândulas mamárias** e corpo total ou parcialmente recoberto por **pelos**. Outras características dos mamíferos são a presença de dentes diferenciados em incisivos, caninos, pré-molares; e molares, e a presença do diafragma, camada muscular que separa as cavidades torácica e abdominal.

Os mamíferos vivem em todos os ambientes e variam em tamanho e massa corporal, desde uma espécie de morcego com apenas 1,5 g até uma baleia-azul com 130 toneladas. Os mamíferos são classificados em três grupos: prototérios, ou monotremados (Prototheria); marsupiais, ou metatérios (Metatheria); e eutérios, ou placentários (Eutheria).

Os **monotremados** são atualmente representados pelos ornitorrincos e equidnas, espécies de mamíferos ovíparos encontrados apenas na Austrália e na Nova Guiné. Os ovos dos monotremados se assemelham aos dos répteis. Fêmeas de ornitorrinco constroem um ninho subterrâneo na margem de um lago, com a entrada submersa como proteção. As fêmeas botam dois ou três ovos com pouco mais de 1 cm de diâmetro, chocando-os até o nascimento dos filhotes, que são alimentados com leite produzido por **glândulas mamárias**. (Fig. 14.34)

OBJETO DIGITAL **Carrossel de imagens: Reprodução e desenvolvimento dos mamíferos**



DAVE WATTS/ALAMY/FOTOARENA

FLPA/ALAMY/FOTOARENA

Figura 14.34. Representantes dos monotremados. (A) Ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*), que mede cerca de 45 cm. (B) Equidna-de-focinho-curto (*Tachyglossus aculeatus*), com aproximadamente 30 cm de comprimento.

Os **marsupiais** têm como representantes mais conhecidos os cangurus australianos e os gambás sul-americanos. As fêmeas de marsupiais geralmente apresentam uma bolsa de pele no ventre, denominada **marsúpio**, que abriga e protege os filhotes durante seu desenvolvimento.

O desenvolvimento embrionário dos marsupiais tem início no interior do útero materno, com os embriões alimentando-se de substâncias armazenadas no ovo e de líquidos nutritivos produzidos pela parede uterina. Após um curto período de gestação, entre 12 e 14 dias no gambá sul-americano e 38 e 40 dias nos grandes cangurus, nascem os filhotes, ainda imaturos. O recém-nascido se desloca até o marsúpio, onde se localizam as glândulas mamárias. O filhote permanece no marsúpio alimentando-se de leite até completar o desenvolvimento. (Fig. 14.35)

HAROLDO PALO JR./ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

SEAN BURGES/ALAMY/FOTOARENA

Figura 14.35. Representantes dos marsupiais. (A) Cuíca-verdadeira (*Philander opossum*) com filhotes. A cuíca adulta mede cerca de 30 cm de comprimento. (B) Canguru (*Macropus giganteus*) com filhote no marsúpio. Uma fêmea adulta dessa espécie pode medir até 2,5 m de comprimento, do nariz à ponta da cauda.

Os **placentários** constituem 95% das espécies de mamíferos. Cães, gatos, girafas, cavalos, elefantes, coelhos, camundongos, baleias e seres humanos são exemplos desse grupo. O que caracteriza os placentários é o fato de os filhotes completarem o desenvolvimento embrionário no interior do útero materno, ligados à parede uterina por meio da **placenta**, órgão formado pela associação de tecidos maternos e embrionários. É por meio da placenta que o embrião recebe nutrientes e gás oxigênio (O_2) provenientes do sangue da mãe, para o qual elimina gás carbônico (CO_2) e excreções. O embrião está ligado à placenta pelo **cordão umbilical**. Após o parto a placenta se desprende do útero materno e é eliminada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Campanhas de utilidade pública

Observe as imagens a seguir, de uma campanha publicitária de proteção da fauna.

REPRODUÇÃO/IBAMA

Folheto publicitário de campanha do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), de 2020.

O comércio, a confecção de artesanatos e a utilização ilegais de penas e outros subprodutos de animais silvestres alimentam o tráfico de animais e contribuem com o desaparecimento de várias espécies, além de serem crimes previstos na Lei nº 9.605/98

Campanhas publicitárias como essa envolvem um conjunto planejado de ações para divulgar uma ideia, um produto ou uma marca. No caso de materiais de utilidade pública, os objetivos são alertar, informar, prevenir ou orientar a população para ações e comportamentos que tragam benefícios às pessoas e à comunidade.

Tais campanhas envolvem a produção de textos, fotografias, animações e vídeos, em mídias físicas ou eletrônicas, visando atingir o público-alvo. A descrição a seguir traz algumas questões envolvidas na elaboração de uma campanha publicitária.

1. Qual é o público-alvo da campanha? O público-alvo refere-se às pessoas a serem alcançadas pela publicidade, com destaque para a idade, o gênero, a etnia, a classe social, o nível de escolaridade etc.
2. Qual é o objetivo a ser atingido pela campanha?
3. Que estratégias e mídias serão utilizadas (por exemplo, cartazes impressos e digitais, publicação em redes sociais ou *sites* sobre o assunto)?

A proposta desta atividade é que você forme um grupo de colegas para elaborar uma campanha publicitária com o objetivo de conscientizar motoristas sobre o atropelamento de animais silvestres em rodovias. O desmatamento faz com que os animais procurem novos hábitats e atravessem as rodovias, correndo o risco de atropelamento.

O grupo pode iniciar o trabalho discutindo quais são os perfis dos motoristas que trafegam nas estradas em que a campanha vai atuar. Em seguida pode-se discutir o que pode ser feito para diminuir o índice de atropelamento de animais, desde campanhas de conscientização em diferentes mídias até a localização dos trechos das rodovias em que é maior a frequência de atropelamentos, onde podem ser colocados sinais de atenção e de redução da velocidade.

Após essas discussões o grupo pode elaborar um roteiro detalhado da campanha destinada a reduzir o atropelamento de animais silvestres. Que tipos de peças publicitárias poderiam ser utilizadas? Isso inclui a divulgação em TVs, mídias digitais e redes sociais e a produção de cartazes de alerta a serem colocados nas rodovias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 3.

a. arqueócito **c.** espícula **e.** porócito
b. coanócito **d.** pinacócito

1. Nas esponjas, a célula responsável pela distribuição de alimento e pela formação de outros tipos celulares é o(a) (■). 1.a

2. A célula denominada (■) é atravessada por um canal que permite a entrada de água no corpo das esponjas. 2.e

3. (■) é uma célula flagelada dotada de um funil membranoso, que reveste cavidades internas do corpo das esponjas. 3.b

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 4 e 5.

a. ancilóstomo
b. esquistossomo
c. lombriga

4. Um nematódeo parasita que vive no intestino humano e é adquirido pela ingestão de ovos do verme é o(a) (■). 4.c

5. Um nematódeo parasita presente no solo, cujas larvas penetram ativamente na pele e se instalam no intestino humano, é o(a) (■). 5.a

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 6 a 9.

a. ingerir ovos do parasita
b. ser picado por mosquito infestado com larvas do parasita
c. comer carne malcozida com larvas do parasita
d. ter contato direto com água contendo larvas do parasita
e. ter contato direto com solo contendo larvas do parasita

6. Uma pessoa adquire teníase ao (■). 6.c

7. Uma pessoa adquire esquistossomose ao (■). 7.d

8. Uma pessoa adquire cisticercose ao (■). 8.a

9. Uma pessoa adquire ancilostomose ao (■). 9.e

10. Um artrópode difere de todos os outros animais por apresentar 10.c

a. corpo segmentado.
b. endoesqueleto calcário.
c. exoesqueleto de quitina e apêndices corporais articulados.
d. corpo dividido em cabeça, tórax e membros.

Escolha o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 11 a 13.

a. cauda **c.** notocorda
b. fenda faringiana **d.** tubo nervoso dorsal

11. (■) é um cordão semirrígido localizado ao longo do dorso dos embriões de cordados. 11.c

12. Um cilindro oco de origem ectodérmica, localizado ao longo do dorso dos embriões dos cordados, é chamado (■). 12.d

13. (■) é a denominação de cada fissura lateral presente na faringe de embriões cordados. 13.b

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 14 a 16.

a. ovíparos **b.** ovovivíparos **c.** vivíparos

14. (■) são animais cujo embrião se desenvolve no interior do corpo da fêmea, nutrindo-se de substâncias fornecidas pelo corpo materno. 14.c

15. (■) são animais cujas fêmeas botam ovos que contêm reservas para todo o desenvolvimento embrionário. 15.a

16. Animais (■) são aqueles cujas fêmeas retêm em seu corpo os ovos, ricos em substâncias nutritivas para o embrião, até a eclosão. 16.b

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 17 e 18.

a. ectotérmico **c.** hermafrodita
b. endotérmico **d.** vivíparo

17. Um animal que mantém constante sua temperatura corporal por meio de calor gerado no metabolismo é chamado (■). 17.b

18. Um animal cuja temperatura corporal varia de acordo com as condições ambientais é chamado (■). 18.a

19. O termo peixe é usado para designar animais aquáticos pertencentes 19.d

a. ao grupo *Agnatha*, apenas.
b. ao grupo *Osteichthyes*, apenas.
c. aos grupos *Chondrichthyes* e *Osteichthyes*, apenas.
d. aos grupos *Agnatha*, *Chondrichthyes* e *Osteichthyes*.

20. A *Taenia saginata* libera cerca de 100 mil ovos em cada proglótide. A cada dia, cerca de 7 a 9 proglótides contendo ovos maduros destacam-se da extremidade final do parasita e são liberadas nas fezes do hospedeiro. Assumindo que a produção de ovos e a liberação de proglótides sejam relativamente constantes ao longo do tempo, calcule a quantidade de ovos maduros que uma pessoa infestada liberaria em um dia, em uma semana, em um mês e em um ano.

21. Alguns peixes das profundezas oceânicas explodem quando trazidos rapidamente para a superfície. Com base no que você conhece sobre a anatomia interna dos peixes, formule uma explicação para esse fato.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões de vestibulares

22. (Mackenzie-SP) As células flageladas dos poríferos, responsáveis pela circulação da água nesses animais, são
22.b

a. os cnidoblastos.
b. os coanócitos.
c. as células-flama.
d. os pinacócitos.
e. os amebócitos.

23. (Unifor-CE) Vários animais podem parasitar o ser humano. Comer frutas e verduras bem lavadas, ingerir somente carne bem passada e não nadar em lagoas nas quais haja caramujos são medidas profiláticas capazes de diminuir a incidência, respectivamente, de
23.d

a. teníase, ascaridíase e esquistossomose.
b. ascaridíase, esquistossomose e teníase.
c. esquistossomose, teníase e ascaridíase.
d. ascaridíase, teníase e esquistossomose.
e. teníase, esquistossomose e ascaridíase.

24. (UFPE) A esquistossomose observada no Brasil, causada pelo *Schistosoma mansoni*, é uma doença grave e debilitante. Na fase crônica, ocorre inflamação do fígado e do baço, além da típica ascite (barriga-d'água). Na profilaxia dessa doença é importante:
24.e

1. construir redes de água e esgoto;
2. exterminar o caramujo hospedeiro;
3. evitar o contato com águas possivelmente infestadas por cercárias;
4. combater as oncosferas e os cisticercos.

Está(ão) correta(s)

a. 1, 2, 3 e 4.
b. 2 apenas.
c. 1, 2 e 4 apenas.
d. 2 e 4 apenas.
e. 1, 2 e 3 apenas.

25. (Fuvest-SP) Uma criança foi internada em um hospital com convulsões e problemas neurológicos. Após vários exames, foi diagnosticada cisticercose cerebral. A mãe da criança iniciou, então, um processo contra o açougue do qual comprava carne todos os dias, alegando que este lhe forneceu carne contaminada com o verme causador da cisticercose. A acusação contra o açougue
25.a

a. não tem fundamento, pois a cisticercose é transmitida pela ingestão de ovos de tênia eliminados nas fezes dos hospedeiros.
b. não tem fundamento, pois a cisticercose não é transmitida pelo consumo de carne, mas, sim, pela picada de mosquitos vetores.
c. não tem fundamento, pois a cisticercose é contraída quando a criança nada em lagoas onde vivem caramujos hospedeiros do verme.
d. tem fundamento, pois a cisticercose é transmitida pelo consumo de carne contaminada por larvas encistadas, os cisticercos.
e. tem fundamento, pois a cisticercose é transmitida pelo consumo dos ovos da tênia, os cisticercos, que ficam alojados na carne do animal hospedeiro.

26. (UFPE) A alternativa que indica um crustáceo, um aracnídeo e um inseto, nessa ordem, é:
26.d

a. camarão, pulga e aranha.
b. traça, siri e lagosta.
c. lacraia, pulga e carrapato.
d. lagosta, escorpião e abelha.
e. caranguejo, lacraia e escorpião.

27. (UFPI) As características a seguir são apresentadas por determinados grupos de vertebrados:
27.e

I. presença de âmnio e alantoide.
II. ovo com casca calcária.
III. grande quantidade de vitelo.

Essas características poderiam ser de

a. ave e peixe.
b. ave e anfíbio.
c. peixe e réptil.
d. réptil e anfíbio.
e. ave e réptil.

28. (UFPE) A presença do diafragma muscular, estrutura que separa a cavidade torácica da cavidade abdominal e permite a ocorrência dos movimentos respiratórios de inspiração e de expiração, é característica
28.a

a. apenas dos mamíferos.
b. dos répteis e dos mamíferos.
c. dos anfíbios e dos mamíferos.
d. das aves e dos répteis.
e. de todos os animais a partir dos anfíbios.

29. (Fuvest-SP) Os vertebrados conquistaram o ambiente terrestre por meio da formação de um tipo de ovo capaz de desenvolver-se fora da água. Essa conquista aparece pela primeira vez em
29.c

a. mamíferos.
b. aves.
c. répteis.
d. anfíbios.
e. peixes.

30. (UFRGS-RS) Em peixes ósseos, o órgão responsável pela manutenção do equilíbrio hidrostático é
30.c

a. o fígado.
b. o estômago.
c. a bexiga natatória.
d. o esqueleto.
e. a nadadeira caudal.

31. (Fuvest-SP) A Grande Barreira de Recifes se estende por mais de 2.000 quilômetros ao longo da costa nordeste da Austrália e é considerada uma das maiores estruturas construídas por seres vivos. Quais são esses organismos e como eles formam essa estrutura?

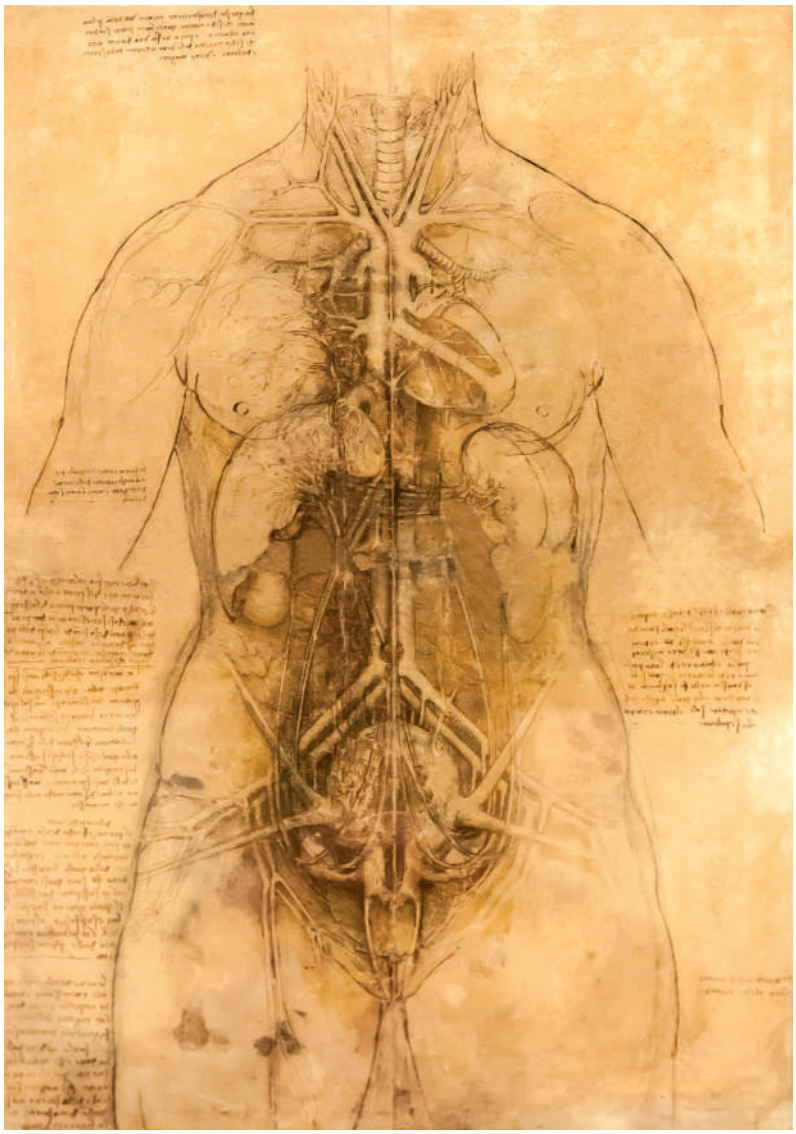
32. (Fuvest-SP) Do que se alimentam as minhocas? Por que elas são úteis para a agricultura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 15

Nutrição, respiração, circulação e excreção na espécie humana

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 12 de Física e no capítulo 16 de Química desta coleção.



LEONARDO DA VINCI. FOTO: FREDERICK WOOK - PUNCHY/ALAMY/FOTOARENA

Desenho do corpo humano elaborado por Leonardo da Vinci em 1509. (Giz preto e vermelho, caneta e tinta sobre papel, 47,6 cm x 33,2 cm)

A importância do assunto

Este capítulo dá um passo para o autoconhecimento ao estudar aspectos básicos da anatomia e fisiologia humanas. Conhecer a si mesmo possibilita a cada um cuidar melhor de sua própria saúde pela prática de hábitos cotidianos saudáveis.

Este capítulo estuda quatro sistemas corporais humanos: digestório, respiratório, cardiovascular e urinário. (Por sugestão da Terminologia Anatômica, da Sociedade Brasileira de Anatomia, que define a nomenclatura médica brasileira, o sistema digestivo humano pode ser denominado sistema digestório.) O organismo depende do funcionamento integrado de seus sistemas corporais. Assim, conhecer a estrutura e o funcionamento do corpo humano pode nos ajudar a adotar atitudes positivas em prol da harmonia e da saúde. Embora os médicos sejam os profissionais mais capacitados para atuar em situações de doença, cabe a cada um de nós adotar hábitos saudáveis no cotidiano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. A nutrição humana

OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: Influências culturais na alimentação brasileira

A alimentação humana é variada e inclui produtos de origem animal e vegetal, além de algas e fungos. Esse tipo de **nutrição** é denominado **onívora** (do latim *omnis*, tudo, e *voros*, comer). Os tipos e as quantidades de alimento que uma pessoa ingere compõem sua **dieta**, que precisa conter carboidratos, lipídios, proteínas, sais minerais, vitaminas e água. O conhecimento das necessidades nutricionais humanas permite compor dietas saudáveis e balanceadas.

Nutrientes essenciais

O organismo humano utiliza os alimentos como fontes de energia e de matéria-prima para sintetizar a maioria das substâncias necessárias à manutenção da vida. Entretanto, o organismo não consegue produzir algumas delas, e, por isso, essas substâncias devem fazer parte da dieta. Por exemplo, dos vinte tipos de aminoácidos que compõem as proteínas, há oito que as células humanas não conseguem produzir e são denominados **aminoácidos essenciais**.

Os aminoácidos essenciais para o ser humano são isoleucina, leucina, valina, fenilalanina, metionina, treonina, triptofano e lisina. Recém-nascidos também necessitam de histidina, que ainda não conseguem sintetizar. As fontes principais de aminoácidos essenciais são alimentos de origem animal, como a carne, o leite e os queijos. Alimentos vegetais ricos em aminoácidos são sementes, como o feijão e a soja.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

SAÚDE

Pesquisando sobre escorbuto e beribéri

Vitaminas são substâncias orgânicas essenciais ao metabolismo. Embora o organismo humano necessite de quantidades relativamente pequenas de certas vitaminas, elas não são produzidas pelas células, de modo que devem fazer parte da alimentação. A falta de vitaminas na dieta prejudica a saúde, podendo causar distúrbios conhecidos como avitaminoses.

Nesta atividade, a sugestão é pesquisar, em livros e na internet, duas avitaminoses que acometiam boa parte dos marinheiros na época das Grandes Navegações: o escorbuto e o beribéri. O desafio é conhecer as causas e os sintomas dessas avitaminoses, além dos aspectos históricos envolvidos com essas deficiências. Finalize seu trabalho produzindo um texto estruturado, que parta dos aspectos históricos dessas avitaminoses e então descreva as causas e os sintomas de cada uma.

Nutrição e necessidades energéticas

O organismo humano precisa de energia para a realização das atividades vitais. Essa energia é obtida por meio da **respiração celular**, processo em que moléculas orgânicas são oxidadas em uma longa sequência de reações, disponibilizando parte da energia que contêm. A energia contida nas moléculas nutritivas é geralmente expressa em quilocalorias (kcal). Por exemplo, 1 grama de gordura é capaz de fornecer, ao ser metabolizado na respiração celular, o equivalente a 9,5 kcal. Por sua vez, 1 grama de glicídio ou de proteína fornece cerca de 4 kcal.

A quantidade de energia que uma pessoa em repouso dispende para manter suas atividades vitais é chamada de **taxa metabólica basal** e expressa em termos de calorias consumidas por unidade de tempo. Por exemplo, a taxa metabólica basal de uma pessoa jovem é de aproximadamente 1.600 kcal por dia. Esses valores expressam uma média, mas variam de pessoa para pessoa em função da idade, sexo, peso e altura, entre outros fatores.

A quantidade de energia necessária à realização das atividades diárias de uma pessoa constitui sua **taxa metabólica total**. Se a pessoa tem vida sedentária, com nível baixo de atividade física, sua taxa metabólica total pode oscilar em torno de 2.000 kcal por dia. Por outro lado, se a pessoa realiza trabalhos braçais pesados ou atividades atléticas, sua taxa metabólica total pode ultrapassar 6.000 kcal por dia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dieta protetora e dieta balanceada

A quantidade mínima de alimentos necessários a uma pessoa adulta é denominada **dieta protetora** e deve fornecer pelo menos 1.300 kcal/dia. Se ingerir menos calorias que esse limite, ela tende a apresentar sintomas de desnutrição, como magreza excessiva e atrofia dos músculos.

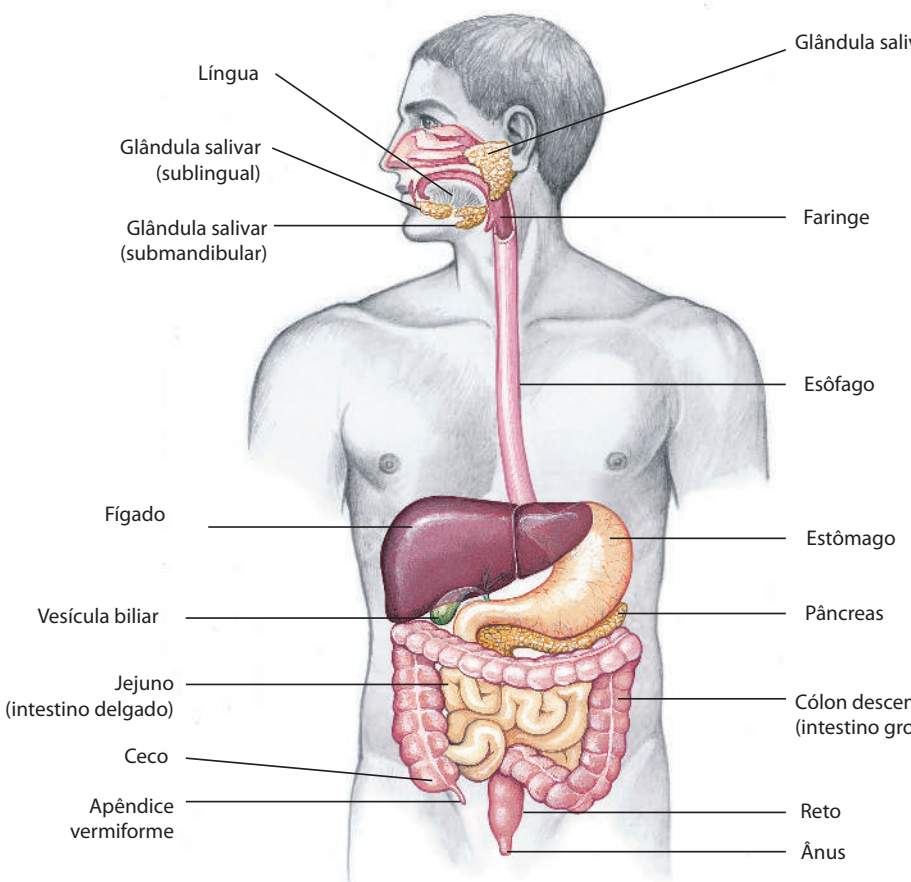
Além do conteúdo energético adequado, a dieta deve fornecer os nutrientes essenciais ao bom funcionamento do organismo de cada pessoa. Uma boa combinação de nutrientes pode conter cerca de 50% a 60% de glicídios, 25% a 35% de gorduras e 15% a 25% de proteínas, fornecendo entre 2.000 e 2.400 kcal/dia. Essa formulação alimentar é denominada **dieta balanceada**. A composição e o valor calórico da dieta balanceada de cada pessoa variam de acordo com o sexo, a idade e o grau de atividade, além de características pessoais.

2. O sistema digestório

O **sistema digestório** é comparável a uma linha de desmontagem dos alimentos ingeridos. Ao longo desse processo, o organismo prepara os nutrientes para serem absorvidos pelas células corporais.

O sistema digestório é composto de um conduto, o **tubo digestório**, com aproximadamente 9 metros de comprimento, que vai da boca ao ânus. O tubo digestório humano apresenta regiões diferenciadas, que são, em sequência: a boca, a faringe, o esôfago, o estômago, o intestino e o ânus. Há diversas glândulas associadas ao tubo digestório, como as glândulas salivares, o pâncreas e o fígado. A maior parte da absorção dos produtos úteis da digestão ocorre na porção inicial do intestino. Na parte final do intestino, os restos inaproveitados são transformados em fezes, eliminadas através do ânus. (Fig. 15.1)

Sistema digestório humano



Fonte: adaptado de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of anatomy and physiology**. 13th ed. New York: Wiley, 2012.

Figura 15.1. Representação esquemática dos componentes do sistema digestório humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

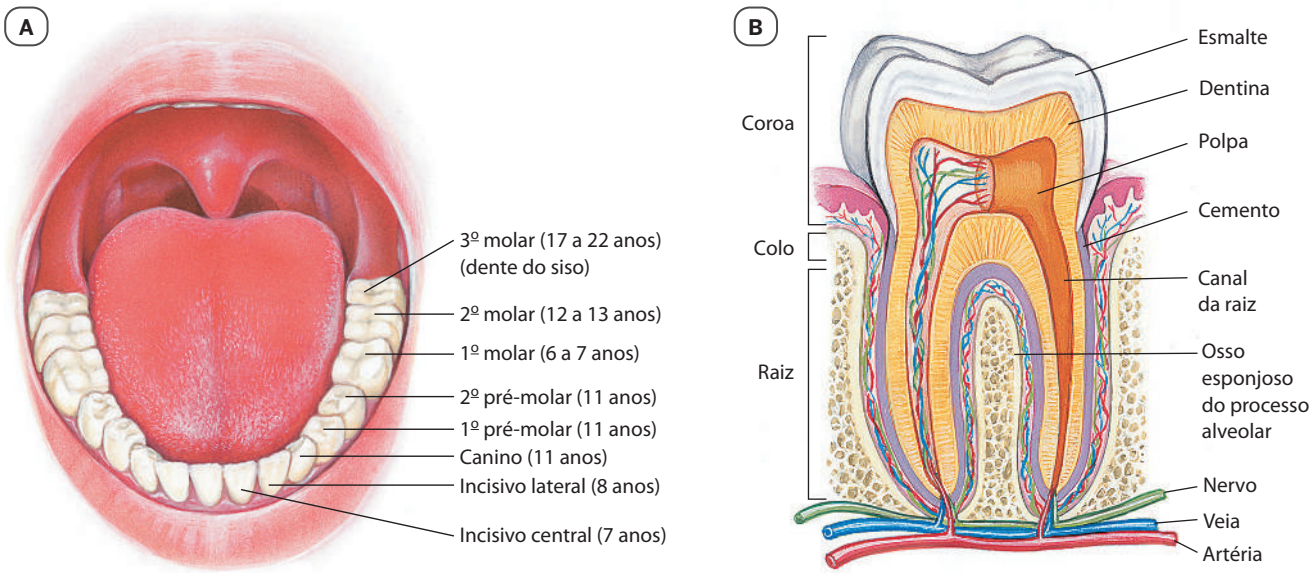
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A digestão na boca e a deglutição

A entrada do tubo digestório é a **boca**, onde se localizam os dentes e a língua, que preparam o alimento para a digestão. O alimento é mastigado e misturado à saliva produzida pelas **glândulas salivares**. A saliva é uma solução aquosa que contém muco e a enzima **amilase salivar**, ou **ptialina**, que inicia o processo digestivo, contribuindo para manter o grau de acidez (pH) na boca próximo ao valor neutro, ideal para a ação da amilase salivar. Essa enzima transforma moléculas dos polissacarídios amido e glicogênio em maltose, um dissacarídio. (Fig. 15.2)

Boca e dentes humanos



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of anatomy and physiology**. 13th ed. New York: Wiley, 2012.

Figura 15.2. (A) Representação esquemática da boca humana com identificação dos dentes que compõem a dentição permanente (a mesma identificação vale para a metade esquerda e para a arcada superior). Ao lado de cada tipo de dente está indicada a idade aproximada de sua irrupção na boca. (B) Representação esquemática de um dente molar em corte para mostrar sua estrutura interna. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O bolo alimentar mastigado na boca é empurrado pela língua para o fundo da faringe, de onde segue para o esôfago. Nesse processo, conhecido como **deglutição**, entra em ação um mecanismo que fecha automaticamente a laringe, evitando que o alimento engolido penetre nas vias respiratórias. O **esôfago** é um tubo muscular com aproximadamente 25 cm de comprimento e cerca de 2 cm de diâmetro que atravessa o diafragma, a membrana muscular que separa o tórax do abdômen. No esôfago, o bolo alimentar é impulsionado por ondas de contração da musculatura, as **ondas peristálticas**, ou **peristaltismo**.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

SAÚDE

Pesquisando sobre cólicas intestinais

Em situações de defesa contra infecções intestinais, o peristaltismo pode aumentar, com ondas peristálticas dolorosas conhecidas como **cólicas intestinais**. Situações de forte conteúdo emocional também podem causar cólicas.

Forme um grupo de colegas para pesquisar sobre cólicas intestinais eventuais. A sugestão é que o grupo inicie entrevistando pessoas conhecidas e que poderiam recomendar chás e outros medicamentos caseiros para tratar as cólicas. Será que esses remédios populares funcionam? Se possível, o grupo poderia também entrevistar um médico, enfermeiro ou outro profissional da área da saúde.

O grupo pode anotar, gravar ou filmar as entrevistas, desde que tenha o consentimento dos entrevistados. Os membros do grupo podem repartir as tarefas de pesquisar na internet as substâncias ativas presentes nos chás para cólicas. A atividade final do grupo é produzir um texto objetivo que reúna as informações consideradas mais importantes e interessantes sobre o assunto. O grupo pode ainda produzir textos em estilo jornalístico, a serem impressos e expostos no mural da escola, e também publicados na internet.

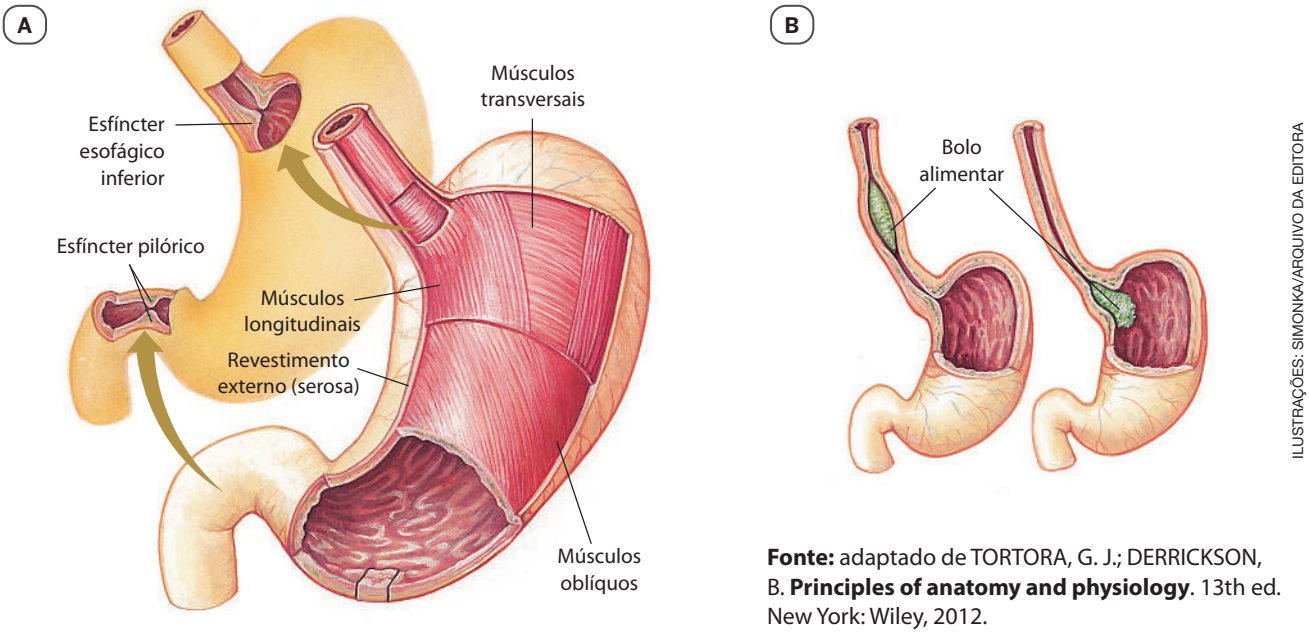
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A digestão no estômago

A região de transição entre o esôfago e o estômago é a **cárdia**, cujo orifício é guarnecido por um anel de musculatura lisa denominado **esfíncter cárdico**. Quando a musculatura do esfíncter cárdico relaxa, a cárdia se abre e permite a passagem do bolo alimentar para o estômago.

O **estômago** é uma bolsa de paredes musculares localizada no lado esquerdo superior do abdômen, logo abaixo das últimas costelas. Quando vazio, o estômago tem aproximadamente 75 mL (mililitros) de volume interno. Quando cheio, é capaz de conter 2 litros ou mais de alimentos, atingindo cerca de 25 vezes o tamanho do estômago vazio. (Fig. 15.3)

O estômago humano



Fonte: adaptado de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of anatomy and physiology**. 13th ed. New York: Wiley, 2012.

ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15.3. (A) Representação esquemática do estômago humano parcialmente cortado mostrando a musculatura e os esfíncteres. (B) Percurso do bolo alimentar no esôfago. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A principal enzima atuante no estômago é a **pepsina**, que digere proteínas. A pepsina atua em pH fortemente ácido, que é proporcionado pela secreção de ácido clorídrico (HCl) por certas glândulas da parede estomacal. O conjunto de enzimas e ácido clorídrico estomacais é denominado **suco gástrico**.

O alimento permanece no estômago geralmente entre 1 e 4 horas, período em que se transforma em uma massa acidificada e semilíquida, denominada **quimo**. À medida que a digestão ocorre, o conteúdo estomacal vai sendo liberado pouco a pouco para o intestino delgado. A passagem de quimo do estômago para o intestino é controlada por um anel de musculatura lisa denominado **esfíncter pilórico**.

A digestão no intestino delgado

O **intestino delgado** é um tubo com pouco mais de 6 m de comprimento e 4 cm de diâmetro externo. Ele apresenta três regiões diferenciadas: o **duodeno**, com cerca de 25 cm, o **jejuno**, com cerca de 4,5 m, e o **íleo**, com cerca de 1,5 m. No duodeno desemboca um conduto, denominado **canal colédoco**, que traz secreções do fígado, a bile, e do pâncreas, o suco pancreático.

A digestão no intestino delgado ocorre no duodeno e nas primeiras porções do jejuno por ação de enzimas presentes no **suco entérico**, ou **suco intestinal**, secretado por células da parede intestinal, e por enzimas do **suco pancreático**, secretado pelo pâncreas. (ver Quadro 15.1)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quadro 15.1 Principais enzimas digestivas humanas

Suco digestivo	Enzimas	pH ótimo	Substratos	Produtos
Saliva	Amilase salivar	Neutro	Polissacarídios	Maltose e glicose
Suco gástrico	Pepsina Renina	Ácido Ácido	Proteínas Caseína solúvel	Peptonas Caseína insolúvel
Suco pancreático	Quimotripsina Tripsina Alfa-amilase Ribonuclease Desoxirribonuclease Lipase Carboxipeptidase	Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino	Proteínas e peptonas Proteínas e peptonas Polissacarídios RNA DNA Lipídios Oligopeptídios	Oligopeptídios Oligopeptídios Maltose e glicose Nucleotídios Nucleotídios Ácidos graxos e glicerol Aminoácidos
Suco entérico	Dipeptidase Maltase Sacarase Lactase α-Aminopeptidase Glicoamilase	Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino Alcalino	Dipeptídios Maltose Sacarose Lactose Dipeptídios, tripeptídios e oligopeptídios Oligossacarídios	Aminoácidos Glicose Glicose e frutose Glicose e galactose Aminoácidos Monossacarídios

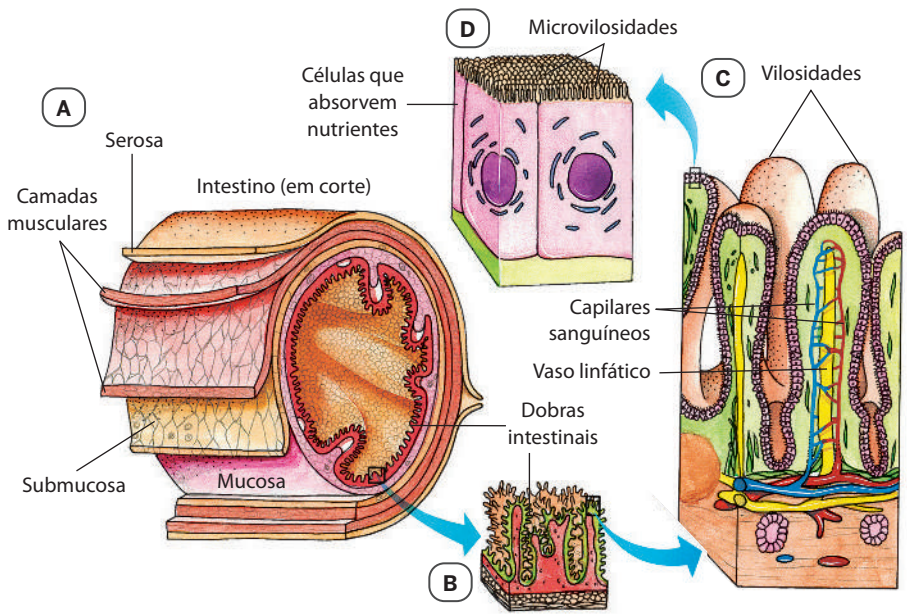
Fonte: SHERWOOD, L. **Human physiology**: from cells to systems. 11th ed. Boston: Cengage Learning, 2016.

O suco pancreático contém, além de enzimas, bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$), que neutraliza a acidez do quimo e eleva o pH do conteúdo intestinal para valores alcalinos, em torno de 8 a 8,5, ideal para a ação das enzimas que atuam no intestino.

Outra secreção que atua no duodeno é a **bile**, produzida pelo fígado. Os **sais biliares** presentes na bile fragmentam aglomerados de gordura em gotículas microscópicas, o que facilita a ação da enzima lipase, presente no suco pancreático. O quimo, transformado por ação dos sucos entérico e pancreático, passa a ser denominado **quilo**.

A superfície interna do intestino delgado é intensamente pregueada, com inúmeras dobras denominadas **vilosidades intestinais**. Até mesmo as células do epitélio intestinal apresentam membranas pregueadas, com dobras microscópicas denominadas **microvilosidades**. As vilosidades e microvilosidades proporcionam uma grande área de contato entre as células intestinais e o quilo, aumentando muito a capacidade de absorção dos nutrientes. As células epiteliais do intestino transferem os nutrientes absorvidos para as circulações sanguínea e linfática, que os distribuem a todas as células do corpo. (Fig. 15.4)

Constituição da parede intestinal



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.4. Representações esquemáticas da estrutura da parede do intestino delgado. (A). Camadas de tecidos que formam a parede intestinal. (B). Detalhe das dobras da mucosa intestinal. (C). Detalhes das vilosidades intestinais. (D). Detalhe de células do epitélio intestinal com microvilosidades. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

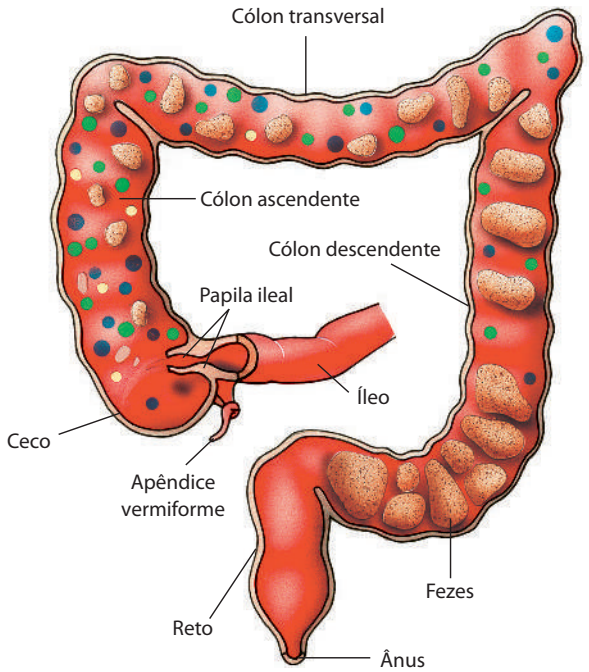
Funções do intestino grosso

Restos alimentares não absorvidos do quilo seguem para o intestino grosso, que nos adultos tem cerca de 1,5 m de comprimento por 6 a 7 cm de diâmetro externo. Em sequência, as regiões do intestino grosso são o ceco, o cólon, o reto e o ânus. O **ceco** apresenta uma extensão tubular, o apêndice vermiforme, que termina em fundo cego e onde vivem bactérias úteis ao organismo. O apêndice apresenta células linfoides, produtoras de anticorpos, que atuam na defesa do organismo.

Em condições normais, os resíduos inaproveitados de uma refeição levam aproximadamente 9 horas para chegar ao intestino grosso, onde permanecem, em média, por um a três dias. Durante essa permanência, grande parte da água e dos sais minerais do conteúdo intestinal é absorvida e há grande proliferação de bactérias. Na região final do cólon, os resíduos transformam-se em **fezes**, constituídas por aproximadamente 75% de água e por 25% de matéria sólida. Cerca de 70% da matéria sólida das fezes é constituída por sais, fibras de celulose e outros materiais não digeridos, e 30% por bactérias da **flora intestinal**. A cor escura das fezes deve-se à presença de pigmentos provenientes da bile secretada pelo fígado durante a digestão. O **reto** é a parte final do intestino grosso e fica geralmente vazio, recebendo as fezes pouco antes da defecação. (Fig. 15.5)

As bactérias da flora intestinal normal ajudam a evitar a proliferação de bactérias patogênicas que poderiam causar doenças. Elas também produzem substâncias úteis ao organismo humano, tais como as vitaminas K, B12, tiamina e riboflavina.

Intestino grosso



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.5. Representação esquemática do intestino grosso em corte mostrando a papila ileal, ou valva ileocecal, que controla a passagem do conteúdo do intestino delgado para o intestino grosso, onde se formam as fezes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Funções do pâncreas e do fígado

O **pâncreas** é uma glândula com cerca de 15 cm de comprimento, de formato triangular e alongado, localizado sob o estômago, na alça formada pelo duodeno. As células pancreáticas secretoras de enzimas estão agrupadas em pequenas bolsas denominadas **ácinos pancreáticos**. Os ácinos liberam sua secreção por meio de finos canais, que se unem para formar o ducto pancreático. Este ducto, por sua vez, une-se ao canal proveniente da vesícula biliar, formando um canal comum que desemboca no duodeno.

Entre os ácinos pancreáticos há grupos de células denominados **ilhotas pancreáticas**, ou **ilhotas de Langerhans**, que produzem os hormônios insulina e glucagon. Esses hormônios são responsáveis pelo controle do nível de açúcar no sangue, como será estudado no próximo capítulo.

O **fígado** é um dos maiores órgãos do corpo humano. Ele tem aproximadamente 1,5 kg, cor marrom-avermelhada, e se localiza no lado direito do abdômen, na altura das últimas costelas, imediatamente abaixo do diafragma. O fígado produz a bile, armazenada temporariamente em uma bolsa denominada **vesícula biliar**, encaixada na região hepática inferior. A bile armazenada na vesícula é eliminada por meio de um canal que se une ao ducto pancreático formando o canal colédoco, como foi mencionado anteriormente. A bile contém colesterol e bilirrubina, substância amarelada resultante da degradação da hemoglobina de hemácias, além de substâncias resultantes da degradação de drogas e medicamentos.

O fígado armazena glicose na forma de **glicogênio**, transforma amônia em **ureia**, sintetiza colesterol e produz proteínas importantes na coagulação do sangue, além de outras funções.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. O sistema respiratório

A disponibilização da energia presente nos nutrientes ocorre principalmente por meio da respiração celular, que acontece nas mitocôndrias. Na respiração celular, substâncias orgânicas provenientes do alimento reagem com gás oxigênio (O_2), produzindo água (H_2O), gás carbônico (CO_2) e energia, que é armazenada em moléculas de ATP.

Nos pulmões, o sangue é abastecido de O_2, que será distribuído às células corporais para suprir as necessidades da respiração. Ao mesmo tempo, o CO_2 produzido pelas células e transportado pelo sangue é eliminado para o ar presente nos alvéolos pulmonares. As trocas gasosas entre o sangue que circula nos pulmões e o ar atmosférico constituem a **respiração pulmonar**.

Anatomia do sistema respiratório

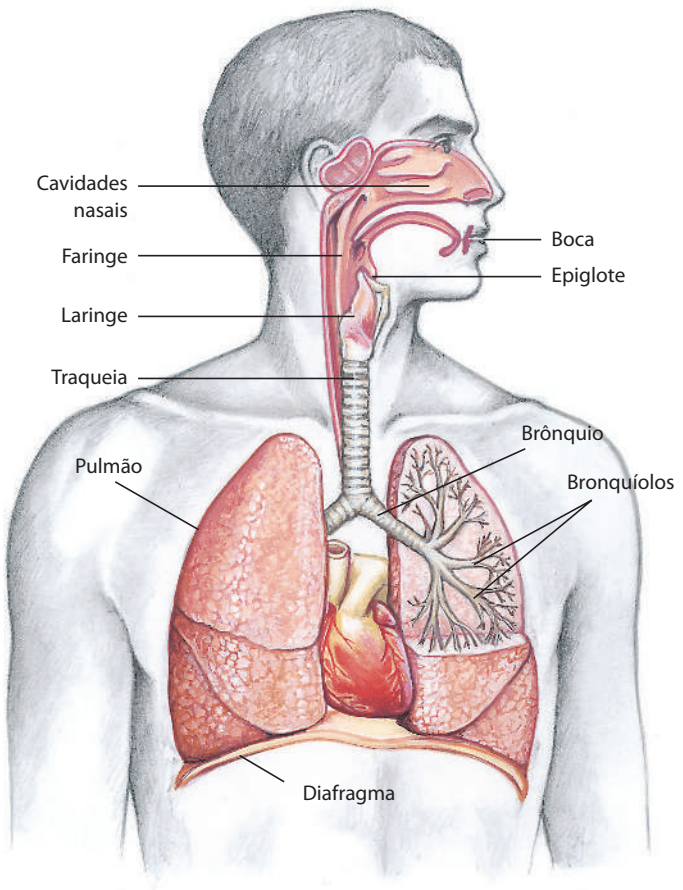
O sistema respiratório humano compõe-se das cavidades nasais, da boca, da faringe, da laringe, da traqueia, dos brônquios, dos bronquíolos e dos alvéolos pulmonares. Os bronquíolos, os alvéolos pulmonares e diversas membranas envoltórias compõem os pulmões. (Fig. 15.6)

O ar inspirado entra pelas narinas e é conduzido até a laringe através das cavidades nasais e da faringe. A **laringe** é um tubo com cerca de 5 cm de comprimento, situado na região anterior do pescoço e dotado de reforços de cartilagem. Na entrada da laringe há uma lâmina de cartilagem denominada **epiglote**, que atua como uma espécie de porta, abrindo-se para dar passagem ao ar e fechando-se para impedir a entrada de alimento nas vias respiratórias durante a deglutição. Na porção final da laringe, localizam-se as pregas vocais, que vibram produzindo o som da voz.

À laringe segue-se a **traqueia**, um tubo com aproximadamente 10 cm de comprimento por 1,5 cm de diâmetro externo. As paredes da traqueia são reforçadas por anéis cartilaginosos que mantêm o tubo traqueal aberto para a passagem de ar. A traqueia divide-se, na região superior do peito, em dois condutos curtos, os brônquios, também reforçados por anéis de cartilagem. Os brônquios se ramificam em condutos cada vez mais finos denominados **bronquíolos**, que terminam em pequenas bolsas denominadas **alvéolos pulmonares**.

O conjunto formado por bronquíolos, alvéolos pulmonares e membranas envoltórias constitui o **pulmão**. Dentro da caixa torácica há um par de pulmões, cada um com aproximadamente 25 cm de comprimento e 700 g de massa. Eles são envoltos por duas membranas denominadas pleuras, que deslizam uma sobre a outra durante os movimentos respiratórios.

Sistema respiratório humano



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

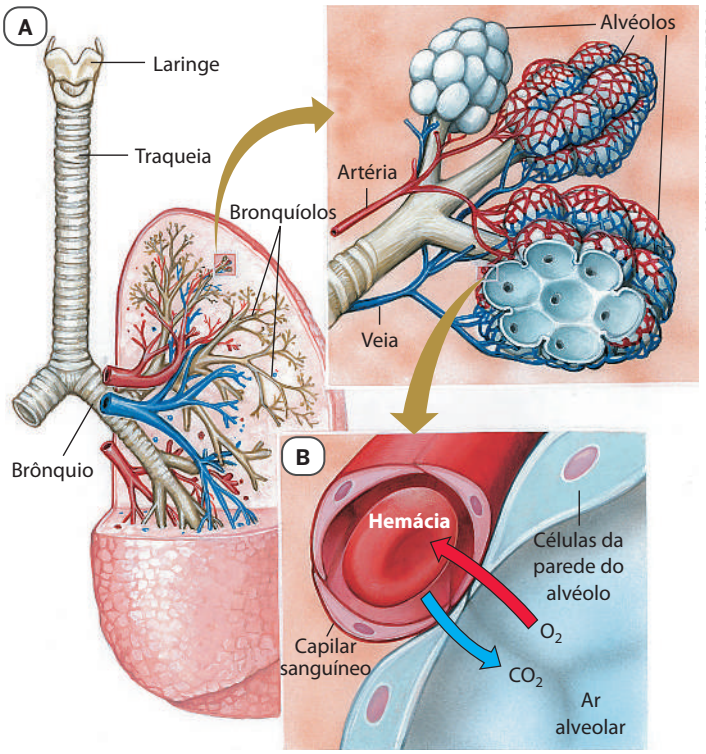
Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.6. Representação esquemática dos principais componentes do sistema respiratório humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada pulmão apresenta aproximadamente 150 milhões de **alvéolos pulmonares**. Cada alvéolo é uma bolsa com cerca de 0,2 mm a 0,5 mm de diâmetro e parede constituída por uma camada de células achatadas. Os alvéolos são recobertos por capilares sanguíneos, o que possibilita as trocas gasosas entre o sangue e o ar alveolar. Se todos os alvéolos pulmonares de uma pessoa pudessem ser esticados e colocados lado a lado, sua superfície ultrapassaria 200 m^2. Se todos os capilares que recobrem os alvéolos pudessem ser unidos linearmente, chegariam a 1.600 km de extensão. Esses números mostram a alta capacidade dos pulmões de realizar trocas gasosas entre o ar e o sangue. (Fig. 15.7)

Alvéolos pulmonares



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.7. (A) Representação esquemática das extremidades dos bronquíolos com alvéolos pulmonares. No detalhe, um alvéolo em corte transversal. (B) Representação esquemática da troca de gases respiratórios que ocorre entre o alvéolo e o capilar sanguíneo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

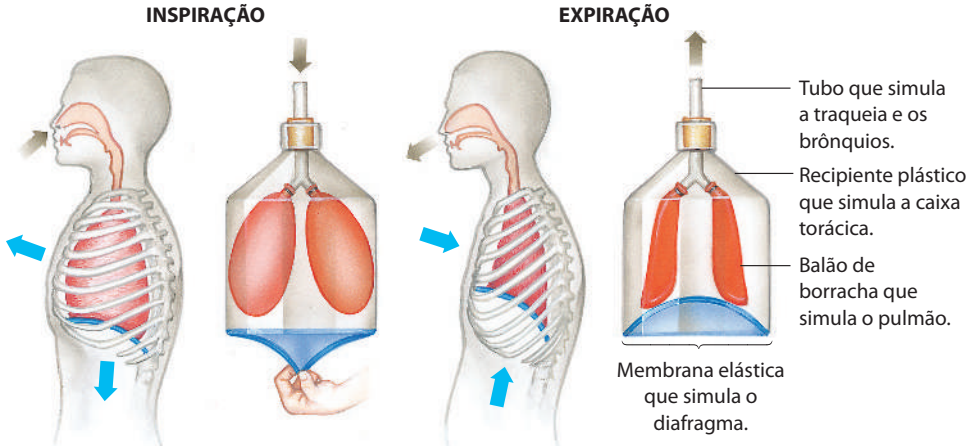
Fisiologia da respiração

A ventilação pulmonar

A entrada de ar nos pulmões é a **inspiração**, e a saída do ar é a **expiração**. A renovação do ar que ocorre nos pulmões a cada ciclo respiratório constitui a **ventilação pulmonar**. Calcula-se que os movimentos ventilatórios realizados por uma pessoa em um dia mobilizem mais de 10 mil litros de ar.

A ventilação pulmonar depende da ação combinada de **músculos intercostais**, presentes entre as costelas, e do **diafragma**, a membrana fibromuscular que separa a cavidade torácica da cavidade abdominal. Na inspiração, o diafragma abaixa e as costelas sobem, aumentando o volume da caixa torácica. Com isso, a pressão interna da caixa torácica diminui, forçando o ar atmosférico a entrar nos pulmões. Na expiração, ocorre o inverso: o diafragma se eleva e as costelas abaixam, diminuindo o volume da caixa torácica, o que faz o ar dos pulmões sair para o exterior. (Fig. 15.8)

A ventilação pulmonar



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of anatomy and physiology**. 13th ed. New York: Wiley, 2012.

Figura 15.8. Os movimentos respiratórios dependem da ação conjunta dos músculos intercostais e do diafragma. Ao lado da representação da pessoa respirando, modelo que demonstra o papel do diafragma na ventilação pulmonar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

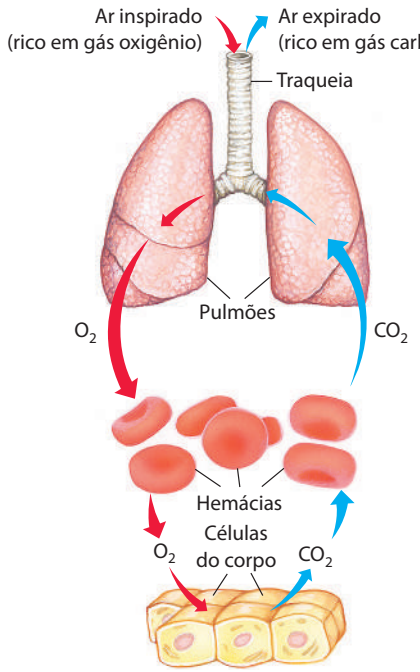
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Trocas gasosas na respiração

O fenômeno-chave da respiração é a **hematose**, que é a troca de gases respiratórios entre o ar e o sangue nos alvéolos pulmonares. O gás oxigênio (O_2) presente no ar inspirado difunde-se para os capilares sanguíneos e se combina com a **hemoglobina** das hemácias, que se transforma em **oxiemoglobina**. O gás carbônico (CO_2) presente no sangue proveniente dos tecidos corporais difunde-se para o ar dos alvéolos pulmonares e daí para o meio externo. (Fig. 15.9)

No sangue que irriga os tecidos corporais, o O_2 se dissocia da hemoglobina e sai das hemácias, difundindo-se para as células, onde é consumido na respiração celular. Simultaneamente, moléculas de CO_2 originadas na respiração celular passam para os capilares sanguíneos. Ao passar pelos alvéolos pulmonares, o CO_2 difunde-se para o ar alveolar e é eliminado na expiração.

Trocas gasosas nas células e pulmões



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

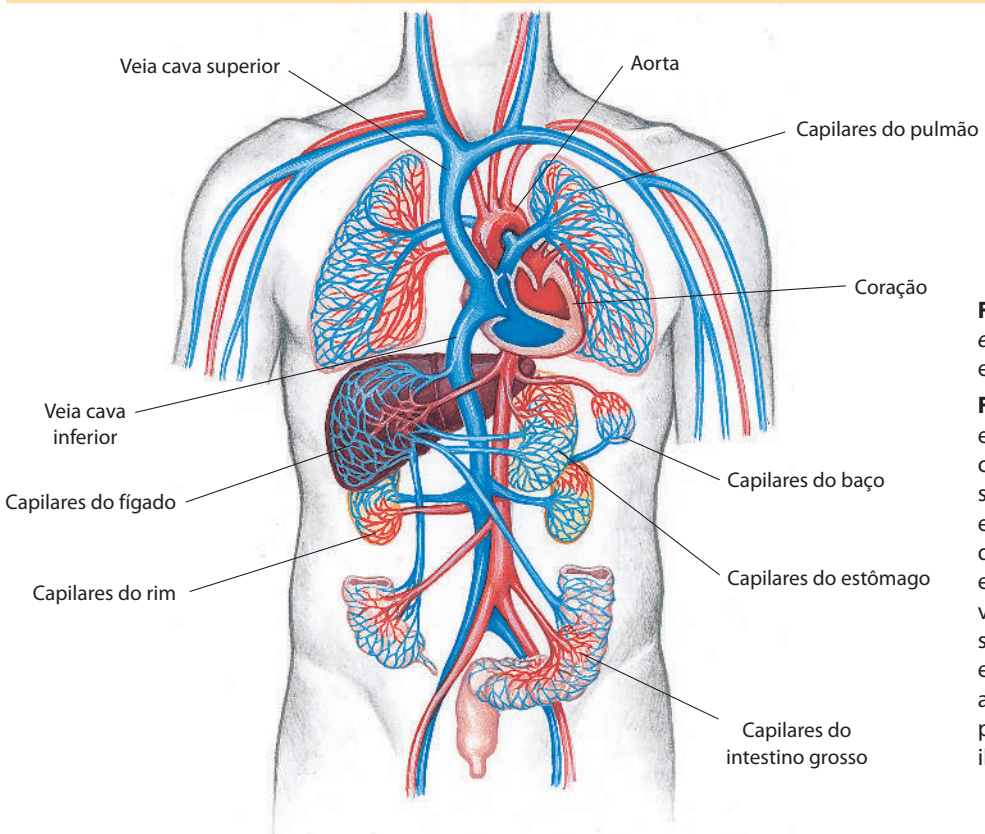
Fonte: adaptado de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of anatomy and physiology**. 13th ed. New York: Wiley, 2012.

Figura 15.9. Caminho dos gases respiratórios do ar até as células e vice-versa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

4. O sistema circulatório

O **sistema circulatório** é constituído pelo coração e por uma rede de condutos denominados genericamente **vasos sanguíneos**, que transportam sangue pelo corpo. (Fig. 15.10)

Sistema circulatório humano



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.10. Representação esquemática do coração (em corte) e dos principais vasos do sistema circulatório humano em vista frontal. Os vasos em que circula sangue oxigenado estão representados em vermelho e os que conduzem sangue pobre em gás oxigênio estão representados em azul. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

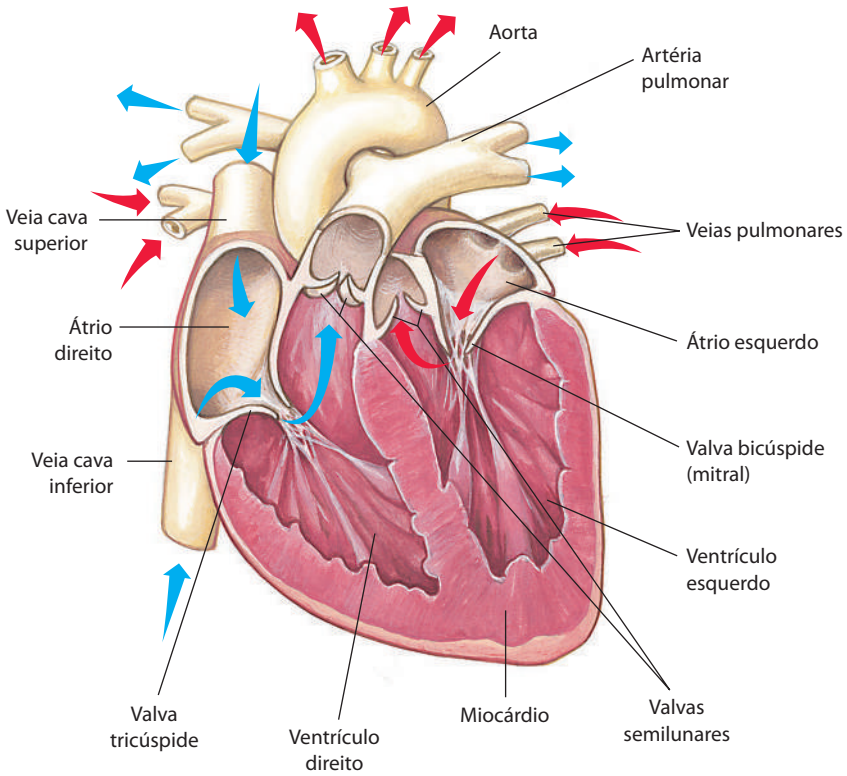
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrutura e fisiologia do coração

O **coração** humano é um órgão oco, de tamanho comparável ao de um punho fechado e com cerca de 400 g. Localiza-se quase no centro do peito, sob o osso esterno, e sua extremidade inferior aponta ligeiramente para a esquerda. As paredes do coração são constituídas por tecido muscular estriado cardíaco, o **miocárdio** (do grego *myos*, músculo, e *cardio*, coração), e revestidas internamente por uma camada de células epiteliais que constituem o **endocárdio**.

O coração humano tem quatro cavidades: dois **átrios** (ou **aurículas**) e dois **ventrículos**. O sangue rico em gás oxigênio proveniente dos pulmões entra no coração pelo átrio esquerdo, enquanto o sangue rico em gás carbônico proveniente do corpo entra no coração pelo átrio direito. (Fig. 15.11)

Coração humano



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.11. Representação esquemática de um coração humano em vista ventral cortado longitudinalmente. As setas azuis indicam o fluxo de sangue pobre em O_2 e as setas vermelhas, o fluxo de sangue rico em O_2. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O átrio direito do coração se comunica com o ventrículo direito abaixo dele pela **valva tricúspide**, ou **valva atrioventricular direita**. O átrio esquerdo se comunica com o ventrículo esquerdo abaixo dele pela **valva bicúspide**, também chamada de **valva atrioventricular esquerda**, ou **válvula mitral**. A função dessas valvas cardíacas é garantir que a circulação do sangue ocorra em um único sentido, sempre do átrio para o ventrículo.

A contração dos dois átrios cardíacos ocorre simultaneamente e é denominada **sístole atrial**. A contração dos átrios força o sangue a passar para os ventrículos, que relaxam, movimento denominado **diástole ventricular**. Quando os ventrículos estão repletos de sangue, as valvas interventriculares se fecham e ocorre contração dos ventrículos, a **sístole ventricular**. A sístole ventricular impulsiona o sangue para duas grandes artérias ligadas aos ventrículos. A **artéria pulmonar** se comunica com o ventrículo direito e leva sangue para os pulmões. A **artéria aorta**, por sua vez, se comunica com o ventrículo esquerdo e leva sangue para todas as partes do corpo. Junto ao coração, a artéria pulmonar e a aorta são guarnecidas por **valvas semilunares**, cuja função é impedir o refluxo de sangue para o coração.

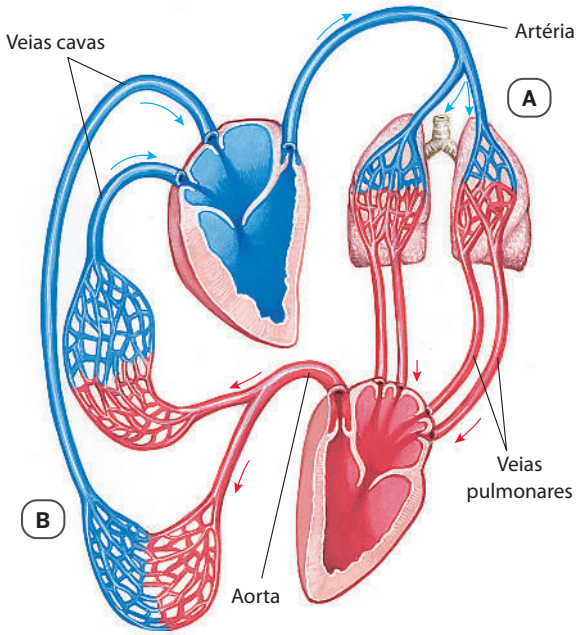
Depois de circular pelo corpo, o sangue é recolhido por veias, que se unem progressivamente formando dois grandes vasos denominados **veias cavas**, pelas quais o sangue retorna ao átrio direito do coração. O sangue que circula nos pulmões, por sua vez, retorna ao átrio esquerdo pelas **veias pulmonares**. Em um ciclo completo, o sangue executa o seguinte trajeto: átrio direito → ventrículo direito → → pulmões → átrio esquerdo → ventrículo esquerdo → tecidos corporais → átrio direito.

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A circulação sanguínea humana é dupla: o trajeto "coração → pulmões → coração" é denominado **circulação pulmonar**, ou **pequena circulação**, enquanto o trajeto "coração → sistemas corporais → → coração" é chamado de **circulação sistêmica**, ou **grande circulação**. (Fig. 15.12)

Circulação pulmonar e circulação sistêmica



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.12. Representação esquemática do coração em que as metades cardíacas foram representadas separadamente para enfatizar que os lados direito e esquerdo do coração atuam como bombas distintas. (A) Circulação pulmonar. (B) Circulação sistêmica. O caminho mostrado em azul indica o fluxo do sangue pobre em O_2 e o caminho em vermelho indica o fluxo do sangue rico em O_2. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O número de vezes que o coração se contrai por unidade de tempo é a **frequência cardíaca**, que varia de acordo com a condição de saúde, com o grau de condicionamento físico e com a situação emocional da pessoa. A frequência cardíaca normal de uma pessoa adulta acordada oscila entre 70 e 80 batimentos por minuto e durante o sono oscila entre 35 e 50 vezes por minuto. Durante um exercício físico intenso a frequência cardíaca pode ultrapassar 180 batimentos por minuto.

A frequência de batimentos cardíacos é controlada por um conjunto de células musculares especializadas, que constituem o **nodo sinoatrial**, ou **marca-passo**, localizado próximo à junção do átrio direito com a veia cava superior. Outra região especializada do coração é o **nodo atrioventricular**, localizado na parte inferior da parede que separa os átrios, próximo aos ventrículos. O nodo atrioventricular distribui o sinal elétrico gerado pelo nodo sinoatrial para a musculatura dos ventrículos, estimulando-os a entrar em sístole.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

SAÚDE

Medindo a frequência cardíaca

Forme um grupo de colegas para medir a frequência cardíaca de diferentes pessoas, em situações variadas. O grupo precisará de um cronômetro, dispositivo atualmente comum em telefones celulares. Primeiramente se pode medir a frequência cardíaca das pessoas em repouso. Os "colegas-pacientes" devem permanecer sentados ou deitados durante a medição, respirando tranquilamente. Após encontrar a pulsação cardíaca em uma das artérias do braço ou do pescoço, deve-se contar o número de pulsações durante 1 minuto. Depois de registrar a frequência cardíaca em repouso, pode-se medir a pulsação após um exercício físico. Um voluntário do grupo pode se exercitar por 3 minutos correndo, fazendo agachamentos ou descendo e subindo escadas, porém sem exceder os limites de suas capacidades físicas. A primeira medição da pulsação deve ser feita imediatamente após o exercício, antes que ocorra recuperação cardíaca. Pode-se também medir a pulsação a cada minuto, durante os 5 minutos seguintes, o que permite observar a recuperação cardíaca gradual que ocorre após o exercício físico. O grupo pode elaborar uma tabela e um gráfico com os dados das medições, relacionando a atividade física ao aumento da frequência cardíaca. Qual seria a importância fisiológica dessa reação metabólica?

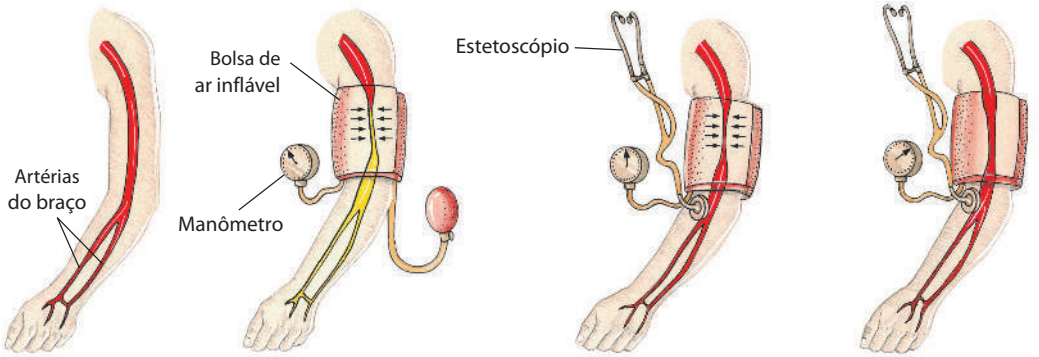
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Artérias, veias e capilares sanguíneos

Artérias são vasos sanguíneos dotados de paredes espessas e musculosas que levam sangue do coração para órgãos e tecidos corporais, incluindo os tecidos do próprio coração, como ocorre com as **artérias coronárias**. Uma artéria de grande calibre, a **aorta**, liga-se ao ventrículo esquerdo do coração e se ramifica progressivamente, originando artérias cada vez mais finas, que atingem todas as partes do corpo. As artérias mais finas, denominadas **arteríolas**, se ramificam em vasos de calibre muito pequeno nos tecidos, os **capilares sanguíneos**, cujas paredes são constituídas por uma única camada de células. Outra grande artéria ligada ao coração é a **artéria pulmonar**, que se liga ao ventrículo direito e se ramifica progressivamente dentro do pulmão, originando os capilares sanguíneos que circundam os alvéolos pulmonares.

Ao ser bombeado pelos ventrículos, o sangue que entra nas artérias exerce pressão sobre as paredes arteriais, o que as leva a relaxar, diminuindo a pressão sanguínea. Em uma pessoa jovem e com boa saúde, a pressão nas artérias durante a sístole ventricular, chamada de **pressão arterial sistólica**, ou **pressão máxima**, oscila entre 110 mmHg e 120 mmHg. A pressão sanguínea é menor durante a diástole ventricular, ficando entre 70 mmHg e 80 mmHg, sendo chamada de **pressão arterial diastólica**, ou **pressão arterial mínima**. A contração das artérias durante a diástole ventricular garante que a pressão se mantenha relativamente elevada e possibilite a ocorrência de fluxo sanguíneo. (Fig. 15.13)

Medindo a pressão arterial



1. Pressão arterial: Sistólica – 120 mmHg Diastólica – 70 mmHg

2. Pressão na bolsa de ar maior que 120 mmHg interrompe o fluxo sanguíneo para o braço.

3. Pressão na bolsa de ar entre 80 e 120 mmHg permite fluxo de sangue durante a sístole; o som da passagem do sangue é audível no estetoscópio.

4. Pressão na bolsa menor que 70 mmHg permite fluxo de sangue durante a sístole e a diástole; os sons não são mais audíveis no estetoscópio.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

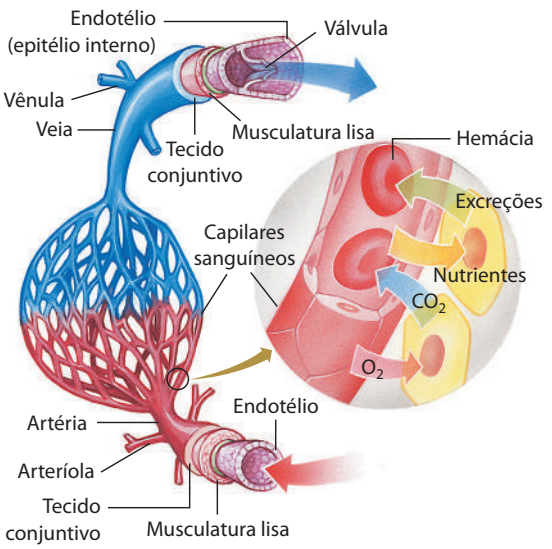
Figura 15.13. Representação esquemática da medição da pressão arterial pelo método auscultatório. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nos capilares dos tecidos, a pressão sanguínea faz com que ocorra saída de plasma sanguíneo para os tecidos. O fluido extravasado dos capilares é denominado **líquido tissular**, ou **líquido intersticial**, e banha as células dos tecidos, nutrindo-as e oxigenando-as. As células dos tecidos, por sua vez, liberam gás carbônico (CO_2) e excreções no líquido tissular. Após banhar as células, a maior parte do líquido tissular é reabsorvida pelos próprios capilares sanguíneos e reincorporada ao sangue. O líquido que resta é absorvido pelos capilares linfáticos, como veremos no item relativo à circulação linfática. Ao passar pelos capilares dos tecidos, o sangue torna-se pobre em nutrientes e em O_2 e rico em CO_2 e em excreções. (Fig. 15.14)

Artérias, veias e capilares sanguíneos



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.14. Representação esquemática de artérias, veias e capilares sanguíneos. No detalhe, troca de substâncias entre o sangue do capilar e as células ao redor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os capilares sanguíneos que irrigam os tecidos se unem formando vasos muito finos denominados **vênulas**. As vênulas se reúnem progressivamente originando vasos cada vez maiores, as **veias**. As duas maiores veias do corpo são as **veias cavas** superior e inferior, que levam sangue proveniente dos tecidos para o átrio direito do coração. (reveja a Figura 15.11)

O sangue

O sangue é constituído por elementos celulares, chamados de **elementos figurados** do sangue, e pelo **plasma sanguíneo**, um líquido amarelado constituído por água, sais minerais e diversas proteínas. As células sanguíneas são as hemácias, os leucócitos e as plaquetas. Essas células são produzidas pelo **tecido hematopoiético**, ou **hemocitopoético** (do grego *hematos*, sangue, e *poiese*, formação, origem), localizado principalmente na medula óssea vermelha de certos ossos longos.

As **hemácias**, **glóbulos vermelhos** ou **eritrócitos**, são células discoidais com cerca de 7 μm de diâmetro e destituídas de núcleo, que é eliminado durante a diferenciação celular. O interior da hemácia é preenchido por **hemoglobina**, proteína que contém ferro e é responsável pela captação de O_2 e sua distribuição aos tecidos.

Os leucócitos, ou **glóbulos brancos**, são células arredondadas com cerca de 10 a 15 μm de diâmetro dotadas de núcleos grandes. A função dos leucócitos é o combate a agentes invasores do corpo (bactérias, vírus, substâncias estranhas etc, por meio da fagocitose e pela produção de **anticorpos**.

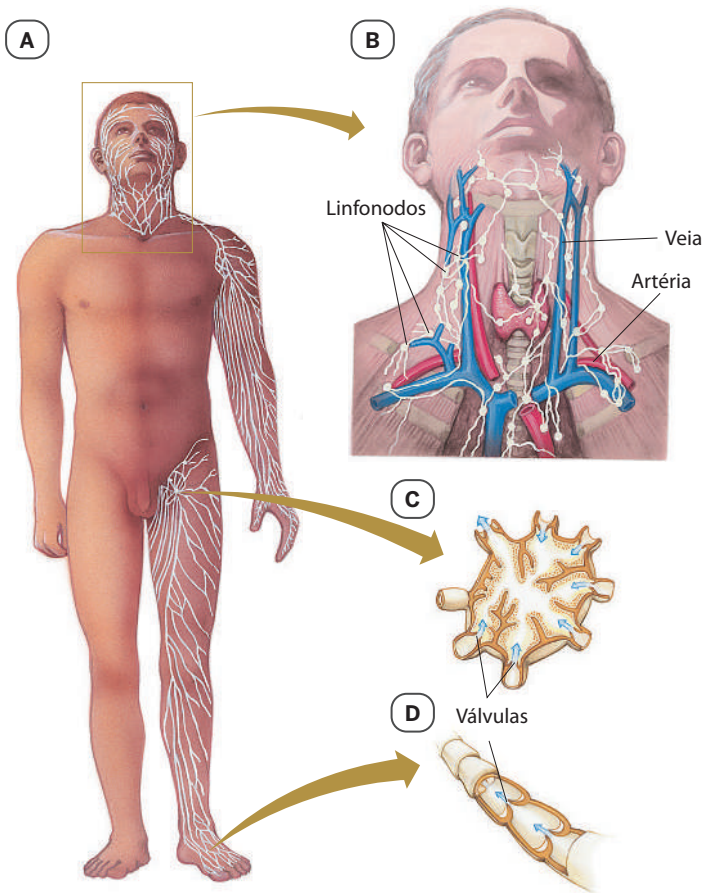
Plaquetas são fragmentos de células multinucleadas denominadas megacariócitos. As plaquetas têm formato irregular e diâmetro em torno de 2,5 μm. O papel das plaquetas é atuar na coagulação do sangue. Quando um vaso sanguíneo é lesado, plaquetas rompidas liberam uma enzima denominada **tromboplastina**, que desencadeia uma sequência de reações químicas que levam à formação de um coágulo, detendo uma eventual hemorragia.

O sistema linfático

O **sistema linfático** é constituído por vasos especializados no transporte da linfa, um fluido semelhante ao sangue mas desprovido de hemácias, e por estruturas globulares presentes em diversos pontos da rede linfática, os **linfonodos**, ou **nódulos linfáticos**. Nos tecidos corporais, há vasos linfáticos de calibre muito fino, os **capilares linfáticos**, que absorvem o excesso de líquido tissular presente entre as células. A confluência dos capilares linfáticos origina vasos com diâmetros progressivamente maiores que convergem para a região torácica, onde formam dois grandes vasos linfáticos, que se unem a veias dos braços.

A **linfa**, portanto, se forma a partir de líquido tissular reabsorvido nos tecidos, e nela há glóbulos brancos, 99% dos quais são linfócitos. A linfa que circula nos vasos linfáticos passa através dos linfonodos, onde há células fagocitárias capazes de identificar e destruir substâncias estranhas ao corpo, atuando na defesa do organismo contra agentes invasores. Os linfonodos estão presentes principalmente no pescoço, nas axilas, na virilha e no intestino. (Fig. 15.15)

Sistema linfático humano



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.15. (A) O esquema mostra parte dos vasos linfáticos da cabeça, dos braços e das pernas. (B) Rede de vasos linfáticos e linfonodos da região do pescoço. (C) Estrutura interna de um linfonodo. (D) Estrutura interna de um capilar linfático. Em (C) e (D) as setas indicam o sentido do fluxo de linfa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Quando o corpo é invadido por microrganismos, os linfócitos capazes de identificar os invasores, presentes em linfonodos próximos ao local da invasão, passam a se multiplicar ativamente. Com isso, os linfonodos aumentam de tamanho, formando inchaços, conhecidos popularmente como **ínguas**, indicativos de que há um processo infeccioso em andamento.

O sistema imunitário

O corpo humano, assim como o de outros animais, conta com um sistema de defesa interno que protege o organismo de substâncias estranhas e de microrganismos invasores. Esse sistema de defesa é o **sistema imunitário** (do latim *immunis*, livre, isento – significando, neste caso, livre de doenças) constituído principalmente por macrófagos e linfócitos, dois tipos de glóbulos brancos, e pelos órgãos onde esses leucócitos se formam, amadurecem e se multiplicam.

Macrófagos são células que se movimentam continuamente entre os tecidos por meio de movimentos ameboides, ingerindo microrganismos, restos de células mortas, resíduos celulares etc. Os macrófagos processam componentes das substâncias ingeridas e os apresentam aos linfócitos, que, ao reconhecê-las como estranhas ao organismo, desencadeiam uma resposta imunitária.

Linfócitos são glóbulos brancos especializados na produção de proteínas envolvidas na defesa do organismo. Os **linfócitos B** produzem **anticorpos**, proteínas capazes de se combinar especificamente com substâncias estranhas ao corpo, levando à sua destruição ou inativação. Substâncias que desencadeiam a produção de anticorpos são genericamente chamadas de **antígenos**.

Há também o **linfócito T**, que apresenta dois subtipos principais: linfócitos T citotóxicos e linfócitos T auxiliadores. Os **linfócitos T citotóxicos**, também chamados de linfócitos **CD8**, são especializados em reconhecer e matar células corporais infectadas por vírus, protozoários e alguns fungos ou células cancerosas. Os linfócitos CD8 atacam ainda células estranhas ao organismo, sendo os principais responsáveis pela rejeição de órgãos transplantados.

Os **linfócitos T auxiliadores**, ou linfócitos **CD4**, comandam o sistema imunitário, recebendo informações dos macrófagos sobre a presença de invasores e ativando linfócitos B e linfócitos CD8 para combatê-los. Se os linfócitos CD4 deixarem de atuar, os linfócitos B e CD8 não são ativados e não há resposta imunitária. O vírus HIV, causador da aids, ataca e destrói os linfócitos CD4, o que leva o sistema imunitário do doente a tornar-se incapaz de reagir a infecções que normalmente não afetam pessoas saudáveis.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

SAÚDE ODS 3

A aids

A **síndrome da imunodeficiência adquirida**, conhecida pela sigla **aids** (do inglês, ***a****cquired* ***i****mmuno* ***d****eficiency* ***s****yndrome*), é o nome dado aos estágios mais avançados da infecção pelo **vírus HIV**. O HIV é transmitido por meio de fluidos eliminados durante as relações sexuais e pelo sangue. Também ocorre transmissão do HIV de mãe para filho, durante a gravidez ou no parto.

Algumas pessoas não apresentam nenhum sintoma ao serem infectadas pelo HIV. Outras manifestam sintomas semelhantes aos de uma gripe, tais como febre, dor de cabeça, cansaço e inflamação dos linfonodos. Em geral esses sintomas desaparecem entre uma semana e um mês.

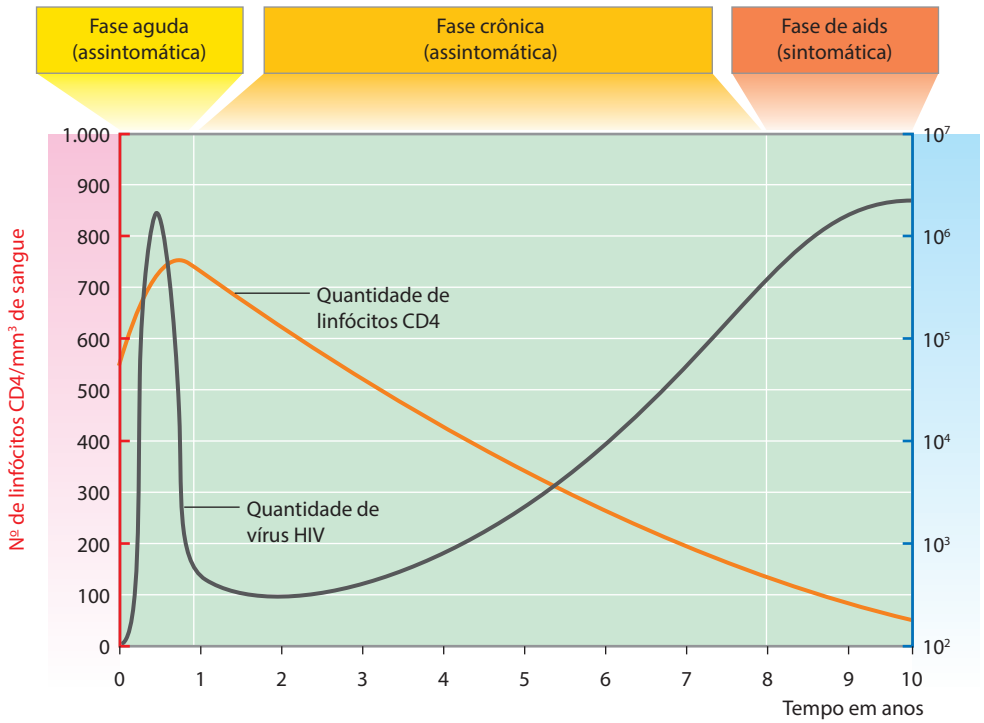
Na fase que sucede à infecção, os vírus HIV multiplicam-se ativamente nas células das pessoas infectadas. Nesse estágio, devido à alta carga viral, os fluidos corporais e o sangue de uma pessoa doente têm alta capacidade de infectar outras pessoas. O sistema imunitário da pessoa recém-infectada pelo HIV, então, passa a combater os vírus, que diminuem em quantidade. Nesse estágio a infecção torna-se assintomática; novos sintomas geralmente só voltam a aparecer após alguns anos.

A principal célula atacada pelo vírus HIV é o linfócito T, ou linfócito CD4, responsável por coordenar diversas respostas do sistema imunitário. Ao destruir as células CD4, o HIV enfraquece a capacidade do organismo em combater não apenas a infecção pelo HIV, mas também infecções comuns, que normalmente não afetariam pessoas sadias. À medida que o número de células CD4 diminui no organismo, os sintomas da aids se manifestam e se acentuam, como mostrado na figura a seguir.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Variação da quantidade de linfócitos T e de partículas virais no sangue de uma pessoa infectada por HIV, ao longo de dez anos



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de BARTLETT, J. G.; MOORE, R. D. Improving HIV Therapy. **Scientific American**, n. 279, p. 64-67, 1998.

A debilitação do sistema imunitário facilita que a pessoa afetada pela aids contraia infecções oportunistas, que normalmente não acometeriam pessoas sadias. O sistema imunitário debilitado dos portadores de aids deixa de combater a maioria dos vírus, das bactérias, dos fungos e de outros microrganismos corriqueiros. Pessoas com aids são propensas a desenvolver certos tipos de câncer, em particular os causados por vírus, como o sarcoma de Kaposi e o câncer cervical, além de certos tipos de linfomas.

Alguns dos sintomas da aids são tosse e respiração ofegante, dificuldade de engolir, diarreia severa e persistente, febre, perda de visão, náusea, cólicas abdominais, vômitos, confusão mental, esquecimento, perda de massa corporal e fadiga extrema.

As principais medidas para prevenir a infecção pelo HIV são: a) praticar sexo seguro, com a proteção de preservativos externos masculinos; b) certificar-se, ao receber transfusões, de que o sangue tenha sido testado negativamente para o HIV; c) evitar o compartilhamento de seringas com outras pessoas; d) tratar mulheres grávidas portadoras do vírus com drogas antivirais.

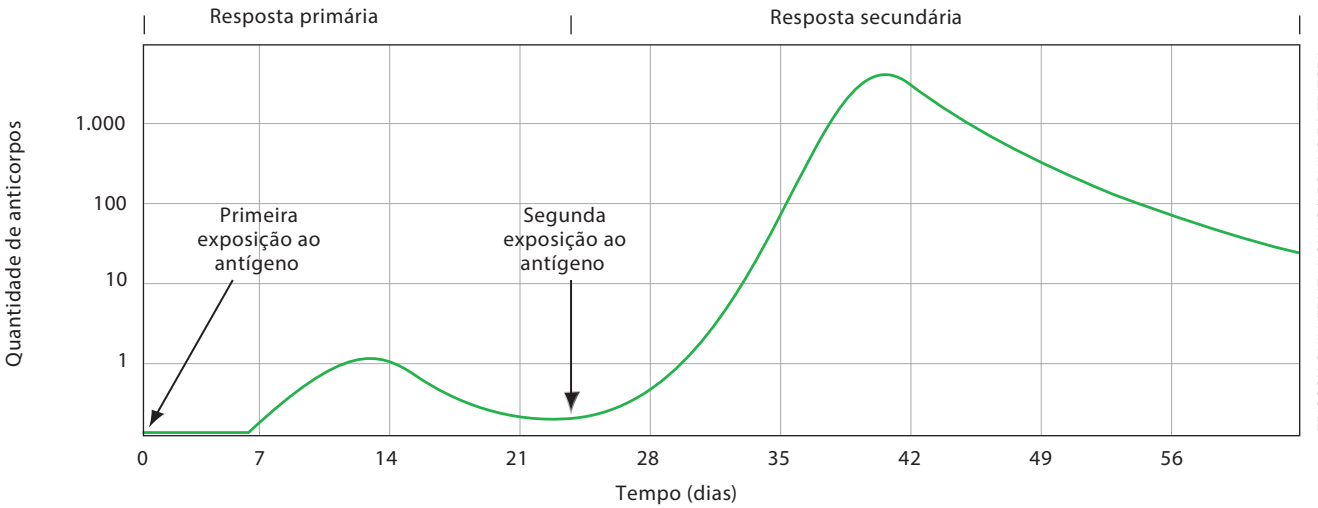
Atualmente há novas drogas terapêuticas contra a aids, desenvolvidas depois da grande quantidade de estudos sobre o modo de ação do vírus. Essas drogas são capazes de controlar a infecção, mantendo-a em níveis baixos e diminuindo ou mesmo eliminando os sintomas da doença. Apesar de não eliminar o vírus, as drogas antiaids têm sido responsáveis pelo declínio no número de mortes em decorrência da doença, além de terem melhorado a qualidade de vida dos portadores do HIV. Apesar de eficientes, as drogas antivirais geralmente apresentam efeitos colaterais. Os sintomas da aids costumam reaparecer se o tratamento é interrompido, uma vez que o vírus continua presente em diversos locais do corpo.

Após a leitura do texto, pesquise na internet ou em outras fontes sobre o aparecimento da aids, na década de 1980. Selecione e anote as informações que achar mais importantes ou interessantes. Entreviste seus pais, tios, avós ou pessoas mais velhas conhecidas e que puderam acompanhar a evolução das notícias sobre o aparecimento da aids. Para complementar o trabalho, pesquise sobre os números de adolescentes infectados pelo HIV, com destaque para a importância da educação sexual nas escolas, da ampliação dos serviços de saúde voltados para jovens e da garantia de um ambiente seguro e acolhedor para que os adolescentes possam buscar ajuda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando uma pessoa é infectada por bactérias, por exemplo, os macrófagos entram em ação, fagocitando bactérias invasoras e expondo antígenos bacterianos na superfície externa de sua membrana celular. Linfócitos CD4 e CD8 capazes de reconhecer essas substâncias unem-se aos macrófagos, e substâncias liberadas por eles os estimulam a se multiplicar. Os linfócitos CD4 ativados pelos macrófagos estimulam linfócitos B capazes de reconhecer os invasores a se multiplicar e produzir anticorpos contra eles. A multiplicação intensa dos linfócitos B ativados origina uma grande quantidade de anticorpos que combate especificamente o invasor. Mesmo após uma infecção ter sido debelada, restam no organismo linfócitos especiais, chamados de **células de memória imunitária**, que guardam por anos a capacidade de reconhecer os invasores com os quais o organismo já esteve em contato. No caso de um novo ataque, as células de memória são ativadas e se multiplicam com rapidez, deflagrando uma **resposta imunitária secundária**, mais rápida que a resposta primária. (Fig. 15.16)

Produção de anticorpos em resposta a um antígeno



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.16. Gráfico que mostra como a produção de anticorpos ocorre mais rápida e intensamente em um segundo contato com o antígeno. Trata-se da resposta imunitária secundária, deflagrada pelas células de memória.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Imunizações ativa e passiva: vacinas e soros

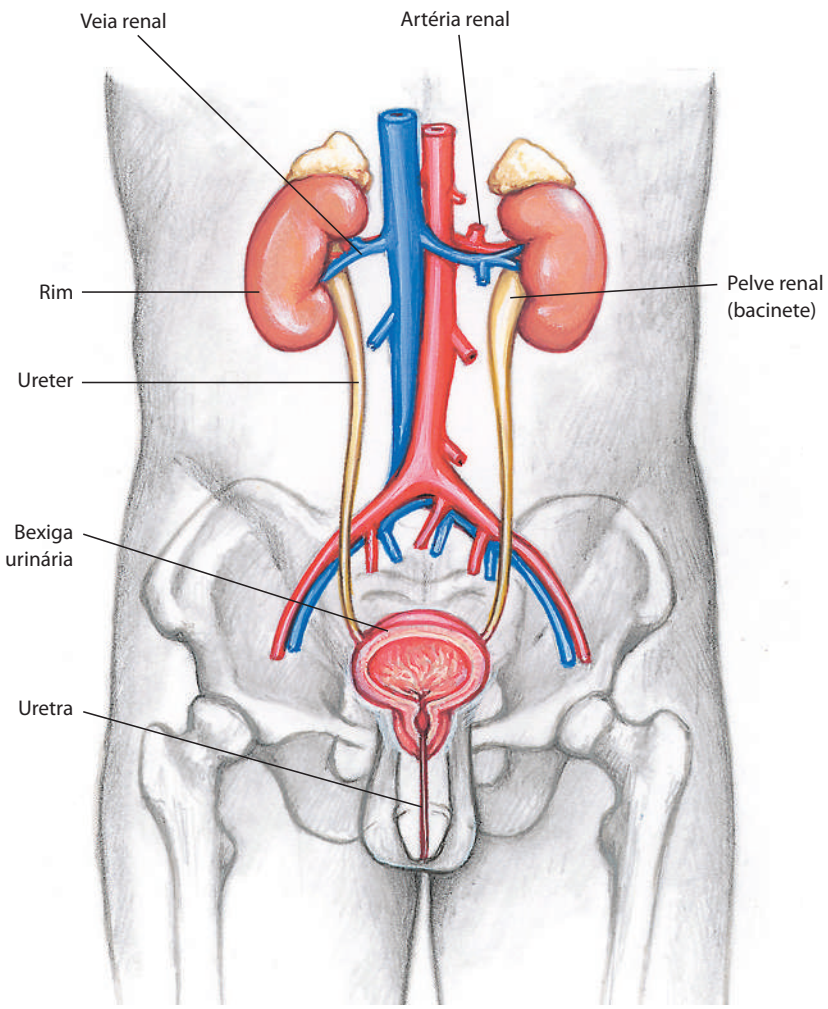
É possível promover a imunização de uma pessoa contra certas infecções ou substâncias prejudiciais por meio da imunização ativa e da imunização passiva. A **imunização ativa** é obtida por meio da **vacinação**, que consiste na aplicação de **vacinas**, constituídas por antígenos característicos dos microrganismos causadores de certa doença. Os antígenos presentes na vacina injetada na pessoa desencadeiam uma resposta imunitária primária, com produção de anticorpos e células de memória imunitária. Se posteriormente o organismo for invadido pelo antígeno contra o qual foi imunizado, as células de memória imunitária desencadearão uma resposta imunitária secundária, mais rápida e mais intensa que a resposta primária.

A **imunização passiva** consiste em injetar na pessoa uma solução de anticorpos específicos, que constituem o chamado **soro imune**. Substâncias como toxinas bacterianas ou peçonhas de serpentes e aranhas têm efeito rápido e intenso no organismo, podendo matar a pessoa antes que ela consiga produzir anticorpos para se proteger. Nessas situações, a injeção de soros imunes extraídos de sangue de animais previamente imunizados evita a ação dos antígenos. A aplicação de soro não confere imunidade permanente, uma vez que a memória imunitária não é estimulada. Os anticorpos injetados desaparecem da circulação sanguínea em poucos dias. Além disso, o organismo imunizado pode reconhecer os próprios anticorpos do soro como substâncias estranhas, passando a produzir anticorpos contra eles.

5. O sistema urinário

O **sistema urinário** é o conjunto de órgãos e estruturas responsáveis pela filtração do sangue e pela eliminação de substâncias tóxicas, desnecessárias ou em excesso no corpo. O sistema urinário humano é composto de um par de rins, das vias urinárias e da bexiga urinária. (Fig. 15.17)

Sistema urinário humano



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.17. Representação esquemática dos componentes do sistema urinário humano em uma pessoa do sexo masculino. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Componentes do sistema urinário

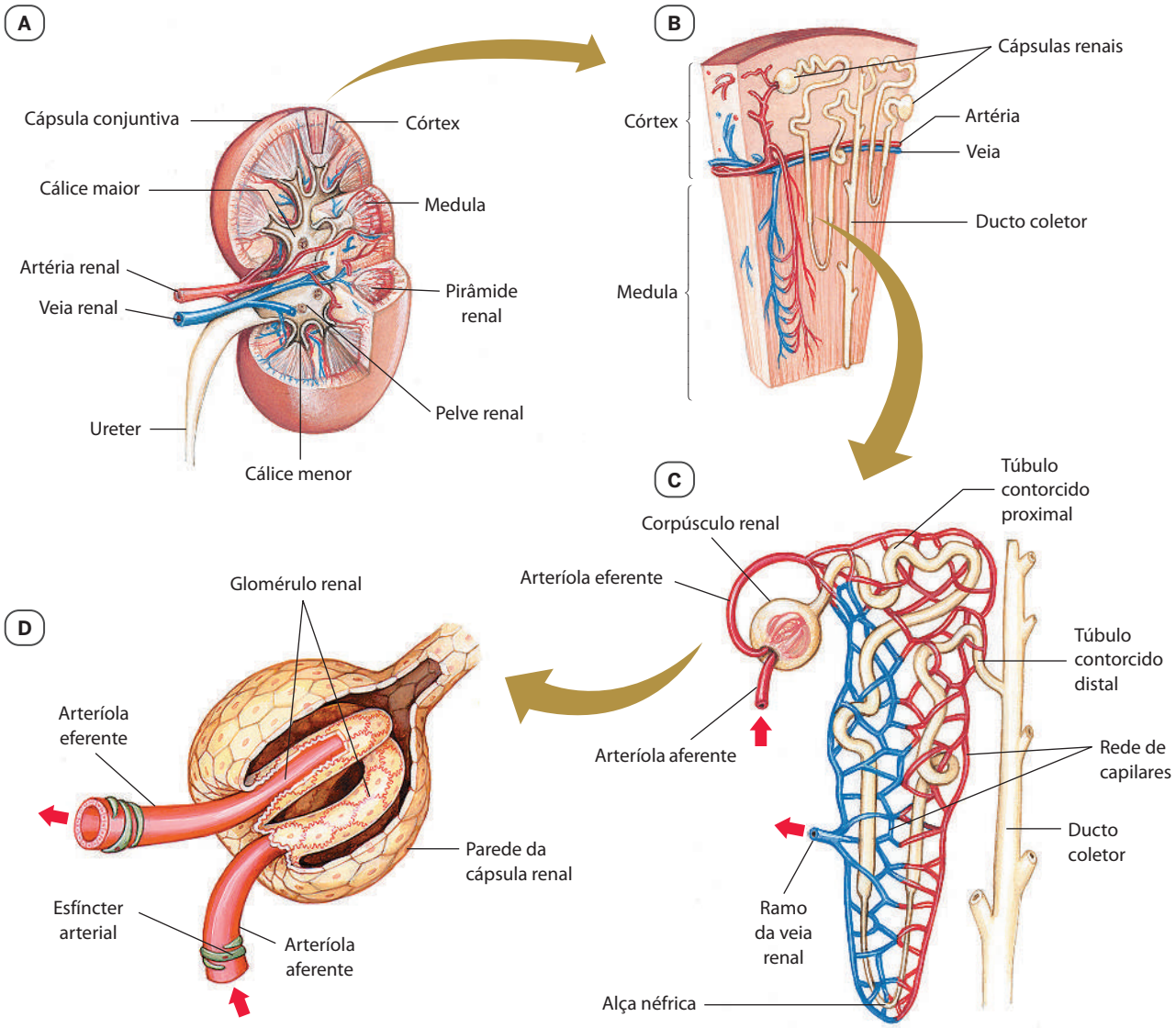
Uma pessoa apresenta um par de **rins**, órgãos de cor marrom-avermelhada e forma de feijão, com cerca de 10 cm de comprimento, localizados na parte posterior da cavidade abdominal, abaixo do diafragma, um de cada lado da coluna vertebral. Cada rim é revestido por uma cápsula fibrosa que envolve uma região interna, o **córtex renal**, onde se localizam os néfrons, as unidades renais responsáveis pela filtração do sangue.

O **néfron** é uma longa estrutura tubular com uma das extremidades em forma de taça, a **cápsula renal**. Dentro da **cápsula renal** há um conjunto enovelado de capilares denominado **glomérulo renal**, originado pela ramificação de uma arteríola que entra na cápsula. O conjunto formado pela cápsula renal e pelo glomérulo é chamado de corpúsculo renal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A cápsula renal une-se ao **túbulo néfrico**, no qual se distinguem três regiões: a) o **túbulo contorcido proximal** (ligado ao glomérulo); b) a **alça néfrica** (antigamente chamada de **alça de Henle**); c) o **túbulo contorcido distal**, que desemboca em um duto coletor de maior calibre. Os diversos dutos coletores conduzem a urina produzida nos néfrons até a pelve renal, de onde ela é eliminada para o **ureter**. (Fig. 15.18)

Estrutura do rim humano



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

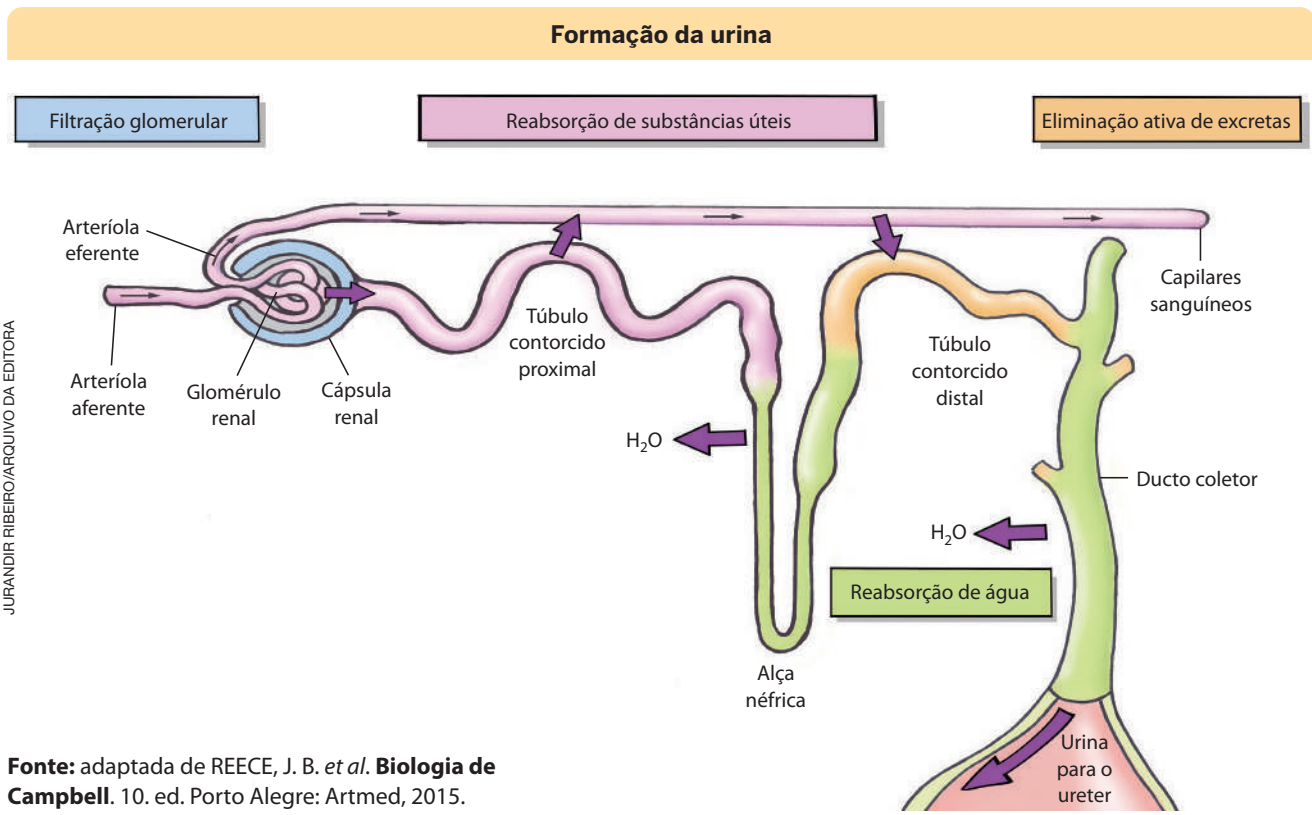
Figura 15.18. Representações esquemáticas da estrutura do rim. (A) Rim em corte parcial. (B) Localização dos néfrons. (C) Organização do néfron. (D) Cápsula renal em corte mostrando a organização do glomérulo. As setas vermelhas indicam o sentido do fluxo sanguíneo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Filtração do sangue e formação da urina

Os néfrons filtram o sangue, dele removendo ureia, sais, ácido úrico e outras substâncias eventualmente tóxicas ou em excesso no corpo. O sangue chega a cada rim pela artéria renal, que se ramifica profusamente em capilares, nos glomérulos renais. A pressão sanguínea nos capilares do glomérulo renal força a saída de fluido do sangue para a cápsula que envolve o glomérulo. Esse fluido é denominado **filtrado glomerular**, ou **urina inicial**, e contém ureia, glicose, aminoácidos, sais e diversas outras substâncias. Diariamente passam pelos rins de uma pessoa quase 1,6 mil litros de sangue, formando-se cerca de 180 litros de filtrado glomerular.

Glicose, aminoácidos, vitaminas e grande parte dos sais do filtrado glomerular são reabsorvidos pelas células da parede do túbulo contorcido proximal e devolvidos ao sangue. No caso de alguma dessas substâncias estar em concentração anormalmente elevada no sangue, ela não é totalmente reabsorvida e parte é excretada na urina. Isso ocorre, por exemplo, em pessoas que apresentam **diabetes melito**, nas quais a alta concentração de glicose no sangue leva à reabsorção apenas parcial da glicose pelo túbulo renal, sendo o excedente eliminado na urina.

Substâncias indesejáveis como ácido úrico e amônia são removidas ativamente do sangue por células do túbulo contorcido distal e lançadas no túbulo coletor do néfron. O filtrado, após a reabsorção das substâncias úteis, transforma-se em **urina**, um fluido aquoso de cor amarelada que contém predominantemente ureia, além de pequenas quantidades de amônia, ácido úrico e sais. A cor amarelada da urina deve-se à presença de urobilina, substância originada principalmente pela degradação da hemoglobina de hemácias fora de função. (Fig. 15.19)



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 15.19. Representação esquemática da formação da urina. Os componentes do rim foram dispostos de modo linear para facilitar a compreensão da sequência de processos que levam à formação da urina. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A urina produzida pelos rins, aproximadamente 1,5 litro por dia, é conduzida para a **bexiga urinária** por meios dos **ureteres**, dois tubos dispostos na parede posterior do abdômen que ligam as pelves renais à **bexiga urinária**, a bolsa que armazena urina localizada na cavidade pélvica. A função da bexiga urinária é receber a urina que chega continuamente pelos ureteres, armazenando-a até o momento de sua eliminação do corpo. Uma pessoa adulta tem capacidade de armazenar cerca de 300 mL de urina na bexiga, que será eliminada pela **uretra**. A uretra feminina se abre para o exterior entre os lábios menores da vulva, logo abaixo do clitóris. A abertura da uretra masculina situa-se na extremidade do pênis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os rins ajudam a regular a composição do sangue. Por exemplo, se a concentração de alguma substância no sangue aumenta, os rins tendem a eliminar os excessos. Por isso, exames de urina permitem detectar diversas substâncias eliminadas pelo corpo, o que pode fornecer indícios de possíveis doenças.

A reabsorção de água nos rins é controlada pelo **hormônio antidiurético**, conhecido pela sigla **ADH** (do inglês ***a**nti**d**iuretic **h**ormone*), também chamado de **vasopressina**. O ADH é sintetizado por uma região do encéfalo, chamada de **hipotálamo**, e transferido para a glândula **hipófise**, onde é armazenado até sua liberação no sangue. Esse hormônio atua sobre os túbulos contorcidos distais e sobre os dutos coletores, promovendo aumento da reabsorção de água do filtrado glomerular. Quando o corpo se desidrata, o sangue se torna mais concentrado e a hipófise é estimulada a liberar ADH. A presença desse hormônio promove maior reabsorção de água nos túbulos renais, o que torna a urina mais concentrada. A presença de álcool no sangue inibe a secreção de ADH. Por isso, a ingestão de bebidas alcoólicas geralmente estimula a produção de urina e as micções.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 4.

a. dieta
b. nutrição
c. onívoro
d. vitamina

1. Um organismo que se alimenta de produtos variados, tanto de origem animal quanto de origem vegetal, é chamado (■). 1.c

2. (■) é o conjunto de tipos de alimento que ingerimos e suas respectivas quantidades. 2.a

3. (■) é como se denomina o conjunto de processos pelos quais nossas células assimilam substâncias nutritivas. 3.b

4. (■) é uma substância orgânica necessária em pequenas quantidades, mas que o organismo é incapaz de sintetizar. 4.d

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 5 a 8.

a. diástole
b. frequência cardíaca
c. miocárdio
d. sístole

5. (■) é o número de vezes que o coração bate em dado intervalo de tempo. 5.b

6. (■) é a contração de uma câmara cardíaca. 6.d

7. (■) é o nome da ação de relaxamento das câmaras cardíacas. 7.a

8. (■) é a denominação da musculatura do coração. 8.c

Escreva, em seu caderno, o termo da relação a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 9 a 12.

a. grande circulação (circulação sistêmica)
b. pequena circulação (circulação pulmonar)
c. pressão diastólica
d. pressão sistólica

9. (■) é a pressão do sangue nas artérias durante o relaxamento dos ventrículos. 9.c

10. (■) é a pressão do sangue nas artérias durante a contração dos ventrículos. 10.d

11. (■) é o trajeto que o sangue faz do coração para o corpo e deste de volta ao coração. 11.a

12. O trajeto que o sangue faz do coração para os pulmões e destes de volta ao coração é chamado (■). 12.b

13. "Quando ocorre a sístole dos ventrículos, as grandes artérias (1), o que faz a pressão sanguínea em seu interior (2)." Qual das alternativas apresenta os conceitos que substituem corretamente os números 1 e 2, respectivamente? 13.b

a. contraem-se; aumentar.
b. relaxam; diminuir.
c. relaxam; aumentar.
d. contraem-se; diminuir.

14. O HIV é um vírus muito danoso porque 14.c

a. age diretamente sobre os linfócitos B, que produzem anticorpos.
b. ataca e destrói os macrófagos, cuja função é alertar os linfócitos T citotóxicos (CD8) sobre a infecção.
c. ataca e destrói os linfócitos T auxiliadores (CD4), cuja função é comandar a resposta imunitária.
d. instala-se nos linfócitos T citotóxicos (CD8), que atacam células infectadas por vírus.
e. instala-se nos órgãos imunitários primários, como a medula óssea e o timo, destruindo-os.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. "Quando os músculos das costelas e do diafragma se contraem, a cavidade torácica amplia-se. Com isso, sua pressão interna (1), o que ocasiona (2)." Qual das alternativas apresenta os conceitos que substituem corretamente os números 1 e 2, respectivamente? 15.c

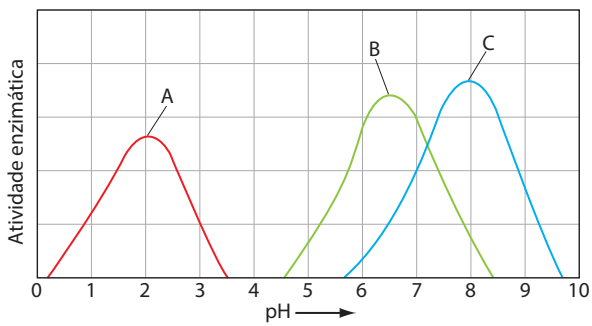
a. aumenta; inspiração.
b. aumenta; expiração.
c. diminui; inspiração.
d. diminui; expiração.

16. À medida que o filtrado glomerular percorre o túbulo do néfron, sua composição química se altera. Isso ocorre principalmente devido 16.d

a. ao extravasamento de fluido no glomérulo, onde substâncias voltam para o sangue.
b. ao armazenamento de ureia no fígado.
c. ao fenômeno da micção.
d. à reabsorção de substâncias no túbulo, as quais voltam para o sangue.

17. Observe o gráfico a seguir, que mostra os valores de pH (grau de acidez) em três regiões do tubo digestório, identificadas pelas letras A, B e C. A seguir, responda às questões em seu caderno.

pH em diferentes regiões do tubo digestório



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Quais são as regiões identificadas pelas letras? Como você chegou a essa conclusão?
b. Identifique, para cada região, uma enzima que nela atua e os respectivos substratos e produtos.

Questões de vestibulares

18. (UFRGS-RS) Tiago comeu um sanduíche de pão francês com queijo, presunto e manteiga, acompanhado de um copo de suco de laranja sem açúcar. Relacione cada um dos itens alimentares do lanche de Tiago, listados na coluna da direita, com as principais enzimas que atuarão na sua digestão, indicadas na coluna da esquerda. 18.a

1. pepsina
2. lipase
3. amilase
4. sacarase

(■) pão francês
(■) manteiga
(■) presunto
(■) queijo
(■) suco de laranja

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

a. 3 — 2 — 1 — 1 — 4.
b. 4 — 3 — 2 — 1 — 3.
c. 1 — 4 — 3 — 2 — 2.
d. 1 — 3 — 2 — 4 — 4.
e. 2 — 1 — 4 — 3 — 3.

19. (Fuvest-SP) Qual cirurgia comprometeria mais a função do sistema digestório e por quê: a remoção dos 25 cm iniciais do intestino delgado (duodeno) ou a remoção de igual porção do início do intestino grosso? 19.a

a. A remoção do duodeno seria mais drástica, pois nele ocorre a maior parte da digestão intestinal.
b. A remoção do duodeno seria mais drástica, pois nele ocorre a absorção de toda a água de que o organismo necessita para sobreviver.
c. A remoção do intestino grosso seria mais drástica, pois nele ocorre a maior parte da absorção dos produtos do processo digestório.
d. A remoção do intestino grosso seria mais drástica, pois nele ocorre a absorção de toda a água de que o organismo necessita para sobreviver.
e. As duas remoções seriam igualmente drásticas, pois, tanto no duodeno quanto no intestino grosso, ocorrem digestão e absorção de nutrientes e de água.

20. (UFMG) A Campanha Nacional de Vacinação do Idoso, instituída pelo Ministério da Saúde do Brasil, vem se revelando uma das mais abrangentes dirigidas à população dessa faixa etária. Além da vacina contra a gripe, os postos de saúde estão aplicando, também, a vacina contra pneumonia pneumocócica. É correto afirmar que essas vacinas protegem porque 20.c

a. são constituídas de moléculas recombinantes.
b. contêm anticorpos específicos.
c. induzem resposta imunológica.
d. impedem mutações dos patógenos.

21. (Fuvest-SP) Uma pessoa passará a excretar maior quantidade de ureia se aumentar, em sua dieta alimentar, a quantidade de 21.e

a. amido.
b. cloreto de sódio.
c. glicídios.
d. lipídios.
e. proteínas.

22. (UFRRJ) A palavra respiração é utilizada para descrever dois processos distintos, porém interdependentes, que ocorrem em nível pulmonar e celular. Descreva como estes fenômenos estão relacionados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 16

Integração nervosa e hormonal, revestimento e movimentação do corpo humano

SERGIO PEDREIRA/PULSAR IMAGENS

O assunto deste capítulo também é trabalhado nos capítulos 15 e 16 de Física desta coleção.

A capoeira é um misto de dança e arte marcial que surgiu no Brasil como forma de luta e resistência dos africanos escravizados. Os capoeiristas exercitam a força muscular, a flexibilidade, a agilidade e a execução precisa dos movimentos corporais. Roda de Capoeira (Salvador, BA, 2019).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Qual é o sistema de órgãos mais importante em nosso corpo? Resposta: todos. Para funcionar com saúde e harmonia, o organismo humano depende igualmente de todos os sistemas, desde a pele até o sistema nervoso. É claro que em todo time há estrelas, neste caso o sistema circulatório e o sistema nervoso. Além de famosos, esses sistemas têm que funcionar bem o tempo todo, ou pode haver grandes prejuízos ao organismo. Outros sistemas fazem seu trabalho mais discretamente, como o sistema imunitário, responsável pelas defesas do corpo.

Uma simples dança, com uma pessoa especial, envolve todos os sistemas de nosso corpo. Com a emoção do momento, nosso coração se acelera e a respiração se torna mais curta. Podemos começar a transpirar, pois a temperatura corporal aumenta com o movimento e o contato com o parceiro, enviando ao cérebro informações que estimulam a produção de adrenalina. A proximidade com outra pessoa também aguça nosso olfato. A música não apenas nos embala, mas tem o poder de evocar lembranças. E, em meio a tudo isso, ainda conseguimos coordenar nossos passos, aprendidos especialmente para a ocasião.

A dança mobiliza ainda muitos outros mecanismos. Músculos presos aos mais de 200 ossos do esqueleto, guiados pelo sistema nervoso, executam movimentos precisos e harmoniosos, que nos fazem deslizar suavemente pela pista de dança. Basta imaginar situações como essas e muitas outras, comuns no dia a dia, para perceber o alto grau de integração necessário para manter nossas atividades corriqueiras.

No primeiro item do capítulo, é estudado o sistema nervoso humano, no qual reside talvez a parcela mais substancial de nossa humanidade. O segundo item é dedicado aos principais sentidos humanos, com os quais percebemos tanto o ambiente externo quanto as condições internas de nosso corpo. Em seguida será estudado o sistema endócrino, com destaque para os hormônios que controlam diversos aspectos de nosso metabolismo. A anatomia e fisiologia da pele, do sistema esquelético e do sistema muscular são abordados nos três últimos itens do capítulo, encerrando nossa breve viagem pelo corpo humano.

1. O sistema nervoso

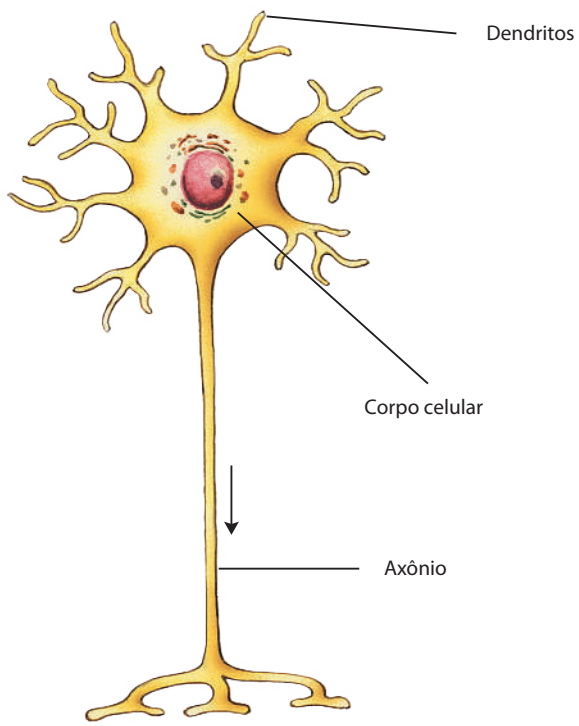
Uma pessoa identifica a todo momento dezenas de informações captadas pelos órgãos dos sentidos, os olhos, as orelhas, o nariz, a boca e a pele, e por sensores situados no interior do corpo. Esses sensores internos, denominados **proprioceptores**, detectam o grau de acidez do sangue, a temperatura corporal e a pressão arterial, entre outros eventos. As informações captadas pelos órgãos dos sentidos e pelos proprioceptores são transmitidas, por meio de fibras nervosas, ao sistema nervoso central (SNC). Este atua como uma estação centralizadora, que reconhece as informações e elabora respostas, em certos casos automaticamente, como os ajustes da frequência cardíaca ou da temperatura corporal.

O tecido nervoso

O sistema nervoso é formado pelo **tecido nervoso**, composto de dois tipos de células: neurônios e gliócitos, ou células gliais. Os **neurônios** são as células especializadas na condução dos impulsos nervosos. O neurônio apresenta uma parte mais volumosa denominada **corpo celular**, onde se localizam o núcleo e a maior parte do citoplasma, de onde partem prolongamentos citoplasmáticos chamados de **neurofibras**.

Há dois tipos de neurofibras: axônios e dendritos. O **axônio** se distingue do dendrito por ser geralmente mais longo, com ramificações apenas na extremidade. O **dendrito** é relativamente mais curto que o axônio e, geralmente, muito ramificado. Um neurônio apresenta um único axônio, mas tem geralmente vários dendritos. Do ponto de vista funcional, axônios e dendritos se distinguem por conduzirem impulsos nervosos em sentidos inversos. Os axônios conduzem impulsos nervosos do corpo celular para as extremidades axônicas, enquanto os dendritos conduzem impulsos nervosos das extremidades dendríticas para o corpo celular do neurônio. (Fig. 16.1)

Estrutura do neurônio



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J, B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.1. Representação esquemática de um neurônio. A seta indica o sentido do impulso nervoso. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Neurofibras de vários neurônios se agrupam formando feixes denominados **nervos**, revestidos por tecido conjuntivo. Os nervos partem do encéfalo e da medula espinal e chegam às diversas partes do corpo.

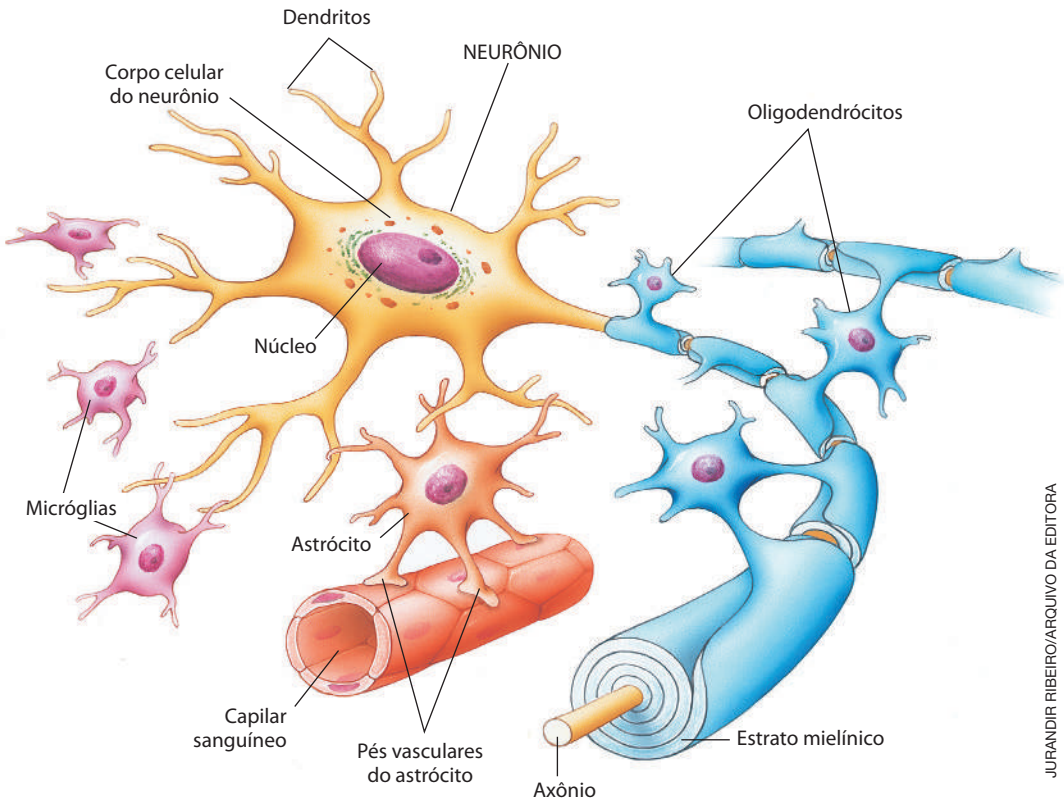
Os **gliócitos**, ou **células gliais**, têm por função proteger e nutrir os neurônios. Há diversos tipos de gliócitos, entre os quais se destacam os **oligodendrócitos**, as **células de Schwann**, os **astrócitos** e as **micróglias**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As membranas plasmáticas dos oligodendrócitos, por exemplo, formam prolongamentos que se enrolam ao redor dos axônios de certos neurônios, produzindo camadas de revestimento denominadas **estratos mielínicos**, ou **bainhas de mielina**. O estrato mielínico protege os axônios e garante maior velocidade na propagação do impulso nervoso. Esse revestimento está presente principalmente nas fibras nervosas que constituem a substância branca do encéfalo e da medula espinal. (Fig. 16.2)

Tipos de gliócitos

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 16.2. Representação esquemática de alguns tipos de gliócitos presentes no sistema nervoso central e sua relação com o neurônio. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Natureza e propagação do impulso nervoso

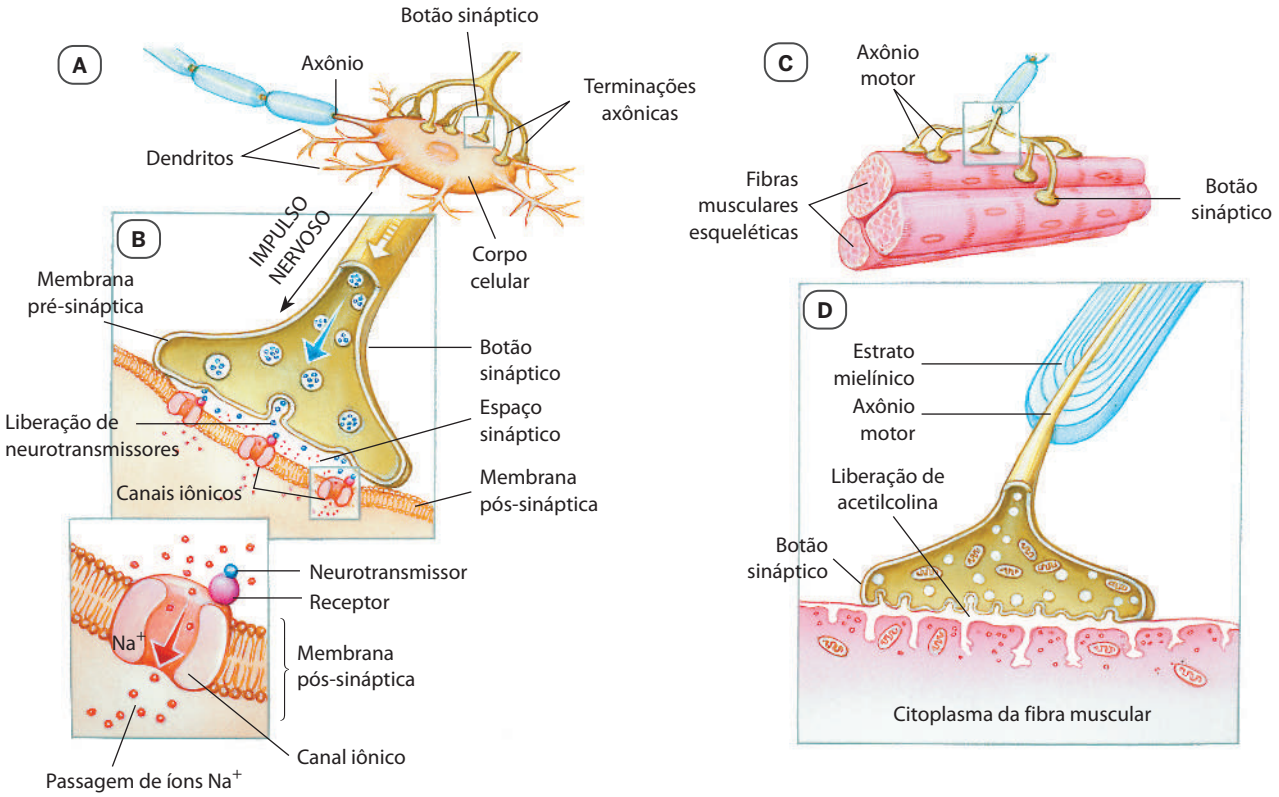
A estimulação de um neurônio causa uma alteração elétrica localizada, rápida e transitória na membrana celular. Nessa alteração, chamada de **despolarização** da membrana, a diferença de potencial entre as faces interna e externa da membrana do neurônio passa de –70 mV (milivolts) para +40 mV. A diferença de potencial elétrico de –70 mV no neurônio não estimulado é denominada **potencial de repouso**. A inversão brusca na diferença de potencial elétrico entre as faces interna e externa da membrana é denominada **potencial de ação**. Durante o repouso, a superfície interna da membrana celular tem carga negativa em relação à superfície externa, situação que se inverte na despolarização.

A região despolarizada da membrana celular estimula a área adjacente a se despolarizar, enquanto se repolariza. Isso vai se repetindo sucessivamente, de modo que o potencial de ação se propaga até as extremidades do axônio. A propagação do potencial de ação ao longo do neurônio é denominada **impulso nervoso** e geralmente ocorre em um único sentido, dos dendritos para o corpo celular e deste para o axônio.

Ao atingir a extremidade de um axônio, o impulso nervoso é transmitido a outra célula, que pode ser outro neurônio ou uma célula muscular ou glandular. A região de proximidade entre a extremidade do axônio e a membrana da célula para a qual o impulso será transmitido é chamada de **sinapse nervosa** (do grego *synapsis*, ação de juntar). As sinapses entre células nervosas geralmente ocorrem entre o axônio de um neurônio e o dendrito ou o corpo celular de outro neurônio. Quando a sinapse ocorre entre um axônio e uma célula muscular, ela é chamada de **sinapse neuromuscular**.

A transmissão do impulso nervoso na maioria das sinapses ocorre por meio de substâncias chamadas de **neurotransmissores**, ou **mediadores químicos**. Ao chegar à extremidade de um axônio, o impulso nervoso estimula a liberação de neurotransmissores que, ao atingirem a célula com a qual o axônio faz sinapse, desencadeiam nela um novo potencial de ação. Os neurotransmissores liberados no espaço sináptico são logo destruídos por enzimas, o que evita que eles continuem a estimular a célula pós-sináptica além do necessário. Alguns dos neurotransmissores conhecidos são a acetilcolina, a adrenalina, a dopamina e a serotonina. (Fig. 16.3)

Sinapses nervosas



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.3. (A) Representação esquemática de sinapses entre terminações axônicas de um neurônio e a célula pós-sináptica. (B) Detalhe da extremidade axônica (botão sináptico) em corte, mostrando os neurotransmissores armazenados em bolsas membranosas. (C) Sinapses neuromusculares. (D) Sinapse neuromuscular em corte, mostrando o botão sináptico e a superfície da célula muscular. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Organização do sistema nervoso

O sistema nervoso humano é dividido em **sistema nervoso central** (SNC) e **sistema nervoso periférico** (SNP). O SNC é constituído pelo encéfalo e pela medula espinal. O SNP é composto de nervos e gânglios nervosos. O SNP estabelece a comunicação entre os órgãos dos sentidos, o SNC e os órgãos responsáveis pelas respostas, principalmente músculos e glândulas. O SNC interpreta as informações captadas por órgãos sensoriais e elabora respostas, enviando-as aos músculos, principais efetuadores das ações nervosas.

O sistema nervoso central (SNC)

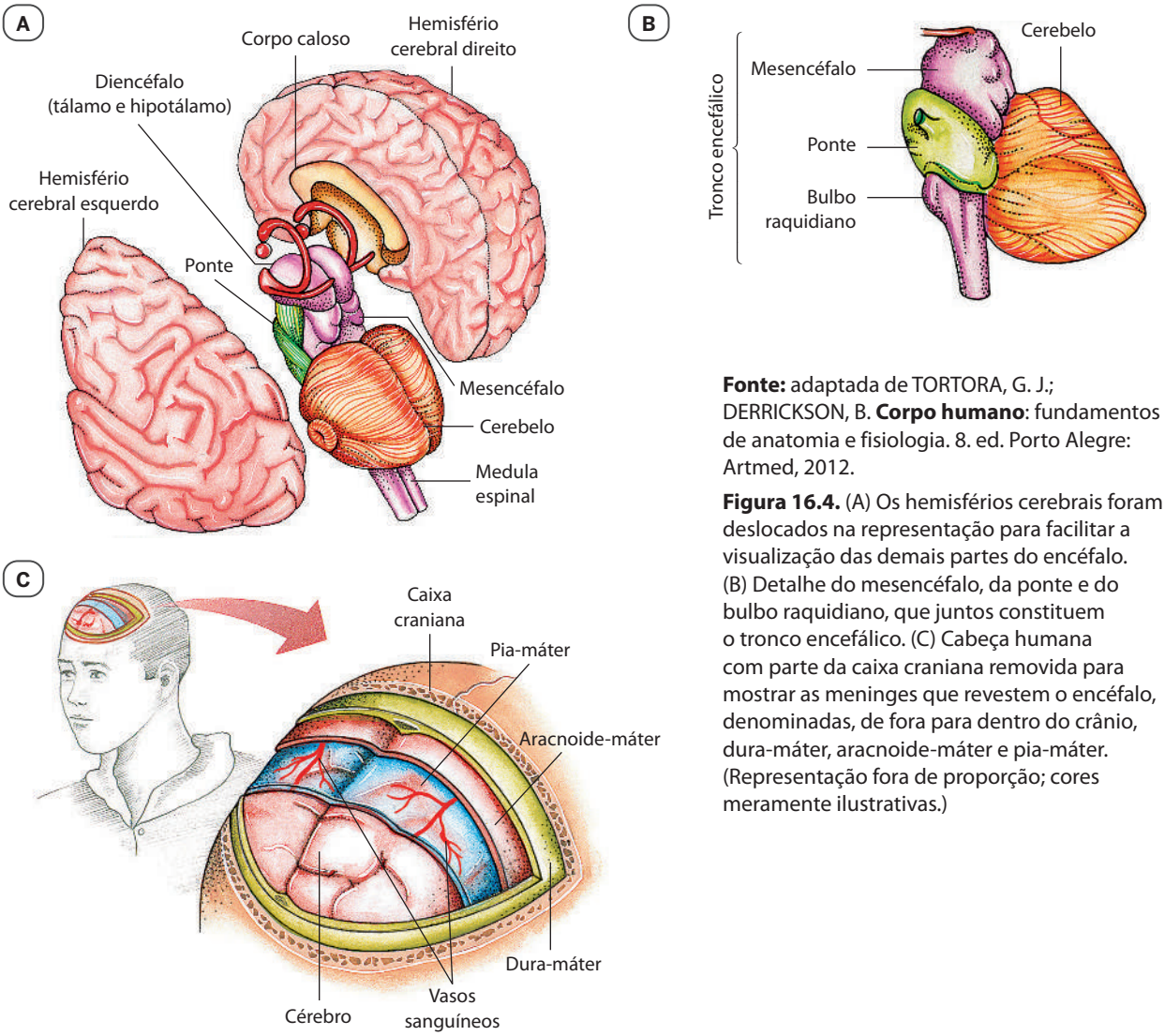
O **encéfalo** é protegido pela caixa craniana e, em uma pessoa adulta, tem massa de aproximadamente 1,4 kg. As partes diferenciadas do encéfalo são, em sequência: o cérebro, o diencéfalo, o mesencéfalo, a ponte, o cerebelo e o bulbo raquidiano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

O encéfalo é revestido por três membranas de tecido conjuntivo denominadas **meninges**, que também revestem a medula espinal. O espaço entre o sistema nervoso central e as duas meninges mais internas é preenchido pelo **líquido cerebroespinal**, ou **líquido cefalorraquidiano**, cujas funções são amortecer choques mecânicos e transportar substâncias importantes ao sistema nervoso. (Fig. 16.4)

O encéfalo humano



Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.4. (A) Os hemisférios cerebrais foram deslocados na representação para facilitar a visualização das demais partes do encéfalo. (B) Detalhe do mesencéfalo, da ponte e do bulbo raquidiano, que juntos constituem o tronco encefálico. (C) Cabeça humana com parte da caixa craniana removida para mostrar as meninges que revestem o encéfalo, denominadas, de fora para dentro do crânio, dura-máter, aracnoide-máter e pia-máter. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A parte mais desenvolvida do encéfalo humano é o **cérebro**, dividido em dois hemisférios cerebrais. O cérebro representa entre 85% e 90% da massa encefálica. A camada cerebral mais externa, cuja espessura varia de 1 cm a 2 cm, é o **córtex cerebral**, constituído por mais de 20 bilhões de corpos celulares de neurônios. O córtex cerebral apresenta cor acinzentada, daí ser conhecido como **substância cinzenta**. A porção situada internamente ao córtex, de cor mais clara, é chamada de **substância branca**, sendo constituída principalmente por dendritos e axônios que levam e trazem informações ao córtex. Apesar de corresponder a apenas 2% da massa corporal, o cérebro demanda cerca de 17% do sangue bombeado pelo coração e utiliza 20% do gás oxigênio que uma pessoa inala. O cérebro humano é o centro da inteligência e da aprendizagem.

O **diencéfalo** é constituído pelo tálamo e pelo hipotálamo, duas regiões encefálicas situadas embaixo do cérebro. O papel do **tálamo** é atuar como uma estação integradora e retransmissora de impulsos nervosos para o córtex cerebral, direcionando os impulsos para áreas apropriadas do cérebro, onde são processados. O **hipotálamo**, localizado sob o tálamo, é responsável pelo ajuste do organismo às variações externas e internas ao corpo, o que se denomina **homeostase** (do grego *homeos*, igual, e *stasis*,

permanecer). O hipotálamo regula a temperatura corporal, o apetite e o equilíbrio hídrico no corpo, além de ser o principal centro de expressão emocional e de comportamento sexual. O hipotálamo também participa da ativação de diversas glândulas produtoras de hormônios.

O **mesencéfalo**, localizado em sequência ao tálamo e ao hipotálamo, controla o tônus muscular (o grau de contração dos músculos) e a postura corporal. Ao mesencéfalo segue-se a **ponte**, constituída por neurofibras que ligam o córtex cerebral ao cerebelo, além de conter centros nervosos que coordenam a movimentação dos olhos, do pescoço e de outras partes do corpo. A ponte também atua no tônus muscular, na postura corporal e no equilíbrio.

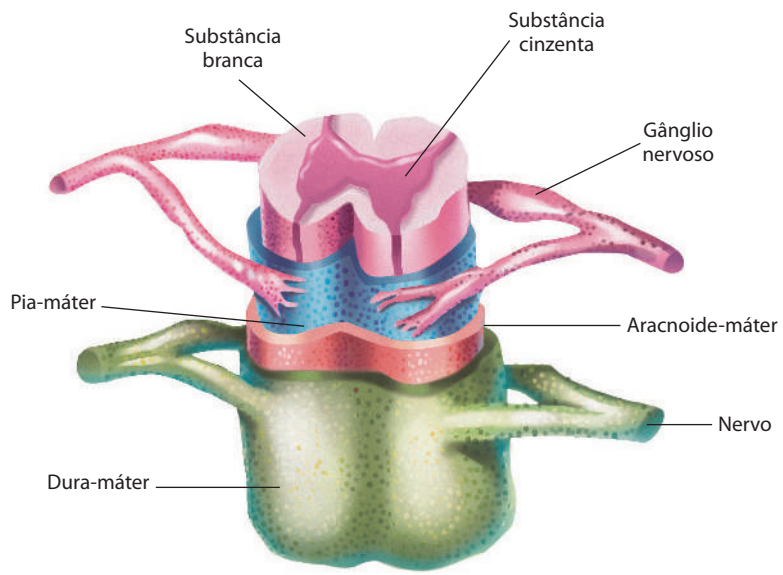
O **cerebelo** situa-se na parte posterior do encéfalo, conectando-se ao tálamo e à medula espinal por grande número de fibras nervosas. Além de receber informações auditivas e visuais, o cerebelo também recebe informações sobre a flexão das articulações e o grau de estiramento dos músculos, coordenando os movimentos e a postura corporal.

O **bulbo raquidiano**, também chamado de **medula oblonga**, é a última porção do encéfalo, conectando-se à medula espinal. No bulbo raquidiano localizam-se centros controladores de funções vitais importantes, como os batimentos cardíacos e os movimentos respiratórios.

A **medula espinal** é um cordão cilíndrico alojado ao longo da coluna vertebral, no canal formado pelas perfurações das vértebras. A medula mede cerca de 2 cm de diâmetro e, assim como o encéfalo, é revestida pelas três meninges. No centro da medula, há um canal onde circula o líquido cefalorraquidiano, também presente no espaço entre as duas meninges mais internas. (Fig. 16.5)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A medula espinal



DAVID MARTINS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.5. Representação esquemática de parte da medula espinal mostrando as três meninges e raízes de nervos espinais, com gânglios nervosos na raiz dorsal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A medula espinal transmite ao encéfalo as informações captadas nas diversas partes do corpo e que chegam por nervos sensoriais. Muitas ordens de ação elaboradas no encéfalo também passam pela medula antes de chegar a seus destinos. Além de intermediar a comunicação do corpo com o encéfalo, a medula espinal elabora respostas simples para certos estímulos, como a que nos faz retirar a mão rapidamente quando tocamos um objeto muito quente. Essas respostas, elaboradas sem interferência do encéfalo, são denominadas respostas reflexas medulares, ou arcos reflexos. As respostas reflexas medulares, ou **arcos reflexos**, permitem à pessoa reagir rapidamente em situações de emergência, antes mesmo de tomar consciência do que está ocorrendo.

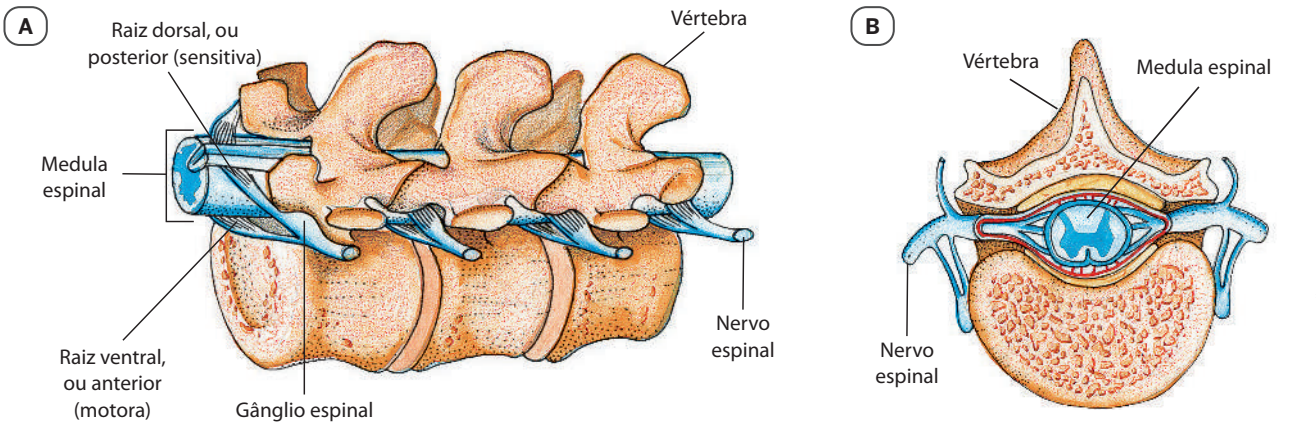
O tipo mais simples de arco reflexo envolve apenas dois neurônios: o **neurônio sensitivo**, que leva impulsos nervosos para a medula espinal, e um **neurônio motor**, que conduz a resposta medular até um músculo, provocando sua contração. Há também arcos reflexos que envolvem um terceiro neurônio, chamado de **neurônio associativo**, localizado no interior da medula espinal, conectando o neurônio sensitivo com o neurônio motor. O neurônio associativo também estimula neurônios que se conectam ao encéfalo, permitindo a tomada de consciência da ação.

O sistema nervoso periférico (SNP)

O **sistema nervoso periférico** (**SNP**) é constituído por nervos e gânglios nervosos. Os nervos estabelecem conexão entre o SNC (encéfalo e medula espinal) e as diferentes partes do corpo. Nervos ligados ao encéfalo são denominados **nervos cranianos**; nervos ligados à medula espinal são denominados **nervos espinais**, ou **nervos raquidianos**. No corpo humano, há doze pares de nervos cranianos e 31 pares de nervos raquidianos. Alguns nervos apresentam nódulos denominados **gânglios nervosos**, onde se localizam os corpos celulares dos neurônios que o formam.

Os nervos conectados à medula espinal passam por espaços existentes entre as vértebras. Há um par de nervos espinais por vértebra, um de cada lado da coluna vertebral. Cada nervo espinal conecta-se à medula por dois conjuntos de fibras nervosas, denominados **raízes** do nervo, uma ligada à região dorsal da medula e outra ligada à região ventral. (Fig. 16.6)

Coluna vertebral e nervos espinais



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.6. Representações esquemáticas da coluna vertebral mostrando vértebras e parte da medula espinal. (A) Vista lateral. (B) Vista em corte transversal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Diversas atividades do sistema nervoso humano são conscientes e estão sob o controle da vontade. Pensar, movimentar um braço ou mudar a expressão facial são exemplos de **atividades voluntárias**. Há ações, porém, que são automáticas e ocorrem independentemente de nossa vontade, sendo por isso denominadas **atividades autônomas**, ou **involuntárias**. Exemplos de atividades autônomas são os batimentos do coração e o peristaltismo do trato digestivo.

As ações voluntárias resultam da contração de músculos estriados esqueléticos, controlados pelo **sistema nervoso periférico somático** (SNP somático). As ações involuntárias, por sua vez, resultam da contração da musculatura lisa (não estriada) e da musculatura cardíaca, controladas pelo **sistema nervoso periférico autônomo** (SNP autônomo).

O **SNP somático** compõem-se de nervos sensitivos e de nervos motores. Os **nervos sensitivos** conduzem estímulos provenientes dos ambientes corporais externo ou interno ao sistema nervoso central. Os **nervos motores** conduzem impulsos nervosos do SNC aos músculos estriados esqueléticos.

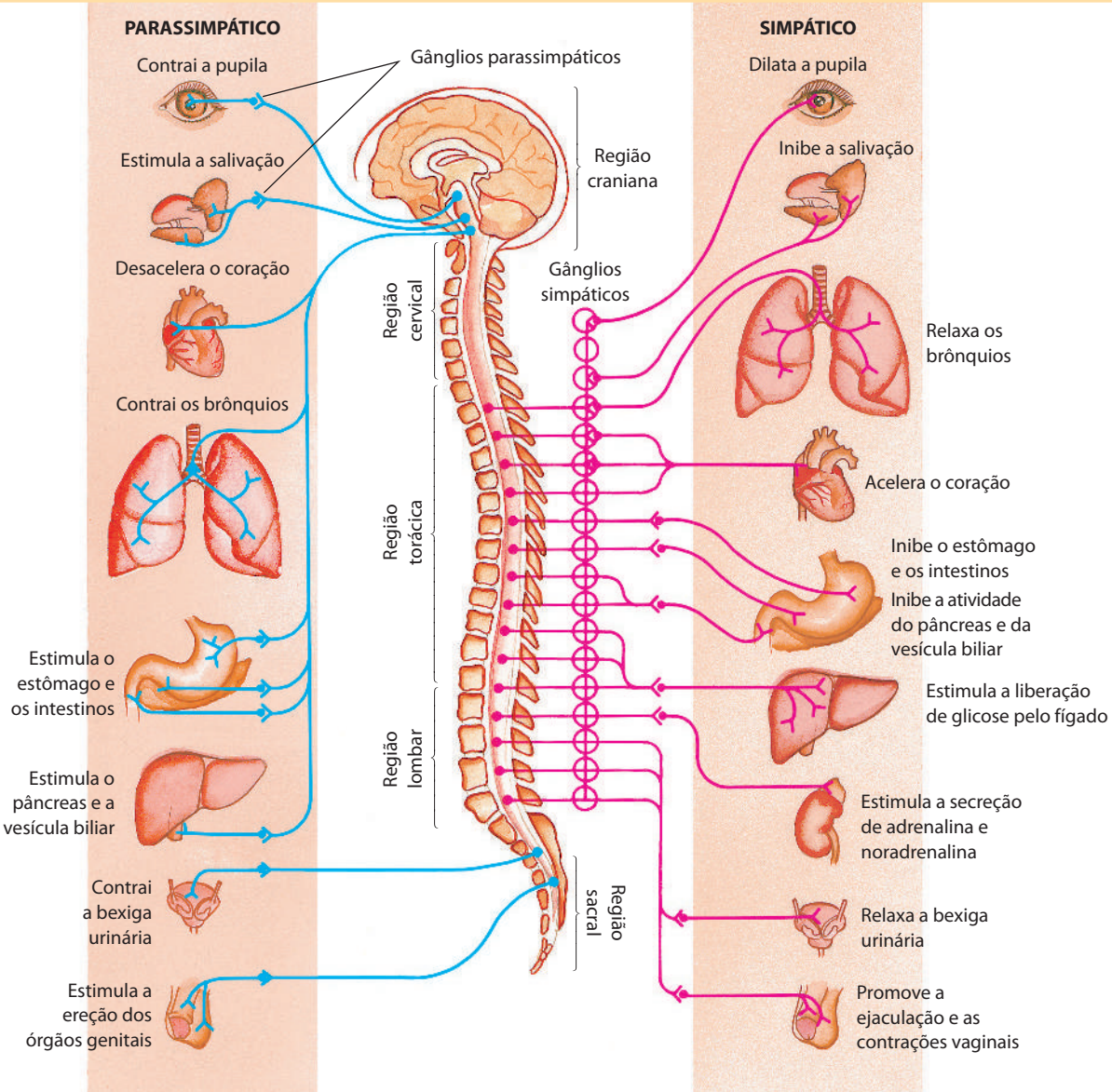
O **SNP autônomo** (SNPA) é também chamado de **SNP visceral** por ser responsável pela estimulação da musculatura lisa de órgãos viscerais como o estômago, o intestino e a bexiga, além de estimular a musculatura lisa dos vasos sanguíneos e a musculatura do coração. O SNPA apresenta apenas nervos motores, sendo dividido em dois ramos: **SNPA simpático** e **SNPA parassimpático**.

As neurofibras simpáticas e parassimpáticas controlam os mesmos órgãos, mas trabalham em oposição: enquanto um dos ramos estimula determinado órgão, o outro o inibe. Geralmente o SNPA simpático estimula ações que permitem ao organismo responder a situações de estresse. Por exemplo, o SNPA simpático é responsável pela aceleração dos batimentos cardíacos, pela elevação da pressão arterial, pelo aumento da concentração de açúcar no sangue e pela ativação do metabolismo geral do corpo. O SNPA parassimpático, por sua vez, estimula principalmente atividades relaxantes, como a redução do ritmo cardíaco e da pressão sanguínea, e o aumento das secreções estomacais e intestinais que atuam nos processos digestivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O SNPA simpático é constituído por nervos espinais que partem das regiões torácica e lombar da medula espinal. O SNPA parassimpático é formado por nervos cranianos e por nervos espinais que partem da região terminal (sacral) da medula espinal. (Fig. 16.7)

O sistema nervoso periférico autônomo (SNPA)



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.7. Representação esquemática do sistema nervoso periférico autônomo. No lado direito do esquema, componentes do SNPA simpático. No lado esquerdo, componentes do SNPA parassimpático. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

2. Os sentidos corporais

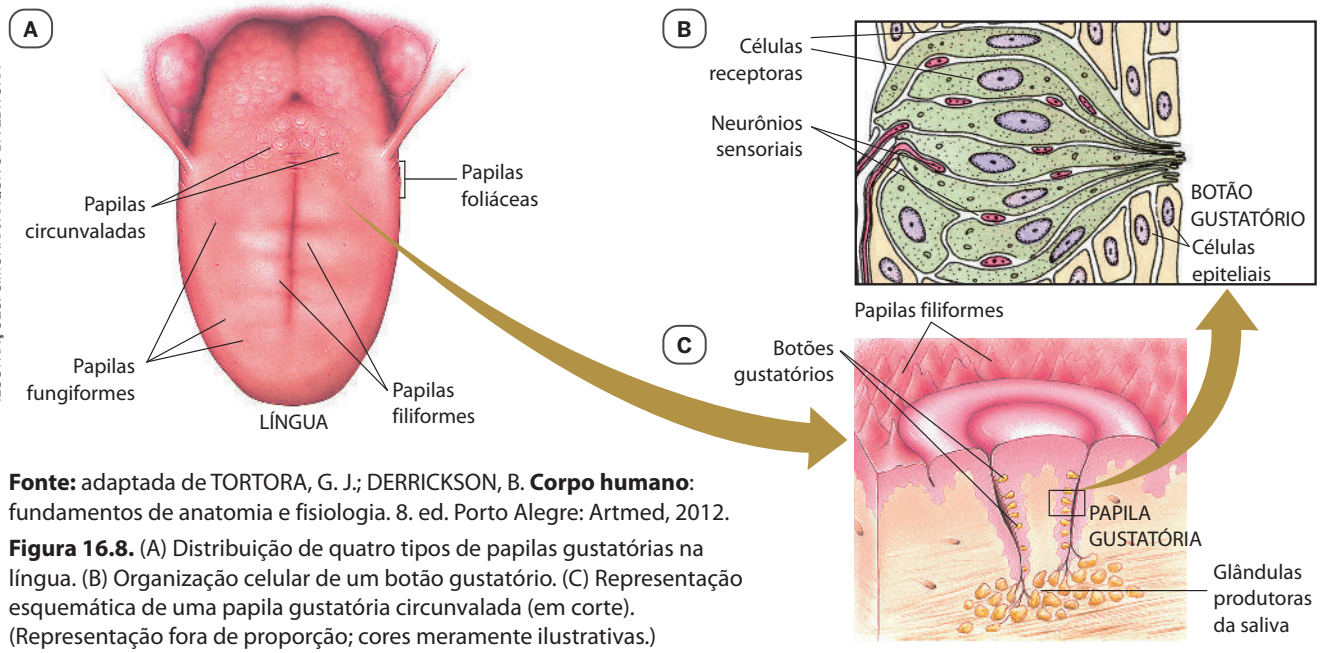
A capacidade de perceber o ambiente depende de células especializadas denominadas **células sensoriais**, presentes nos órgãos dos sentidos e distribuídas por várias partes do corpo. Há diversos tipos de células sensoriais, capazes de captar diferentes tipos de estímulos, tais como luz, som, pressão, temperatura e odor. A estimulação de uma célula sensorial altera a permeabilidade de sua membrana plasmática, causando despolarização e gerando impulsos nervosos, transmitidos por nervos ao sistema nervoso central, onde são interpretados como sensações.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Paladar e olfato

O sabor que sentimos nos alimentos é uma mistura complexa entre **paladar** e **olfato**, além de sensações táteis decorrentes da consistência dos alimentos. As células sensoriais responsáveis pelo paladar localizam-se na boca, onde compõem os botões gustatórios das **papilas gustatórias** (ou **papilas gustativas**). As papilas são saliências distribuídas sobre a língua e sobre o palato mole facilmente visíveis com uma lente de aumento. (Fig. 16.8)

Papilas gustatórias da língua



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.8. (A) Distribuição de quatro tipos de papilas gustatórias na língua. (B) Organização celular de um botão gustatório. (C) Representação esquemática de uma papila gustatória circunvalada (em corte). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O sentido do olfato está a cargo do **epitélio olfativo**, localizado no teto das cavidades nasais. Apesar de os receptores do paladar e do olfato serem diferentes, e de suas mensagens serem processadas em regiões diversas do cérebro, esses dois sentidos atuam em conjunto para produzir a percepção de sabor.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Umami: o quinto sabor

Aos quatro sabores percebidos pela língua – azedo, doce, salgado e amargo – o pesquisador japonês Kikunae Ikeda (1864-1936), em 1908, sugeriu acrescentar um quinto: umami. Você já percebeu o sabor umami em alguma situação? Pesquise sobre a adição de glutamato de sódio aos alimentos para a manifestação desse gosto. Quais são os principais tipos de alimento em que ele se manifesta? Faça uma pesquisa sobre o assunto em livros ou *sites*; depois, escreva um texto explicando como você definiria o sabor umami com base em suas pesquisas e também incluindo suas eventuais experiências pessoais.

Audição e equilíbrio

A **orelha humana** é o órgão responsável pela audição e pelo equilíbrio corporal. A orelha compõe-se de três partes básicas, denominadas, de fora para dentro: orelha externa, orelha média e orelha interna. A **orelha externa** é o canal que se abre para o exterior no pavilhão auditivo, o que normalmente chamamos de orelha. O pavilhão atua como concha acústica, que capta os sons do ambiente e os direciona para o canal auditivo. As ondas sonoras fazem o ar se movimentar dentro do canal auditivo, gerando vibrações que são transmitidas ao **tímpano**, a membrana que separa a orelha externa da orelha média.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **orelha média**, localizada dentro do osso temporal, é um duto estreito e cheio de ar. Ela se comunica com a garganta por um canal flexível denominado **tuba auditiva**. A função da tuba auditiva é manter o equilíbrio entre a pressão do ar dos dois lados da membrana timpânica. Na orelha média há três pequenos ossos alinhados em sequência: o **martelo**, a **bigorna** e o **estribo**. A vibração da membrana timpânica movimenta os ossículos do ouvido, que atuam como amplificadores, transmitindo as vibrações à orelha interna.

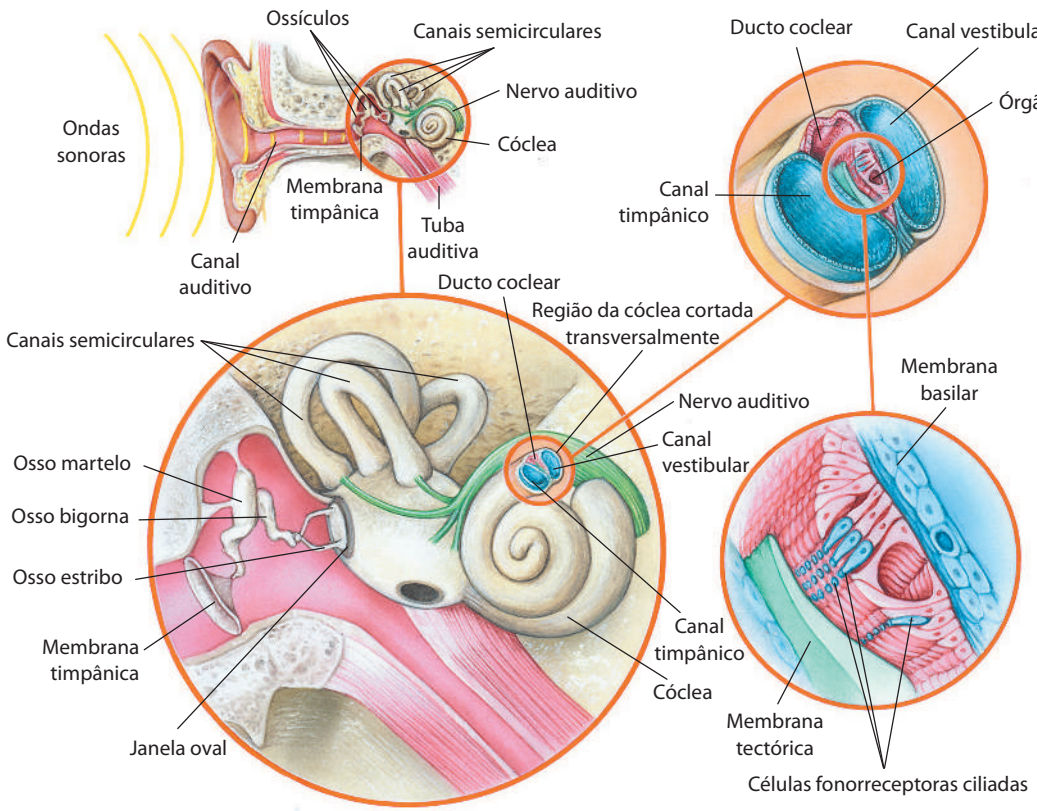
A **orelha interna**, encravada no osso temporal, contém o **aparelho vestibular**, também conhecido como **labirinto**, onde se localizam células sensoriais especializadas na captação de estímulos mecânicos. Os principais componentes do aparelho vestibular são a **cóclea**, o **sáculo**, o **utrículo** e os **canais semicirculares**. A cóclea é a responsável pela audição, enquanto os outros componentes são responsáveis pelo equilíbrio corporal.

A percepção dos sons

A percepção dos sons ocorre na **cóclea**, um tubo cônico e enrolado como a concha de um caracol. A cóclea é dividida internamente em três compartimentos cheios de líquido: o **canal vestibular**, o **ducto coclear** e o **canal timpânico**. No ducto coclear, localiza-se o **órgão espiral**, ou **órgão de Corti**, constituído por células sensoriais ciliadas fonorreceptoras. Os cílios dessas células estão em contato com uma estrutura denominada **membrana tectórica**.

Vibrações produzidas pelos sons e transmitidas à cóclea movimentam os cílios das células do órgão espiral, que tocam a membrana tectórica gerando impulsos nervosos. Estes são conduzidos pelo nervo auditivo ao centro de audição do córtex cerebral, que os interpreta como sensações auditivas. (Fig. 16.9)

A organização interna da orelha



Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.9. Representação esquemática da orelha humana mostrando sua organização interna em ampliações sucessivas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O sentido de equilíbrio

O **sáculo** e o **utrículo** são duas bolsas cheias de líquido localizadas sobre a cóclea. Suas paredes internas apresentam estruturas denominadas **máculas**, constituídas por células sensoriais ciliadas sobre as quais há pequenos grãos de carbonato de cálcio, os **otólitos**. As várias máculas têm diferentes graus de inclinação em relação ao corpo, de modo que quando uma delas está em posição horizontal, outras estão em posição vertical ou inclinadas. Mudanças na posição da cabeça levam ao deslocamento dos otólitos por ação da gravidade, o que estimula os cílios das células sensoriais das máculas. Os impulsos nervosos gerados pelas diferentes máculas são comparados no cérebro, o que permite determinar a orientação da cabeça em relação à força gravitacional. Assim, podemos perceber nossa posição no espaço e a velocidade em que nos deslocamos.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **canais semicirculares** são três tubos curvos e cheios de líquido localizados sobre o utrículo. A base de cada um deles apresenta uma dilatação, a ampola, na qual há um aglomerado de células sensoriais ciliadas revestidas por uma massa gelatinosa. Quando movimentamos a cabeça, o deslocamento do líquido sobre os cílios das células sensoriais gera impulsos nervosos que são transmitidos ao cérebro. O cérebro recebe as informações enviadas pela orelha interna e as interpreta para manter o equilíbrio do corpo. As posições relativas do pescoço, das pernas e dos braços são calculadas com base em informações transmitidas por receptores sensoriais localizados nos músculos, nos tendões e em órgãos internos. Os olhos também participam do sentido de equilíbrio, informando ao cérebro a posição do corpo por meio das imagens captadas do ambiente.

Visão

Os órgãos responsáveis pela visão são os **bulbos dos olhos**, popularmente chamados de olhos. O bulbo do olho é uma bolsa membranosa cheia de líquido, embutida em uma cavidade óssea do crânio, a **órbita ocular**. Nos olhos há **fotorreceptores**, células sensoriais especializadas na captação de estímulos luminosos.

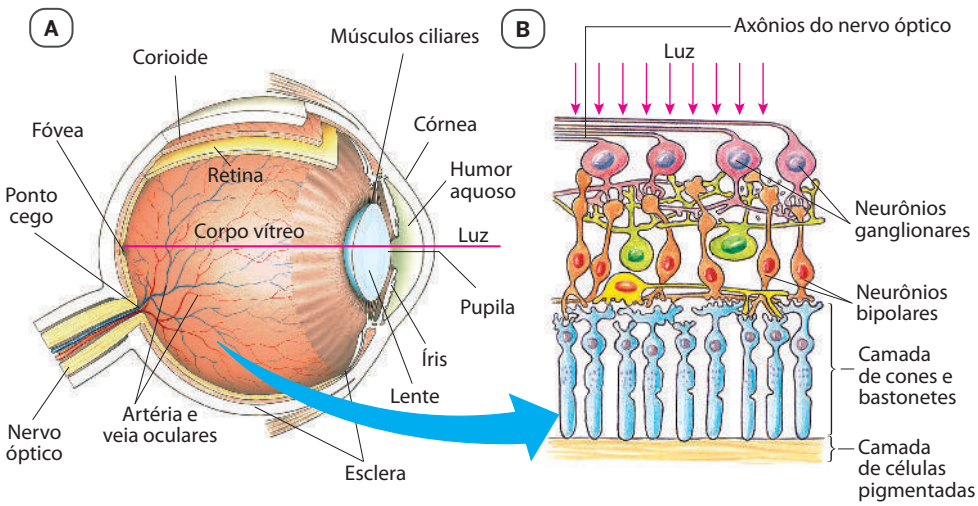
Cada olho se movimenta dentro de sua órbita graças a três pares de músculos em forma de cinta, fixados ao globo ocular. No fundo do olho, localiza-se o **nervo óptico**, um feixe de fibras nervosas que parte do interior do bulbo ocular em direção ao encéfalo, passando por uma abertura no osso da órbita.

O olho é revestido por uma membrana transparente, dotada de finíssimos vasos sanguíneos, a **conjuntiva**. Sob a conjuntiva, há três camadas de tecido: a esclera, a corioide e a retina. A **esclera** é a camada mais externa, constituída por um tecido conjuntivo resistente, que mantém a forma esférica do olho e à qual se ligam os músculos responsáveis por sua movimentação. Na parte anterior do olho, a esclera é transparente à luz, sendo denominada **córnea**. Imediatamente abaixo da córnea, há uma câmara preenchida por um líquido transparente denominado **humor aquoso**. A **corioide** é uma película pigmentada, rica em vasos sanguíneos, localizada imediatamente abaixo da esclera. Os vasos sanguíneos da corioide nutrem e oxigenam as células do olho. A corioide sob a córnea forma a **íris**, o disco colorido do olho, em cujo centro há um orifício, a **pupila**, por onde a luz penetra no globo ocular. Os movimentos de abertura e fechamento da íris estão a cargo de músculos controlados pelo sistema nervoso autônomo, que ajustam a abertura da pupila de acordo com a luminosidade do ambiente.

Atrás da íris localiza-se a **lente do olho**, antigamente chamada de **cristalino**. A lente é uma estrutura proteica com forma biconvexa. A curvatura da lente pode ser modificada pela ação de músculos, o que possibilita à lente focalizar a imagem no fundo do olho. Atrás da lente, há uma grande câmara preenchida por um líquido viscoso e transparente denominado **corpo vítreo**.

A camada que reveste internamente a câmara ocular é a **retina**, na qual há dois tipos de células fotorreceptoras: os **bastonetes**, altamente sensíveis à luz e que não distinguem cores, e os **cones**, menos sensíveis à luz e capazes de distinguir diferentes comprimentos de onda, possibilitando a visão em cores. Em ambientes pouco iluminados, apenas os bastonetes são estimulados e é por isso que, na penumbra, vemos razoavelmente bem os objetos, mas não distinguimos suas cores. À medida que a luminosidade aumenta, os cones são ativados e as cores tornam-se nítidas. Um cone ou um bastonete excitados pela luz geram impulsos nervosos, que são conduzidos por fibras nervosas do nervo óptico ao centro visual do córtex cerebral. (Fig. 16.10)

O olho humano



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.10. Representações esquemáticas do olho humano e de suas partes. (A) Olho humano em corte mostrando sua estrutura interna. (B) Estrutura microscópica da retina. A camada pigmentada é a mais externa da retina. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

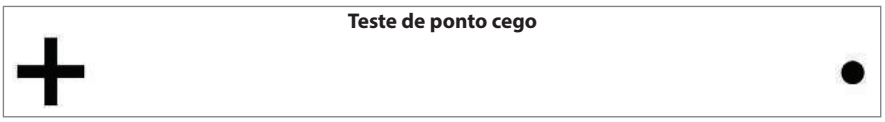
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Detectando o ponto cego da retina

O teste apresentado a seguir permite identificar o ponto cego da retina, local por onde o nervo óptico passa pelo bulbo do olho e se conecta ao encéfalo. Nesse ponto não há células fotorreceptoras, de modo que imagens nele focalizadas não são vistas. O teste consiste em focalizar a cruz com o olho esquerdo, mantendo fechado o olho direito e aproximando lentamente a imagem. Em determinada distância o círculo deixa de ser visto. O que isso significa?

Teste de ponto cego



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Tato

A pele contém **mecanorreceptores**, células capazes de perceber variações de pressão e responsáveis pelo sentido do tato. Regiões como as pontas dos dedos, a palma das mãos e os lábios apresentam estruturas especializadas na detecção de toques leves. Em regiões mais profundas da pele, há sensores que percebem pressões mais fortes e vibrações. Os folículos pilosos também apresentam terminações de neurônios, que são estimuladas quando os pelos se dobram.

3. O sistema endócrino

O corpo humano produz mensageiros químicos que viajam pelo sangue: os **hormônios** (do grego *hórmon*, estimular). As células produtoras de hormônios estão geralmente reunidas em órgãos denominados **glândulas endócrinas** (do grego *endos*, dentro, e *krynos*, secreção). O conjunto de glândulas endócrinas constitui o **sistema endócrino**.

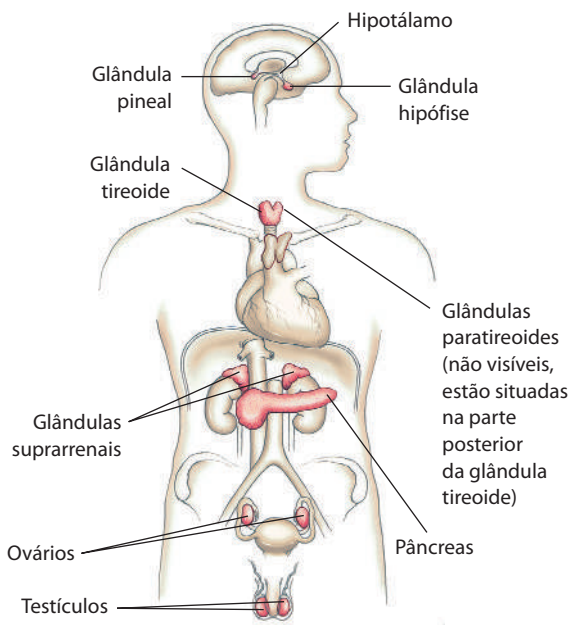
Glândulas endócrinas são assim chamadas porque lançam seus produtos, os hormônios, diretamente no sangue, o que as distingue das glândulas exócrinas (do grego *exos*, fora), como as glândulas sudoríparas e as glândulas salivares, que eliminam suas secreções por meio de canais que se abrem para fora do corpo ou em cavidades de órgãos.

Cada hormônio atua especificamente sobre certos tipos de células, denominadas **células-alvo** do hormônio. As células-alvo apresentam receptores específicos que, ao se combinarem com o hormônio, são estimuladas a reagir.

Principais glândulas endócrinas humanas

A espécie humana apresenta diversos tipos de glândulas endócrinas, algumas delas produtoras de mais de um tipo de hormônio. As principais glândulas endócrinas são a hipófise, a glândula tireoide, as glândulas paratireoides, o pâncreas, as glândulas suprarrenais (ou adrenais) e as gônadas (testículos e ovários). O hipotálamo também é um órgão endócrino produtor de diversos hormônios, alguns que controlam o funcionamento da própria glândula hipófise. A glândula pineal, localizada no encéfalo, produz o hormônio melatonina, envolvido no controle das respostas ligadas à regulação do sono. (Fig. 16.11)

O sistema endócrino humano



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.11. Localização das principais glândulas endócrinas no corpo humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Hipófise

A glândula hipófise localiza-se na base do encéfalo e apresenta duas partes distintas: o lobo posterior, a neuroipófise, e o lobo anterior, a adenoipófise. (Fig. 16.12)

Os hormônios liberados pela neuroipófise são a oxitocina e o hormônio antidiurético (ADH), ambos produzidos no hipotálamo. A oxitocina promove as contrações uterinas durante o parto e induz a liberação de leite na amamentação. O hormônio antidiurético (ADH) atua na pressão arterial e promove o aumento na reabsorção de água pelos rins, com diminuição do volume de urina. A deficiência em ADH origina o quadro clínico conhecido como **diabetes insípido**.

A adenoipófise produz e libera hormônios capazes de estimular outras glândulas endócrinas, por isso chamados de hormônios tróficos (do grego *trofos*, nutrir, alimentar). Os principais hormônios tróficos da adenoipófise são o hormônio tireotrófico (TSH), que regula a atividade da glândula tireoide, o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), que regula a atividade do córtex da glândula suprarrenal, e os hormônios folículo-estimulante (FSH) e luteinizante (LH), que atuam sobre testículos e ovários.

Um hormônio importante da adenoipófise é a somatotrofina, ou hormônio de crescimento, que promove o crescimento de cartilagens e ossos. A deficiência severa de somatotrofina na época de crescimento pode causar nanismo.

Tireoide e paratireoides

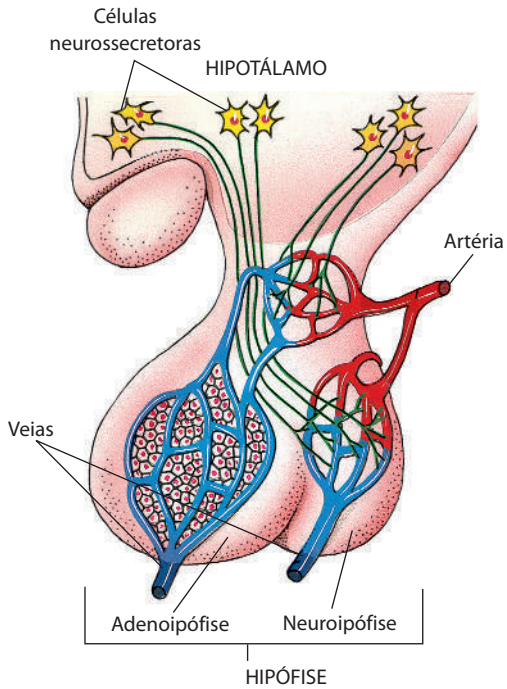
A glândula tireoide localiza-se no pescoço, sobre a parte inicial da traqueia. Os principais hormônios produzidos pela tireoide são a tiroxina, a tri-iodotironina e a calcitonina. (Fig. 16.13)

A tiroxina e a tri-iodotironina aumentam a atividade metabólica. Em excesso, esses hormônios podem causar **hipertireoidismo**, caracterizado por temperatura corporal elevada, sudorese intensa, perda de peso, irritabilidade e pressão sanguínea aumentada. Em casos graves há crescimento anormal da tireoide, com formação de um inchaço no pescoço (bócio).

A baixa produção de hormônios tireoidianos pode levar ao **hipotireoidismo**, com diminuição da atividade metabólica, queda da temperatura corporal e da pressão arterial e ressecamento da pele. A deficiência da tireoide durante a vida fetal ou no início da infância pode resultar em retardo no crescimento, muitas vezes acompanhado por deficiência mental, condição conhecida como **cretinismo**.

A falta de iodo na alimentação pode causar crescimento anormal da tireoide, com um inchaço no pescoço denominado **bócio carencial**. Em agosto de 1953, o governo brasileiro publicou uma lei que determinou a adição de iodo ao sal de cozinha industrializado como medida para combater o bócio carencial. (Fig. 16.14)

A glândula hipófise

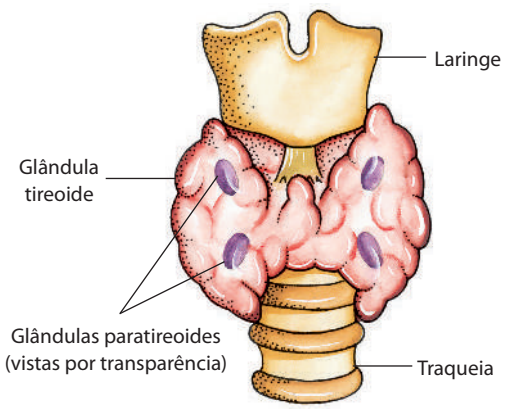


SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.12. Representação esquemática da relação entre o hipotálamo e a hipófise. Células neurossecretoras são neurônios que secretam hormônios. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Glândulas tireoide e paratireoides



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.13. Representação esquemática da glândula tireoide e das glândulas paratireoides. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

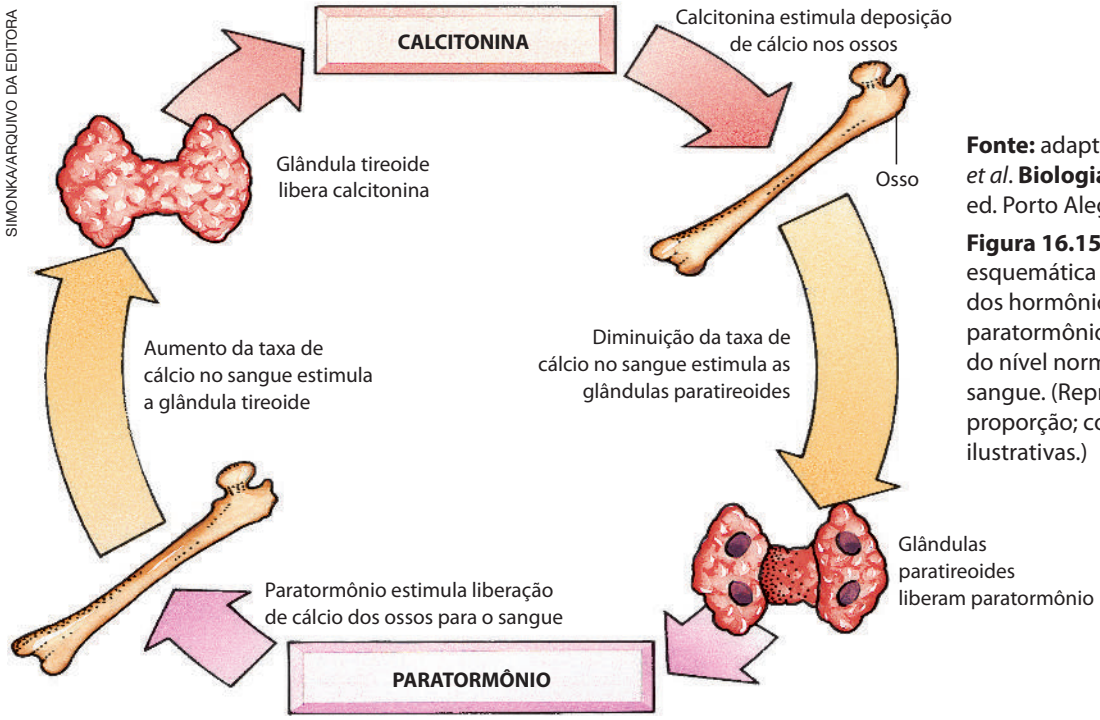
MEDICIMAGE/SPL/FOTOARENA

Figura 16.14. Pessoa com bócio carencial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As glândulas **paratireoides** são em número de quatro e localizam-se sobre a parte posterior da tireoide. O hormônio das paratireoides é o **paratormônio**, que atua no teor de cálcio no sangue, em conjunto com a calcitonina da hipófise. (Fig. 16.15)

Manutenção do nível normal de cálcio no sangue



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.15. Representação esquemática da ação antagônica dos hormônios calcitonina e paratormônio na manutenção do nível normal de cálcio no sangue. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Pâncreas

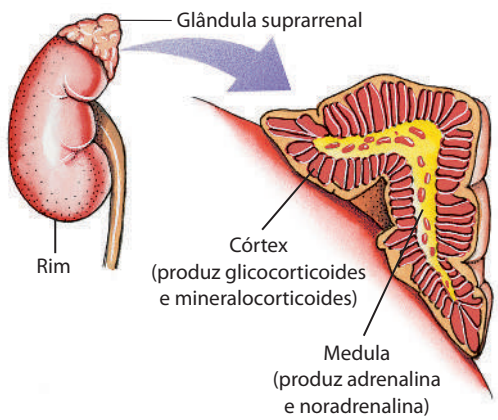
O pâncreas é uma glândula **mista**, constituída por uma porção exócrina e por uma porção endócrina. A porção endócrina produz os hormônios **insulina** e **glucagon**. A insulina leva à diminuição do teor de glicose no sangue, enquanto o glucagon tem efeito inverso. A ação conjunta desses hormônios regula a taxa de glicose sanguínea.

A doença conhecida como **diabetes melito** está relacionada à baixa sensibilidade das células da pessoa ao hormônio insulina ou à baixa produção desse hormônio. Nessas condições, ocorrem taxas elevadas de glicose no sangue, com eliminação do açúcar na urina. Como as células da pessoa diabética absorvem menos glicose que o normal, a tendência é degradar gorduras e proteínas para obter energia, o que causa emagrecimento e fraqueza. A pessoa diabética urina muito, uma vez que a presença concentrada de glicose na urina em formação leva à diminuição da reabsorção de água pelos túbulos renais.

Suprarrenais ou adrenais

As glândulas **suprarrenais**, ou **adrenais**, localizam-se sobre os rins e constituem-se de dois tecidos secretores distintos, um localizado na parte glandular interna, a **medula**, e outro localizado na parte glandular mais externa, o **córtex**. (Fig. 16.16)

Glândula suprarrenal



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.16. À esquerda, posição da glândula suprarrenal em relação ao rim. À direita, glândula suprarrenal em corte, mostrando o córtex e a medula. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A medula da suprarrenal produz os hormônios adrenalina e noradrenalina. A **adrenalina**, ou **epinefrina**, é liberada em situações de estresse como um susto, uma grande emoção ou perigo, elevando a irrigação sanguínea de músculos e órgãos internos para responder à situação de emergência. A **noradrenalina**, ou **norepinefrina**, por sua vez, é liberada em doses mais ou menos constantes.

Os hormônios do córtex da suprarrenal são conhecidos genericamente como **corticosteroides**, ou **corticoides**. O principal corticoide é o cortisol, também conhecido como hidrocortisona, que diminui a permeabilidade dos capilares sanguíneos, favorecendo respostas a situações de estresse. Outro grupo de corticosteroides, os mineralocorticoides, regulam o balanço de água e de sais no organismo.

Gônadas

As gônadas femininas são os **ovários**, e as gônadas masculinas são os **testículos**. Além de produzirem gametas, as gônadas também produzem **hormônios sexuais**, que afetam o crescimento e o desenvolvimento do corpo, participando também do controle do ciclo reprodutivo e do comportamento sexual. Os principais hormônios sexuais são o **estrógeno** e a **progesterona**, produzidos pelos ovários, e a **testosterona**, produzida pelos testículos (relembre no capítulo 8).

4. Estrutura e funções da pele humana

Características dos tecidos epiteliais

A **pele** humana é um órgão complexo, responsável por diversas funções. Além de proteger o corpo contra agentes físicos, químicos e biológicos, a pele é responsável pela sensibilidade tátil e pela manutenção da temperatura corporal.

A pele é formada por dois tecidos firmemente unidos entre si. O mais externo é a epiderme, que se origina do ectoderma embrionário, e o mais interno é a derme, originada do mesoderma.

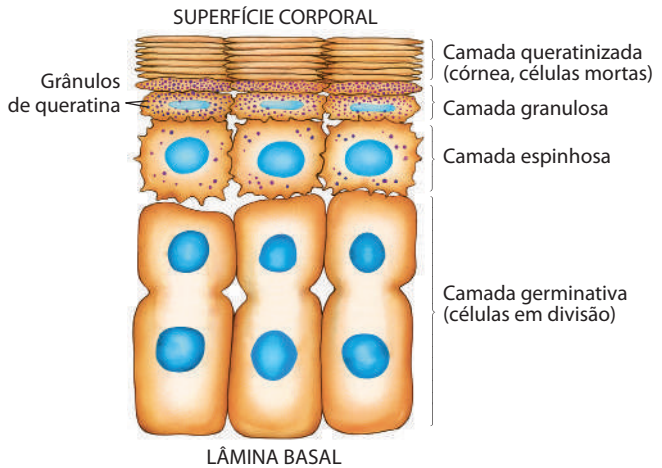
A **epiderme** (do grego *epi*, sobre, acima, e *dermatos*, pele) é um tecido epitelial de revestimento. A principal característica dos tecidos epiteliais é apresentar células bem unidas e ajustadas entre si. Nos tecidos epiteliais, não há vasos sanguíneos e as células recebem gás oxigênio e nutrientes por difusão a partir de tecidos próximos.

Além da função de revestir as superfícies corporais, há um tipo especial de tecido epitelial que constitui as glândulas exócrinas e endócrinas.

A pele humana

A epiderme é constituída por quatro camadas distintas de células epiteliais. A camada epidérmica mais interna, apoiada sobre uma lâmina basal conjuntiva, é denominada **estrato germinativo**. Nessa camada celular ocorre a produção de novas células epidérmicas, que empurram as camadas celulares sobre elas. As células epidérmicas, assim, deslocam-se da região mais profunda do tecido, onde se formam, para a superfície da pele. Ao longo desse percurso, as células epidérmicas vão se modificando e acumulando queratina, o que termina por matá-las. A descamação contínua da camada superficial de células mortas da pele faz com que ela se renove aproximadamente a cada três semanas. (Fig. 16.17)

Os diferentes estratos da epiderme



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.17. Representação esquemática que mostra as quatro camadas de epiderme da pele humana. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

A cor da pele humana é definida principalmente pelo tipo e quantidade do pigmento **melanina**. Esse pigmento é sintetizado por células epidérmicas especiais, os **melanócitos**, a partir do aminoácido tirosina. Os dois tipos básicos de melanina presentes na pele são a **eumelanina**, de coloração marrom escura, e a **feomelanina**, de coloração amarela-avermelhada. A proporção entre esses dois tipos de melanina é importante na definição do tom da pele: pessoas de pele escura, negras e pardas, apresentam quantidades relativamente altas de eumelanina, enquanto em pessoas loiras e ruivas predomina a feomelanina.

A pigmentação da pele humana depende também de outros fatores, como a taxa de produção de melanina, que varia dependendo da exposição à radiação solar, principalmente à luz ultravioleta, e da composição e tamanho dos **melanossomos**, os corpúsculos intracelulares que armazenam a melanina.

A melanina, especialmente a eumelanina, protege a pele dos efeitos deletérios da luz solar, principalmente dos raios ultravioleta (UV). Câncer de pele pode ser causado por danos no DNA resultantes da exposição aos raios UV.

Anexos epidérmicos

A pele apresenta diversos tipos de estruturas anexas, entre elas os pelos, as glândulas sebáceas, as glândulas sudoríparas e as unhas. **Pelos** são estruturas finas e alongadas constituídas basicamente por queratina, que resultam da compactação de restos de células epidérmicas mortas. Os pelos se formam no interior de dobras epidérmicas denominadas **folículos pilosos**. Cada folículo piloso está ligado a um pequeno músculo, que permite a movimentação do pelo. No folículo do pelo desembocam **glândulas sebáceas**, produtoras de uma secreção gordurosa. Essa secreção se espalha na superfície epidérmica e a lubrifica. Calcula-se que em apenas 1 cm^2 de pele pode haver dez ou mais glândulas sebáceas, associadas a pelos.

As **glândulas sudoríparas** secretam o suor, uma solução aquosa que contém íons de sódio, de potássio e de cloro, além de ureia, amônia e ácido úrico. As glândulas sudoríparas estão presentes em todo o corpo, exceto na glande do pênis e nos lábios. Em certas regiões do corpo pode haver cerca de 60 glândulas sudoríparas em apenas 1 cm^2 de pele. A eliminação de suor, a **sudorese**, intensifica-se com o aumento da temperatura corporal e em situações de tensão emocional. O suor espalha-se pela superfície da pele e ao evaporar absorve calor, promovendo o resfriamento do corpo.

Unhas são placas de queratina presentes nas pontas dos dedos. Nos pés, elas auxiliam na manutenção do equilíbrio ao caminhar e, nas mãos, facilitam a apreensão e a manipulação de objetos. A unha cresce pela contínua compactação de restos de células mortas repletas de queratina que se formam no leito ungueal, uma dobra epidérmica perto da ponta do dedo, na base da unha. (Fig. 16.18)

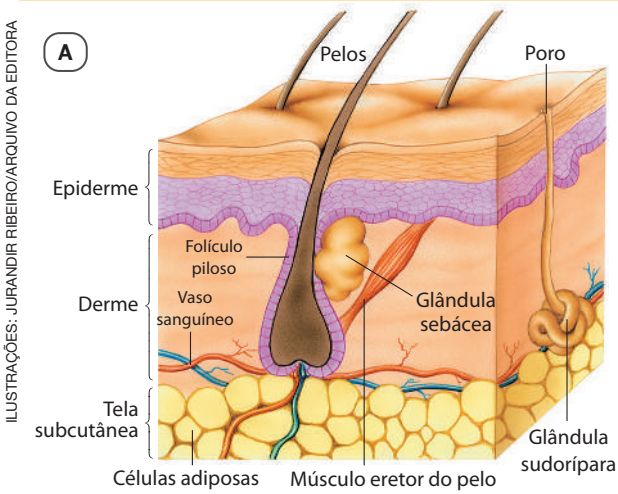
Dialogando com o texto

CIDADANIA E CIVISMO

Cor da pele humana

Ultimamente as questões raciais vêm adquirindo cada vez maior relevância, visto que, apesar dos avanços, no Brasil e no mundo são ainda constatados muitos casos de preconceito racial. Esta atividade é um convite para que você participe dessa importante questão. Neste capítulo você se informou que a intensidade da coloração da pele se deve ao pigmento melanina, presente nos melanócitos. Seu desafio é pesquisar na internet e em livros temas como a melanina da pele, a evolução da cor da pele na espécie humana, o escravagismo e o preconceito racial. O tema é muito amplo, de modo que vale a pena reduzir suas pesquisas aos aspectos que julgar mais importantes ou interessantes. Com base nas pesquisas, escreva um texto opinativo sobre etnias, cor da pele e preconceito racial.

Pelos, glândulas e unha



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.18. (A) Representação esquemática de corte de pele humana, mostrando pelos, uma glândula sebácea e uma glândula sudorípara. (B) Dedo humano em corte mostrando o leito ungueal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A camada interna da pele, sob a epiderme, é a **derme**, constituída por tecido conjuntivo flexível e resistente, que sustenta e nutre as células epidérmicas.

As principais células da derme são os **fibroblastos**, que produzem fibras proteicas e a substância intercelular. A derme contém vasos sanguíneos, vasos linfáticos e terminações nervosas sensitivas. Imediatamente abaixo da derme há um tecido conjuntivo frouxo denominado **tecido subcutâneo**, às vezes chamado inapropriadamente de **hipoderme**, pois não faz parte da pele. No tecido subcutâneo há fibras e células adiposas que armazenam gordura.

Funções da pele

A pele atua como barreira protetora contra agentes físicos, químicos e biológicos. A camada de células mortas da epiderme protege o corpo de atritos e arranhões. As secreções das glândulas sebáceas e das glândulas sudoríparas eliminadas na epiderme contêm substâncias que matam diversos tipos de microrganismos potencialmente prejudiciais à saúde. A pele é habitada por uma população de bactérias que não causa dano à pessoa, mas que eventualmente pode produzir um odor característico, evitável com uma higiene corporal adequada.

A pele é importante para a manutenção da temperatura corporal. Quando ocorre aquecimento devido ao aumento da temperatura ambiental, ou de alguma atividade física intensa, terminações nervosas na pele informam o SNC, que envia impulsos nervosos que causam dilatação de vasos sanguíneos e aumento da circulação na derme. Com isso, há maior irradiação de calor para o meio e o corpo resfria. Em dias frios, por outro lado, os vasos sanguíneos da pele se contraem, com diminuição da circulação na superfície corporal e redução da perda de calor.

Na pele há receptores sensoriais que percebem pressão, tração, calor, estímulos táteis, mecânicos, térmicos e dolorosos. Nos folículos pilosos também há receptores que percebem a movimentação do pelo.

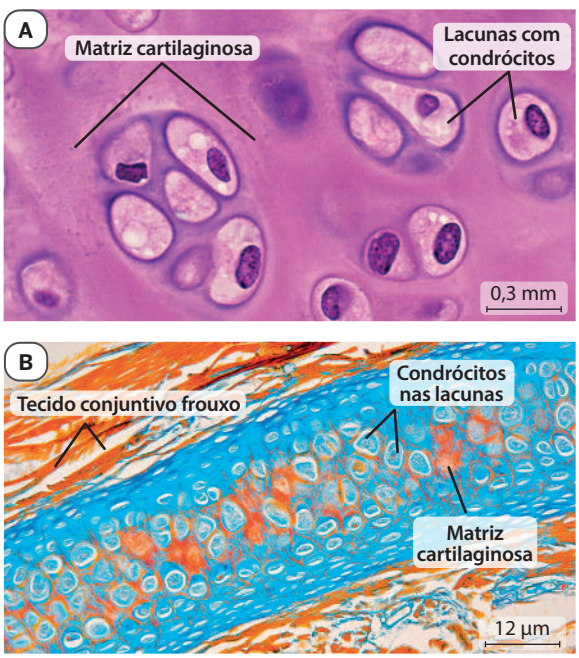
5. O sistema esquelético

Componentes do sistema esquelético

O corpo humano é sustentado pelo **esqueleto**, um conjunto articulado de peças ósseas e cartilaginosas unidas por tendões e ligamentos. Além de proteger os órgãos internos, o esqueleto define o eixo corporal e participa da movimentação, fornecendo os pontos de apoio para a ação muscular. Os ossos armazenam fósforo e cálcio, e o tecido hematopoiético presente na medula de certos ossos produz células sanguíneas.

O tecido cartilaginoso

O **tecido cartilaginoso** apresenta resistência e flexibilidade, características devidas ao fato de a matriz intercelular ser rica em fibras colágenas e em materiais consistentes, produzidos e secretados por células denominadas **condroblastos** (do grego *chondros*, cartilagem, e *blastos*, com sentido de célula jovem). A maioria das cartilagens presentes no estágio embrionário é substituída por ossos. Nos adultos, há cartilagens na traqueia, nos brônquios, na laringe, no nariz e nas orelhas, fornecendo sustentação mecânica a esses órgãos. Também há tecido cartilaginoso nas extremidades de certos ossos que se articulam, proporcionando o deslizamento suave de um osso sobre outro durante os movimentos. Na coluna vertebral, entre as vértebras, há um tecido cartilaginoso fibroso, cuja função é absorver e minimizar impactos sobre a coluna vertebral. (Fig. 16.19)



ED RESCHKE/STONE/GETTY IMAGES

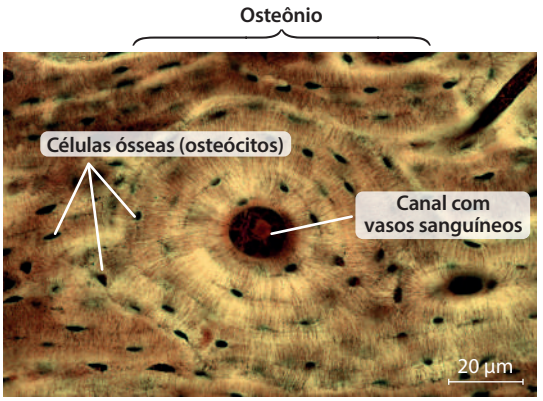
JOSÉ MARÍA BARRES MANUEL/ALAMY/FOTOARENA

Figura 16.19. Fotomicrografias de cartilagens, em corte. (A) Traqueia humana, mostrando os condrócitos na matriz cartilaginosa (microscópio fotônico; aumento ≈160×; cores meramente ilustrativas). (B) Pavilhão auricular mostrando, à direita, o tecido cartilaginoso e, à esquerda, o tecido conjuntivo frouxo da pele da orelha (microscópio fotônico; aumento ≈240×; cores meramente ilustrativas).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O tecido ósseo

O **tecido ósseo** caracteriza-se por apresentar uma matriz intercelular rígida, rica em fibras colágenas e em fosfato de cálcio ($Ca_3(PO_4)_2$), além de íons minerais como magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+). Os cristais de fosfato de cálcio, juntamente com as fibras colágenas, são os responsáveis pela rigidez e resistência dos ossos. As células que produzem a matriz óssea são chamadas de **osteoblastos** (do grego *osteon*, osso, e *blastos*, com sentido de célula jovem); na fase madura elas passam a ser denominadas **osteócitos**. Os osteócitos de certos ossos dispõem-se em camadas concêntricas ao redor de um canal central, denominado **canal de Havers**, ou **canal harvesiano**, no qual há vasos sanguíneos e nervos. Um conjunto concêntrico de osteócitos e de matriz óssea em torno do canal de Havers é chamado de **osteônio**, ou **sistema haversiano**. (Fig. 16.20)



STEVE GSCHMEISSNER/SPL/FOTOARENA

Figura 16.20. Fotomicrografia de um corte transversal de osso, mostrando osteócitos e osteônio. (Microscópio fotônico; aumento ≈160×.)

Além de osteoblastos e osteócitos, o tecido ósseo apresenta **osteoclastos** (do grego *klastos*, quebrar, destruir), células multinucleadas (com 6 a 50 núcleos) originadas pela fusão de células sanguíneas denominadas **monócitos**. Os osteoclastos fagocitam áreas ósseas lesadas ou envelhecidas, eliminando-as e permitindo que osteoblastos originem novo tecido ósseo.

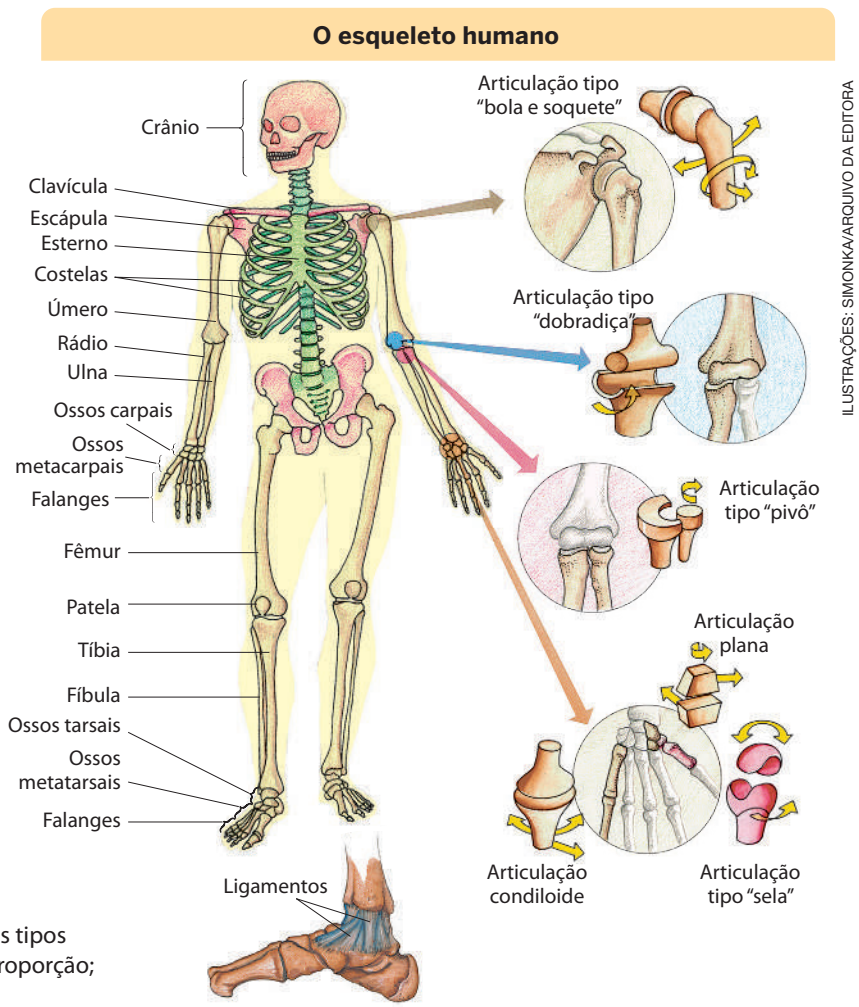
Organização do esqueleto humano

Uma pessoa adulta tem 206 ossos, responsáveis por cerca de 14% da massa corporal. O maior osso do corpo é o fêmur, o osso da coxa. Os menores são a bigorna, o martelo e o estribo, presentes na orelha média.

A região onde dois ossos fazem contato é denominada **articulação óssea**. Certas articulações são móveis, com os ossos podendo se movimentar, um em relação ao outro, como ocorre entre os ossos do braço e do antebraço. Os ossos das articulações móveis mantêm-se no lugar graças aos ligamentos, que são cordões resistentes de tecido conjuntivo fibroso aderidos ao revestimento dos ossos. Nas articulações móveis, os ossos deslizam sem atrito graças à presença de cartilagens lisas nas extremidades, além da lubrificação promovida por líquidos viscosos. Certas articulações ósseas são fixas, como as que ocorrem entre os ossos do crânio, firmemente unidos, formando a caixa craniana.

O esqueleto humano é dividido em **esqueleto axial**, constituído pelos ossos da cabeça e do tronco, e **esqueleto apendicular**, constituído pelos ossos dos membros e das cinturas pélvica e escapular. (Fig. 16.21)

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.



ILUSTRAÇÕES: SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16.21. Representação esquemática do esqueleto humano com identificação de alguns tipos de articulação óssea. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. O sistema muscular

A movimentação das partes do corpo, a circulação do sangue nos vasos sanguíneos, o deslocamento do alimento no tubo digestório, a eliminação de saliva pelas glândulas salivares e a expulsão de urina são exemplos de ações que dependem da contração muscular. Cerca de metade da massa corporal de uma pessoa saudável é constituída por **músculos**, que transformam a energia dos nutrientes em trabalho, permitindo a movimentação corporal.

Tecidos musculares

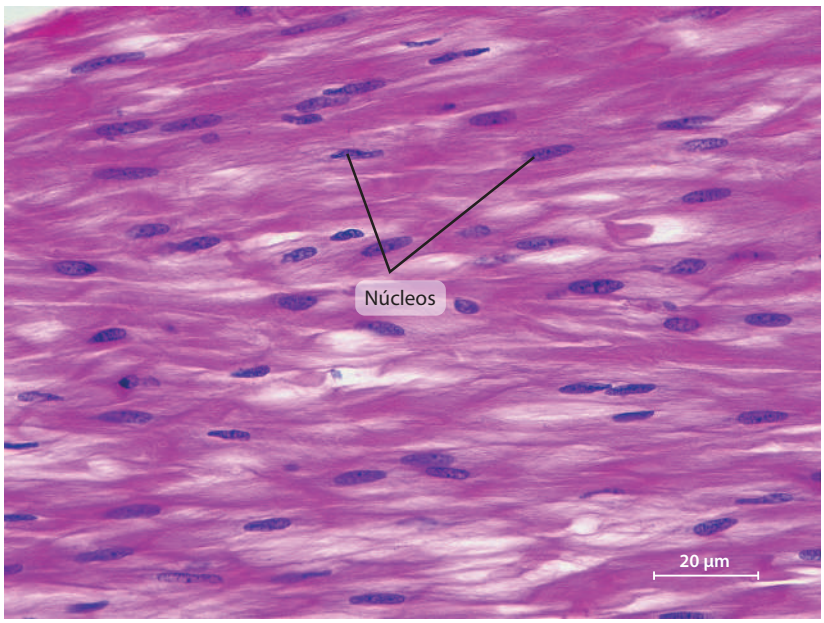
Os **tecidos musculares** são constituídos por **miócitos**, ou **fibras musculares**, células dotadas de grande capacidade de contração. Um miócito se contrai graças ao deslizamento de filamentos da proteína actina sobre filamentos da proteína miosina, presentes organizadamente no citoplasma.

Há três tipos de tecido muscular: tecido muscular estriado esquelético, tecido muscular estriado cardíaco e tecido muscular não estriado, ou tecido muscular liso. Cada um desses tecidos tem características adequadas ao papel desempenhado no organismo.

O **tecido muscular estriado cardíaco** está presente apenas no coração. As fibras musculares cardíacas apresentam um padrão estriado transversal semelhante ao das fibras musculares esqueléticas, mas, diferentemente destas, são uninucleadas. A contração das fibras musculares cardíacas é **involuntária**, independente de nossa vontade.

O **tecido muscular não estriado**, também chamado de **tecido muscular liso**, está presente nas paredes de órgãos como o estômago, o intestino e o útero, em dutos de diversas glândulas e nas paredes de artérias e veias. Nos órgãos do sistema digestório, por exemplo, a contração da musculatura lisa é responsável pelos movimentos peristálticos, que impulsionam o alimento em seu trajeto pelo tubo digestório. A contração da musculatura lisa dos vasos sanguíneos contribui para a circulação do sangue e para a manutenção da pressão arterial adequada.

O tecido muscular liso é constituído por células alongadas, uninucleadas e sem estriação transversal. Nas fibras musculares lisas, os filamentos de actina e miosina não se organizam no padrão de faixas transversais típico dos tecidos musculares estriados. A contração da musculatura lisa é **involuntária**, nisso se assemelhando à contração da musculatura cardíaca. (Fig 16.22)



XIA YUAN/MOMENT/GETTY IMAGES

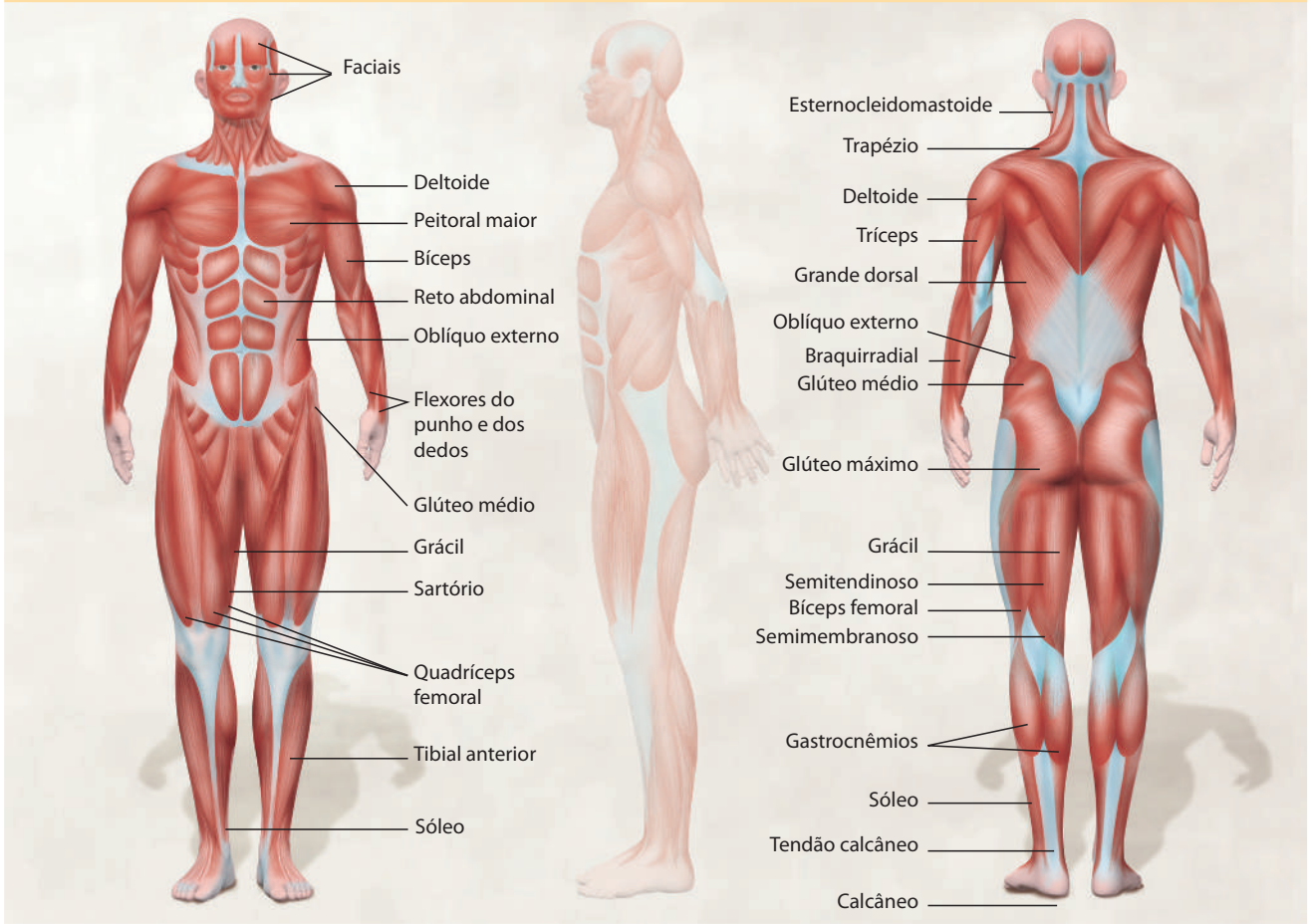
Figura 16.22. Fotomicrografia de corte de tecido muscular não estriado (liso). (Microscópio fotônico; aumento ≈290×; cores meramente ilustrativas.)

O **tecido muscular estriado esquelético** constitui a maior parte da musculatura corporal dos vertebrados, formando o que chamamos popularmente de carne. Os músculos estriados esqueléticos estão conectados aos ossos do esqueleto, daí sua denominação. A musculatura esquelética é responsável pela ampla gama de movimentos corporais dos animais. (Fig. 16.23)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Músculos esqueléticos do corpo humano



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

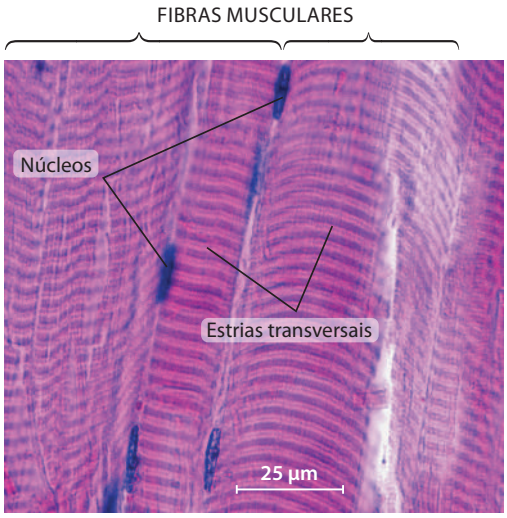
Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de anatomia e fisiologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Figura 16.23. Representação de alguns músculos estriados esqueléticos do corpo humano, de frente e de costas. No total são 656 músculos esqueléticos, com tamanhos e formas variados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As fibras musculares presentes no tecido muscular estriado esquelético originam-se pela fusão de **mioblastos**, células musculares precursoras presentes no embrião. A fibra muscular esquelética é multinucleada e mede entre 50 µm e 150 µm de diâmetro por milímetros e até centímetros de comprimento. Os núcleos celulares dispõem-se na periferia da fibra muscular, estando a região central preenchida por um conjunto organizado de filamentos de actina e miosina. É a organização desses filamentos que confere às fibras musculares esqueléticas seu aspecto estriado típico, com faixas transversais claras e escuras alternadas. (Fig. 16.24)

A contração da musculatura estriada esquelética é **voluntária**, isto é, está sob o controle de nossa vontade. Por exemplo, se você decidir revisar algum assunto no livro, seu sistema nervoso dará ordens aos músculos da mão e do braço para voltar as páginas.

O citoplasma de uma fibra muscular estriada é ocupado por um conjunto organizado de filamentos contráteis. Esses filamentos, denominados **miofibrilas**, são constituídos principalmente pelas proteínas actina e miosina dispostas de forma altamente organizada. É essa organização que confere às miofibrilas um padrão estriado que se repete a cada 2,2 µm, em média. Cada unidade desse padrão é denominada **miômero**, ou **sarcômero**.

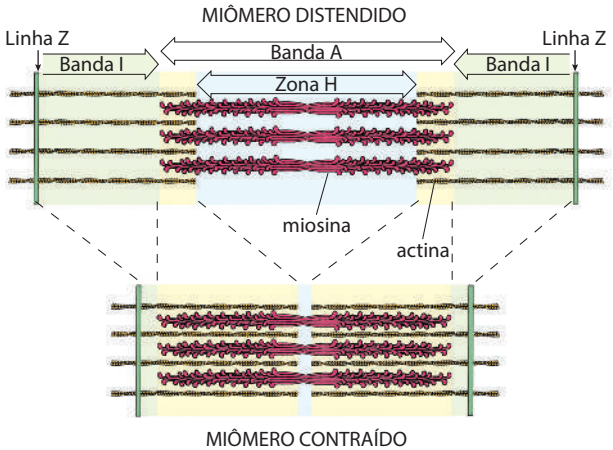


JOSE CALVO/SPL/FOTOARENA

Figura 16.24. Fotomicrografia de fibras musculares estriadas esqueléticas em corte, nas quais se podem ver faixas (estrias) transversais. (Microscópio fotônico; aumento ≈320×; cores meramente ilustrativas.)

Os miômeros são delimitados por discos transversais que aparecem ao microscópio eletrônico como linhas densas, denominadas linhas Z, ou discos Z. Cada miômero apresenta, ao microscópio, três faixas mais claras, separadas por duas faixas mais escuras. As faixas escuras correspondem aos locais onde os filamentos de actina se sobrepõem aos filamentos de miosina, mais espessos. A contração da miofibrila ocorre pelo deslizamento dos filamentos de miosina sobre os filamentos de actina, com consequente encurtamento do miômero. (Fig. 16.25)

Contração do miômero



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16.25. Representação esquemática da organização dos filamentos de miosina e de actina em um miômero distendido e após a contração. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO — Dança e esporte

SAÚDE MULTICULTURALISMO

Conhecimentos sobre o sistema musculo-esquelético são importantes para diversas profissões que envolvem atividades físicas. Isso inclui desde a elaboração de coreografias de dança até a prática profissional de esportes, passando ainda por tratamentos de reabilitação pós-cirúrgica, educação física e muitas outras atividades.

Grupos de dança formados por jovens, por exemplo, oferecem boas oportunidades para desenvolver a coordenação motora, a socialização, a disciplina e o apreço pela arte. Além de ser uma manifestação cultural e artística, a dança também constitui um campo de trabalho.

Em sua opinião, por que o conhecimento de fisiologia humana pode ser importante em atividades como danças e esportes? Escreva um texto a respeito.

RUBENS CHAVES/PULSAR IMAGENS

O carimbó é uma manifestação cultural brasileira com influência de povos indígenas e africanos. As coreografias acompanham o som dos instrumentos, como tambores. Essa dança é típica na região Norte do Brasil (Santarém, PA, 2019).

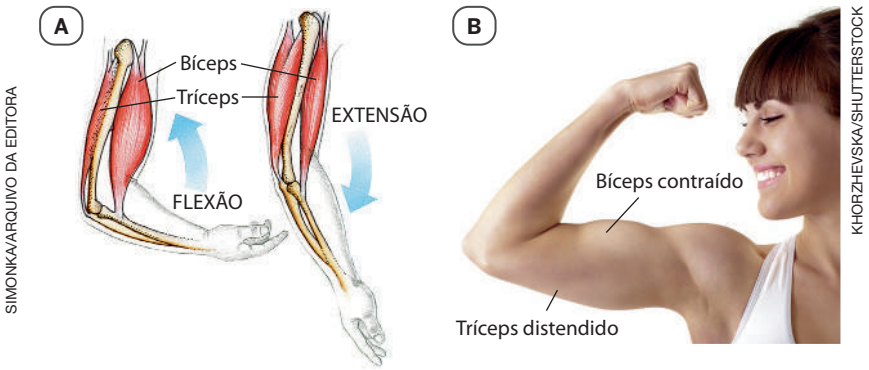
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Músculos e movimentação corporal

As extremidades dos músculos estriados esqueléticos são geralmente afiladas e terminam em cordões fibrosos resistentes, os **tendões**, constituídos por tecido conjuntivo. Os tendões ligam os músculos aos ossos. Quando um músculo se contrai, ele puxa os ossos aos quais está ligado pelos tendões.

Os músculos esqueléticos geralmente atuam em duplas que executam movimentos antagônicos. Por exemplo, os músculos bíceps e tríceps do braço trabalham em antagonismo: o bíceps é responsável pela flexão do braço e o tríceps por sua extensão. (Fig. 16.26)

Os músculos que movimentam o braço



SIMONKA/ARQUIVO DA EDITORA

KHORZHEVSKA/SHUTTERSTOCK

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 16.26. (A) Representação esquemática da ação dos músculos bíceps e tríceps na flexão e na extensão do antebraço. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotografia que mostra o bíceps contraído e o tríceps distendido.

A contração da fibra muscular esquelética segue o princípio que os biólogos denominam de **lei do tudo ou nada**. Ou a fibra se contrai totalmente ou ela não se contrai. Se o estímulo nervoso for suficientemente intenso para estimular a fibra muscular, ela sempre se contrairá com o máximo de sua capacidade.

O grau de contração de um músculo depende da quantidade de fibras contraídas. Quando o estímulo nervoso é fraco, só algumas fibras são estimuladas, e o resultado é uma contração fraca do músculo. No caso de uma estimulação forte, muitas fibras musculares são estimuladas simultaneamente e a contração do músculo é intensa.

Uma fibra muscular estriada consegue se manter contraída por pouco tempo, em torno de alguns milésimos de segundos. O músculo como um todo, porém, pode se manter contraído por longo tempo porque, enquanto durar a estimulação nervosa, haverá alternância entre as fibras musculares contraídas e as relaxadas.

Em condições normais, os músculos esqueléticos sempre apresentam algumas fibras contraídas. Quando essas fibras relaxam, outras se contraem em seu lugar, de modo que o músculo apresenta um estado permanente de atividade ou tensão muscular, conhecido como **tônus muscular**, responsável pela firmeza dos músculos e importante na manutenção da postura do corpo.

O tônus muscular, além de manter os músculos preparados para a contração, é fundamental para a manutenção da atividade vital das células musculares. Pessoas com lesões da medula espinal, ou portadoras de certas doenças neurológicas, em que há falta de estimulação nervosa dos músculos, podem perder o tônus e sofrer degeneração do tecido muscular, com consequente atrofia da musculatura.

A miosina presente nas fibras musculares é de dois tipos: **miosina I**, de contração mais lenta, e **miosina II**, de contração mais rápida. Fibras portadoras de miosina II contraem-se cerca de 10 vezes mais rápido que as fibras portadoras de miosina I. Fibras musculares com miosina I, por serem mais lentas, são eficientes na realização de esforços moderados e prolongados, como os necessários em corridas de longa distância, ciclismo e natação. Fibras musculares com miosina II, por sua vez, são mais eficientes para realizar esforços intensos de curta duração, como corridas de velocidade.

A quantidade de fibras lentas e de fibras rápidas é mais ou menos equivalente na maioria dos adultos saudáveis e ativos. Algumas pessoas, porém, têm maior porcentagem de fibras de um tipo ou de outro. E é exatamente isso que qualifica certas pessoas para atividades atléticas como a maratona, que exige maior quantidade de fibras lentas, e outras para corridas de 100 metros rasos, que exigem maior quantidade de fibras rápidas. Corredores de curta distância têm, em média, 82% de fibras rápidas e 18% de fibras lentas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Robôs e próteses robóticas

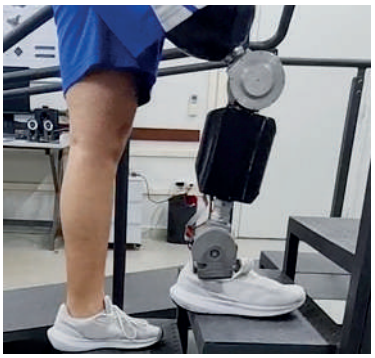
O clássico livro *Eu, Robô*, escrito por Isaac Asimov em 1950, é uma obra de ficção científica que explora a interação entre seres humanos e robôs em um futuro no qual as máquinas desempenham papéis sociais de destaque. A obra é composta de nove contos, que apresentam as Três Leis da Robótica, que regem o comportamento dos robôs. São elas: 1ª) Um robô não pode ferir um ser humano ou permitir que um ser humano sofra qualquer mal; 2ª) Os robôs devem obedecer às ordens dos seres humanos, exceto nos casos em que essas ordens entrem em conflito com a primeira lei; 3ª) Um robô deve proteger sua própria existência, desde que não entre em conflito com as leis anteriores. Em 2004, o livro *Eu, Robô* serviu de inspiração para o filme homônimo, estrelado pelo ator Will Smith.

Atualmente, a ideia de robôs ou máquinas que interagem com seres humanos evoluiu principalmente para a criação de próteses robóticas que substituem membros e órgãos, melhorando a qualidade de vida de muitas pessoas. As próteses utilizam componentes de alta tecnologia, como motores, sensores e controladores eletrônicos, permitindo que o usuário acione a prótese de forma natural, muitas vezes por meio de sinais mioelétricos ou a partir de sinais cerebrais. Além disso, algumas próteses modernas oferecem retorno sensorial, permitindo que o usuário tenha sensações.

Agora pesquise na internet sobre próteses robóticas. Além de anúncios de produtos, há diversos *sites* que tratam das possibilidades oferecidas por essas tecnologias. Selecione as informações que julgar mais importantes ou interessantes em suas pesquisas e reflita sobre a seguinte questão: a utilização de próteses robóticas e da inteligência artificial, além dos benefícios para a sociedade, pode levar a discussões éticas e morais? Pense, entre outros aspectos, na dependência crescente das pessoas por tecnologia e na desigualdade de acesso às inovações tecnológicas. Escreva um texto que expresse suas opiniões a respeito do tema.

REPRODUÇÃO/EDITORA ALEPH

O livro *Eu, Robô*, de Isaac Asimov, apresenta dilemas éticos e filosóficos sobre a interação entre seres humanos e máquinas.



PROF. RAFHAEL MILANEZI DE ANDRADE/ LABORATÓRIO DE ROBÓTICA E BIOMECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA/ CENTRO TECNOLÓGICO/UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO.

Prótese robótica de joelho e pé, desenvolvida em parceria pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) e pelo LabGuará, laboratório de pesquisa em biomecânica, 2024.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Pessoas com deficiência

CIDADANIA E CIVISMO ODS 10

É importante que a sociedade dê sua atenção para as pessoas que apresentam deficiências físicas ou cognitivas em relação às pessoas consideradas "normais". O termo *pessoa com deficiência* foi definido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito das Pessoas com Deficiência, tendo sido aprovado em 13 de dezembro de 2006 pela Assembleia Geral da ONU. O objetivo desta atividade é pesquisar sobre a situação dessas pessoas no Brasil.

Levante dados atualizados sobre a população de pessoas com deficiência no Brasil. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam que, "em 2019, cerca de 8,4% das pessoas com mais de 2 anos tinham ao menos uma deficiência, e estavam presentes em 19,8% dos domicílios no Brasil". Procure informações sobre os diferentes tipos de deficiência (física, sensorial, intelectual etc.) e a distribuição dos diferentes grupos em relação à idade, o gênero e a localização geográfica. No *site* do IBGE, pesquise o tema "pessoas com deficiência" para acessar estatísticas sobre as pessoas com necessidades especiais, entre elas o nível de desemprego e de informalidade.

Um aspecto pertinente a ser levantado é sobre a utilização de tecnologias que facilitam a mobilidade ou a visão (tipos de tela e de imagens gráficas especiais etc.) de pessoas com deficiência. Sobre essas tecnologias, tente levantar informações sobre tipos, disponibilidade, custo etc.

Ao fim da pesquisa elabore um relatório estruturado que aponte estatísticas e outras informações importantes ou interessantes sobre o tema: "pessoas com deficiência e inclusão social".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 1 a 3.

a. tecido conjuntivo.
b. tecido epitelial.
c. tecido muscular.
d. tecido nervoso.

1. 1.c O (■) é constituído por células alongadas e com grande capacidade de contração.

2. 2.b O (■) é constituído por camadas de células intimamente unidas entre si, especializadas no revestimento corporal e na secreção.

3. 3.d O (■) é constituído por células especializadas em transmitir impulsos, os neurônios.

4. 4.c Qual das alternativas apresenta o sentido correto de propagação do impulso nervoso em um neurônio?

a. Axônio → corpo celular → dendrito.
b. Corpo celular → dendrito → axônio.
c. Dendrito → corpo celular → axônio.
d. Dendrito → axônio → corpo celular.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 5 e 6.

a. encéfalo.
b. gânglio nervoso.
c. medula espinal.
d. nervo.
e. sistema nervoso.

5. 5.d O(A) (■) é um filamento formado por fibras nervosas envoltas por tecido conjuntivo que se projeta do sistema nervoso central.

6. 6.b O(A) (■) é um pequeno aglomerado de corpos celulares de neurônios localizado fora do sistema nervoso central e que forma uma dilatação em certos feixes de fibras nervosas.

7. 7.a Que nome é dado a uma substância química produzida por células especializadas e que, pela circulação, atinge outras células do corpo modificando seu funcionamento?

a. Hormônio.
b. Neurotransmissor.
c. Receptor.
d. Vitamina.

8. 8.b Se uma pessoa não tivesse cones em sua retina, mas seus bastonetes fossem normais, ela

a. não enxergaria na penumbra.
b. não veria cores.
c. seria cega.
d. teria visão "normal".

9. 9.b O curare é uma droga que impede a ligação do neurotransmissor acetilcolina aos receptores de membrana na região da sinapse neuromuscular. Sua presença no corpo

a. leva os músculos esqueléticos a se contrair continuamente.
b. impede a contração dos músculos esqueléticos.
c. impede a propagação do impulso nervoso através do axônio.
d. impede a propagação do impulso nervoso através do dendrito.

Questões de vestibulares

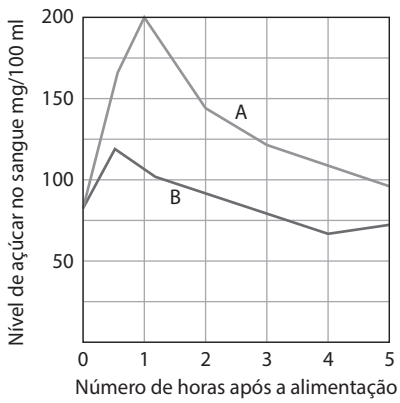
10. 10.c **(USJ-SC)** O tecido que desempenha as funções de revestimento de superfícies e cavidades, absorção, secreção e percepção sensorial é denominado

a. muscular.
b. nervoso.
c. epitelial.
d. conjuntivo.

11. 11.e **(Fazu-MG)** A região de encontro entre os neurônios e entre neurônios e órgãos, onde ocorre a transmissão química de impulsos elétricos, é

a. desmossomos.
b. axônio.
c. neuróglia.
d. bainha de mielina.
e. sinapse.

12. 12.a **(Fuvest-SP)** O gráfico mostra os níveis de glicose no sangue de duas pessoas (A e B), nas cinco horas seguintes, após elas terem ingerido tipos e quantidades semelhantes de alimento. A pessoa A é portadora de um distúrbio hormonal que se manifesta, em geral, após os 40 anos de idade. A pessoa B é saudável.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual das alternativas indica o hormônio alterado e a glândula produtora desse hormônio?

a. Insulina; pâncreas.
b. Insulina; fígado.
c. Insulina; hipófise.
d. Glucagon; fígado.
e. Glucagon; suprarrenal.

13. **(UFC-CE)** Explique, sucintamente, como a sudorese e a vasodilatação dos vasos sanguíneos cutâneos participam do processo homeostático de regulação da temperatura corporal do ser humano no calor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 17

A herança genética

SPATULETAIL/SHUTTERSTOCK

BIOPHOTO ASSOCIATES/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

O monge e cientista Gregor Mendel realizou, nos jardins de um mosteiro em Brno, República Tcheca (A), experimentos que originaram a Genética. (Foto de 2009). Selo da República Tcheca que homenageia os trabalhos de Gregor Mendel (B). (Foto de 2018)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

A popularização dos exames de DNA para identificar pessoas, a partir de 1988, contribuiu para mudar regras e condutas sociais. Além disso, a Genética se tornou mais acessível aos jovens porque conhecimentos sobre computadores e informática, que hoje fazem parte do nosso cotidiano, facilitam compreender o sistema de codificação genética que os seres vivos utilizam há mais de 3 bilhões de anos para registrar informações e transmiti-las de geração a geração.

Pode-se dizer que os conhecimentos científicos sobre Genética tiveram início a partir de cruzamentos entre ervilhas, realizados em meados do século XIX pelo monge e cientista Gregor Mendel em um mosteiro na cidade de Brno (Brünn, em alemão), na parte oriental da atual República Tcheca. Os trabalhos de Mendel foram pouco reconhecidos em sua época, sendo redescobertos apenas no começo do século XX, quando surgiu formalmente a Genética.

Na primeira parte do capítulo, são apresentados os experimentos que levaram Mendel a deduzir sua primeira lei sobre a herança biológica. Na segunda parte do capítulo, são discutidos exemplos em que essa lei se aplica. Ao estudar Genética, é importante acompanhar a progressão dos conhecimentos, uma vez que cada etapa é fundamental para o passo seguinte.

Compreender os princípios básicos da herança genética contribui para a formação da cidadania, pois atualmente a Genética faz parte da vida de todos nós.

1. Mendel e as origens da Genética

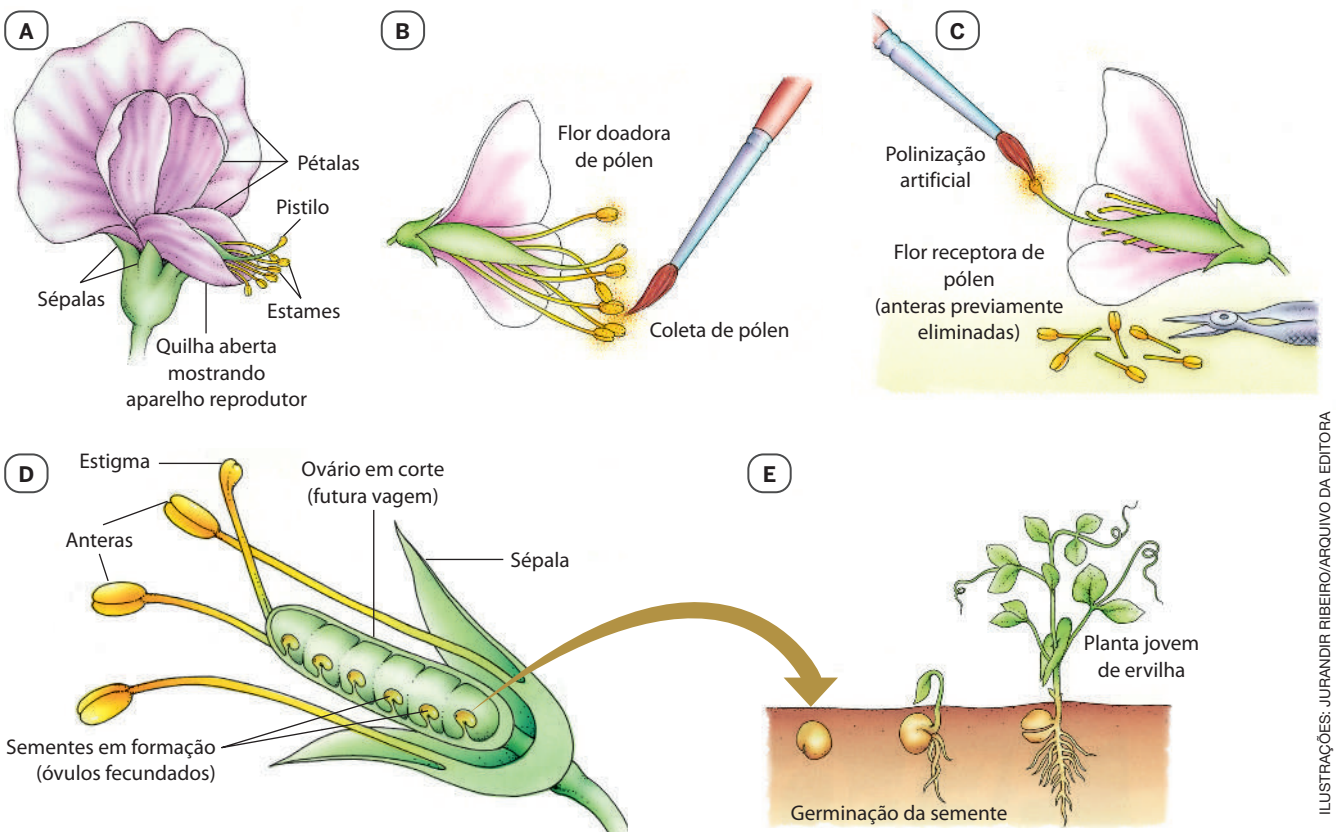
Genética é a área da Biologia que estuda a **herança biológica**, ou **hereditariedade**, que é a transmissão de características de pais para filhos ao longo das gerações. O interesse pela herança biológica é antigo, mas a Genética como ciência só se desenvolveu no século XX, com a redescoberta das leis da hereditariedade, propostas originalmente em 1865 por Gregor Mendel. O avanço da microscopia e a compreensão da vida no nível microscópico também contribuíram significativamente para o desenvolvimento da Genética.

De acordo com alguns historiadores, Mendel foi um cientista visionário, pois suas conclusões sobre herança biológica só foram plenamente compreendidas e reconhecidas 35 anos após sua publicação. Seu trabalho com ervilhas, cujos resultados ajudaram a desvendar as leis fundamentais da herança, é considerado um marco na história da ciência.

A ervilha como material experimental

A ervilha da espécie *Pisum sativum* foi o material escolhido por Mendel para seus estudos sobre hereditariedade. A ervilha é uma planta leguminosa que apresenta frutos do tipo vagem, no interior dos quais se encontram as sementes. A flor da ervilha é hermafrodita e adaptada à **autofecundação**, ou seja, sua estrutura favorece a fecundação dos gametas femininos pelos gametas masculinos da mesma flor. Para cruzar plantas diferentes, Mendel precisou interferir na polinização, como é mostrado na figura a seguir. (Fig. 17.1)

Polinização artificial na ervilha



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 17.1. Representação esquemática da polinização artificial em ervilha. (A) Flor da ervilha *Pisum sativum*. (B) e (C) Coleta de pólen de uma flor e colocação no pistilo de outra flor, cujas anteras foram precocemente removidas para prevenir a autofecundação. (D) Ovário em corte longitudinal mostrando óvulos fecundados transformando-se em sementes. (E) Etapas da germinação da semente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Mendel estudou sete características da ervilha, cada uma delas com duas formas contrastantes de fácil distinção. Por exemplo, uma das características escolhidas por Mendel foi a cor da semente, que pode ser amarela ou verde; outra foi a estatura da planta, que pode ser alta ou baixa. A figura a seguir mostra as sete características estudadas por Mendel, cada uma delas com suas duas formas alternativas. (Fig. 17.2)

	Características						
	Forma da semente	**Cor da semente**	**Cor da casca da semente**	**Forma da vagem**	**Cor da vagem madura**	**Posição das flores**	**Estatura da planta**
Dominante	Lisa	Amarela	Cinza	Inflada	Verde	Axilar	Alta
Recessivo	Rugosa	Verde	Branca	Sulcada	Amarela	Terminal	Baixa

DAVID MARTINS/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 17.2. Representação esquemática das duas formas alternativas de cada uma das sete características analisadas por Mendel em seus estudos com plantas de ervilhas. (Representação fora de proporção.)

Antes de iniciar um cruzamento, Mendel se certificava de estar trabalhando com plantas puras para cada característica. Uma planta pura para determinada característica produz, por autofecundação, apenas plantas iguais a ela mesma. Por exemplo, uma planta pura de sementes amarelas origina por autofecundação apenas plantas com sementes amarelas.

Mendel realizou cruzamentos entre plantas puras com as formas contrastantes de cada uma das sete características escolhidas. Por exemplo, ele cruzou plantas puras altas com plantas puras baixas, plantas puras de sementes amarelas com plantas puras de sementes verdes etc. As plantas puras cruzadas foram chamadas por Mendel de **geração parental**; na nomenclatura atual, são chamadas de **geração P**. A descendência do cruzamento entre plantas puras com formas contrastantes de uma mesma característica foi chamada por Mendel de **primeira geração híbrida**; na nomenclatura atual, é chamada de **geração F_1**. A descendência resultante da autofecundação de plantas híbridas da geração F1 foi denominada **segunda geração híbrida**; na nomenclatura atual, é chamada de **geração F_2**.

Mendel observou que os descendentes da geração F_1 eram sempre idênticos a um dos pais. A característica do outro genitor não aparecia nos híbridos F_1, mas ela voltava a aparecer em indivíduos da geração F_2. Esse fato levou à conclusão de que a característica do outro genitor não desaparecia, mas ficava em recesso nos híbridos.

Mendel chamou de **dominante** a forma da característica que se manifestava nas plantas híbridas de F_1 e de **recessiva** a forma que ficava em recesso em F_1, reaparecendo em F_2. Por exemplo, a cor amarela da semente em ervilha é dominante, e a cor verde é recessiva; a forma lisa da semente é dominante e a forma rugosa, recessiva.

Uma atitude que contribuiu decisivamente para o sucesso de Mendel foi ter aplicado uma visão quantitativa aos resultados de seus experimentos. Ao verificar, nos diversos cruzamentos realizados, que o número de descendentes F_2 com a característica dominante era sempre maior do que os com a caraterística recessiva, ele procurou expressar essa relação em termos de proporção, o que permitia

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a comparação dos resultados obtidos em diferentes experimentos. Por exemplo, no cruzamento entre plantas puras de sementes amarelas com plantas de sementes verdes, Mendel obteve na geração F_2 6.022 sementes amarelas (traço dominante) e 2.001 sementes verdes (traço recessivo). Dividindo 6.022 por 2.001, ele obteve a proporção de 3,01 sementes amarelas para 1 semente verde, ou seja, $\frac{3}{4}$ das plantas de F_2 apresentavam o traço dominante e $\frac{1}{4}$ apresentava o traço recessivo. Em cruzamentos envolvendo outras características, a proporção obtida foi sempre próxima de 3 : 1. A semelhança nas proporções entre os traços dominante e recessivo para diferentes características levou Mendel a pensar que devia haver uma lei geral, responsável pelo padrão de herança das características em ervilhas.

A lei da segregação dos fatores hereditários

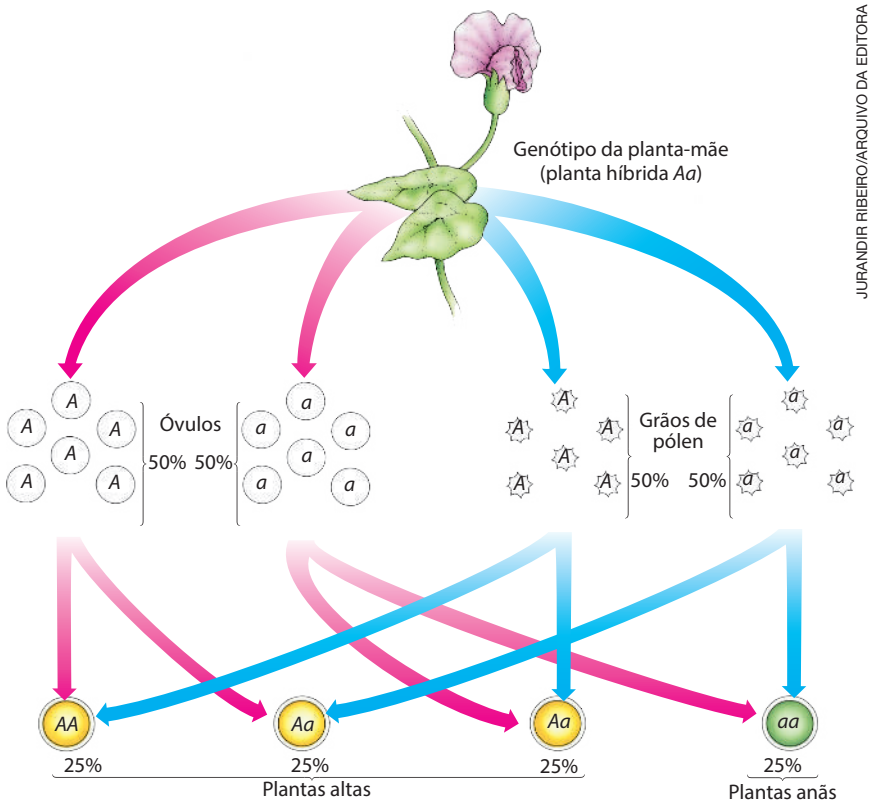
Mendel elaborou uma hipótese para explicar a proporção 3 : 1 entre plantas com o traço dominante e com o traço recessivo na geração F_2. A hipótese consiste das seguintes premissas: a) cada característica hereditária é determinada por um par de fatores, um deles herdado do genitor materno e o outro herdado do genitor paterno; b) os fatores de cada par separam-se (segregam-se) no momento da formação dos gametas, de modo que cada gameta contém somente um dos fatores de cada par; c) dois gametas encontram-se aleatoriamente na fecundação, originando cada indivíduo da geração seguinte.

O ponto-chave da hipótese mendeliana é a separação dos fatores hereditários de cada par na formação dos gametas, de modo que cada gameta recebe apenas um fator do par. Esse princípio foi chamado por Mendel de **lei da segregação dos fatores**. Mais tarde, em homenagem ao monge e cientista, essa lei foi chamada de **primeira lei de Mendel**.

A seguir apresentamos o modelo proposto por Mendel aplicado a um cruzamento entre ervilhas altas puras, fornecedoras de gametas femininos, e ervilhas baixas puras, fornecedoras de gametas masculinos. Os gametas femininos contêm apenas o fator para estatura alta, aqui representado pela letra maiúscula ***A***. Os gametas masculinos contêm apenas o fator para estatura baixa, ***a***. O encontro de gametas femininos portadores do fator *A* com gametas masculinos portadores do fator *a* origina uma geração F_1 constituída por plantas híbridas ***Aa***, chamadas na nomenclatura atual de **heterozigóticas**, pois portam dois fatores diferentes: *A* e *a*. Essas plantas heterozigóticas *Aa* são todas altas, indicando que o fator para alta estatura (*A*) é dominante sobre o fator para estatura baixa (*a*). (Fig. 17.3)

Quando uma planta alta heterozigótica forma gametas, os fatores se separam, de modo que cada gameta recebe apenas um dos fatores do par. Aproximadamente metade dos gametas femininos produzidos pela planta heterozigótica conterá o fator para estatura alta, *A*, e a outra metade conterá o fator recessivo para estatura baixa, *a*. O mesmo ocorre nos gametas masculinos.

O modelo mendeliano aplicado a um cruzamento



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17.3. Representação esquemática da segregação dos fatores em uma planta heterozigótica, e combinação aleatória dos gametas na formação da geração seguinte. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, na autofecundação das plantas heterozigóticas da geração F_1 serão possíveis quatro tipos de encontros de gametas:

1) gameta feminino com o fator *A* é fecundado por gameta masculino também com o fator *A*;

2) gameta feminino com o fator *A* é fecundado por gameta masculino com o fator *a*;

3) gameta feminino com fator *a* é fecundado por gameta masculino com o fator *A*;

4) gameta feminino com fator *a* é fecundado por gameta masculino também com fator *a*.

No caso 1 formam-se plantas altas puras ***AA***, atualmente chamadas de **homozigóticas**, por possuírem dois fatores idênticos constituindo o par. Nos casos 2 e 3 formam-se plantas altas heterozigóticas ***Aa***. No caso 4 formam-se plantas baixas homozigóticas ***aa***. Assim, o esperado é que se formem 3 plantas altas (1 homozigótica e 2 heterozigóticas) para cada planta baixa homozigótica.

Nomenclatura moderna em Genética

A redescoberta dos trabalhos de Mendel, no início do século XX, levou ao desenvolvimento de uma nomenclatura mais precisa e adequada para designar conceitos e processos em Genética. Por exemplo, os fatores hereditários responsáveis pela herança biológica são atualmente denominados **genes**. Cada gene atua na determinação de uma característica. Um gene pode apresentar duas ou mais formas ligeiramente diferentes chamadas de **alelos do gene**, ou simplesmente **alelos**. O termo "alelo" substitui o termo "fator", utilizado originalmente por Mendel e pelos primeiros geneticistas. Indivíduos **homozigóticos**, ou **homozigotos**, são os que apresentam dois alelos idênticos de um gene, enquanto os indivíduos **heterozigóticos**, ou **heterozigotos**, apresentam dois alelos diferentes de um gene.

Os geneticistas utilizam o termo **fenótipo** (do grego *phenos*, evidente, e *typos*, característica) para se referir às características observáveis de um ser vivo, sejam elas físicas, bioquímicas ou comportamentais. O termo **genótipo** (do grego *genos*, origem, e *typos*, característica), por sua vez, designa a constituição genética dos indivíduos. Por exemplo, quando falamos da cor das flores de uma planta, ou do tipo sanguíneo de uma pessoa, estamos nos referindo a seus fenótipos. Por outro lado, quando falamos dos genes que condicionam a cor das flores de uma planta, ou dos genes responsáveis pelo tipo sanguíneo de uma pessoa, estamos nos referindo aos genótipos.

Dois indivíduos, mesmo que apresentem genótipos idênticos, podem apresentar diferenças no fenótipo, decorrentes de influências ambientais. Por exemplo, pessoas com genótipos idênticos para cor da pele podem ser mais claras ou mais escuras, dependendo do tempo de exposição ao sol. O fenótipo, portanto, resulta da manifestação de genes que interagem com o ambiente em maior ou menor grau.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Probabilidades aplicadas à Genética

Uma das razões pelas quais o trabalho de Mendel não foi plenamente compreendido em sua época foi o raciocínio matemático empregado por ele na interpretação dos resultados experimentais. Os naturalistas da época de Mendel não deram a devida atenção para a proporção 3 : 1, observada na segunda geração do cruzamento de certas variedades. Mendel, entretanto, tinha plena convicção de que essa proporção sempre estava presente, apesar de pequenas variações casuais (por exemplo, 3,01 : 1), explicáveis pela teoria das probabilidades. Assim, para compreender melhor os resultados obtidos nos cruzamentos genéticos, é necessário conhecer alguns princípios básicos da teoria das probabilidades, como estudaremos a seguir.

Probabilidade é a chance de um determinado evento ocorrer, entre dois ou mais eventos possíveis. A obtenção de "cara" no lançamento de uma moeda, o sorteio de um "ás de ouros" do baralho ou a obtenção de "face 6" no lançamento de um dado são **eventos aleatórios** (do latim *alea*, sorte). Em cada um dos casos, há um conjunto de eventos possíveis, e o evento selecionado ("cara", "ás de ouros" ou "face 6") tem a mesma chance de ocorrer que qualquer outro evento possível daquele conjunto. Por exemplo, a probabilidade de se obter "cara" no lançamento de uma moeda é de 50%, ou $\frac{1}{2}$, pois o conjunto de possibilidades é composto de dois eventos – "cara" ou "coroa" – ambos com mesma chance de ocorrer. A probabilidade de sortear o "ás de ouros" em um baralho é de $\frac{1}{52}$, pois o conjunto de possibilidades é formado por 52 cartas, cada uma com igual chance de ser sorteada. A probabilidade de se obter "face 6" ao lançar um dado é de $\frac{1}{6}$, que corresponde a um entre seis eventos possíveis.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplicando o mesmo raciocínio à Genética, a probabilidade de o gameta de um indivíduo heterozigótico *Aa* portar o alelo *A* é de $\frac{1}{2}$, ou 50%, e a probabilidade de ele portar o alelo *a* também é de $\frac{1}{2}$, ou 50%.

Se a ocorrência de um evento não afetar a probabilidade de outro evento ocorrer, fala-se em **eventos independentes**. Por exemplo, o fato de se obter "cara" ao lançar uma moeda não aumenta nem diminui a chance de sair "cara" em um novo lançamento da mesma moeda ou de outra moeda qualquer. Assim, o resultado obtido em cada lançamento de moeda é um evento independente. Da mesma maneira, o nascimento de uma criança é um evento independente do nascimento de outros filhos de um casal. Por exemplo, mesmo que um casal já tenha tido duas filhas, a probabilidade de uma terceira criança também ser do sexo feminino continua a ser de $\frac{1}{2}$, ou 50%.

Segundo a teoria, a probabilidade de dois ou mais eventos independentes ocorrerem conjuntamente é igual ao produto das probabilidades de eles ocorrerem separadamente. Esse princípio é conhecido popularmente como **regra do "e"**, pois corresponde à pergunta: qual é a probabilidade de ocorrer determinado evento "**e**" também outro? Por exemplo, se jogarmos uma moeda duas vezes, qual é a probabilidade de obtermos duas vezes a face "cara", ou seja, sair face "cara" no primeiro lançamento e face "cara" também no segundo? A chance de sair "cara" na primeira jogada é de $\frac{1}{2}$, e a chance de sair "cara" na segunda jogada também é de $\frac{1}{2}$. A probabilidade conjunta de ocorrência desses dois eventos é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$, ou seja, $\frac{1}{4}$.

A segregação de dois fatores genéticos na formação dos gametas é comparável à obtenção de "cara" ou "coroa" no lançamento de uma moeda. Observe a figura e suponha que o lançamento de uma moeda dourada represente a formação do gameta feminino e que o lançamento de uma moeda prateada represente a formação do gameta masculino. Para cada moeda, "cara" e "coroa" seriam equivalentes aos dois tipos de alelos do par, *A* e *a*. O resultado da fecundação, portanto, é comparável à combinação das faces obtidas no lançamento das duas moedas.

Vejamos outro exemplo. Qual é a probabilidade de dois filhos de um casal serem ambos do sexo masculino? A probabilidade do primeiro filho ser do sexo masculino é $\frac{1}{2}$ e de o segundo também ser do sexo masculino também é $\frac{1}{2}$. Assim, a probabilidade de esses eventos ocorrerem conjuntamente é 1/4 ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$).

Consideremos agora outra questão: ao lançar duas moedas simultaneamente, qual é a probabilidade de obter uma "cara" e uma "coroa"? Há duas maneiras possíveis de obter "cara" e "coroa" quando se lançam duas moedas: pode sair "cara" na primeira moeda e "coroa" na segunda, ou "coroa" na primeira moeda e "cara" na segunda.

Simulação de um cruzamento genético

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

BANCO CENTRAL DO BRASIL

Esquema comparando as probabilidades de obtenção de cara e coroa no lançamento de duas moedas e a formação de diferentes genótipos pela combinação ao acaso de um par de alelos em um cruzamento genético.

A probabilidade de sair "cara" e "coroa" é de $\frac{1}{4}$ ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$). Da mesma forma, a probabilidade de sair "coroa" e "cara" também é de $\frac{1}{4}$. A probabilidade de sair uma face "cara" e uma face "coroa" no lançamento de duas moedas equivale à soma da probabilidade de ocorrer cada evento, no caso, $\frac{2}{4}$, ou $\frac{1}{2}$ ($\frac{1}{4}$ para "cara" e "coroa" + $\frac{1}{4}$ para "coroa" e "cara").

Esse princípio é conhecido popularmente como regra do "ou", pois corresponde à pergunta: qual é a probabilidade de ocorrer um determinado evento ("cara" e "coroa") "ou" outro ("coroa" e "cara")?

Raciocínio semelhante é válido para a Genética. Por exemplo, qual é a probabilidade de um casal, ao ter dois filhos, que um deles seja menina e o outro seja menino? Há duas maneiras

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

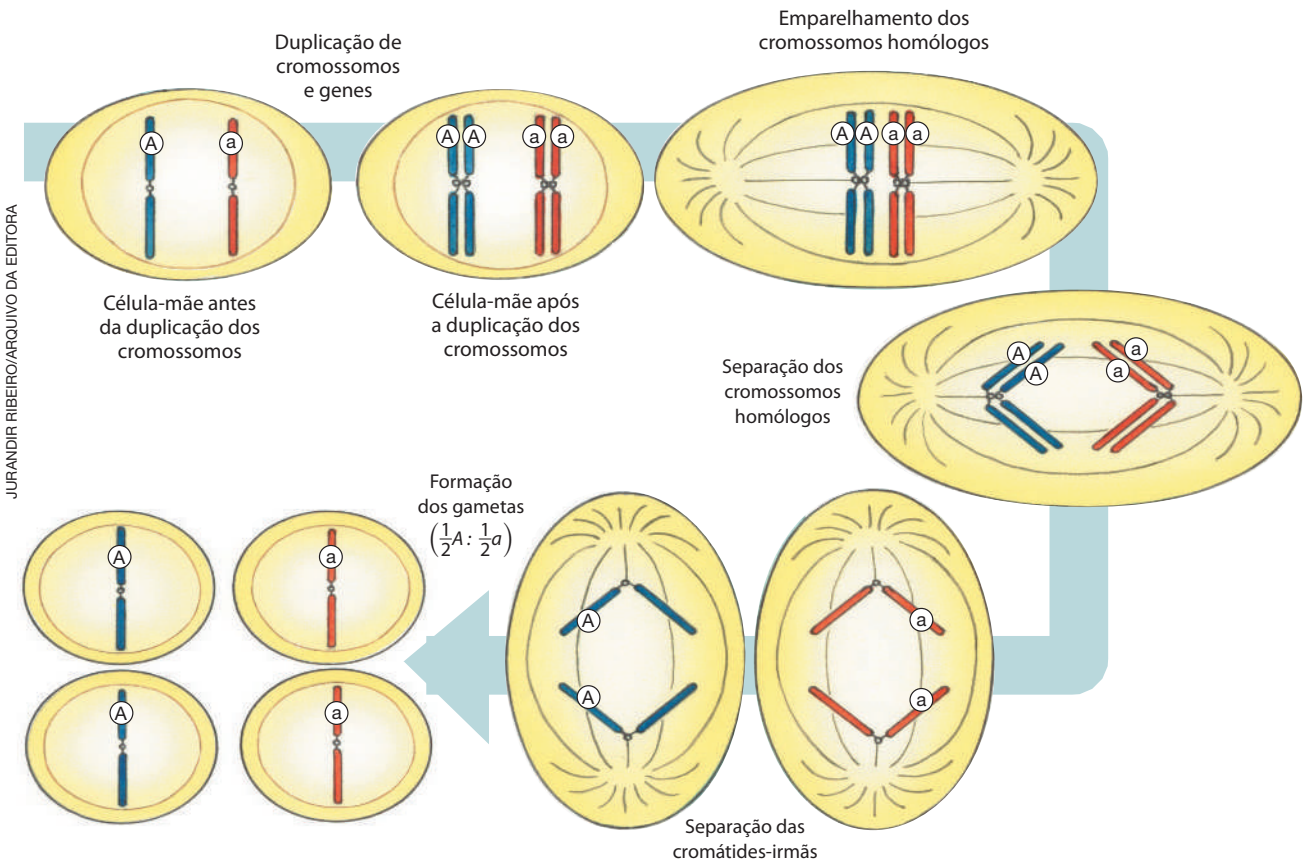
de um casal ter um menino e uma menina: a primeira criança ser menino e a segunda menina ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$) ou a primeira ser menina e a segunda menino ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$). Portanto, a probabilidade de o casal ter uma menina e um menino é de $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$, ou $\frac{1}{2}$.

Como exercício, calcule a probabilidade de um casal, tendo três crianças, que duas sejam meninas e uma seja menino. Lembre-se de que há três possibilidades para a ordem dos nascimentos. Pense na ordem em que as três crianças podem nascer e faça os cálculos.

2. Meiose e segregação genética

Em 1902, quando estudava ao microscópio a formação de gametas em gafanhotos, o biólogo estadunidense Walter S. Sutton (1877-1916) notou que havia semelhança entre a separação dos cromossomos homólogos na meiose e a separação dos fatores hereditários imaginada por Mendel. Ele propôs, então, a hipótese de que os fatores hereditários localizavam-se em cromossomos homólogos. Assim, seria a separação dos homólogos na meiose que levaria à separação dos fatores hereditários. Mais ou menos na mesma época, o pesquisador alemão Theodor Boveri (1862-1915), com base em outras observações, também propôs a hipótese de que os fatores hereditários se localizavam nos cromossomos. Esse foi o início do desenvolvimento da chamada **teoria cromossômica da herança**. (Fig. 17.4)

A segregação dos cromossomos homólogos na meiose



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 17.4. Representação esquemática da segregação de um par de alelos de um gene na meiose. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Exemplos de herança monogênica

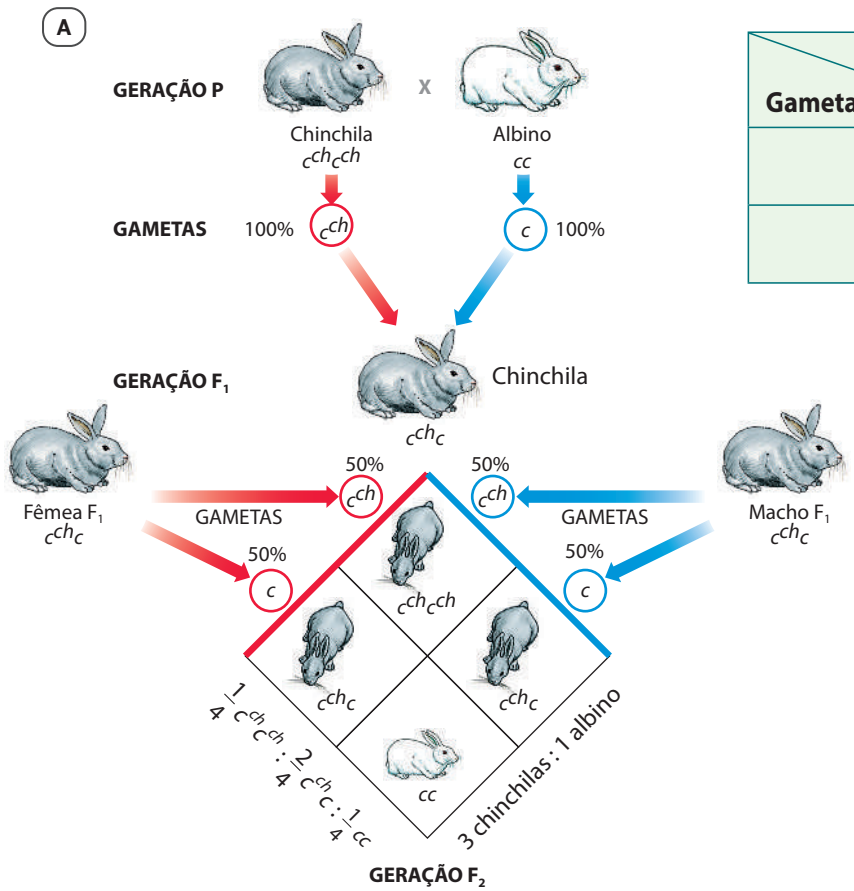
A herança de diversas características em plantas e animais segue o modelo genético proposto por Mendel. Esse padrão de herança recebe a denominação de **herança monogênica** por haver apenas um gene envolvido na manifestação da característica.

A dificuldade de muitos estudantes no aprendizado da Genética pode estar na conceituação de certas operações matemáticas envolvendo frações e proporções. Por isso, a integração dos conteúdos iniciais de Genética com os de Matemática pode ser bastante interessante.

Herança de pelagem em coelhos

A herança das pelagens chinchila (pelagem cinzenta) e albina (pelagem branca) de coelhos segue a primeira lei de Mendel, sendo a coloração chinchila dominante sobre a albina. Quando coelhos de linhagem chinchila pura são cruzados com coelhos albinos, a geração F_1 é constituída apenas por coelhos chinchilas semelhantes a um dos pais. Coelhos chinchilas da geração F_1, ao serem cruzados entre si, originam uma geração F_2 constituída por 75%, ou $\frac{3}{4}$, de coelhos chinchilas e 25%, ou $\frac{1}{4}$, de coelhos albinos. Esse padrão de herança pode ser explicado admitindo-se que a cor da pelagem é condicionada por um par de alelos, um deles dominante (c^{ch}), responsável pela pelagem chinchila, e outro recessivo (c), responsável pela pelagem albina. Acompanhe a seguir o diagrama do cruzamento. (Fig. 17.5)

Herança monogênica na cor de coelhos



Gametas ♀ / Gametas ♂	$\frac{1}{2}$ c^{ch}	$\frac{1}{2}$ c
$\frac{1}{2}$ c^{ch}	$\frac{1}{4}$ $c^{ch}c^{ch}$	$\frac{1}{4}$ $c^{ch}c$
$\frac{1}{2}$ c	$\frac{1}{4}$ $c^{ch}c$	$\frac{1}{4}$ cc

B

Coelho chinchila

STUDIOSMART/SHUTTERSTOCK

Coelho albino

ERIK LAM/SHUTTERSTOCK

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17.5. (A) Representação esquemática do cruzamento entre coelhos albino e chinchila de linhagens puras e formação das gerações F_1 e F_2; (B) fotografias de coelhos de pelagens chinchila e albina. Os animais têm cerca de 40 cm de comprimento.

O diagrama mostra que se formam três tipos de genótipos em F_2: $c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c$ e cc, na proporção de 1 : 2 : 1 ($\frac{1}{4}$ $c^{ch}c^{ch}$: $\frac{2}{4}$ $c^{ch}c$: $\frac{1}{4}$ cc). Quanto ao fenótipo, a descendência F_2 esperada é de 3 coelhos chinchilas para 1 coelho albino.

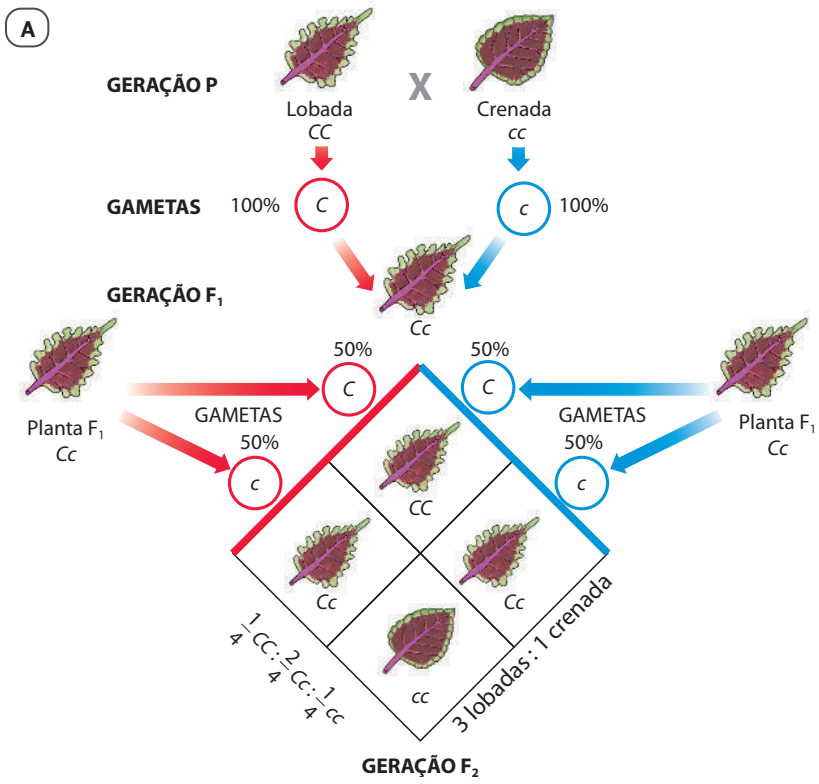
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Herança do tipo de folha em cóleo

As folhas da planta ornamental cóleo (*Coleus blumei*) podem apresentar bordas recortadas (lobadas) ou bordas onduladas (crenadas). Quando plantas puras dessas duas variedades são cruzadas, a geração F_1 é inteiramente constituída por plantas de folhas lobadas. O cruzamento entre plantas da geração F_1 produz uma geração F_2 constituída por $\frac{3}{4}$ (75%) de plantas com folhas lobadas e $\frac{1}{4}$ (25%) com folhas crenadas, o que corresponde à proporção de 3 lobadas para 1 crenada (3 : 1).

Os resultados desse cruzamento estão de acordo com o previsto pela primeira lei de Mendel. A borda da folha seria condicionada por um gene com duas formas alélicas: o alelo dominante *C* condiciona folha lobada e o alelo recessivo *c* condiciona folha crenada. (Fig. 17.6)

Herança monogênica em *Coleus blumei*



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

STEFFEN HAUSER/BOTANIKFOTO/ALAMY/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 17.6. (A) Representação esquemática do cruzamento entre plantas de linhagens puras de *Coleus blumei*, uma com folhas lobadas e a outra com folhas crenadas, com obtenção das gerações F_1 e F_2; (B) variedades de *Coleus blumei* com folhas crenadas. As folhas maiores têm aproximadamente 10 cm de largura.

Herança mendeliana na espécie humana

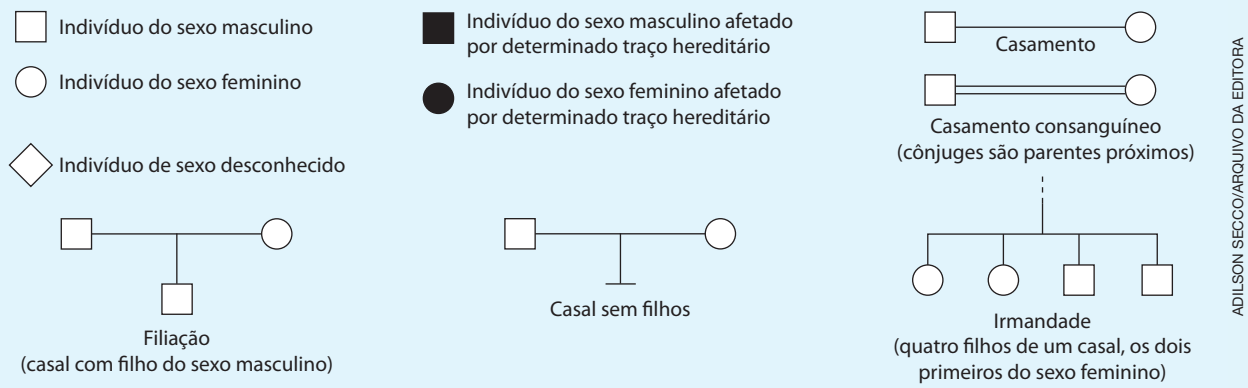
Na espécie humana, os estudos genéticos não utilizam cruzamentos dirigidos, como em outras espécies. O trabalho do geneticista humano consiste em analisar os membros de uma ou mais famílias portadoras da característica em estudo com o objetivo de identificar padrões de herança.

As relações de parentesco entre os membros das famílias são representadas por meio de **heredogramas** (do latim *heredium*, herança), ou **árvores genealógicas**, diagramas que facilitam a visualização da transmissão e do comportamento das características hereditárias ao longo das gerações.

Nos heredogramas, pessoas do sexo masculino são representadas por quadrados, e as do sexo feminino, por círculos. Pessoas cujo sexo se desconhece são representadas por losangos. O casamento, no sentido biológico de procriação, é indicado por um traço horizontal que une os dois membros do casal.

Filhos são representados por quadrados, círculos ou losangos unidos por traços verticais ao traço horizontal do casal. (Fig. 17.7)

Simbologia utilizada em heredogramas



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de BEIGUELMAN, B. **A interpretação genética da variabilidade humana**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2008.

Figura 17.7. Simbologia utilizada na confecção de heredogramas.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Heredograma da família

Seu desafio nesta atividade é contar com a colaboração de sua família para elaborar um heredograma referente a ela, identificando, se possível, cada pessoa pelo nome e pela idade, além de outras anotações que julgar importantes.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Resolvendo problemas de Genética

O albinismo tipo I na espécie humana é condicionado por um alelo recessivo (*a*). Pessoas com genótipo *aa* são albinas devido à ausência do pigmento melanina na epiderme, apresentando pele, cabelo e olhos muito claros. Pessoas com ao menos um alelo *A* no genótipo (*AA* e *Aa*) apresentam pigmentação normal.

Pedro tem pigmentação normal, assim como seus pais. Entretanto, a avó materna e o avô paterno de Pedro são albinos. Maria apresenta pigmentação normal e, na linhagem familiar de sua mãe, não se conhece nenhuma pessoa albina. O pai de Maria também apresenta pigmentação normal, mas seu avô paterno era albino. Pedro e Maria se casaram, e casos de albinismo em suas famílias os levaram a procurar um geneticista para um aconselhamento genético.

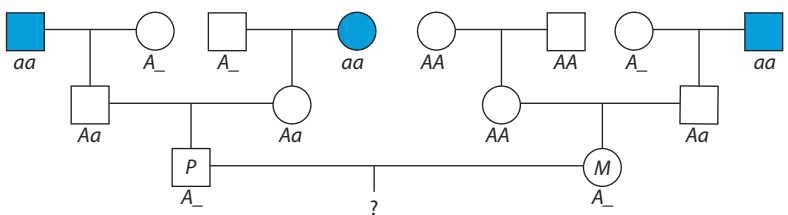
O casal tinha as seguintes perguntas:

a. Há alguma chance de um filho nosso vir a ser albino?

b. Se tivermos um filho albino, qual é a probabilidade de um segundo filho também ser albino?

Resolução

O passo inicial é construir um heredograma dos familiares e determinar os genótipos possíveis dos indivíduos do heredograma. O casal Pedro e Maria estão representados pelas letras *P* e *M*. O alelo desconhecido é representado por um traço baixo ao lado do alelo conhecido (no caso, *A_*).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

CONTINUA

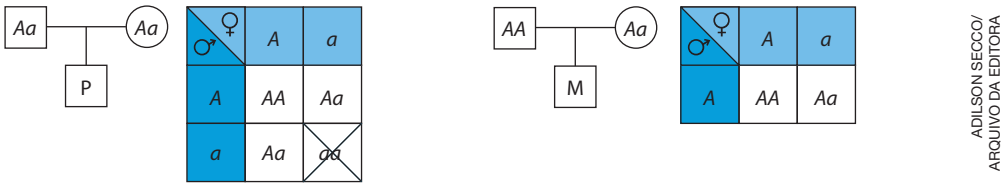
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

A primeira pergunta do casal foi: há chance de termos um filho albino? Para que Maria e Pedro tenham um filho albino, eles têm que ser heterozigóticos, portadores do alelo para o albinismo. Pedro não é albino e, portanto, apresenta ao menos um alelo *A* em seu genótipo. A probabilidade de ele ter recebido um alelo *A* do pai e um *A* da mãe e ser homozigótico *AA*, é de $\frac{1}{3}$. A probabilidade de ele ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$, uma vez que ele pode ter recebido um alelo *A* do pai e um *a* da mãe, ou um alelo *a* do pai e um *A* da mãe (acompanhe no diagrama a seguir).

A probabilidade de Maria ser heterozigótica é $\frac{1}{2}$, assumindo que seu alelo *A* veio da mãe, supostamente homozigótica *AA*. Essa suposição se baseia no fato de que nunca houve, na ancestralidade materna, nenhum caso de albinismo. Maria pode ter recebido o alelo *a* de seu pai, com probabilidade de $\frac{1}{2}$, pois ele é heterozigótico (*Aa*), uma vez que sua mãe, a avó materna de Maria, é albina.

Os esquemas a seguir apresentam a probabilidade de Pedro ser heterozigótico ($\frac{2}{3}$), à esquerda, e de Maria ser heterozigótica ($\frac{1}{2}$), à direita.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Um filho de Pedro e Maria será albino se ocorrerem, simultaneamente, três eventos:

1) Pedro ser heterozigótico (probabilidade = $\frac{2}{3}$)
2) Maria ser heterozigótica (probabilidade = $\frac{1}{2}$)
3) Pedro e Maria transmitirem seus alelos *a* ao filho (probabilidade = $\frac{1}{4}$)

A probabilidade de esses eventos ocorrerem simultaneamente é o produto de suas probabilidades, individuais $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{2}{24}$, ou $\frac{1}{12}$.

A segunda pergunta do casal acrescenta um dado interessante ao problema. Se Pedro e Maria tiverem efetivamente uma criança albina, as dúvidas sobre seus genótipos deixam de existir, pois eles serão certamente heterozigóticos. Assim, a probabilidade de uma próxima criança do casal vir a ser albina é $\frac{1}{4}$, ou 25%.

4. Variações no modelo mendeliano de herança

Os estudos genéticos nos primeiros anos do século XX confirmaram que a herança de diversas características seguia a primeira lei de Mendel. Entretanto, em certas características estudadas, as proporções na descendência divergiam do esperado segundo os pressupostos mendelianos. Os estudos mostraram, porém, que o modelo mendeliano era válido nesses casos, admitindo-se algumas situações especiais, como veremos a seguir.

Alelos letais

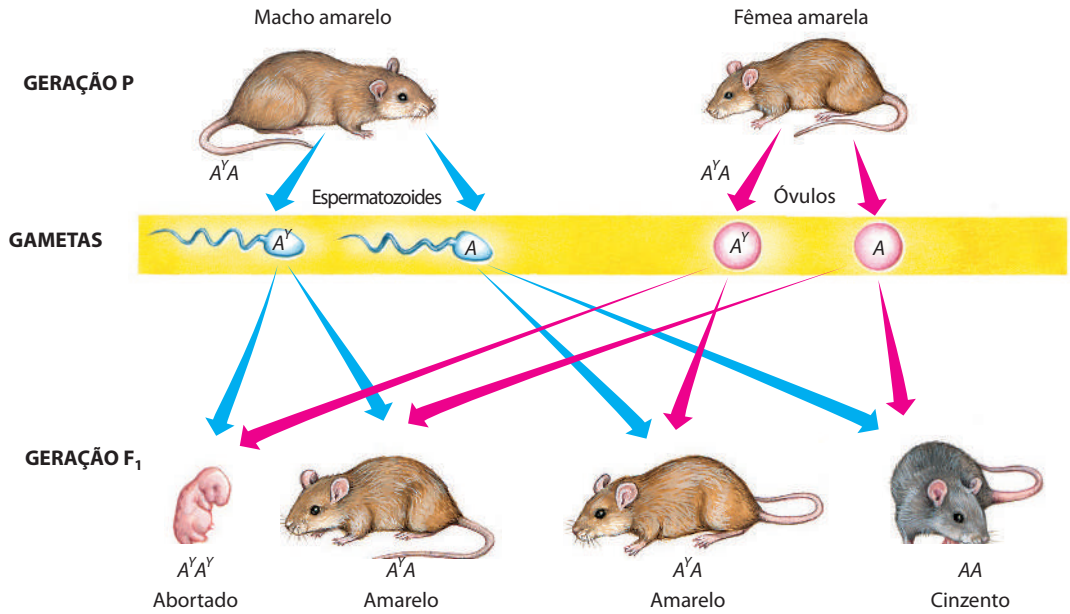
Em 1905, o biólogo francês Lucien Cuénot (1866-1951) observou que o cruzamento entre camundongos de pelagem amarela produzia uma descendência constituída por $\frac{2}{3}$ de indivíduos amarelos e $\frac{1}{3}$ de indivíduos cinzentos (proporção 2 : 1). Cruzamentos de camundongos cinzentos produziam apenas descendentes cinzentos.

Cuénot supôs que a pelagem cinzenta dos camundongos era condicionada por um alelo recessivo (*A*) e que a pelagem amarela era condicionada por seu alelo dominante (A^Y). Para explicar a proporção 2 : 1, em vez de 3 : 1, ele formulou a hipótese de que o alelo para pelagem amarela seria letal em dose dupla, isto é, causaria a morte em condição homozigótica, de modo que camundongos portadores do genótipo A^YA^Y morreriam logo no início do desenvolvimento embrionário. Consequentemente, camundongos de pelagem amarela seriam sempre heterozigóticos (A^YA).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A hipótese levantada por Cuénot foi confirmada anos mais tarde, quando pesquisadores demonstraram que aproximadamente 25% dos embriões resultantes do cruzamento entre camundongos de pelagem amarela morriam precocemente no útero das fêmeas. (Fig. 17.8)

Alelo letal em camundongos



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

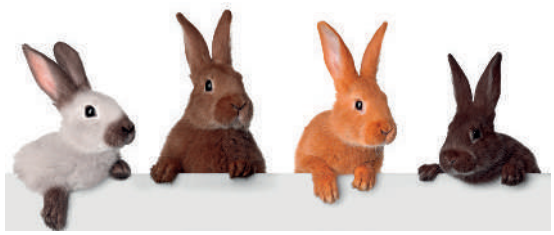
Figura 17.8. Representação esquemática de cruzamentos entre camundongos portadores do alelo A^Y, letal na condição homozigota. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Alelos que causam a morte prematura de seus portadores são denominados **alelos letais**, e sua presença já foi identificada em diversos organismos. Na espécie humana, há evidências de que a **acondroplasia**, uma forma de nanismo, é condicionada por um alelo que, em homozigose, causa a morte do embrião ainda no início do desenvolvimento.

Alelos múltiplos

Ainda no começo dos estudos genéticos, descobriu-se que um gene pode ocorrer na população em três ou mais formas alélicas, embora cada indivíduo diploide apresente apenas dois exemplares de cada gene, um proveniente de cada genitor. Esse é o conceito de **alelos múltiplos**, em que há mais de duas formas alélicas de um gene na população.

Um dos primeiros casos estudados de alelos múltiplos foi o de um gene para um tipo de cor de pelagem em coelhos. Esse gene se apresenta em quatro formas alélicas: *C*, que determina pelagem castanho-acinzentada (selvagem, ou aguti); c^{ch}, que determina pelagem cinza (chinchila); c^h, que determina pelagem branca com extremidades escuras (himalaia); *c*, que condiciona pelagem branca (albina). (Fig. 17.9)



NEW AFRICA/SHUTTERSTOCK

Figura 17.9. Quatro tipos de pelagem em coelhos: chinchila, à esquerda; himalaia, atrás; selvagem, à direita; albina, na frente. Os animais têm cerca de 40 cm de comprimento.

O alelo *C* comporta-se como dominante sobre os outros três. O alelo c^{ch}, recessivo em relação a *C*, comporta-se como dominante sobre c^h e sobre *c*. O alelo c^h é recessivo em relação a *C* e c^{ch} e dominante sobre *c*. O alelo *c* é recessivo em relação aos outros três alelos. A relação de dominância entre os quatro alelos pode ser representada por $C > c^{ch} > c^h > c$.

Como os alelos ocorrem em pares nos indivíduos, há dez tipos possíveis de genótipos em coelhos quanto a esse gene, que determinam os quatro tipos de fenótipos. (Quadro 17.1)

Quadro 17.1 Genótipos e fenótipos na cor da pelagem em coelhos

Genótipos	Fenótipos
CC, Cc^{ch}, Cc^h e Cc	Selvagem
$c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c^h$ e $c^{ch}c$	Chinchila
c^hc^h e c^hc	Himalaia
cc	Albino

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dominância incompleta e codominância

Estudos mostraram que, em certos casos, indivíduos heterozigóticos apresentam fenótipo intermediário em relação aos homozigóticos. Fala-se, nesses casos, em **dominância incompleta** entre os alelos. Por exemplo, na planta boca-de-leão (*Antirrhinum majus*), indivíduos homozigóticos para um dos alelos para a cor das flores têm flores vermelhas, os homozigóticos para o outro alelo têm flores brancas, e os heterozigóticos têm flores cor-de-rosa. A explicação é que um dos alelos do gene para cor da flor funciona normalmente, determinando a síntese de pigmentos, enquanto o outro alelo é inativo, não determinando a síntese de pigmentos. As plantas homozigóticas, que apresentam dois alelos funcionais para a síntese de pigmento vermelho, produzem-no em quantidade tal que as flores têm coloração vermelha intensa. Indivíduos heterozigóticos, em que há apenas um alelo funcional do gene, produzem cerca de metade do pigmento formado pelos homozigóticos, de modo que a cor das pétalas é mais clara, cor-de-rosa. Indivíduos homozigóticos para o alelo não funcional têm flores brancas, uma vez que não produzem pigmento.

Há casos em que indivíduos heterozigóticos para determinado gene expressam, simultaneamente, os fenótipos dos dois tipos de indivíduos homozigóticos. Esse fenômeno é denominado **codominância**. A explicação para a codominância é que ambos os alelos presentes nos heterozigotos são funcionais. Assim, o indivíduo heterozigótico apresenta os produtos de ambos os alelos, exibindo características presentes nos homozigóticos para cada tipo de alelo.

Um exemplo de codominância é o sistema de grupos sanguíneos *MN* na espécie humana, em que os dois alelos de um gene, A^M e A^N, são responsáveis pela presença dos antígenos *M* e *N* nas hemácias, respectivamente. Pessoas homozigóticas A^MA^M apresentam apenas antígenos *M* nas hemácias e pertencem ao grupo sanguíneo *M*; pessoas homozigóticas A^NA^N apresentam apenas antígenos *N* nas hemácias e pertencem ao grupo *N*; pessoas heterozigóticas A^MA^N apresentam ambos os antígenos, *M* e *N*, nas hemácias e pertencem ao grupo *MN*.

5. Herança de grupos sanguíneos na espécie humana

O sistema ABO

No início do século XX, o médico austríaco Karl Landsteiner (1868-1943) verificou que, quando sangue de pessoas diferentes eram misturados, em certos casos ocorria aglutinação e aglomeração das hemácias. Em 1902, a partir do estudo de misturas de sangue de diferentes pessoas, a equipe de Landsteiner classificou o sangue humano em quatro tipos, A, B, AB e O, caracterizando o **sistema ABO**.

Landsteiner concluiu que a incompatibilidade entre os grupos sanguíneos do sistema ABO era decorrente de uma reação entre certas substâncias presentes no plasma sanguíneo, as **aglutininas**, e substâncias presentes na membrana das hemácias, os **aglutinogênios**. Landsteiner e sua equipe concluíram que os tipos sanguíneos do sistema ABO humano envolvem dois tipos de aglutinogênios, denominados A e B, e dois tipos de aglutininas, denominadas anti-A e anti-B. (Quadro 17.2)

Quadro 17.2 Aglutinogênios e aglutininas do sistema ABO

Grupo sanguíneo	Aglutinogênios (nas hemácias)	Aglutininas (no plasma)
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A e B	—
O	—	anti-A e anti-B

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Determinando o tipo sanguíneo no sistema ABO

A determinação do tipo sanguíneo de uma pessoa quanto ao sistema ABO é feita misturando duas gotas de seu sangue com duas soluções diferentes, uma delas contendo aglutinina anti-A e a outra contendo aglutinina anti-B. Se ocorrer aglutinação do sangue da pessoa apenas com a solução anti-A, ela pertence ao grupo A. Se ocorrer aglutinação apenas com a solução anti-B, ela pertence ao grupo B. Se ocorrer aglutinação do sangue com as duas aglutininas, a pessoa pertence ao grupo AB. Se não ocorrer aglutinação do sangue com nenhuma das aglutininas, a pessoa pertence ao grupo O.

Pessoas do grupo sanguíneo AB não têm aglutininas anti-A ou anti-B no plasma. Assim, elas podem receber qualquer tipo de sangue (A, B, AB ou O). Pessoas com sangue AB são chamadas de **receptores universais**. Por outro lado, pessoas do grupo sanguíneo O têm os dois tipos de aglutininas no plasma, e somente podem receber sangue de seu próprio grupo sanguíneo, O. No entanto, como não apresentam nenhum dos dois aglutinogênios, A ou B, pessoas do grupo sanguíneo O podem doar sangue para pessoas de qualquer outro grupo do sistema ABO, sendo por isso chamadas de **doadores universais**. (Quadro 17.3)

Quadro 17.3 Transfusão sanguínea no sistema ABO

Grupo sanguíneo da pessoa	Recebe de	Doa para
A	A e O	A e AB
B	B e O	B e AB
AB	A, B, AB e O	AB
O	O	A, B, AB e O

Apesar dessas possibilidades de transfusão, nos bancos de sangue sempre se dá preferência a transfusões entre pessoas de mesmo tipo sanguíneo.

Transfusões incompatíveis podem trazer graves consequências para a saúde e mesmo levar à morte, pois as hemácias do sangue recebido se aglutinam, formando aglomerados que podem causar obstrução de capilares sanguíneos.

A herança do sistema ABO

Os quatro fenótipos do sistema sanguíneo ABO – A, B, AB e O – são determinados por um gene que se apresenta em três formas alélicas: I^A, I^B e i. Trata-se, portanto, de um caso de alelos múltiplos. O alelo I^A determina a presença do aglutinogênio A nas hemácias, o alelo I^B determina a presença do aglutinogênio B, e o alelo i não determina nenhum desses aglutinogênios.

Pessoas com genótipos I^AI^A ou I^Ai têm apenas aglutinogênio A nas hemácias e sangue do tipo A. Pessoas com genótipos I^BI^B ou I^Bi têm apenas aglutinogênio B e sangue do tipo B. Pessoas com genótipo I^AI^B têm ambos os aglutinogênios, e seu sangue é do tipo AB. Pessoas com genótipo ii não têm nenhum dos aglutinogênios e seu sangue é do tipo O. (Quadro 17.4)

Quadro 17.4 Relação entre genótipos e fenótipos no sistema ABO

Fenótipos	Genótipos
Grupo A	I^AI^A ou I^Ai
Grupo B	I^BI^B ou I^Bi
Grupo AB	I^AI^B
Grupo O	ii

Os alelos I^A e I^B comportam-se como codominantes. Ambos se expressam na condição heterozigótica, produzindo, respectivamente, os aglutinogênios A e B. O alelo i é recessivo em relação aos outros dois. As relações de dominância entre esses três alelos podem ser representadas por $I^A = I^B > i$.

O sistema Rh

Na década de 1940, Landsteiner e sua equipe identificaram um outro sistema de grupos sanguíneos na espécie humana, o **sistema Rh**, que despertou interesse por estar associado a uma doença de recém-nascidos, a **eritroblastose fetal**. No sistema Rh de grupos sanguíneos, são considerados dois fenótipos, **Rh positivo** (**Rh**$^+$) e **Rh negativo** (**Rh**$^-$). Pessoas Rh$^+$ apresentam o fator Rh na membrana de suas hemácias, enquanto pessoas Rh$^-$ não apresentam esse fator. Para identificar o fenótipo de uma

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

pessoa quanto ao sistema Rh, mistura-se uma gota de seu sangue a uma solução com anticorpos anti-Rh. Se as hemácias aglutinarem, a pessoa é Rh^+; se não houver aglutinação, a pessoa é Rh^-.

O fator Rh foi descoberto em um experimento em que os cientistas injetaram hemácias de um macaco reso (*Macaca mulatta*) em coelhos, os quais produziram um anticorpo que foi denominado anti-Rh (abreviatura do inglês *anti-**Rh**esus*). Ao testar o anticorpo anti-Rh em sangue humano, os pesquisadores verificaram que ele provocava a aglutinação das hemácias em cerca de 85% das pessoas testadas. A conclusão foi que nas hemácias dessas pessoas havia um antígeno semelhante ao dos macacos resos, que foi denominado **fator Rh**. As pessoas que reagiram ao anti-Rh foram chamadas Rh positivas, ou Rh^+. Em cerca de 15% das pessoas testadas, não ocorreu aglutinação das hemácias, e a conclusão foi que essas pessoas não apresentavam o fator Rh, por isso foram chamadas Rh negativas, ou Rh^-.

A herança do sistema Rh

Os fenótipos Rh positivo e Rh negativo são condicionados por dois alelos, *R* e *r*. O alelo *R* se comporta como dominante sobre *r*. Se a pessoa apresentar um alelo dominante em seu genótipo (*RR* ou *Rr*), ela terá o fator Rh nas hemácias e fenótipo Rh^+. Pessoas homozigóticas recessivas (*rr*) não apresentam o fator Rh, e seu fenótipo é Rh^-.

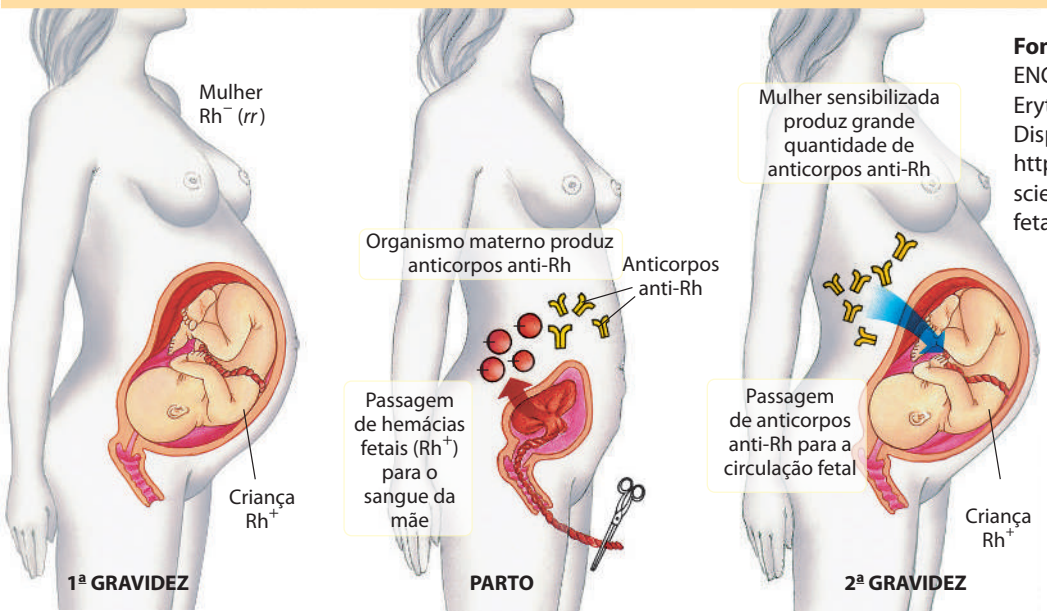
Uma pessoa Rh^+ não é capaz de produzir anticorpos anti-Rh, pois apresenta o fator Rh em suas hemácias. Uma pessoa Rh^-, em condições normais, também não apresenta anticorpos anti-Rh no sangue, entretanto ela produzirá esses anticorpos se for sensibilizada. Isso ocorre se a pessoa Rh^-entrar em contato com sangue Rh^+, por exemplo, se ela receber transfusão de sangue Rh^+ou, no caso de mulheres Rh^-, se ficarem grávidas de uma criança Rh^+.

Incompatibilidade materno-fetal no sistema Rh

Mulheres Rh^-, se engravidarem de uma criança Rh^+, podem ser sensibilizadas e passar a produzir anticorpos anti-Rh. Isso ocorre porque durante a gravidez há pequenas rupturas na placenta e passagem de sangue fetal Rh^+ para a mãe, que é sensibilizada e passa a produzir anticorpos anti-Rh^+. Esses anticorpos, ao passarem para o feto, podem levar à destruição das hemácias Rh^+ fetais.

Na primeira gravidez, o nível de sensibilização é relativamente baixo, e a quantidade de anticorpos na circulação materna geralmente não chega a afetar a criança. Entretanto, na hora do parto, com o desprendimento da placenta, hemácias do bebê passam para a circulação materna, sensibilizando fortemente a mulher e acarretando consequências para gestações posteriores. Em uma gravidez seguinte, se a criança for Rh^+, a mãe pode produzir anticorpos anti-Rh em grande quantidade devido à resposta imunitária secundária. Os anticorpos atravessam a placenta e entram na circulação fetal, destruindo suas hemácias. (Fig. 17.10)

Sensibilização de mulher Rh^- em gravidez de criança Rh^+



PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de ENCYCLOPEDIA Britannica. Erythroblastosis fetalis. Disponível em: https://www.britannica.com/science/erythroblastosis-fetalis. Acesso em: 2 out. 2024.

Figura 17.10. Representação esquemática do processo da sensibilização de uma mulher Rh^- por uma criança Rh^+. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A destruição das hemácias, ou hemólise, causada pelos anticorpos maternos, provoca no recém-nascido forte anemia e icterícia (pele amarelada) em decorrência da presença de hemoglobina no plasma. Para compensar a diminuição de hemácias, o organismo fetal libera na circulação hemácias imaturas, chamadas de eritroblastos. Esses sintomas caracterizam a **doença hemolítica do recém-nascido** (**DHRH**), também chamada de **eritroblastose fetal**.

Atualmente é possível evitar a eritroblastose fetal administrando à mulher Rh^- que dá à luz uma criança Rh^+ uma injeção intravenosa de anticorpos anti-Rh, no momento do parto. Os anticorpos anti-Rh se combinam com as hemácias fetais Rh^+ e evitam a sensibilização da mulher.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.c Qual alternativa contém o ponto fundamental da hipótese proposta por Mendel, que constitui a 1ª lei da herança?

a. Autofecundação.
b. Fecundação cruzada.
c. Separação dos fatores hereditários na formação dos gametas.
d. União dos fatores hereditários na formação dos gametas.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 2 e 3.

a. dois fenótipos, um correspondente aos genótipos homozigótico dominante e heterozigótico, e outro correspondente ao genótipo homozigótico recessivo.
b. dois fenótipos, um correspondente aos genótipos homozigótico recessivo e heterozigótico, e outro correspondente ao genótipo homozigótico dominante.
c. três fenótipos, cada um correspondente a um genótipo.
d. apenas um fenótipo, correspondente aos três genótipos.

2. 2.a Um gene com dois alelos, um dominante sobre o outro, determina (■).

3. 3.c Um gene com dois alelos e dominância incompleta determina (■).

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 4 e 5.

a. duas células, cada uma com os alelos *A* e *a*.
b. duas células, uma com o alelo *A*, e a outra com alelo *a*.
c. quatro células, cada uma com os alelos *A* e *a*.
d. quatro células, duas com o alelo *A* e duas com o alelo *a*.

4. 4.d Uma célula com genótipo *Aa* origina, ao fim da meiose, (■).

5. 5.a Uma célula com genótipo *Aa* origina, ao fim da mitose, (■).

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 6 e 7.

a. 100% de indivíduos com fenótipo dominante.
b. 100% de indivíduos com fenótipo recessivo.
c. 75% de indivíduos com fenótipo dominante e 25% com fenótipo recessivo.
d. 50% de indivíduos com fenótipo dominante e 50% com fenótipo recessivo.

6. 6.a O chamado cruzamento-teste, em que se cruza um indivíduo de fenótipo dominante (*AA* ou *Aa*) com um de fenótipo recessivo (*aa*), revela que o indivíduo testado é homozigótico se sua descendência for constituída por (■).

7. 7.d O cruzamento-teste revela que um indivíduo de fenótipo dominante é heterozigótico se sua descendência for constituída por (■).

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 8 a 11.

a. pode receber sangue de pessoas A, B, AB e O, e doar apenas para pessoas AB.
b. pode receber sangue de pessoas A e O, e doar para pessoas A e AB.
c. pode receber sangue de pessoas B e O, e doar para pessoas B e AB.
d. pode receber sangue apenas de pessoas O, e doar para pessoas A, B, AB e O.

8. 8.b Uma pessoa do grupo sanguíneo A (■).

9. 9.c Uma pessoa do grupo sanguíneo B (■).

10. 10.a Uma pessoa do grupo sanguíneo AB (■).

11. 11.d Uma pessoa do grupo sanguíneo O (■).

12. 12.c Duas pessoas, uma do grupo sanguíneo AB e outra do grupo O, podem ter filhos com sangue do tipo

a. AB, apenas.
b. O, apenas.
c. A e B.
d. A, B e O.

13. 13.d Duas pessoas do grupo sanguíneo AB podem ter filhos com sangue do tipo

a. AB, apenas.
b. O, apenas.
c. A e B.
d. A, B e AB.

14. 14.b Considere as seguintes situações:

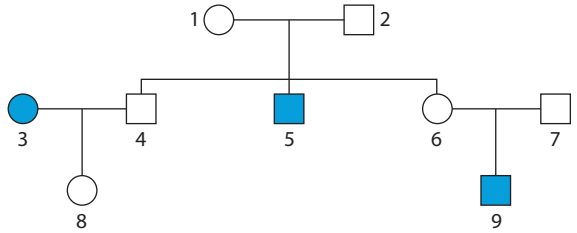
I. Mãe Rh^+ e pai Rh^-
II. Mãe Rh^- e pai Rh^+
III. Mãe e pai Rh^+
IV. Mãe e pai Rh^-

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pode ocorrer eritroblastose fetal apenas

a. na situação I.
b. na situação II.
c. nas situações I e II.
d. nas situações II e IV.

15. Analise o heredograma a seguir, em que os indivíduos masculinos são representados por quadrados, e os femininos, por círculos. Os indivíduos escuros são homozigóticos recessivos.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

a. Quais são os indivíduos certamente heterozigóticos?
b. Qual é a probabilidade de o indivíduo 4 ser heterozigótico?
c. Qual é a probabilidade de que um filho do casal 3 × 4 seja homozigótico recessivo?

Questões de vestibulares e do Enem

16. (Fuvest-SP) Em plantas de ervilha ocorre, normalmente, autofecundação. Para estudar os mecanismos de herança, Mendel fez fecundações cruzadas, removendo as anteras da flor de uma planta homozigótica de alta estatura e colocando, sobre seu estigma, pólen recolhido da flor de uma planta homozigótica de baixa estatura. Com esse procedimento, o pesquisador 16.c

a. impediu o amadurecimento dos gametas femininos.
b. trouxe gametas femininos com alelos para baixa estatura.
c. trouxe gametas masculinos com alelos para baixa estatura.
d. promoveu o encontro de gametas com os mesmos alelos para estatura.
e. impediu o encontro de gametas com alelos diferentes para estatura.

17. (UFSCar-SP) Em relação ao sistema sanguíneo ABO, um garoto, ao se submeter ao exame sorológico, revelou ausência de aglutininas. Seus pais apresentaram grupos sanguíneos diferentes, e cada um apresentou apenas uma aglutinina. Os prováveis genótipos dos pais do menino são 17.e

a. I^Bi — ii.
b. I^Ai — ii.
c. I^AI^B — I^Ai.
d. I^AI^B — I^AI^A.
e. I^Ai — I^Bi.

18. (UFRGS-RS) Em Genética, o cruzamento-teste é utilizado para determinar 18.e

a. o número de genes responsável por uma característica.
b. o padrão de herança de uma característica.
c. a recessividade de uma característica.
d. o grau de penetrância de uma característica.
e. a homozigose ou a heterozigose de um gene dominante.

19. (Fuvest-SP) Numa espécie de planta, a cor das flores é determinada por um par de alelos. Plantas de flores vermelhas cruzadas com plantas de flores brancas produzem plantas de flores cor-de-rosa. Do cruzamento entre plantas de flores cor-de-rosa, resultam plantas com flores 19.b

a. das três cores, em igual proporção.
b. das três cores, prevalecendo as cor-de-rosa.
c. das três cores, prevalecendo as vermelhas.
d. somente cor-de-rosa.
e. somente vermelhas e brancas, em igual proporção.

20. (Enem-MEC) Em um experimento, preparou-se um conjunto de plantas por técnica de clonagem a partir de uma planta original que apresentava folhas verdes. Esse conjunto foi dividido em dois grupos, que foram tratados de maneira idêntica, com exceção das condições de iluminação, sendo um grupo exposto a ciclos de iluminação solar natural e outro mantido no escuro. Após alguns dias, observou-se que o grupo exposto à luz apresentava folhas verdes como a planta original e o grupo cultivado no escuro apresentava folhas amareladas. Ao final do experimento, os dois grupos de plantas apresentaram 20.b

a. os genótipos e os fenótipos idênticos.
b. os genótipos idênticos e os fenótipos diferentes.
c. diferenças nos genótipos e fenótipos.
d. o mesmo fenótipo e apenas dois genótipos diferentes.
e. o mesmo fenótipo e grande variedade de genótipos.

21. (Unicamp-SP) No início do século XX, o austríaco Karl Landsteiner, misturando o sangue de indivíduos diferentes, verificou que apenas algumas combinações eram compatíveis. Descobriu, assim, a existência do chamado sistema ABO em humanos. No quadro abaixo são mostrados os genótipos possíveis e os aglutinogênios correspondentes a cada tipo sanguíneo.

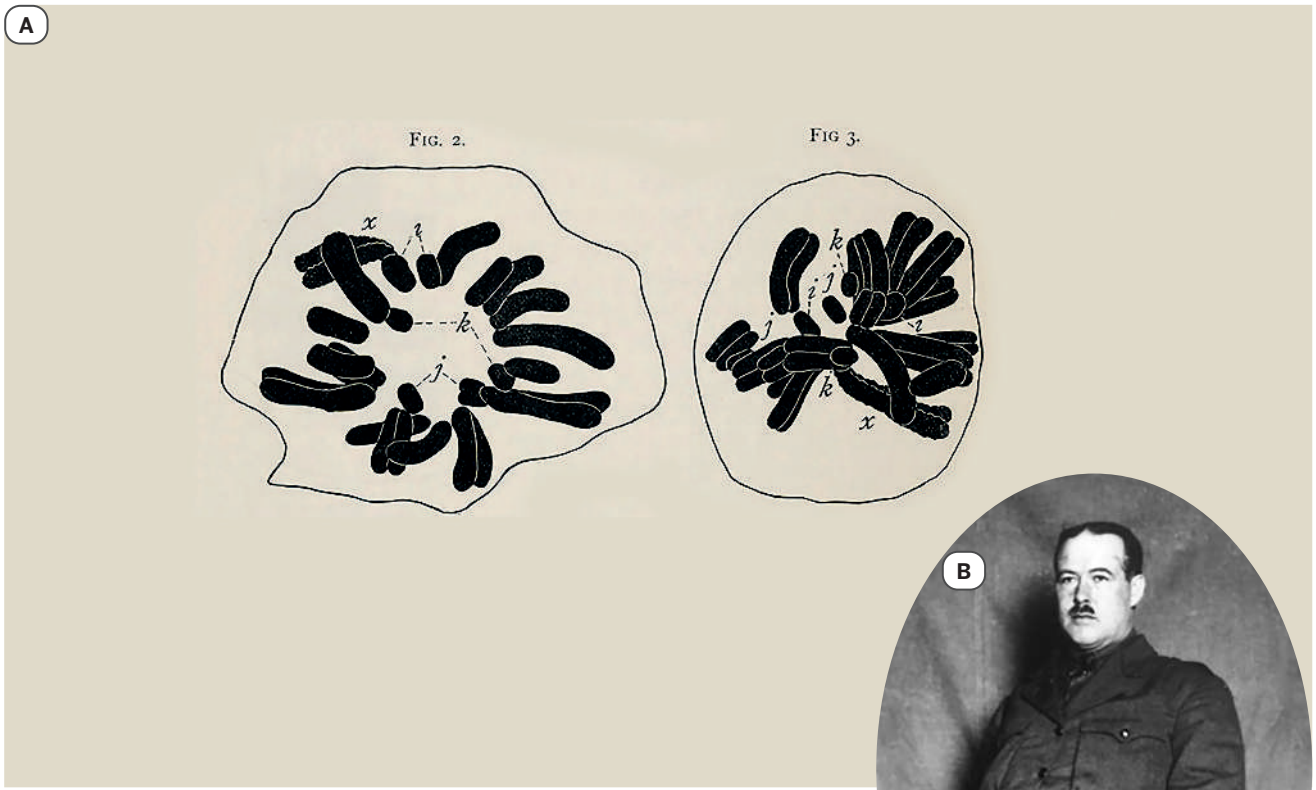
Tipo sanguíneo	Genótipo	Aglutinogênio
A	I^AI^A ou I^Ai	A
B	I^BI^B ou I^Bi	B
A e B	I^AI^B	A e B
O	ii	Nenhum

a. Que tipo ou tipos sanguíneos poderiam ser utilizados em transfusão de sangue para indivíduos de sangue tipo A? Justifique.
b. Uma mulher com tipo sanguíneo A, casada com um homem com tipo sanguíneo B, tem um filho considerado doador de sangue universal. Qual a probabilidade de esse casal ter um(a) filho(a) com tipo sanguíneo AB? Justifique sua resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 18

As bases cromossômicas da herança



WALTER SUTTON/BIBLIOTECA LINDA HALL, KANSAS

REPRODUÇÃO/UNIVERSITY OF KANSAS MEDICAL CENTER

(A) Desenhos elaborados pelo pesquisador estadunidense Walter Sutton a partir de observações microscópicas de células em meiose de gafanhotos. (B) Retrato de Sutton, o primeiro a sugerir que as hipóteses de Mendel sobre a segregação dos fatores genéticos deviam-se à sua localização nos cromossomos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Este capítulo dá continuidade aos estudos sobre a herança biológica e o passo a passo na consolidação dessa área do conhecimento, empreendida por várias gerações de cientistas. Ao imaginar a existência de fatores hereditários presentes em pares nos indivíduos, e que esses fatores se separavam na formação dos gametas, Mendel estava antecipando as ideias de diploidia, haploidia e o evento reducional que ocorre na meiose.

Mais de 35 anos depois, Walter Sutton, a partir de observações microscópicas da meiose em gafanhotos, concluiu que os fatores imaginados por Mendel estavam localizados nos cromossomos. Essa ideia representou um grande avanço na compreensão dos mecanismos genéticos, inaugurando a chamada **teoria cromossômica da herança**.

Neste capítulo vamos abordar os estudos de Mendel sobre a herança simultânea de duas ou mais características genéticas, que o levaram propor a lei da segregação independente dos fatores hereditários. No último item do capítulo, é estudada a transmissão de genes localizados no mesmo cromossomo, entre os quais não ocorre segregação independente.

1. A segregação independente de genes

Além de estudar isoladamente cada uma das sete características da ervilha, como foi visto no capítulo anterior, Mendel também analisou a transmissão combinada de duas ou mais dessas características. Em um desses experimentos, ele analisou simultaneamente as heranças da cor da semente (amarela ou verde) e da textura da semente (lisa ou rugosa). Os alelos condicionantes da cor dos cotilédones, que define a cor da semente, foram representados por *V* (cor amarela) e *v* (cor verde) e os alelos para a textura da semente por *R* (semente lisa) e *r* (semente rugosa). (Fig. 18.1)

MARTIN SHIELDS/ALAMY/FOTOARENA

Figura 18.1. Sementes de ervilha (*Pisum sativum*) com fenótipo verde. À esquerda, semente rugosa e, à direita, semente lisa. Cada semente de ervilha mede pouco menos de 1 cm de diâmetro.

Mendel cruzou plantas originadas de sementes duplo-homozigóticas (*VVRR*) com plantas originadas de sementes (*vvrr*). Todas as sementes produzidas na geração F_1 foram duplo-heterozigóticas (*VvRr*).

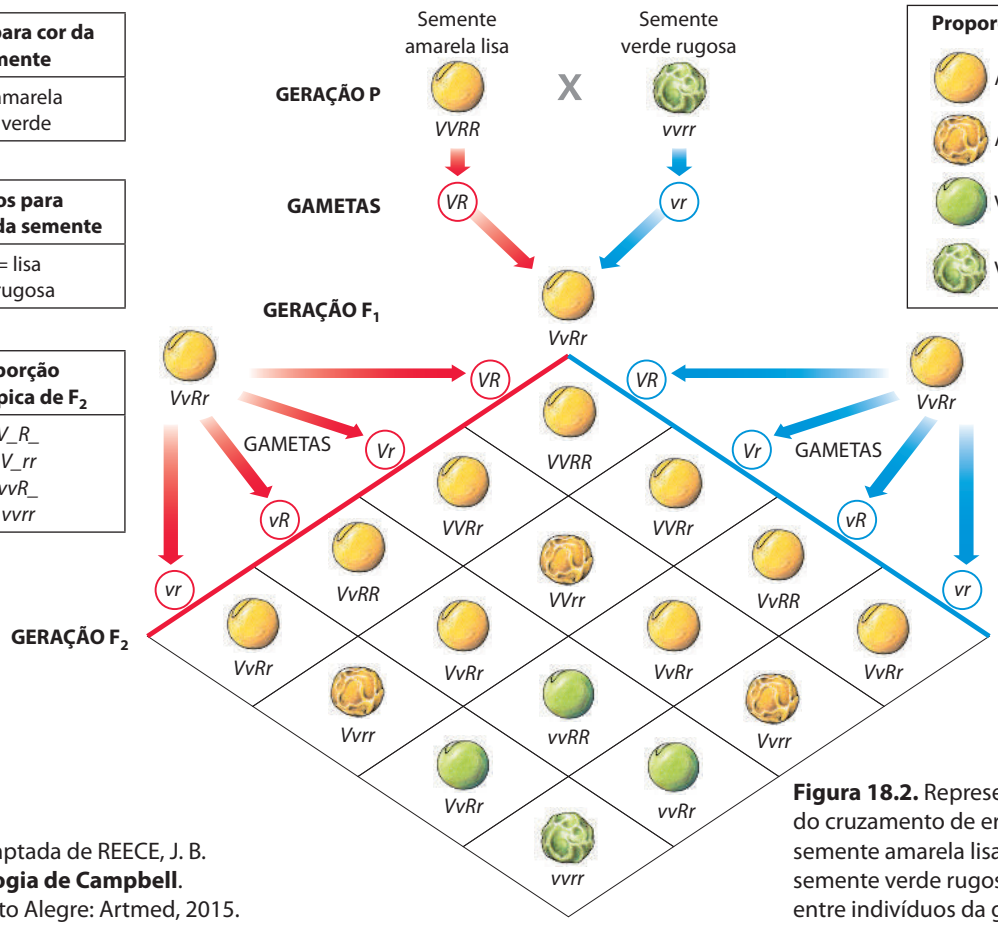
A geração F_2, obtida por autofecundação das plantas F_1, era composta por quatro tipos de sementes, distribuídas na seguinte proporção: 9 amarelas lisas : 3 amarelas rugosas : 3 verdes lisas : 1 verde rugosa (9 : 3 : 3 : 1). Aplicando um raciocínio matemático na interpretação desses resultados, Mendel concluiu que a segregação do par de fatores condicionantes da cor da semente (*V* e *v*) não interferia na segregação dos fatores condicionantes da textura da semente (*R* e *r*). Tratava-se, portanto, de eventos independentes, ou seja, gametas portadores do fator *V* têm chances iguais de conter o fator *R* ou o fator *r*. O mesmo vale para os gametas portadores do fator *v*, que podem conter o fator *R* ou o fator *r* com iguais chances. Assim, uma planta duplo-heterozigótica *VvRr* origina quatro tipos de gametas na proporção de 1 *VR* : 1 *Vr* : 1 *vR* : 1 *vr*. A combinação ao acaso desses gametas explica a proporção fenotípica 9 : 3 : 3 : 1 obtida na geração F_2 dos cruzamentos. (Fig. 18.2)

Segregação independente em ervilhas

Alelos para cor da semente
V = amarela *v* = verde

Alelos para textura da semente
R = lisa *r* = rugosa

Proporção genotípica de F_2
9 *V_R_* 3 *V_rr* 3 *vvR_* 1 *vvrr*



Proporção fenotípica de F_2
Amarela lisa $\frac{9}{16}$
Amarela rugosa $\frac{3}{16}$
Verde lisa $\frac{3}{16}$
Verde rugosa $\frac{1}{16}$

Figura 18.2. Representação esquemática do cruzamento de ervilhas puras de semente amarela lisa com ervilhas de semente verde rugosa e do cruzamento entre indivíduos da geração F_1.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com base nos cruzamentos em que se consideravam duas ou mais características, Mendel propôs a **lei da segregação independente** dos fatores hereditários. Mais tarde, em sua homenagem, a lei passou a ser conhecida também como **segunda lei de Mendel**. O enunciado da segunda lei é: "Os fatores para duas ou mais características segregam-se independentemente no indivíduo heterozigótico e se combinam ao acaso nos gametas formados".

A base celular da segregação independente: meiose

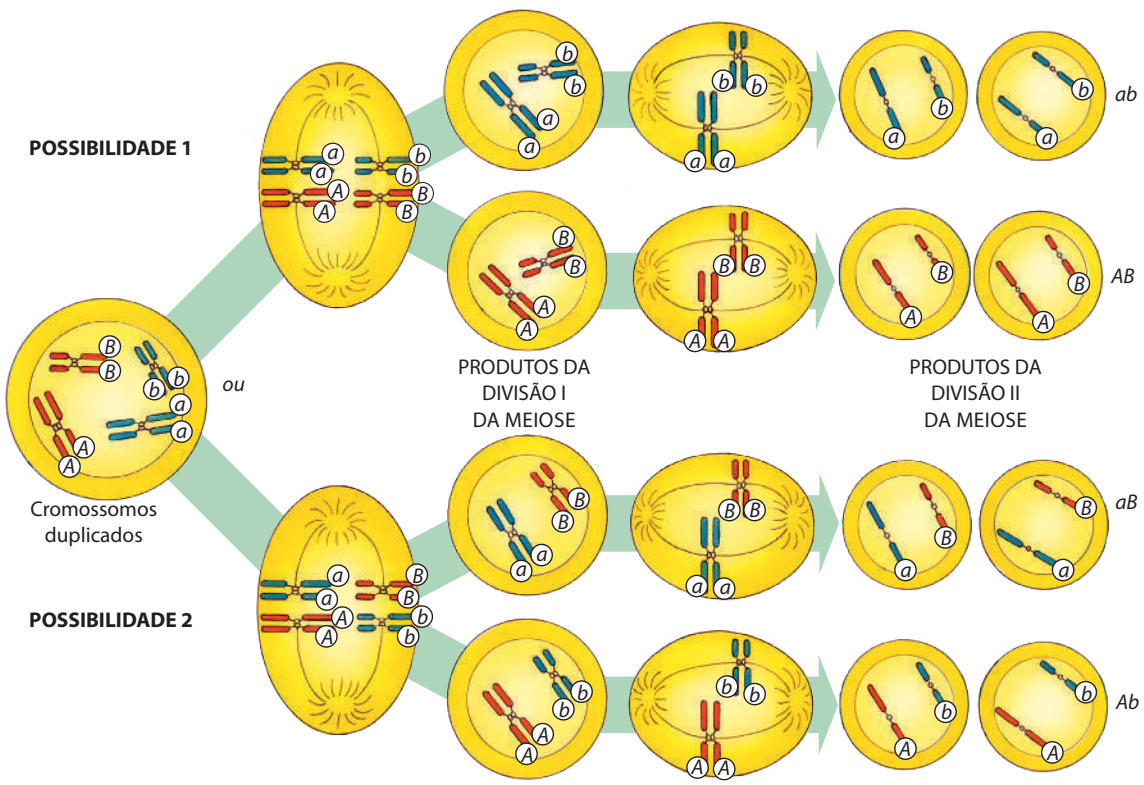
A segregação independente ocorre apenas entre genes situados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Genes situados no mesmo par de homólogos estão fisicamente ligados e só se separam em caso de ocorrência de permutação entre eles, como veremos no último item deste capítulo.

Vamos considerar uma célula duplo-heterozigótica *AaBb*, em que os alelos *Aa* situam-se em um par de cromossomos homólogos, e os alelos *Bb* situam-se em outro par de homólogos. Na primeira divisão da meiose, há duas possibilidades de orientação desses dois pares de cromossomos homólogos em relação aos polos da célula.

- **Possibilidade 1:** O cromossomo portador do alelo dominante *A* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo dominante *B*; consequentemente, o cromossomo com o alelo recessivo *a* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo recessivo *b*.
- **Possibilidade 2:** O cromossomo portador do alelo dominante *A* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo recessivo *b*; consequentemente, o cromossomo com o alelo recessivo *a* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo dominante *B*.

Nas células que sofrem meiose, as possibilidades 1 e 2 têm a mesma probabilidade de ocorrer. Em 1 formam-se dois tipos de gametas *AB* e *ab*. Em 2 formam-se outros dois tipos de gametas: *Ab* e *aB*. Consequentemente, um indivíduo heterozigótico quanto aos genes *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, produz quatro tipos de gametas na proporção de 1 *AB* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *ab*. (Fig. 18.3)

Segregação independente de cromossomos e genes



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al*. **Introdução à Genética**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Figura 18.3. Representação esquemática das duas possibilidades de migração de dois pares de cromossomos homólogos, que leva à segregação independente dos alelos *A* e *a* e *B* e *b* na meiose. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Simulando a segregação independente de genes

Forme um grupo com três ou quatro colegas para realizar a atividade cujo objetivo é simular, por meio de modelos de massa de modelar ou de barbantes, a segregação independente dos cromossomos homólogos e, consequentemente, dos alelos neles localizados. Em um dos pares de cromossomos, devem ser colados dois círculos de papel, um com a letra maiúscula *A* em um dos homólogos, e outro com a letra minúscula *a* no outro homólogo, representando os dois alelos de um gene. No outro par de cromossomos homólogos, devem ser colados também dois círculos de papel, um com a letra *B* em um dos homólogos, e outro com a letra *b* no outro homólogo, para representar os alelos de um segundo gene. Na meiose, ocorrerá separação independente dos cromossomos homólogos e, consequentemente, segregação independente dos alelos desses dois genes.

Se possível, o grupo pode fazer registros fotográficos ou em vídeo da atividade.

Material

- massa de modelar (ou barbantes grossos) de quatro cores diferentes
- oito pequenos círculos de papel com aproximadamente 0,5 cm de diâmetro
- folhas grandes de papel de embrulho
- câmera fotográfica ou de vídeo

Procedimentos

1. Forrar a mesa de trabalho com uma folha de papel de embrulho e desenhar sobre ela um círculo grande, para representar os limites da célula. Deve-se modelar um par de cromossomos metacêntricos em duas cores diferentes, mas assemelhadas (por exemplo, vermelho e laranja), aplicando os círculos de papel com letras *A* e *a*, um em cada cromossomo do par. Deve-se modelar, então, um par de cromossomos acrocêntricos, também utilizando duas cores diferentes, mas assemelhadas (por exemplo, azul e verde), aplicando nesse par de cromossomos os círculos de papel com as letras *B* e *b*, um em cada cromossomo do par. Uma célula como essa teria número diploide $2n = 4$ e constituição genética duplo-heterozigótica, *Aa Bb*.
2. A primeira etapa da atividade consiste em simular a duplicação cromossômica. Cada cromossomo deve ser duplicado mantendo as cromátides irmãs unidas pelo centrômero. Em cada nova cromátide, deve ser aplicado um círculo com a mesma letra que a da cromátide irmã. Em seguida, os cromossomos homólogos duplicados devem ser colocados lado a lado, simulando o emparelhamento que ocorre durante a prófase I da meiose. A tarefa seguinte é orientar os cromossomos homólogos duplicados e emparelhados sobre a folha de papel, no centro da célula, simulando a metáfase I da meiose.
3. Uma possibilidade é que os homólogos vermelho e azul estejam voltados para um dos polos, enquanto os homólogos laranja e verde estejam voltados para o polo oposto. A segunda possibilidade é que os homólogos vermelho e verde estejam voltados para um dos polos, enquanto os homólogos laranja e azul estejam voltados para o polo oposto.
4. Para cada orientação cromossômica deve-se simular a separação dos cromossomos homólogos na primeira e na segunda divisões da meiose. Cada orientação escolhida leva à formação de dois tipos de gametas. Como cada uma delas tem a mesma chance de ocorrer, formam-se quatro tipos de gametas: 25%, ou $\frac{1}{4}$, de cada tipo, o que caracteriza a segregação independente.
5. O grupo pode elaborar um pequeno texto com a seguinte argumentação: "a separação independente de dois pares de cromossomos homólogos na meiose determina a segregação independente dos genes neles presentes". Podem ser utilizados esquemas da meiose para ilustrar o texto.

Encerrada a atividade, o grupo pode discutir a seguinte questão: atividades como essa, em que há simulação de fenômenos biológicos, podem contribuir para o aprendizado no assunto? Escreva um texto curto sobre o assunto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

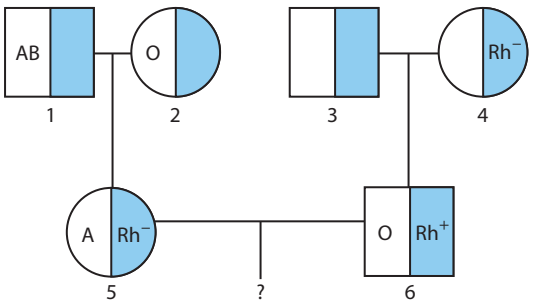
Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Resolvendo problemas de Genética

O heredograma a seguir representa uma família em que os grupos sanguíneos do sistema ABO e do sistema Rh de alguns indivíduos estão indicados. Os símbolos que representam as pessoas (quadrado para homem e círculo para mulher) estão divididos por um traço vertical, com o lado esquerdo correspondendo ao fenótipo para o sistema ABO, e o lado direito, ao fenótipo para o sistema Rh.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Sobre essa família, foram levantadas as seguintes questões:

a. Qual é a probabilidade de um filho do casal 5 X 6 ter sangue dos tipos O/Rh^+ ou A/Rh^-?

b. Quando o homem 6 ainda era noivo da mulher 5, uma antiga namorada, com sangue O/Rh^+, acusou-o de ser pai de seu filho, uma criança A/Rh^-. Pelo que se conhece sobre herança dos grupos sanguíneos, essa acusação tem procedência?

A solução

Em primeiro lugar, é preciso determinar os genótipos dos indivíduos 5 e 6 aos quais se refere o problema. A mulher 5 tem sangue Rh^-, portanto seu genótipo é *rr*. Como ela tem sangue do tipo A, um de seus alelos é I^A. O outro alelo da mulher 5 só pode ser *i*, pois sua mãe, a mulher 2, tem sangue tipo O (*ii*) e só pode ter fornecido à filha um alelo *i*. O genótipo da mulher 5 é, portanto, $I^A i\,rr$.

Para determinar o genótipo do homem 6, o raciocínio é o mesmo: como seu fenótipo é O/Rh^+ (*ii R_*) e sua mãe é Rh^- (*rr*), conclui-se que ele tem genótipo *ii Rr*.

Com relação ao sistema ABO, a mulher 5 forma dois tipos de gametas: 50%, ou $\frac{1}{2}$, I^A e 50%, ou $\frac{1}{2}$, *i*. O homem 6 forma apenas um tipo de gameta, *i*. Desse modo, os filhos desse casal poderão ter sangue do tipo A ($\frac{1}{2}\ I^A \times 1\ i$) ou do tipo O ($\frac{1}{2}\ i \times 1\ i$), com 50%, ou $\frac{1}{2}$, de chance para cada tipo.

Quanto ao sistema Rh, a mulher 5 forma apenas um tipo de gameta, *r*. O homem 6 forma gametas de dois tipos: $\frac{1}{2}\ R$ e $\frac{1}{3}\ r$. Assim, os filhos do casal poderão ter sangue Rh^+ ($1\ r \times \frac{1}{2} R$) ou Rh^- ($1\ r \times \frac{1}{2}\ r$), com 50%, ou $\frac{1}{2}$, de chance para cada tipo.

Como os alelos que condicionam esses dois grupos sanguíneos segregam-se independentemente, a herança simultânea das duas características pode ser calculada multiplicando-se as probabilidades individuais:

- Probabilidade de um filho vir a ser O/$Rh^+ = \frac{1}{2}$ (O) $\times \frac{1}{2}$ (Rh^+) $= \frac{1}{4}$
- Probabilidade de um filho vir a ser A/$Rh^- = \frac{1}{2}$ (A) $\times \frac{1}{2}$ 1/2 (Rh^-) $= \frac{1}{4}$
- Probabilidade de um filho vir a ser O/Rh^+ ou A/$Rh^- = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$

Pode-se também construir o quadrado de Punnett para estimar as probabilidades. O **quadrado de Punnett**, inventado pelo geneticista inglês Reginald Crundall Punnett (1875-1967), é um diagrama com duas colunas, correspondentes aos gametas de um dos sexos, e com duas linhas, correspondentes aos gametas do outro sexo. O diagrama facilita o cálculo das frequências genotípicas esperadas em um cruzamento genético.

		Gametas formados por 6 (o pai)	
		iR	***ir***
Gametas formados por 5 (a mãe)	***$I^A r$***	$I^A iRr$ (A/Rh^+)	$I^A irr$ (A/Rh^-)
	ir	*iiRr* (O/Rh^+)	*iirr* (O/Rh^-)

Pode-se agora responder à segunda pergunta do problema: será que o homem 6 pode ser pai de uma criança A/Rh^-, filha de sua antiga namorada O/Rh^+?

O indivíduo 6 tem genótipo *ii Rr*, e a mãe da criança tem genótipo *ii R_*, pois seu sangue é tipo O/Rh^+. Com essas informações, nem é preciso investigar o lado familiar da mãe: se a criança apresenta fenótipo A/Rh^-, ela tem necessariamente um alelo I^A, que só pode ter vindo de seu verdadeiro pai. Este poderia ter sangue tipo A ou AB, mas nunca poderia pertencer ao grupo O.

O homem 6 pode, portanto, ser excluído da suspeita de ser o pai da criança em questão. Esse tipo de investigação não determina quem é o verdadeiro pai, mas permite excluir os que não podem ser. Por isso, esse teste é chamado de **exclusão de paternidade**. Atualmente, os testes de exclusão de paternidade com base em grupos sanguíneos têm sido substituídos por exames de análise de DNA, mais precisos e conclusivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Interação gênica

Diversos cruzamentos mostraram que a herança de certas características podia ser explicada pela atuação conjunta de dois ou mais genes. Surgiu, então, o conceito de **interação gênica** para designar essas situações.

Interação gênica na cor da pelagem de cães labradores

As três cores de pelagem dos cães labradores (preta, marrom e dourada) podem ser explicadas pela interação entre dois genes com segregação independente, cada um com dois alelos (*Bb* e *Ee*). (Fig. 18.4)

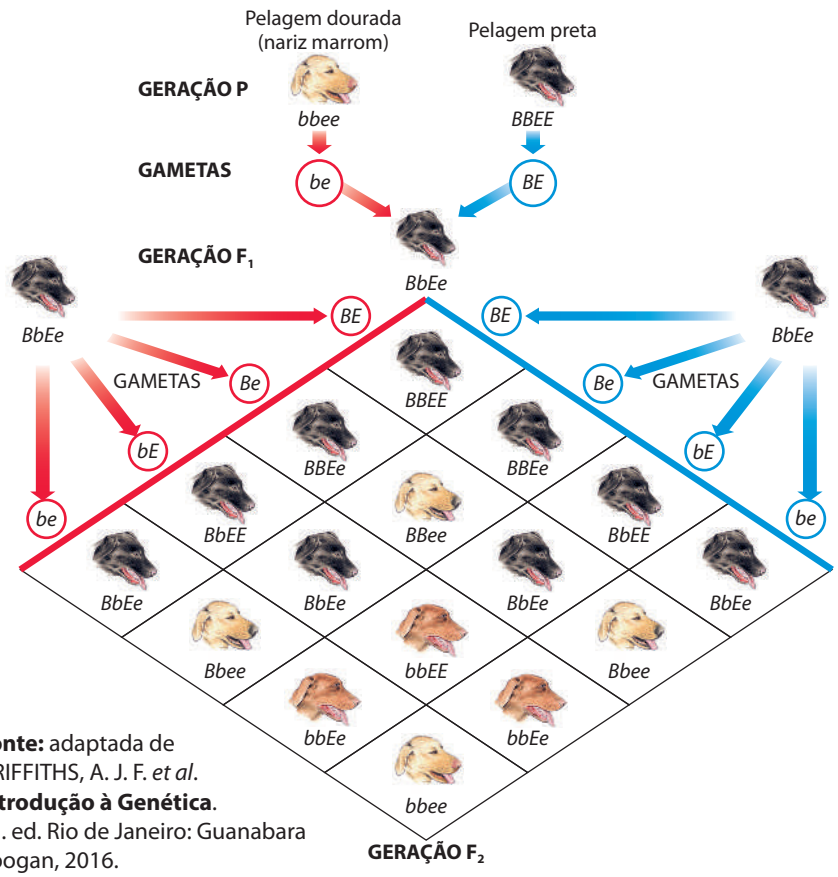
O alelo dominante *B* determina a produção de pigmento preto, enquanto o alelo recessivo *b* determina a produção de pigmento marrom. O alelo dominante *E* condiciona distribuição de pigmentos no pelo, enquanto o alelo recessivo *e* não atua. Assim, cães homozigóticos recessivos para esse gene (*ee*) não apresentam pigmento preto ou marrom nos pelos, e sua pelagem é dourada, sejam quais forem os alelos do outro par (*B_ee* ou *bbee*). Cães com pelagem dourada portadores do alelo *B* têm nariz preto, enquanto os portadores de genótipo *bb* têm nariz marrom.

Cães com pelo menos um alelo funcional do gene para a distribuição de pigmento (*E_*) terão pelagem preta se apresentarem genótipo *B_E_*, ou pelagem marrom, se o genótipo for *bbE_*. O cruzamento entre cães pretos de genótipo *BBEE* e cães dourados de genótipo *bbee* produz, em F_1, apenas cães pretos (*BbEe*). O cruzamento entre cães pretos duplo-heterozigóticos (*BbEe*) produz na descendência uma proporção de 9 pretos (*B_E_*) : 3 marrons (*bbE_*) : 4 dourados (*_ _ee*). (Fig. 18.5)

ROSA JAY/SHUTTERSTOCK

Figura 18.4. Os três tipos de pelagem de cães da raça labrador: marrom, dourada e preta. Esses cães podem atingir cerca de 60 cm de altura.

Herança da cor da pelagem em cães da raça labrador



Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al.* **Introdução à Genética**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Proporção fenotípica de F_2

- Pelagem preta $\frac{9}{16}$
- Pelagem dourada (nariz preto) $\frac{3}{16}$
- Pelagem marrom $\frac{3}{16}$
- Pelagem dourada (nariz marrom) $\frac{1}{16}$

Proporção genotípica de F_2
9 *B_E_*
3 *B_ee*
3 *bbE_*
1 *bbee*

Figura 18.5. Representação esquemática do cruzamento entre cães da raça labrador de pelagem dourada e nariz marrom com cães de pelagem preta, e entre indivíduos da geração F_1. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas).

CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Você conhece o *pedigree* do seu cão?

Forme um grupo com dois ou três colegas para executar esta atividade. O desafio é encontrar donos de cães da raça labrador de diferentes cores de pelagem e entrevistá-los para descobrir o que eles sabem sobre a ancestralidade (o *pedigree*) do cão. Peça permissão ao dono do animal para fotografar ou gravar a entrevista. As entrevistas podem ser apresentadas em classe e eventualmente editadas e publicadas na internet (sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro). O grupo pode reunir dados sobre o cão, tais como o nome, a idade, o tamanho e o peso, além de outras informações que forem consideradas necessárias ou interessantes. Caso a pessoa entrevistada demonstre interesse, apresentar a ela o mecanismo da herança da cor de cães da raça labrador descrito no livro.

3. Herança ligada ao cromossomo X

Em muitas espécies de animais e em algumas plantas, a diferença entre machos e fêmeas é determinada por um par de **cromossomos sexuais**, denominados X e Y. As fêmeas têm um par de **cromossomos X** e os machos têm um cromossomo X e um **cromossomo Y**, tipicamente masculino.

O cromossomo X apresenta muitos genes, envolvidos na determinação de diversas características. Já o cromossomo Y apresenta poucos genes sem homologia aos do cromossomo X. Por isso, indivíduos sem cromossomos X não sobrevivem, enquanto a ausência de cromossomo Y não é letal.

Suponha dois alelos, *A* e *a*, de um gene localizado no cromossomo X; as fêmeas podem apresentar três tipos de genótipos quanto a esse gene: X^AX^A, X^AX^a e X^aX^a. Os machos, por possuírem apenas um cromossomo X, podem apresentar dois tipos de genótipos: X^AY ou X^aY.

Os genes localizados no cromossomo X apresentam um padrão típico de herança, denominado **herança ligada ao cromossomo X**. Genes localizados nos autossomos, por sua vez, seguem o que se denomina **herança autossômica**. O que caracteriza a herança ligada ao cromossomo X é: 1) os machos sempre herdarem o cromossomo X da mãe e o cromossomo Y do pai; 2) o pai transmitir seu cromossomo X apenas às filhas. A seguir são apresentados dois exemplos de herança ligada ao cromossomo X na espécie humana: o daltonismo e a hemofilia.

Daltonismo (cegueira parcial para cores)

Cerca de 5% a 8% dos homens e 0,04% das mulheres apresentam um tipo de cegueira para cores conhecida como **daltonismo**. Pessoas daltônicas são incapazes de distinguir as cores vermelha e verde. O termo "daltonismo" deriva do nome do físico e químico inglês John Dalton (1766-1844), que era portador dessa característica. (Fig. 18.6)

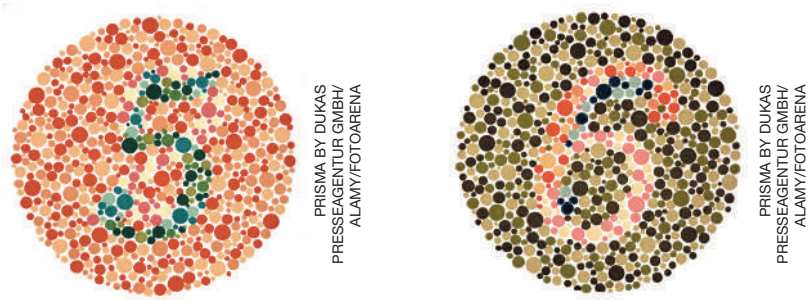
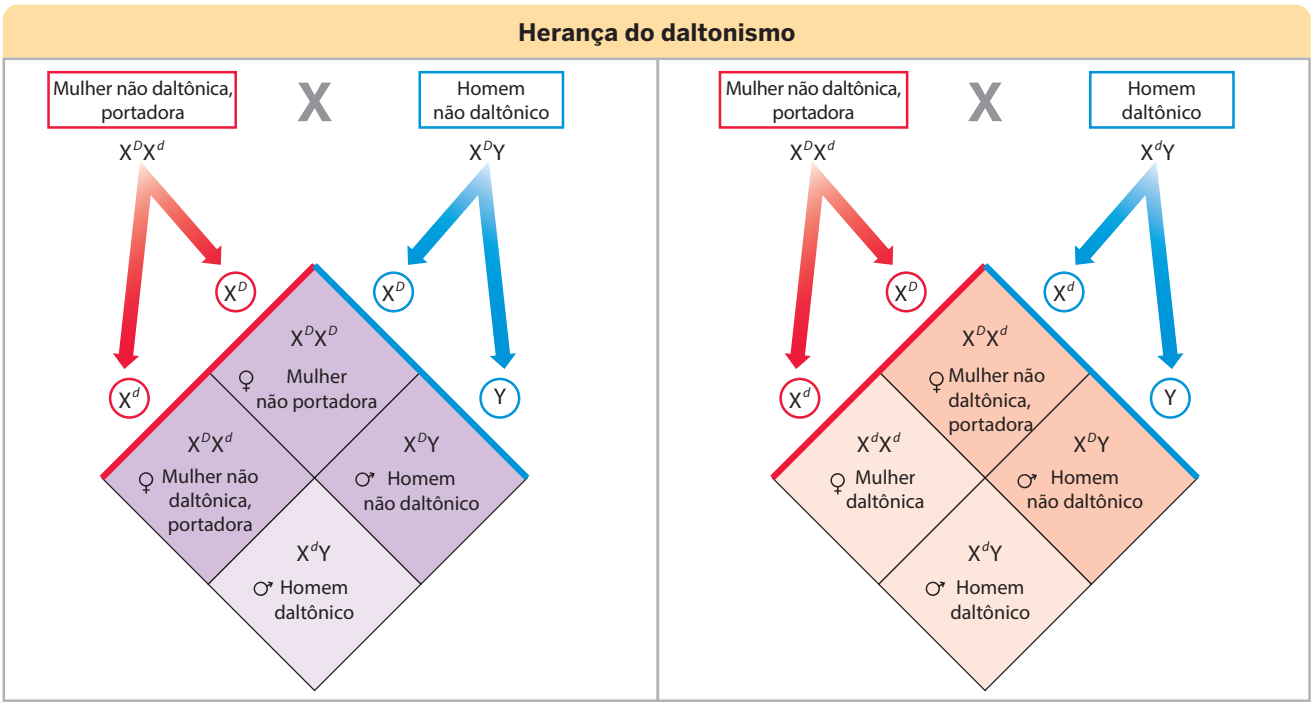


Figura 18.6. Teste de cores de Ishihara, que utiliza diagramas para identificar o daltonismo. Pessoas com visão normal conseguem distinguir um número escrito dentro dos círculos, o que não ocorre com pessoas daltônicas.

O daltonismo é condicionado pelo alelo recessivo de um gene localizado no cromossomo (X^d) . Um homem portador desse alelo (X^dY), ou uma mulher homozigótica recessiva (X^dX^d), são daltônicos, incapazes de distinguir o verde do vermelho. Mulheres heterozigóticas (X^DX^d) têm visão normal, pois o alelo para o daltonismo é recessivo. Filhas de pai não daltônico (X^DY) apresentam visão normal para cores, uma vez que sempre herdam do pai um alelo normal do gene.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se uma mulher transmitir um cromossomo X portador do alelo para daltonismo (X^d) a um filho, ele certamente será daltônico, uma vez que recebe do pai o cromossomo Y. Portanto, cerca de 50% dos filhos homens de uma mulher heterozigótica para o daltonismo herdarão o cromossomo X portador do alelo *d* e serão daltônicos. Homens daltônicos transmitem o cromossomo X portador do alelo *d* para suas filhas. (Fig. 18.7)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

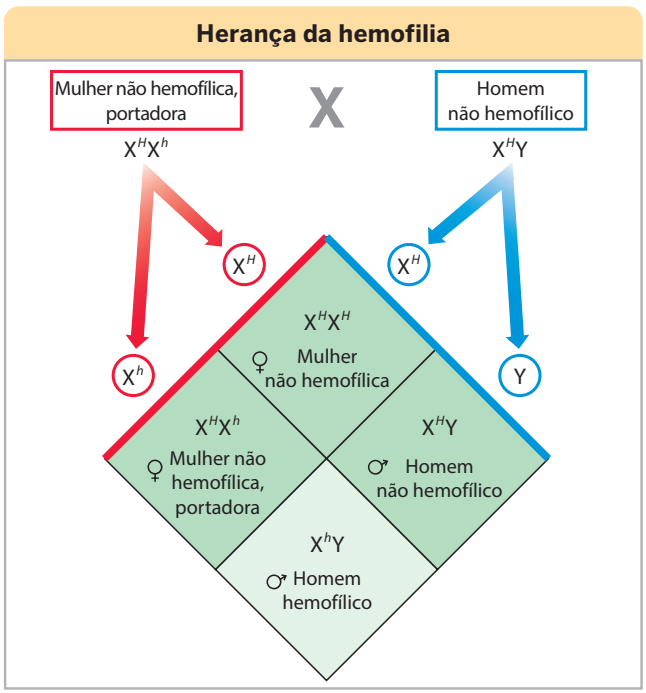
Figura 18.7. Representação esquemática da herança do daltonismo em dois tipos de casamentos. À esquerda, homem não daltônico casado com mulher portadora do alelo *d*. À direita, homem daltônico casado com mulher portadora do alelo *d*.

Hemofilia

A **hemofilia** é uma doença hereditária caracterizada por uma falha no sistema de coagulação do sangue. Pessoas hemofílicas podem ter hemorragias abundantes mesmo em pequenos ferimentos ou contusões. Um dos tipos mais graves de hemofilia, a **hemofilia A**, é causada pela deficiência do chamado fator VIII de coagulação. Pessoas hemofílicas podem ser tratadas com injeções de fator VIII, obtido do plasma sanguíneo de pessoas não hemofílicas ou de bactérias modificadas por engenharia genética.

O gene responsável pela hemofilia A localiza-se no cromossomo X. Esse gene apresenta um alelo X^H, que leva à produção de fator VIII funcional, e o alelo mutante, X^h, que não leva à produção de fator VIII funcional. Basta a presença de um alelo X^H no genótipo para a pessoa apresentar capacidade normal de coagulação do sangue.

A transmissão hereditária da hemofilia segue o padrão de herança ligada ao cromossomo X. Mulheres de genótipo X^hX^h e homens de genótipo X^hY são hemofílicos; homens X^HY, mulheres X^HX^H e mulheres X^HX^h são normais quanto à coagulação sanguínea. Muito raramente mulheres heterozigóticas podem apresentar problemas de coagulação. (Fig. 18.8)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 18.8. Descendentes de um homem não hemofílico (X^HY) casado com uma mulher portadora do alelo que condiciona à doença (X^HX^h).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Compensação de dose em mamíferos

No início do desenvolvimento embrionário de fêmeas de mamíferos, um cromossomo X de cada célula somática fica extremamente condensado, seus genes tornam-se inativos e o cromossomo X adquire o aspecto de um pequeno grânulo, denominado **cromatina sexual**. A inativação do cromossomo X ocorre quando o embrião feminino humano tem apenas uma semana de vida, transmitindo-se, a partir desse momento, a toda descendência celular. Por exemplo, se em uma célula embrionária o cromossomo X de origem paterna foi inativado, todas as descendentes dessa célula terão esse mesmo cromossomo inativo.

A condensação e consequente inativação do cromossomo X foi interpretada pela pesquisadora inglesa Mary Lyon (1925-2014), em 1961, como uma estratégia para inativar metade dos genes do cromossomo X nas células femininas e igualar a quantidade (ou dose) de genes ativos do cromossomo X em machos e fêmeas. Essa hipótese ficou conhecida como **hipótese da compensação de dose do cromossomo X**.

A inativação pode ocorrer tanto para o cromossomo X herdado da mãe quanto para o X herdado do pai, com igual chance. Quanto ao cromossomo X, o corpo de uma fêmea é comparável a um mosaico, pois, em algumas regiões, o cromossomo X inativo é o de origem materna, enquanto em outras regiões o cromossomo X inativo é o de origem paterna.

Devido à inativação aleatória do cromossomo X, as fêmeas heterozigóticas quanto a genes do cromossomo X expressam um dos alelos em certas partes do corpo e o outro alelo em outras regiões. Isso explica, por exemplo, por que mulheres heterozigóticas para o gene da hemofilia (X^HX^h) têm cerca de metade da quantidade de fator VIII de coagulação em relação às mulheres homozigóticas para o alelo normal (X^HX^H). A razão é que, em cerca de metade das células, o cromossomo X ativo é o portador do alelo normal (X^H).

A inativação aleatória do cromossomo X em fêmeas de mamíferos pode ser constatada também em certas linhagens de gatos domésticos (*Felis catus*), em que as cores preta e amarela da pelagem são condicionadas por alelos de um gene localizado no cromossomo X. Como os machos apresentam somente um cromossomo X, eles nunca têm essas duas cores simultaneamente, pois apresentam apenas um ou outro alelo. Fêmeas heterozigóticas geralmente são malhadas, com partes do corpo pretas e partes amarelas. A explicação para esse fato é que, nas regiões pretas, o cromossomo X ativo é o portador do alelo para cor preta, enquanto nas regiões amarelas o cromossomo X ativo é o portador do alelo para cor amarela. (Fig. 18.9)

Cor da pelagem e compensação de dose em gatas

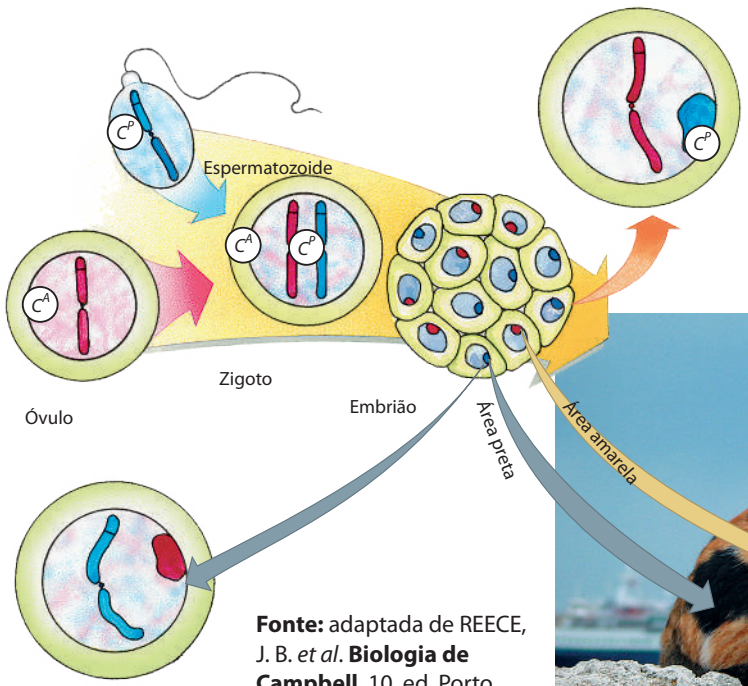


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

ARQUIVO DO AUTOR

Figura 18.9. Em gatas malhadas de preto e amarelo, o cromossomo X com o alelo para cor preta (C^P) está inativo nas regiões amarelas, enquanto o cromossomo X em que se localiza o alelo para cor amarela (C^A) está inativo nas regiões pretas.
A cor branca é efeito de outro gene, que condiciona variegação da pelagem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

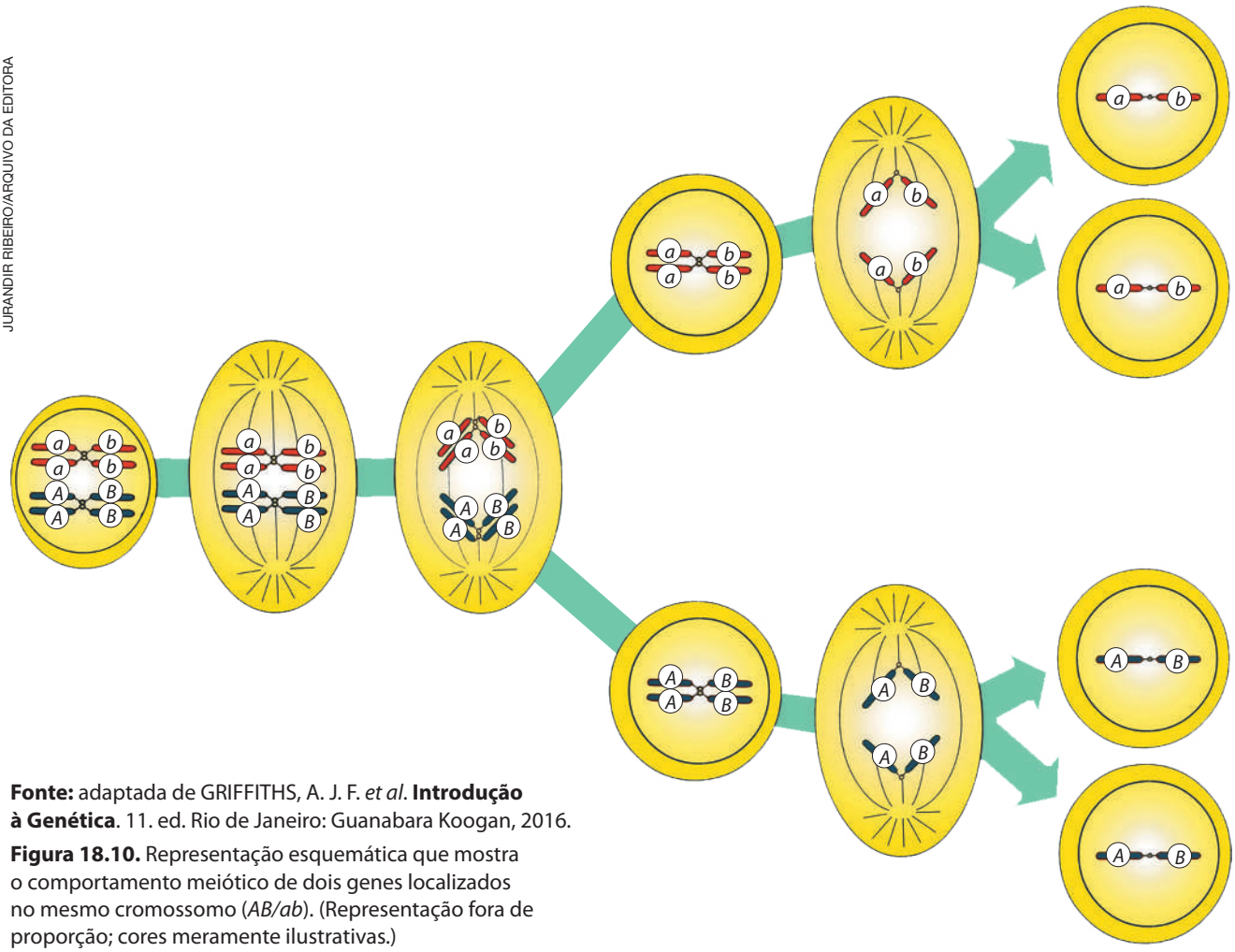
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Ligação gênica

Genes localizados em um mesmo cromossomo estão fisicamente ligados no mesmo filamento cromossômico. Nesse caso, fala-se em **ligação gênica**, termo derivado do inglês *linkage*, que significa ligação. Genes ligados não se segregam independentemente na meiose. Alelos situados no mesmo cromossomo migram juntos para as células filhas, embora a ligação possa ser rompida, caso ocorra permutação entre os genes considerados (Fig. 18.10)

Segregação de genes ligados

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al*. **Introdução à Genética**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Figura 18.10. Representação esquemática que mostra o comportamento meiótico de dois genes localizados no mesmo cromossomo (*AB/ab*). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A seguir, é apresentado um exemplo de dois genes situados no mesmo cromossomo na mosca *Drosophila melanogaster*. Um dos genes condiciona a coloração do corpo, e o outro, a forma das asas.

A cor do corpo da *Drosophila melanogaster* encontrada na natureza é cinzento-amarelada, característica denominada **selvagem**. A cor das moscas selvagens é condicionada pelo alelo dominante *P* de um gene localizado no cromossomo II. Uma mutação ocorrida em laboratório originou o alelo recessivo *p* desse gene, que condiciona corpo preto.

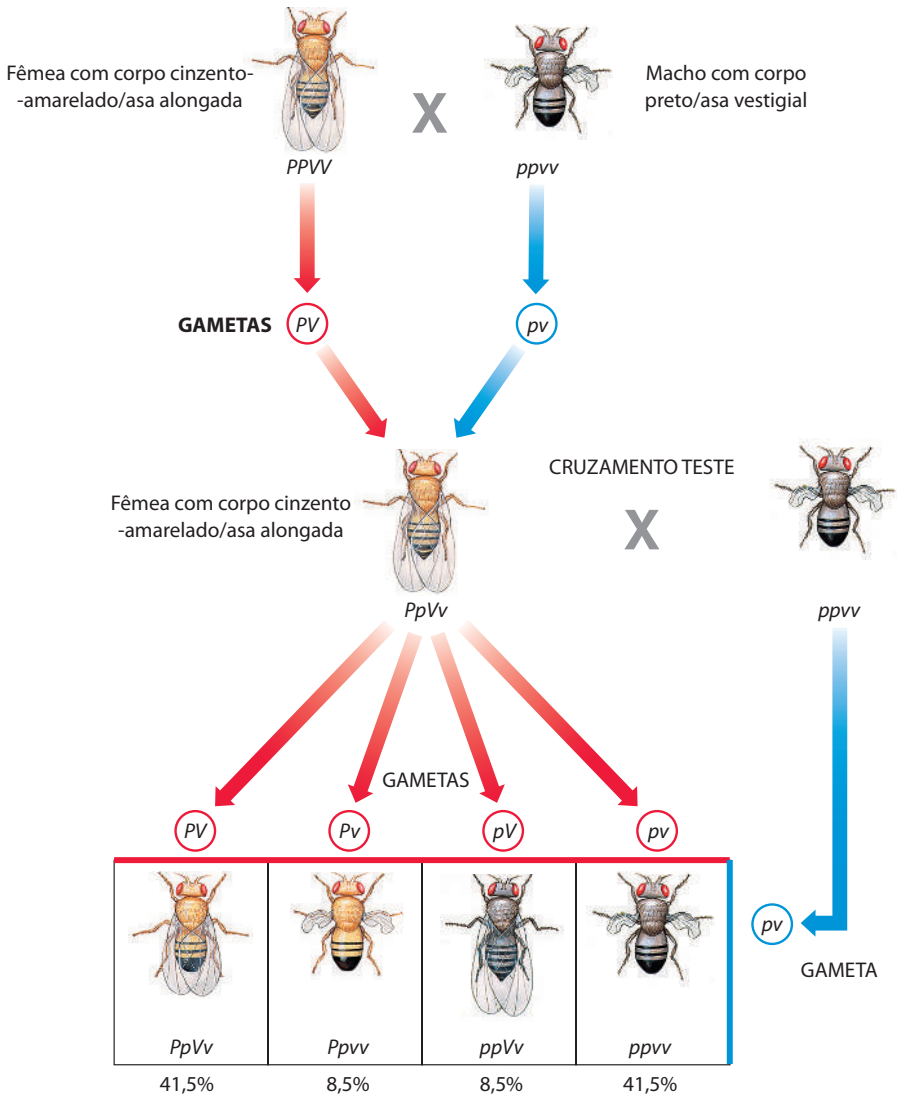
Drosófilas selvagens têm asas alongadas, característica condicionada pelo alelo dominante *V* de um gene também localizado no cromossomo II. Esse gene, portanto, está ligado ao gene para a cor do corpo mencionado anteriormente. Uma mutação surgida em laboratório originou o alelo recessivo *v*, que condiciona asas de tamanho reduzido, característica denominada **asa vestigial**.

Quando fêmeas selvagens puras de corpo cinzento-amarelado e asas normais (genótipo *PPVV*) são cruzadas com machos de corpo preto e asas vestigiais (genótipo *ppvv*), a geração F_1 é inteiramente constituída por machos e fêmeas com fenótipo selvagem. Fêmeas de F_1 cruzadas com machos de corpo preto e asas vestigiais produzem quatro tipos de descendentes, nas seguintes porcentagens:

- 41,5% de corpo cinzento-amarelado e asas alongadas;
- 41,5% de corpo preto e asas vestigiais;
- 8,5% de corpo cinzento-amarelado e asas vestigiais;
- 8,5% de corpo preto e asas alongadas.

Esses resultados mostram que as fêmeas duplo-heterozigóticas de F_1 produzem quatro tipos de gametas nas seguintes porcentagens: 41,5% *PV*, 41,5% *pv*, 8,5% *Pv* e 8,5% *pV*. Os machos homozigóticos recessivos produzem um só tipo de gameta, *pv*. (Fig. 18.11)

Ligação gênica em drosófila



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 18.11. Representação esquemática de um cruzamento que mostra a ligação entre os genes para cor do corpo e forma das asas em drosófilas (*Drosophila melanogaster*). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O diagrama anterior demonstra que gametas portadores dos alelos *PV* e dos alelos *pv* ocorrem em porcentagens maiores que os gametas portadores dos alelos *Pv* e *pV*. Como isso pode ser explicado?

O geneticista Thomas Morgan havia sugerido que os genes para cor do corpo e forma da asa em drosófila localizam-se no mesmo cromossomo, por isso não se segregam independentemente. Entretanto, se os genes estão fisicamente ligados na estrutura do cromossomo, por que sua ligação não é completa? Como explicar certa porcentagem de mistura entre alelos ligados, como ocorreu no cruzamento anterior?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

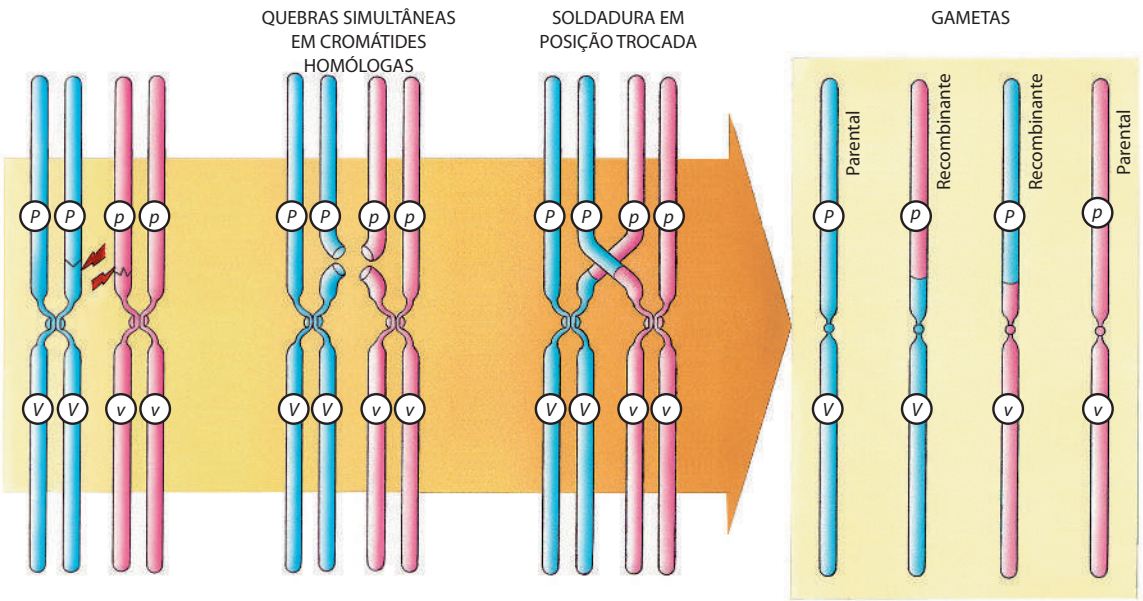
Explicando a recombinação pela permutação

Relembre o cruzamento da figura 18.11, em que fêmeas de drosófila duplo-heterozigóticas quanto aos alelos para cor do corpo e forma da asa foram cruzadas com machos duplo-recessivos.

Um dos cromossomos da fêmea duplo-heterozigótica apresenta os alelos *P* e *V*, recebidos da mãe, enquanto seu homólogo apresenta os alelos *p* e *v*, recebidos do pai. Como os cromossomos homólogos separam-se na meiose, era de esperar que as fêmeas formassem apenas dois tipos de gameta: 50% com o cromossomo materno, portador dos alelos dominantes (*P* e *V*), e 50% com o cromossomo paterno, portador dos alelos recessivos (*p* e *v*). Entretanto, os resultados mostram que fêmeas duplo-heterozigóticas também formam gametas recombinantes, ou seja, combinam genes de origem materna e genes de origem paterna. Cerca de 8,5% dos gametas apresentam os alelos *P* e *v*, enquanto outros 8,5% têm os alelos *p* e *V*.

Morgan propôs a hipótese de que a ligação entre genes localizados no mesmo cromossomo não é completa porque, durante a prófase I da meiose, quando os cromossomos homólogos estão intimamente emparelhados, podem ocorrer quebras e trocas de pedaços entre cromátides de cromossomos homólogos. Esse fenômeno, conhecido como **permutação cromossômica** (em inglês, *crossing-over*), leva à formação de certo número de gametas recombinantes, com combinações gênicas diferentes daquelas presentes nos cromossomos herdados dos pais. (Fig. 18.12)

Esquema da permutação cromossômica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

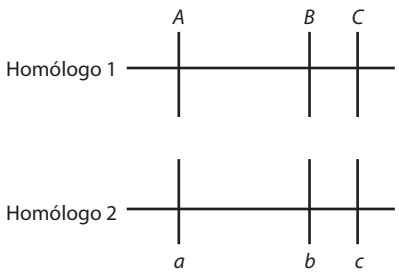
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 18.12. Representação esquemática da permutação entre genes ligados, com formação de dois cromossomos com combinações gênicas parentais e de dois cromossomos recombinantes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A taxa de permutação entre dois determinados genes ligados varia em diferentes genes, dependendo da distância entre eles nos filamentos cromossômicos. Quanto menor for a distância entre dois genes ligados, menor será a chance de ocorrer permutação entre eles. Em contrapartida, quanto mais distantes estiverem dois genes ligados, maior será a probabilidade de ocorrer permutação.

Por exemplo, considere três pares de alelos (*Aa*, *Bb* e *Cc*) situados no mesmo cromossomo e dispostos da seguinte maneira nos filamentos cromossômicos:



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

A frequência de recombinação entre os genes mais distantes – *A*/*a* e *C*/*c* – será maior do que a frequência de recombinação entre os genes mais próximos – *A*/*a* e *B*/*b* ou *B*/*b* e *C*/*c* –, pois qualquer permutação que se verifique entre os genes mais próximos também ocorre entre os genes mais distantes (*A*/*a* e *C*/*c*).

Esse raciocínio parte do pressuposto que os genes se distribuem linearmente ao longo dos cromossomos, ocupando posições bem definidas (locos gênicos), o que já foi amplamente comprovado. As experiências confirmaram essa hipótese em todas as espécies de seres vivos, incluindo a espécie humana. (Fig. 18.13)

Figura 18.13. Representação esquemática da localização dos genes homólogos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

O desafio da caixa-preta

Muitos comparam os estudos dos sistemas vivos às tentativas de descobrir o que há em uma caixa fechada, embrulhada em papel preto. Pode-se manusear essa caixa preta e levantar hipóteses sobre seu conteúdo, avaliando características como massa, textura, cheiro e ruídos produzidos, mas não se pode olhar diretamente dentro da caixa, sendo necessário descobrir seu conteúdo por meios indiretos. Essa analogia tem sido aplicada às descobertas de Mendel. Ao fazer cruzamentos entre ervilhas, ele observou os tipos de descendentes que surgiram – as evidências fornecidas pela manipulação da caixa preta – e tentou entender os fenômenos que ocorriam nas plantas genitoras – o interior da caixa.

Forme um grupo com os colegas para executar esta atividade. O grupo pode encontrar uma caixa de papelão (por exemplo, uma caixa de sapatos), papel preto grosso para embrulhar a caixa e fita adesiva. Em seguida, o grupo pode escolher cerca de dez objetos que caibam na caixa, com diferentes tamanhos, formas, densidades, texturas, cheiros e outras características importantes. Os objetos escolhidos devem ser anotados em uma lista. Um dos membros do grupo pode ser escolhido como o experimentador da caixa preta, enquanto os outros irão definir, em segredo, um objeto a ser colocado na caixa, que será embrulhada. O experimentador recebe a caixa preta, podendo manipulá-la, pesá-la ou cheirá-la, sem olhar em seu interior. De posse da lista de objetos possíveis, o experimentador tenta adivinhar o que há na caixa. Para tornar a atividade mais desafiadora, podem ser colocados dois ou três objetos juntos na caixa, o que dificulta a adivinhação.

Para finalizar a atividade, o grupo pode elaborar um texto curto relacionando a brincadeira da caixa preta com os dilemas dos cientistas para deduzir quais fenômenos, ocorridos dentro das células e dos organismos, podem explicar o que se observa sobre eles.

Veja respostas e comentários no Suplemento do professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.d Uma célula duplo-heterozigótica quanto a dois pares de alelos *Aa* e *Bb* localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos formará por meiose quatro células, sendo

a. uma portadora de *A*, outra de *a*, outra de *B* e outra de *b*.

b. uma portadora de *AB*, outra de *Ab*, outra de *aB* e outra de *ab*.

c. uma portadora de *AA*, outra de *Ab*, outra de *aB* e outra de *aa*.

d. duas portadoras de *AB* e duas portadoras de *ab*, ou duas portadoras de *Ab* e duas portadoras de *aB*.

2. 2.b Um indivíduo multicelular duplo-heterozigótico quanto a dois pares de alelos, *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, forma gametas na proporção de

a. 1 *A* : 1 *a* : 1 *B* : 1 *b*.

b. 1 *AB* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *ab*.

c. 1 *AA* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *aa*.

d. 1 *AB* : 1 *ab* ou 1 *Ab* : 1 *aB*.

3. 3.d No cruzamento entre indivíduos duplo-heterozigóticos quanto a dois pares de alelos, *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se obter

a. apenas indivíduos *AaBb*.

b. indivíduos *AB* e *ab* na proporção de 1 : 1.

c. indivíduos *AA*, *Ab*, *aA* e *bb* na proporção de 9 : 3 : 3 : 1, respectivamente.

d. indivíduos *A_B_*, *A_bb*, *aaB_* e *aabb*, na proporção de 9 : 3 : 3 : 1, respectivamente.

4. 4.c Pela análise das porcentagens de gametas que o indivíduo heterozigótico da questão anterior formou, pode-se concluir que

a. os alelos *A* e *B* estavam no mesmo cromossomo, e os alelos *a* e *b* em seu homólogo (*AB*/*ab*).

b. os alelos *A* e *b* estavam no mesmo cromossomo, e os alelos *a* e *B* em seu homólogo (*Ab*/*aB*).

c. os alelos *A* e *a* estavam em um par de cromossomos, e os alelos *B* e *b* em outro par cromossômico.

d. nenhuma das conclusões anteriores é possível com esses dados.

5. 5.c Um indivíduo duplo-heterozigótico *AaBb* formou 4 tipos de gametas nas seguintes porcentagens: 40% *AB* : 40% *ab* : 10% *Ab* : 10% *aB*. Esses números indicam que se refere a um caso de

a. herança ligada ao sexo.

b. interação gênica.

c. ligação gênica.

d. segregação independente.

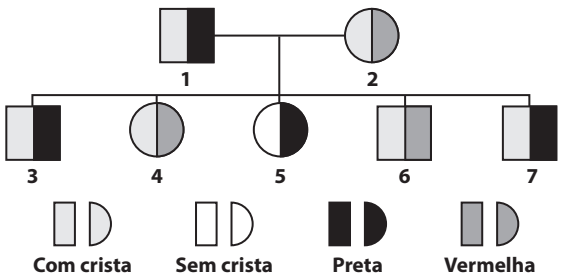
6. As flores de uma espécie de planta podem ser brancas, vermelhas ou cor de creme. A cor branca é condicionada por um alelo recessivo *a*, que em homozigose evita a produção de qualquer pigmento na planta; o alelo dominante *A* condiciona a produção de pigmento, que pode ser vermelho ou creme, dependendo de outro par de alelos (*Cc*). O alelo dominante *C* condiciona pigmento vermelho, enquanto o alelo recessivo *c* determina pigmento cor de creme.

Os dois genes estão localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Com base nessas informações, responda:

a. Que proporções fenotípicas e genotípicas são esperadas do cruzamento de plantas de flores vermelhas duplo-heterozigóticas com plantas de flores creme de genótipo *Aacc*?

b. No cruzamento de plantas de flores cor de creme com plantas de flores vermelhas, foram produzidas apenas plantas de flores vermelhas e plantas de flores brancas. Determine os prováveis genótipos dos genitores.

7. Em galináceos, a presença de crista é condicionada pelo alelo dominante *C*, e sua ausência, pelo genótipo recessivo *cc*. A cor das penas pode ser preta, condicionada pelo alelo dominante *V*, ou vermelha, condicionada pelo genótipo recessivo *vv*. Na árvore genealógica, a metade esquerda dos quadrados e círculos se refere à presença ou ausência de crista, enquanto o lado direito se refere à coloração das penas. Esses genes localizam-se em diferentes pares de cromossomos homólogos. Analise a árvore genealógica e resolva o que se pede.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Determine os genótipos de todos os indivíduos do heredograma.

b. Se cruzássemos o indivíduo 1 com o indivíduo 5, que proporção fenotípica poderíamos esperar na descendência?

Questões de vestibulares

8. (UFAL) Em determinada raça animal, a cor preta é determinada pelo alelo dominante *M* e a marrom pelo alelo *m*, o alelo *B* condiciona padrão uniforme, e o *b*, presença de manchas brancas. Esses dois pares de alelos autossômicos segregam-se independentemente. A partir do cruzamento *Mmbb* × *mmBb*, a probabilidade de nascer um filhote marrom com manchas é

8.c

a. 1/16 **b.** 3/16 **c.** 1/4 **d.** 1/2 **e.** 3/4

9. (UFSCar-SP) Suponha um organismo diploide, $2n = 4$, e a existência de um gene A em um dos pares de cromossomos homólogos e de um gene B no outro par de homólogos. Um indivíduo heterozigótico para os dois genes formará

9.d

a. 2 tipos de gametas na proporção 1 : 1.

b. 2 tipos de gametas na proporção 3 : 1.

c. 4 tipos de gametas na proporção 9 : 3 : 3 : 1.

d. 4 tipos de gametas na proporção 1 : 1 : 1 : 1.

e. 4 tipos de gametas na proporção 1 : 2 : 1.

10. (UFPA) Um casal, cujo homem tem sangue tipo A Rh^+ e a mulher O Rh^-, teve o primeiro filho com tipo sanguíneo O Rh^-. A probabilidade de um segundo filho ter o mesmo genótipo do primeiro é de

10.b

a. 0%. **b.** 25%. **c.** 50%. **d.** 75%. **e.** 100%.

11. (Fuvest-SP) Em cobaias, a cor preta é condicionada pelo alelo dominante *D* e a cor marrom, pelo alelo recessivo *d*. Em um outro cromossomo, localiza-se o gene responsável pelo padrão da coloração: o alelo dominante *M* determina padrão uniforme (uma única cor) e o alelo recessivo *m*, padrão malhado (preto/branco ou marrom/branco). O cruzamento de um macho de cor preta uniforme com uma fêmea de cor marrom uniforme produz uma ninhada de oito filhotes: 3 de cor preta uniforme, 3 de cor marrom uniforme, 1 preto e branco e 1 marrom e branco.

a. Quais os genótipos dos pais?

b. Se o filho preto e branco for cruzado com uma fêmea cujo genótipo é igual ao da mãe dele, qual a proporção esperada de descendentes iguais a ele?

12. (Unicamp-SP) Considere duas linhagens homozigotas de plantas, uma com caule longo e frutos ovais e outra com caule curto e frutos redondos. Os genes para comprimento do caule e forma do fruto segregam-se independentemente. O alelo que determina caule longo é dominante, assim como o alelo para fruto redondo.

a. De que forma podem ser obtidas plantas com caule curto e frutos ovais a partir das linhagens originais? Explique indicando o(s) cruzamento(s). Utilize as letras *A*, *a* para comprimento do caule e *B*, *b* para forma dos frutos.

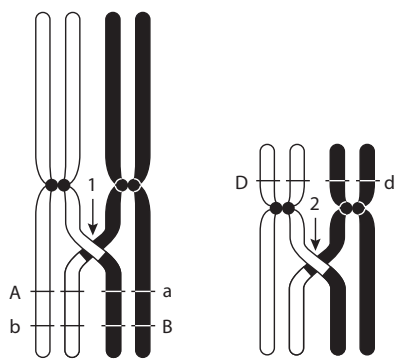
b. Em que proporção essas plantas de caule curto e frutos ovais serão obtidas?

13. (UFRJ) Considere a existência de dois locos em um indivíduo. Cada loco tem dois alelos *A* e *a* e *B* e *b*, sendo que *A* e *B* são dominantes. Um pesquisador cruzou um indivíduo *AaBb* com um indivíduo *aabb*. A prole resultante foi:

- 40% *AaBb*;
- 10% *Aabb*;
- 40% *aabb*;
- 10% *aaBb*.

O pesquisador ficou surpreso, pois esperava obter os quatro genótipos na mesma proporção, 25% para cada um deles. Esses resultados contrariam a segunda lei de Mendel ou lei da segregação independente? Justifique sua resposta.

14. (Fuvest-SP) O esquema a seguir representa, numa célula em divisão meiótica, dois pares de cromossomos com três genes em heterozigose: *A*/*a*, *B*/*b* e *D*/*d*. Nesses cromossomos, ocorreram as permutas indicadas pelas setas 1 e 2.



(Esquema simplificado.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

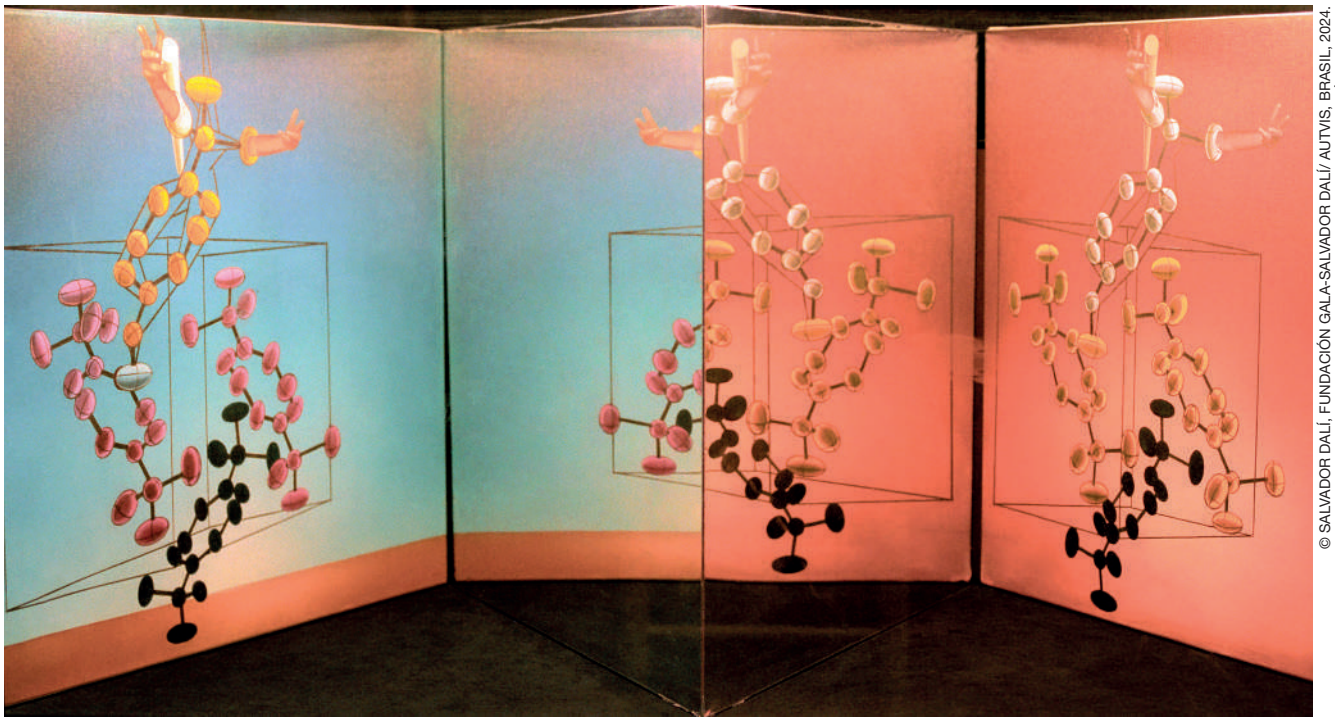
a. Quanto aos pares de alelos mencionados, que tipos de gameta essa célula poderá formar?

b. Que pares de alelos têm segregação independente?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 19

Genética e biotecnologia na atualidade



© SALVADOR DALÍ, FUNDACIÓN GALA-SALVADOR DALÍ/ AUTVIS, BRASIL, 2024.
FOTO: BYPHOTO/ALAMY/FOTOARENA - TEATRO-MUSEU DALÍ, FIGUERAS

O pintor espanhol Salvador Dalí foi um dos primeiros artistas a retratar a molécula de DNA em suas obras. (**A estrutura do DNA. Obra estereoscópica**. c. 1973, óleo sobre tela, 60 × 60 cm.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Os conhecimentos sobre a natureza do DNA e do código genético, aprimorados nas décadas de 1950 e 1960, permitiram o desenvolvimento de tecnologias para analisar os códigos inscritos em moléculas de DNA que constituem os genes. Como cada ser humano apresenta codificações próprias em seus genes, a análise do DNA permitiu identificar pessoas de maneira comparável à identificação feita por impressões digitais.

A molécula de DNA, que há algumas décadas era conhecida apenas pelos estudiosos da ciência, é hoje um ícone da modernidade. Frequentemente jornais, revistas e *sites* de notícias trazem relatos sobre organismos transgênicos, clonagem de animais e identificação molecular de pessoas, temas que há alguns anos eram considerados ficção científica.

Atualmente é possível transferir genes de pessoas para plantas, de modo que os vegetais receptores desses genes passem a produzir proteínas genuinamente humanas em suas células. A implantação de genes humanos em vacas e ovelhas fez com que esses animais secretassem, no leite, proteínas humanas de interesse comercial. Genes de interesse podem ser introduzidos em bactérias, e a alta capacidade reprodutiva desses microrganismos possibilita produzir proteínas utilizadas em pesquisas científicas e na produção de medicamentos. Porcos implantados com genes humanos podem gerar linhagens de suínos capazes de fornecer órgãos para transplantes com menor risco de rejeição em pessoas.

Este capítulo apresenta algumas das técnicas utilizadas na manipulação genética e seus impactos na vida contemporânea. Os conhecimentos na área de Genética têm gerado novas tecnologias, cuja aplicação traz novos questionamentos éticos e políticos para a sociedade.

1. Melhoramento genético

OBJETO DIGITAL
Podcast: Genética e agricultura familiar

A maioria das espécies de organismos que utilizamos na alimentação básica foi melhorada por agricultores e criadores de diferentes regiões do mundo ao longo de milhares de anos, bem antes da descoberta dos mecanismos da herança biológica. Antes do advento da Genética, o melhoramento era feito de forma intuitiva. Por exemplo, para obter espigas de milho com maior número de grãos, os agricultores selecionavam para o plantio sementes provenientes de espigas com muitos grãos. Para aumentar o peso médio das galinhas, escolhiam-se como reprodutores galos e galinhas maiores e mais pesados.

Com o advento da Genética, o melhoramento passou a ser realizado com base no conhecimento genético, daí a denominação melhoramento genético. Estudos genéticos revelaram que muitas qualidades de animais e plantas de valor econômico, tais como a fertilidade, o tamanho e a quantidade de grãos produzidos, a produção de carne, de leite e de ovos e a resistência a doenças, são condicionadas por genes, que interagem com fatores ambientais. Os novos conhecimentos genéticos possibilitaram o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de seleção e de melhoramento de características de animais e plantas com importância econômica. (Fig. 19.1)

MAJID ASKARI/SHUTTERSTOCK

Figura 19.1. Diversas raças de cães foram obtidas por criadores de animais, que realizavam cruzamentos seletivos para obter características comportamentais e estéticas de interesse.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Pesquisando o melhoramento genético

Forme um grupo de colegas para pesquisar na internet a seguinte questão: "O melhoramento do trigo, do arroz, do gado e de outras espécies tem propiciado aumento na produção e na lucratividade?". Pesquise, por exemplo, "melhoramento genético e lucratividade". O grupo pode resumir a pesquisa em um texto de aproximadamente uma página, se possível acompanhado por dados em forma de tabelas, gráficos etc.

Problemas decorrentes do melhoramento genético

Um dos problemas decorrentes do melhoramento genético é que as linhagens melhoradas têm menor variabilidade genética que linhagens não alteradas, ou seja, os indivíduos da população melhorada apresentam menos diferenças genéticas entre si. Essa maior homogeneidade genética pode reduzir as chances de adaptação a eventuais alterações ambientais. Os antigos agricultores já conheciam o problema. No cultivo de trigo, por exemplo, era comum o plantio de diversas variedades, o que aumentava a chance de preservar ao menos parte da lavoura em caso de seca, enchente ou pragas. Essa técnica milenar tem sido negligenciada e atualmente predominam lavouras de monocultura, em que grandes áreas são ocupadas com uma única variedade da espécie. Apesar de as monoculturas produzirem lucros maiores em curto prazo, há risco maior de uma praga dizimar uma plantação, uma vez que todos os indivíduos são geneticamente semelhantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

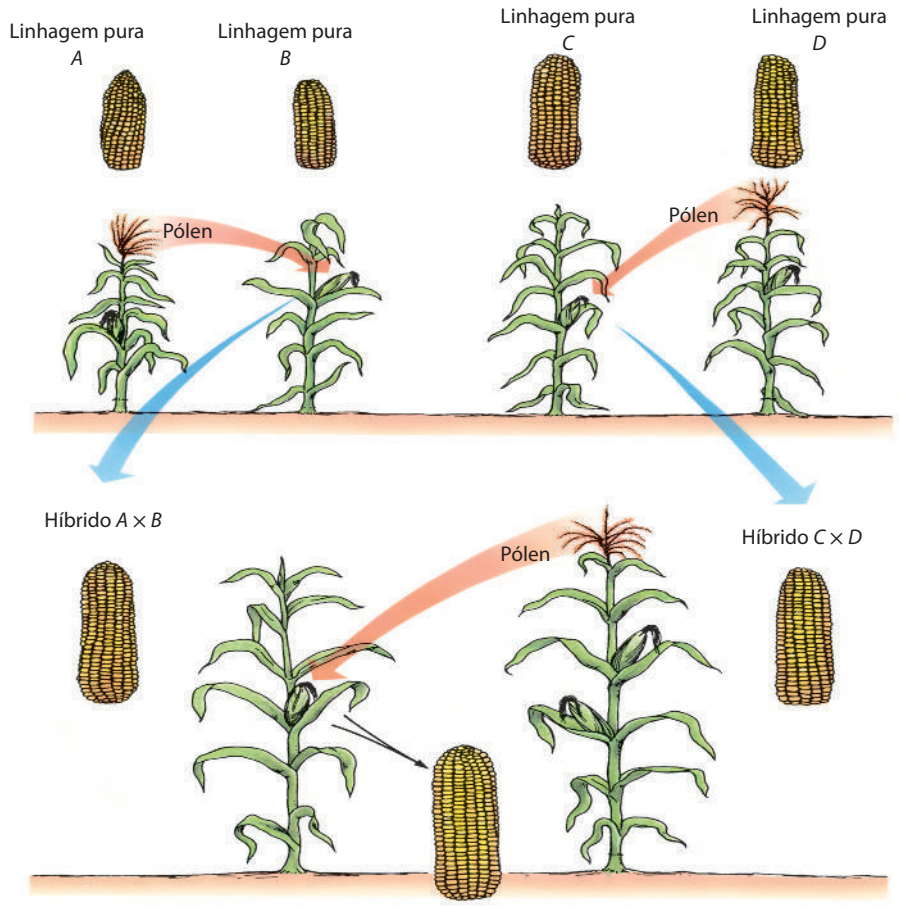
Um exemplo de desastre em monoculturas ocorreu em meados do século XIX na Irlanda, onde se cultivava uma única variedade de batata, principal alimento da população. Uma doença causada por microrganismos dizimou, em curto prazo, praticamente todas as plantações de batata do país. O resultado foi catastrófico, levando entre 400 mil e 500 mil pessoas à morte pela fome.

Em 1970, as culturas de milho no sul dos Estados Unidos foram atacadas por um fungo, reduzindo à metade a safra prevista. Estudos realizados pelo governo estadunidense mostraram que as culturas de milho eram geneticamente muito semelhantes e altamente vulneráveis àquele fungo patogênico. As culturas de milho foram recuperadas com a substituição da antiga linhagem de milho por nova variedade criada pela introdução de um alelo para resistência ao fungo causador da doença, obtido de uma variedade de milho cultivada em pequenas propriedades rurais na Colômbia.

Heterose ou vigor híbrido

Em 1909, o geneticista estadunidense George H. Shull (1874-1954) percebeu que o cruzamento entre duas determinadas variedades de milho produzia plantas vigorosas, mais resistentes a doenças e com espigas maiores e mais uniformes que as dos pais. Essas plantas foram denominadas **híbridas**. Verificou-se que as plantas híbridas apresentavam qualidades superiores às linhagens puras porque possuíam muitos genes em condição heterozigótica, ou seja, com alelos diferentes (*Aa*, *Bb* etc.). Esse fenômeno recebeu o nome de **heterose**, ou **vigor híbrido**. Os conhecimentos sobre as bases genéticas do vigor híbrido permitiram a produção de plantas de milho duplo-híbridas, obtidas a partir do cruzamento de quatro linhagens homozigóticas parentais. Hoje, a maior parte do milho consumido no mundo é duplo-híbrida. (Fig. 19.2)

Produção do milho híbrido



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ilustração dos autores.

Figura 19.2. Representação esquemática dos cruzamentos utilizados na obtenção do milho duplo-híbrido a partir de quatro linhagens puras parentais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O fenômeno da heterose não se restringe ao milho, ocorrendo também em plantas, como o morango, o tomate, o algodão e a cebola, e em animais, como galinhas e porcos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Engenharia Genética

No começo do século XX, os genes foram localizados nos cromossomos. Nos anos 1940, descobriu-se que os genes são constituídos por DNA. Nos anos 1960, o código genético foi decifrado. Desde então desenvolveram-se diversas técnicas para a manipulação do DNA, permitindo isolar e multiplicar genes em tubos de ensaio, ou seja, *in vitro*, além de possibilitar a transferência desses genes para indivíduos de espécies distintas. Nos próximos anos, são esperadas novas descobertas nesse campo de pesquisa denominado **Engenharia Genética**, ou **tecnologia do DNA recombinante**.

Plantas de milho, moscas e camundongos, entre outros organismos, são importantes materiais para estudos genéticos, mas as bactérias e vírus vêm ganhando destaque especial na Engenharia Genética. Graças à sua relativa simplicidade, as bactérias e os vírus têm permitido desvendar mecanismos básicos de funcionamento dos genes. Em condições ideais, uma única bactéria é capaz de se duplicar a cada 20 ou 30 minutos. Assim, em um só dia, podem ocorrer cerca de 48 duplicações. Para calcular quantos descendentes uma bactéria poderia originar em um dia utiliza-se a fórmula 2^n, em que n é o número de duplicações. Em nosso exemplo, o número de bactérias originado é igual a 2^{48}. Esse número equivale a mais de 1 quatrilhão de novos microrganismos, gerados assexuadamente por uma única bactéria em apenas um dia. Se não ocorrerem mutações, todos os descendentes da bactéria original serão geneticamente idênticos, constituindo o que os cientistas denominam **clone**. Esse termo (do grego *klón*, broto) designa um conjunto de indivíduos originados de um único genitor por meio de reprodução assexuada.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Clonagem

O significado dos termos clone e clonagem vem sendo ampliado na sociedade contemporânea. Atualmente se fala em clonagem de telefones celulares e de cartões bancários. Do ponto de vista da tecnologia biológica, clonar é realizar uma ou várias cópias de genes, de células ou de organismos. Por extensão, clonar celulares e cartões bancários é copiar seus códigos únicos. É pertinente notar como a aplicação de conhecimentos científicos faz com que as pessoas se apropriem de conceitos antes restritos aos laboratórios. Pesquise na internet sobre clonagem e informática. Reúna as informações que julgar mais importantes e interessantes e elabore um texto curto sobre o assunto.

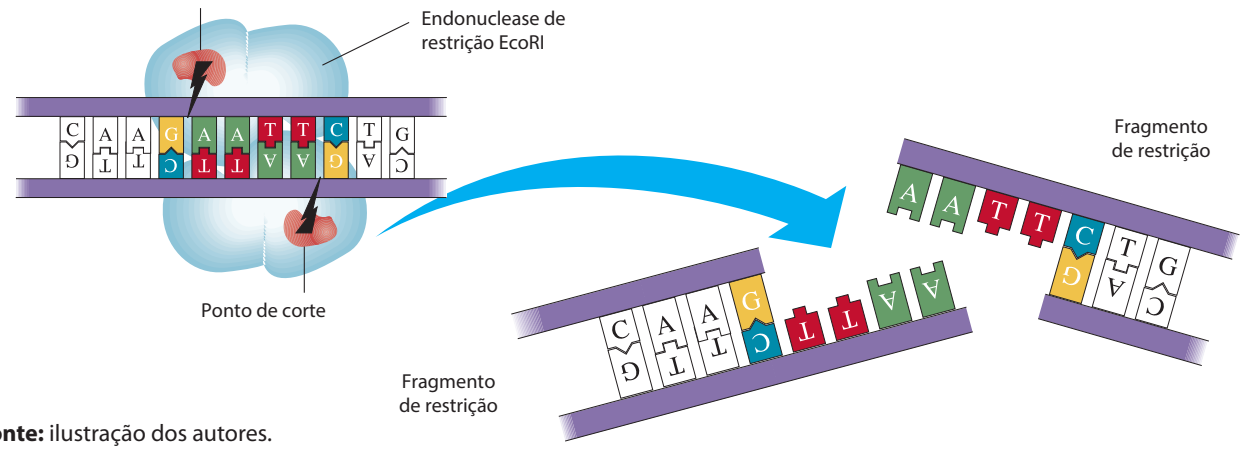
A análise do DNA

Cortando o DNA com endonucleases de restrição

No início dos anos 1970, descobriu-se que certas enzimas bacterianas podiam cortar moléculas de DNA em pontos específicos. Essas enzimas, denominadas **endonucleases de restrição**, são utilizadas pelas bactérias para combater os vírus que as atacam, chamados de bacteriófagos. Quando bacteriófagos injetam seu DNA em certas bactérias, endonucleases de restrição bacterianas entram em ação e cortam o DNA viral em pontos específicos, inativando o ataque.

As endonucleases de restrição podem ser comparadas a "tesouras" moleculares, capazes de reconhecer sequências de bases específicas no DNA e cortar a molécula nesses pontos. São conhecidas diversas endonucleases de restrição, cada uma capaz de reconhecer e de cortar o DNA onde houver determinada sequência de nucleotídios, em geral com 4 ou 6 pares de bases nitrogenadas. (Fig. 19.3 e Quadro 19.1)

Atuação de uma enzima de restrição



Fonte: ilustração dos autores.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quadro 19.1 Sítio de ação e bactéria de origem de algumas endonucleases

Nome da endonuclease	Bactéria de origem	Sítio de ação
AhaIII	*Aphanothece halophytica*	5' – TTT AAA – 3' 3' – AAA TTT – 5'
BamHI	*Bacillus amyloliquefaciens H*	5' – GGATCC – 3' 3' – CCTAGG – 5'
EcoRI	*Escherichia coli RY 13*	5' – GAATTC – 3' 3' – CTTAAG – 5'
HindIII	*Haemophilus influenzae Rd*	5' – AAGCTT – 3' 3' – TTCGAA – 5'
TaqI	*Thermus aquaticus YTI*	5' – TCGA – 3' 3' – AGCT – 5'

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 19.3. Representação esquemática do modo de ação da endonuclease de restrição EcoRI. O quadro mostra algumas endonucleases de restrição, as linhagens bacterianas que as produzem e as respectivas sequências de reconhecimento e sítios de corte, indicados pelas setas vermelhas.

As endonucleases de restrição são ferramentas bioquímicas importantes, pois cortam moléculas de DNA de forma controlada e previsível, possibilitando análises detalhadas do material genético. Por exemplo, quando moléculas idênticas de DNA são submetidas a determinada endonuclease de restrição, todas elas são cortadas exatamente nos mesmos pontos, originando padrões idênticos de tamanho dos fragmentos. Em contrapartida, moléculas de DNA diferentes, quando cortadas pela mesma endonuclease de restrição, originam fragmentos de DNA de tamanhos diferentes, típicos para cada DNA analisado. Assim, a digestão do material genético de diferentes pessoas, com uma mesma enzima de restrição, origina diferentes padrões de tamanho de fragmentos de DNA, típico de cada pessoa, caracterizando-a.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Separação eletroforética de fragmentos de DNA

A análise dos fragmentos de DNA originados pelo corte com determinada endonuclease de restrição é feita pela técnica de **eletroforese** (do grego *phóresis*, ação de transportar, migração). A eletroforese utiliza uma placa gelatinosa, ou de gel, imersa em uma solução salina e com uma das extremidades conectada a um polo elétrico negativo e a extremidade oposta, a um polo positivo. A solução que contém os fragmentos de DNA a serem separados é aplicada em fendas próximas à extremidade da placa de gel conectada ao polo negativo. Quando o campo elétrico é ligado, os fragmentos de DNA, que são dotados de carga elétrica negativa, migram para o polo positivo da placa.

Os fragmentos de DNA deslocam-se no interior da placa gelatinosa passando entre as fibras de gelatina. Quanto menor é um fragmento, mais facilmente ele passa entre as fibras do gel. Na corrida eletroforética, portanto, chegam na frente os fragmentos de DNA menores. Em seguida vêm os fragmentos um pouco maiores, e assim por diante.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando o campo elétrico é desligado, fragmentos de DNA de mesmo tamanho estacionam na mesma posição da placa gelatinosa, formando uma faixa de DNA naquele local. Por exemplo, se houver 12 tipos de fragmentos de DNA de diferentes tamanhos na solução aplicada na fenda do gel, após a eletroforese haverá 12 faixas separadas no gel, correspondentes aos 12 tamanhos de fragmentos. As faixas mais próximas do polo positivo são as que contêm fragmentos de DNA de menor tamanho, que se deslocaram mais rapidamente.

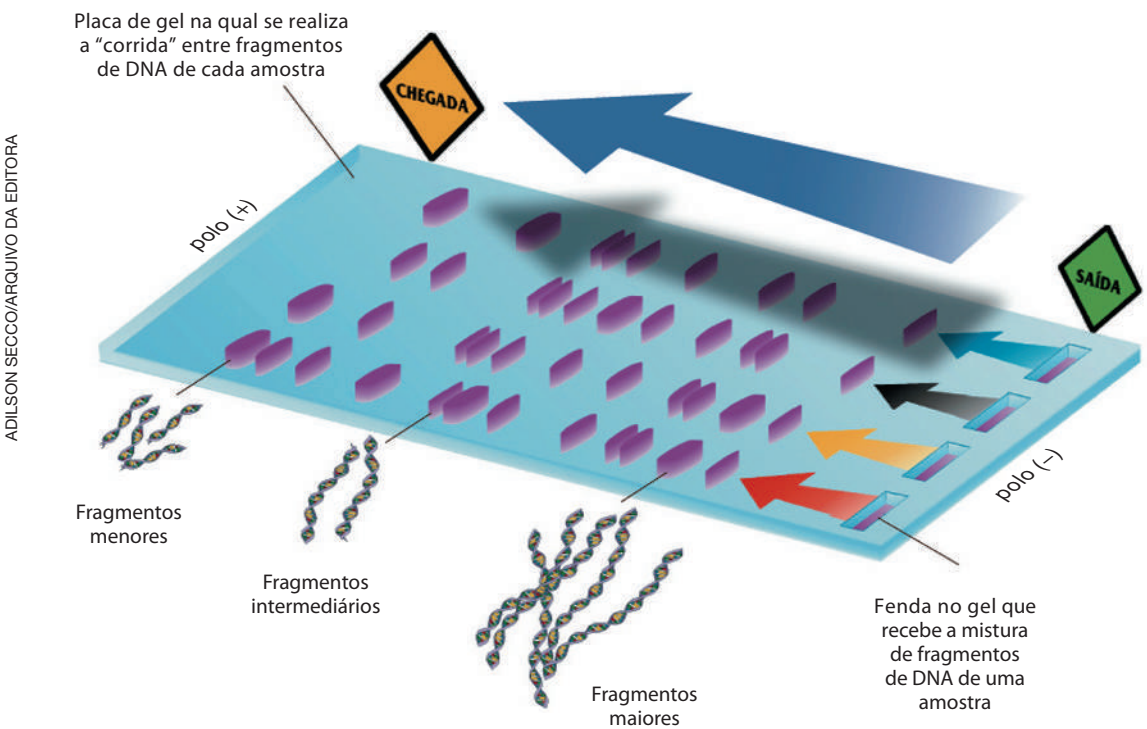
Após a corrida eletroforética, a placa de gel é tratada com corantes que evidenciam a presença de DNA. Pode-se registrar a posição e a espessura de cada faixa fotografando a placa gelatinosa. O padrão eletroforético de um DNA lembra os códigos de barras utilizados no comércio para armazenar informações sobre um produto. Para calcular o tamanho dos fragmentos de DNA originados pela digestão com a endonuclease de restrição, compara-se a posição relativa de cada faixa com um padrão de fragmentos de DNA de tamanhos conhecidos submetido simultaneamente à mesma eletroforese. A análise do DNA vem sendo aplicada à identificação de pessoas, com grande impacto na criminalística e no sistema judiciário.

Com base no discutido nesta seção, responda às questões a seguir, justificando suas respostas em textos curtos.

1. Moléculas de DNA idênticas, que apresentem apenas um sítio de corte para determinada enzima de restrição, produzirão quantos tipos de fragmentos de DNA se forem cortadas com essa enzima?

2. Suponha que uma molécula de DNA tenha sido fragmentada em quatro sítios de corte por uma endonuclease de restrição. O fragmento maior tinha 62 nucleotídios, e o menor, 12. Os outros fragmentos tinham o mesmo tamanho: 40 nucleotídios. Quantas faixas seriam obtidas em uma eletroforese desses fragmentos e qual deles seria o mais veloz na corrida eletroforética?

Eletroforese de fragmentos de DNA



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. *et al.* **Introdução à genética**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Representação esquemática da técnica de eletroforese, que permite separar fragmentos de DNA de diferentes tamanhos obtidos por tratamento com uma endonuclease de restrição. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

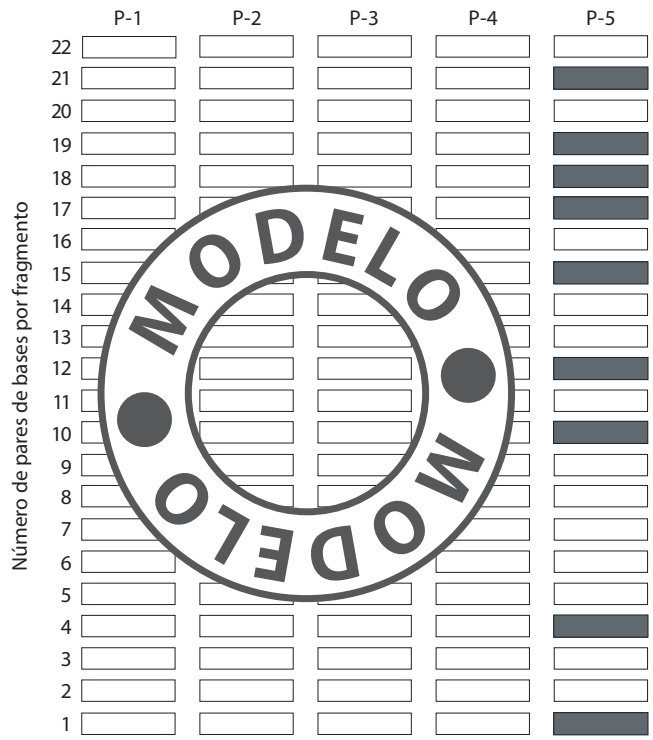
Simulando a identificação de pessoas pelo DNA

Nesta atividade será simulada a identificação de pessoas pelo DNA, na solução de duas questões judiciais. Uma delas busca identificar um criminoso entre três suspeitos; a outra trata de um caso de exclusão de paternidade.

Em primeiro lugar faça uma reprodução da página seguinte, na qual se encontra a representação dos DNAs de cinco pessoas (P-1 a P-5). Cada pessoa tem dois segmentos de DNA representados, correspondentes ao par de cromossomos homólogos (C_A e C_B) analisados. As sequências de bases desses cromossomos podem ser ligeiramente distintas em função da diferença entre os alelos.

O próximo passo para a análise do DNA é simular o corte com uma enzima de restrição hipotética que, neste exemplo, reconhece a sequência de dois pares de bases C-G adjacentes (CC em uma cadeia e GG na cadeia complementar). Para facilitar, essas sequências de corte estão destacadas no DNA das cinco pessoas. Localize no esquema todas as sequências de corte nos dois segmentos de DNA de cada pessoa. Em seguida, marque-as a lápis com um traço horizontal, a fim de separar um par C-G do par C-G adjacente.

Reproduza a figura a seguir e utilize-a para organizar os fragmentos de DNA obtidos de cada indivíduo, por ordem de tamanho. Conte o número de pares de bases de cada fragmento e represente as informações de cada pessoa em uma reprodução da imagem no esquema reproduzido, que simula a placa de gel. Esse procedimento simula o processo de eletroforese. Cada coluna apresenta o padrão eletroforético da pessoa identificada acima (P-1 a P-5), com os fragmentos de DNA distribuídos em faixas por ordem de tamanho. A coluna correspondente ao padrão da pessoa P-5 já foi preenchida como exemplo.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Com essas informações, resolva os dois casos apresentados a seguir.

1. Restos de pele encontrados sob as unhas da vítima (P-4) de um assassinato foram submetidos ao teste de DNA, revelando o padrão eletroforético P-5. Três pessoas, P-1, P-2 e P-3, suspeitas do crime, também foram submetidas ao teste de DNA. Qual delas é a provável culpada?
2. Dois homens, P-1 e P-2, disputam a paternidade de uma criança (P-4), filha da mulher P-3. Com base no teste de DNA dos quatro implicados, quem é o provável pai?

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reproduza esta página para realização da *Atividade prática – Simulando a identificação de pessoas pelo DNA*. A pessoa 5, à direita no esquema, já apresenta os tamanhos dos fragmentos obtidos pelos cortes.

MODELO

P-1

C_A	C_B
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
G-C	A-T
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
G-C	G-C
C-G	T-A
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
C-G	T-A
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	G-C
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C

P-2

C_A	C_B
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	G-C
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
G-C	G-C
T-A	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	A-T
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C

P-3

C_A	C_B
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
T-A	T-A
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	G-C
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
G-C	G-C
T-A	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	A-T
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C

P-4

C_A	C_B
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
C-G	T-A
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	G-C
T-A	T-A
A-T	A-T
A-T	A-T
G-C	G-C
C-G	T-A
C-G	C-G
T-A	T-A
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C
A-T	A-T
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	T-A
C-G	C-G
G-C	G-C
A-T	A-T
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
C-G	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	C-G
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	A-T
C-G	C-G
A-T	A-T
T-A	T-A
G-C	G-C
G-C	G-C

P-5

	C_A	C_B	
1	C-G	C-G	1
	C-G	C-G	
	A-T	A-T	
	T-A	T-A	
	T-A	T-A	
	A-T	A-T	
	A-T	A-T	
	A-T	A-T	
	T-A	T-A	
	C-G	C-G	
	G-C	G-C	
	C-G	C-G	
	T-A	T-A	
	A-T	A-T	
	G-C	G-C	
	T-A	C-G	15
	C-G	C-G	
	A-T	A-T	
19	T-A	C-G	4
	C-G	C-G	
	T-A	T-A	
	A-T	A-T	
	G-C	G-C	
	A-T	A-T	
	A-T	A-T	
	T-A	T-A	
	A-T	A-T	
	A-T	A-T	
	A-T	A-T	
	G-C	G-C	
	T-A	T-A	
12	C-G	C-G	12
	C-G	C-G	
	T-A	A-T	
	A-T	T-A	
	G-C	G-C	4
	A-T	A-T	
	A-T	G-C	
	G-C	A-T	
	A-T	T-A	
	T-A	C-G	
	C-G	G-C	
	G-C	A-T	
	A-T	A-T	
	A-T	T-A	
	T-A	G-C	
	G-C	A-T	
17	C-G	T-A	
	C-G	A-T	
	A-T	T-A	
	T-A	G-C	
	G-C	C-G	
	C-G	A-T	
	A-T	T-A	
	A-T	C-G	21
	T-A	C-G	
	T-A	T-A	
	A-T	A-T	
	C-G	C-G	
	T-A	T-A	
18	G-C	G-C	10
	G-C	G-C	
1			1

Não escreva nesta página, ela deve ser reproduzida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Clonagem de DNA

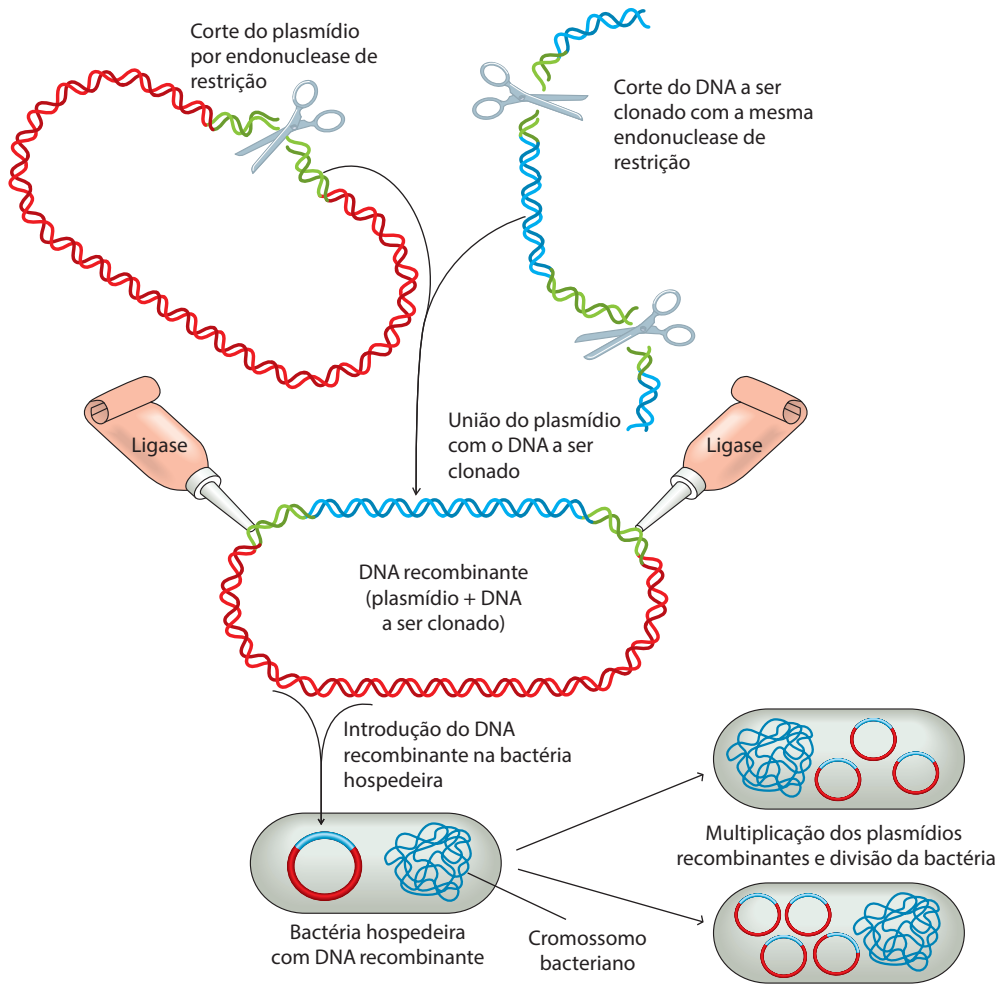
Vetores de clonagem de DNA: plasmídios

Plasmídios são moléculas circulares de DNA presentes em bactérias, menores que o cromossomo bacteriano. Embora não sejam essenciais à vida das bactérias, ter plasmídios pode ser vantajoso, uma vez que alguns deles apresentam genes responsáveis pela destruição de substâncias prejudiciais às bactérias, tais como antibióticos e outras substâncias tóxicas. Os plasmídios são capazes de se multiplicar e de ser transmitidos às bactérias-filhas.

No início da década de 1970, os pesquisadores estadunidenses Stanley Norman Cohen (1935-) e Herbert Boyer (1936-) cortaram plasmídios de uma bactéria e introduziram neles um segmento de DNA proveniente de outro organismo. O corte foi realizado com uma endonuclease de restrição e as emendas foram feitas com enzimas denominadas **ligases**. O resultado dessa engenharia molecular foi um **plasmídio recombinante**.

O plasmídio recombinante, ao ser colocado em contato com bactérias vivas, foi absorvido por elas. Os plasmídios se multiplicaram nas bactérias receptoras e foram transmitidos à descendência. Dessa forma, a partir de uma bactéria com o plasmídio recombinante, foi possível obter um clone constituído por bilhões de bactérias idênticas, cada uma com uma ou mais cópias do plasmídio, com o DNA de interesse incorporado. Essa metodologia para multiplicar DNA foi denominada **clonagem molecular**. (Fig. 19.4)

Clonagem de DNA em um plasmídio



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 19.4. Representação esquemática da técnica de clonagem molecular em um plasmídio bacteriano vetor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

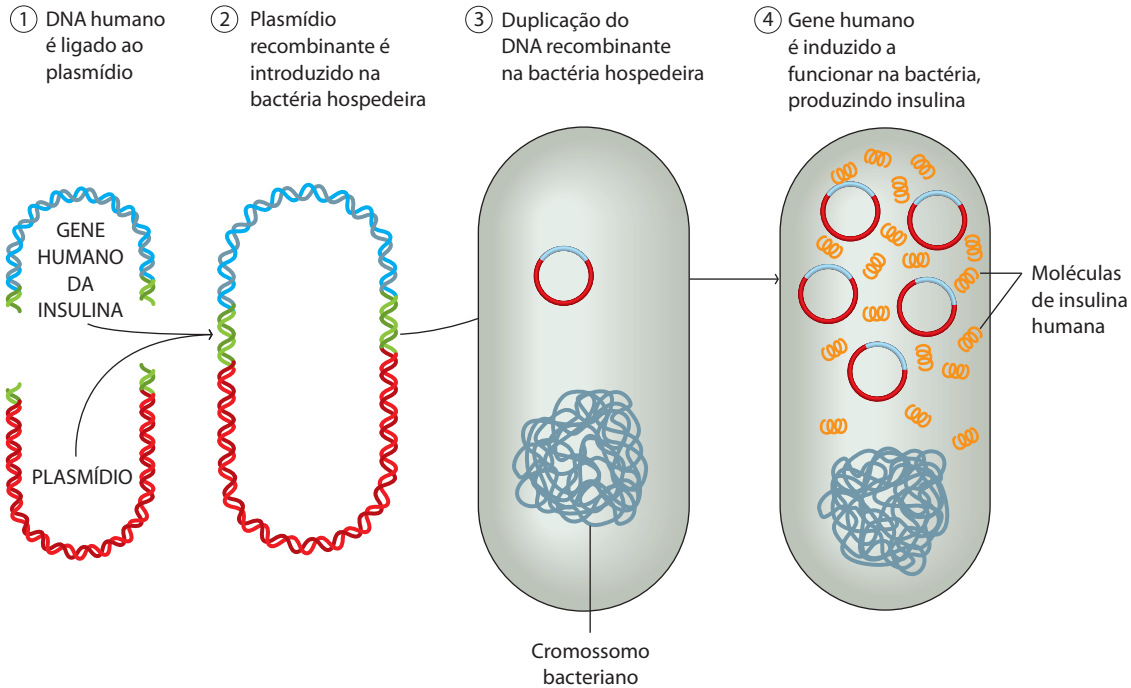
Bactérias produzindo proteínas humanas

A clonagem molecular tornou possível isolar genes que codificam proteínas humanas, ligá-los a plasmídios bacterianos e introduzi-los em bactérias, transformando-as em fábricas de proteínas genuinamente humanas quanto à sequência de aminoácidos, porém sintetizadas pelo metabolismo bacteriano.

A primeira empresa de biotecnologia, denominada Genentech, foi criada por Herbert Boyer e pelo empresário Robert Swanson (1947-1999) em 1977. A Genentech conseguiu produzir pela primeira vez em bactérias um peptídio de interesse comercial, o hormônio **somatostatina**. Esse hormônio é constituído por 14 aminoácidos e atua no corpo reduzindo as secreções endócrinas e exócrinas do pâncreas, entre outras ações.

Em 1978, o gene codificador da **insulina** humana foi introduzido com sucesso em bactérias e teve sua comercialização para fins terapêuticos aprovada em 1982. Até então, o tratamento de diabéticos com insulina era feito com hormônios extraídos do pâncreas de bois e porcos. Apesar de a insulina desses animais ser semelhante à insulina humana, ela pode desencadear problemas alérgicos. Por outro lado, a insulina produzida em bactérias transformadas é idêntica à insulina humana. Atualmente já há diversas proteínas humanas de interesse médico produzidas por clones bacterianos.

Clonagem do gene da insulina em bactérias



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. *et al*. **Introdução à genética**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Representação esquemática da clonagem do gene da insulina humana. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Forme um grupo de colegas para pesquisar na internet sobre a produção de hormônio de crescimento, de insulina e de outras substâncias de interesse por meio da clonagem em bactérias. O grupo pode repartir as tarefas de pesquisas para tornar o trabalho mais eficiente. Uma vez encerrada a pesquisa, o grupo poder trocar as informações mais importantes e interessantes levantadas, produzindo um texto estruturado sobre os dados obtidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Organismos transgênicos

Organismos portadores de DNA de outras espécies, como as bactérias utilizadas na produção de proteínas humanas, são chamados de **organismos transgênicos**. Os transgênicos têm sido importantes para os avanços na compreensão da estrutura e do funcionamento dos seres vivos no nível molecular. O melhoramento genético por meio de transgênicos permite desenvolver linhagens de animais e de plantas mais lucrativas, como a soja resistente a herbicidas e o milho e o algodão resistentes a pragas. A utilização de organismos transgênicos na agricultura e na pecuária popularizou a expressão **organismo geneticamente modificado** (**OGM**) como sinônimo de transgênico.

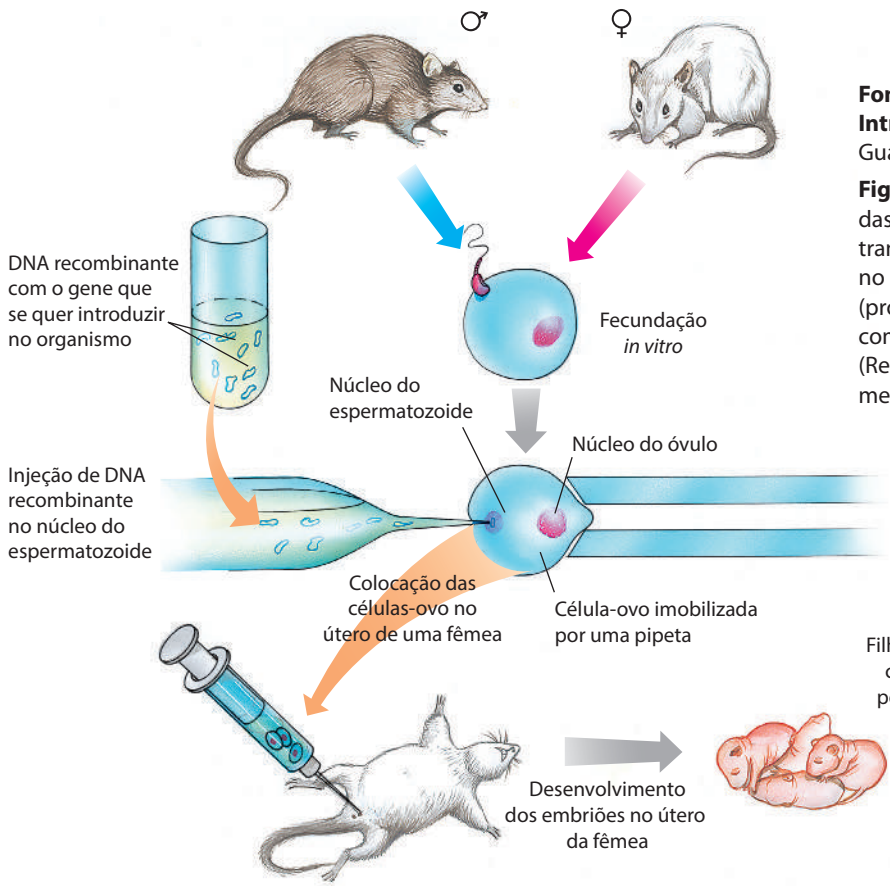
Como são produzidos organismos transgênicos?

O primeiro transplante bem-sucedido de genes entre animais foi realizado em 1981. Fragmentos de DNA com o gene da hemoglobina de coelho foram injetados em zigotos de camundongos. Alguns dos camundongos originados desses zigotos apresentavam hemoglobina de coelho em suas hemácias, o que mostrava que eles eram transgênicos funcionais.

Mamíferos transgênicos geralmente são obtidos a partir de zigotos gerados por fecundação *in vitro*, processo em que óvulos são colocados em frasco contendo espermatozoides. O processo da fecundação é acompanhado ao microscópio e segmentos do DNA que se deseja incorporar são injetados na célula-ovo recém-formada. A microinjeção é feita com uma finíssima agulha de vidro acoplada a uma aparelhagem de micromanipulação. Os embriões assim originados são implantados no útero de fêmeas, onde se desenvolvem.

Em geral, uma ou mais moléculas do DNA injetado incorporam-se aos cromossomos da célula-ovo e são transmitidas às células-filhas quando o zigoto se divide. Dessa forma, todas as células do indivíduo conterão o DNA transplantado. Quando o organismo transgênico se reproduzir, os genes incorporados serão transmitidos à descendência segundo as leis básicas da herança genética, como qualquer outro gene. (Fig. 19.5)

Produção de animais transgênicos



Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. *et al*. **Introdução à genética**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Figura 19.5. Representação esquemática das etapas de produção de camundongos transgênicos. O DNA geralmente é injetado no núcleo originado do espermatozoide (pronúcleo masculino) antes de sua fusão com o núcleo do óvulo (pronúcleo feminino). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

MUNDO DO TRABALHO

A Genética na agropecuária brasileira

Em 2022, o agronegócio foi responsável por cerca de 25% do PIB brasileiro, alcançando um valor de R$ 2,54 trilhões. De acordo com dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, a produção agrícola representou a maior parte desse valor, com 72,2% (R$ 1,836 trilhão), enquanto a pecuária contribuiu com 27,8% (R$ 705,36 bilhões).

O setor agropecuário emprega aproximadamente um terço dos trabalhadores brasileiros. Até o terceiro trimestre de 2023, 28,46 milhões de pessoas estavam empregados no agronegócio, o que representa 26,8% do total de trabalhadores no Brasil. As exportações do agronegócio também têm um peso considerável no comércio internacional brasileiro, representando 49% do total exportado do país em 2023.

O emprego da Engenharia Genética transformou a agropecuária nos últimos anos, e o Brasil é um exemplo de país com grande desenvolvimento nesse setor. Atualmente, a clonagem de animais de alto valor e a produção de mudas obtidas por meio de clones são práticas relativamente comuns, impulsionando eficiência e produtividade no campo. Essas técnicas permitem multiplicar indivíduos com características desejáveis, garantindo a qualidade da produção agrícola e pecuária.

O impacto econômico dessas inovações é significativo em um mercado que movimenta trilhões de reais por ano no Brasil. Isso não apenas reforça a posição do país como potência agrícola global, mas também abre portas para uma gama de profissionais, como especialistas em biotecnologia, engenharia genética, agronomia e veterinária. Além desses, técnicos que atuam no dia a dia dos laboratórios estão no centro dessa atividade, desenvolvendo e aplicando tecnologias que moldam o futuro da agropecuária. A maioria das posições é ocupada por profissionais de nível técnico ou superior, e a demanda por mão de obra qualificada nessa área deve aumentar nos próximos anos, gerando muitas oportunidades.

ALFRIBEIRO/DEPOSITPHOTOS/FOTOARENA

As pesquisas realizadas em laboratório possibilitam a criação de novas linhagens de plantas e animais.

Com base no que você leu anteriormente, a agropecuária brasileira necessita de profissionais com diferentes formações (biólogos, bioquímicos, agrônomos, veterinários etc.). Se fosse atuar nessa área, que tipo de formação você buscaria? Escreva um texto a respeito.

Transgênicos entre animais e plantas

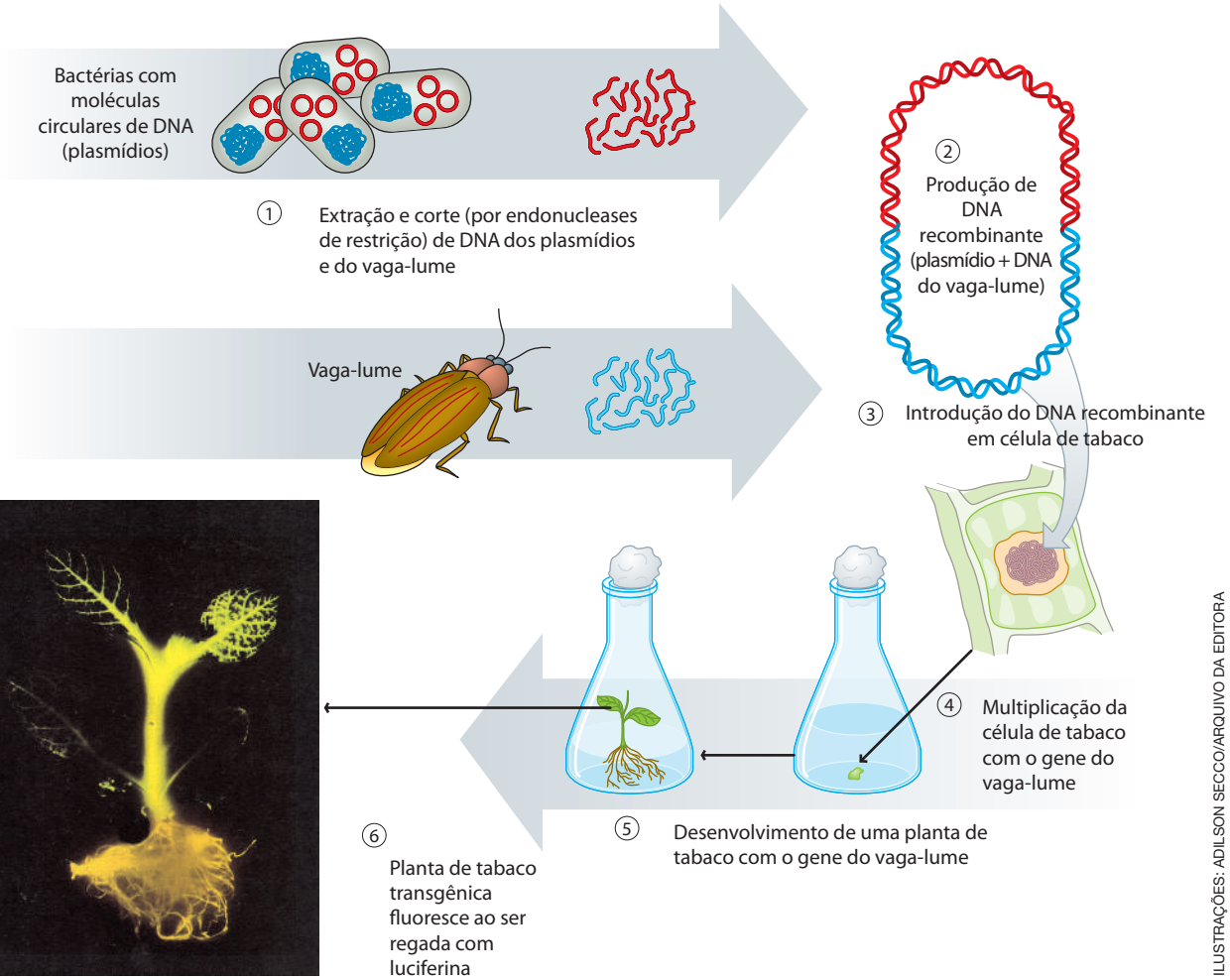
A produção de plantas transgênicas é relativamente mais fácil que a de animais transgênicos, pois é possível obter uma planta completa a partir de uma única célula vegetal geneticamente transformada. O plasmídio da bactéria *Agrobacterium tumefaciens*, capaz de se integrar com facilidade em cromossomos de plantas, tem sido muito utilizado como vetor de clonagem em vegetais.

Um experimento emblemático de transgenia foi a introdução de um gene de vaga-lume em uma planta de tabaco. O gene inserido na planta tinha informação para a síntese da luciferase, enzima que catalisa a reação química de bioluminescência, estratégia dos vaga-lumes para atrair parceiras de acasalamento. O gene da luciferase do vaga-lume foi ligado a um plasmídio e introduzido em bactérias. Desse modo obteve-se grande quantidade de cópias do gene, que, depois de purificado, foi injetado

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

em células de uma planta do tabaco. A técnica de cultura de tecidos vegetais permitiu obter uma planta transgênica a partir de células transformadas com o gene da luciferase introduzido. Ao ser regada com luciferina, substância sobre a qual a luciferase atua, a planta de tabaco transgênico passou a emitir uma tênue luz esverdeada. (Fig. 19.6)

Produção de planta transgênica bioluminescente



CORTESIA: NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, VIRGÍNIA/GOVERNO DOS ESTADOS UNIDOS

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. *et al*. **Introdução à genética**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Figura 19.6. Representação esquemática da produção de uma planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*) transgênica bioluminescente por meio da introdução de um gene de vaga-lume. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) Fotografia tirada no escuro após a planta transgênica ter sido regada com uma solução de luciferina. A planta de tabaco da fotografia tem cerca de 10 cm de altura.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Polêmicas envolvendo organismos transgênicos

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Nos últimos anos, as plantas transgênicas tornaram-se amplamente conhecidas devido às polêmicas sobre certa variedade transgênica de soja. Essa variedade contém um gene bacteriano que confere resistência a determinadas substâncias herbicidas, utilizadas para matar ervas daninhas que crescem nos campos de cultivo. Com isso os agricultores podem empregar herbicidas que eliminam outras plantas, exceto a soja transgênica, o que diminui o trabalho de limpeza do campo de cultivo. Além disso, sem plantas competidoras, a produtividade da lavoura de soja aumenta.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

Outro transgênico muito comercializado atualmente é a variedade de milho Bt, assim chamada porque tem incorporado em seu genoma um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*. A incorporação desse gene faz as células do milho produzirem uma substância tóxica para os insetos, porém inofensiva para animais vertebrados. O cultivo dessa variedade de milho permite uma redução acentuada no uso de defensivos agrícolas para o combate de insetos-praga.

A comercialização de derivados de organismos transgênicos somente é liberada após inúmeros testes para comprovar sua segurança, no que se refere tanto à saúde das pessoas e dos animais consumidores quanto ao meio ambiente. No Brasil, as atividades e os projetos que envolvem organismos geneticamente modificados são regulados pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), criada pela Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005. A CTNBio já aprovou o plantio comercial de diversas plantas transgênicas, entre elas a soja, o milho e o algodão. Cerca de 95% da soja produzida no Brasil entre 2021 e 2022 era transgênica. Brasil, Estados Unidos e Argentina são os maiores produtores de plantas transgênicas no mundo.

Nesta atividade, a sugestão é que você forme um grupo com colegas para dividir as funções de pesquisar na internet o tema "organismos geneticamente modificados (OMGs) na alimentação humana". Como aparecem nas mídias as diferentes opiniões a respeito dos organismos transgênicos? Uma sugestão é que o grupo escolha um relator encarregado de redigir, com a ajuda dos colegas, um texto em estilo argumentativo que expresse uma posição sobre a utilização de transgênicos na alimentação humana.

4. Desvendando o genoma humano

Como acabamos de estudar neste capítulo, os cientistas já dominam metodologias que permitem cortar moléculas de DNA em fragmentos e separá-los uns dos outros. A clonagem molecular permite multiplicar fragmentos de DNA isolados e obter muitas cópias de cada um deles. A Engenharia Genética possibilita também unir pedaços de DNA de origens diferentes, produzindo o que os cientistas denominam **moléculas-quimeras**, em analogia a uma figura da mitologia grega, a Quimera, de aparência híbrida entre dois ou mais animais. Moléculas-quimeras podem ser inseridas em células vivas e modificar seu funcionamento, sendo transmitidas às gerações seguintes quando a célula se multiplica.

Essas tecnologias de manipulação de DNA podem originar futuramente técnicas de **geneterapia**, destinadas a tratar e curar doenças hereditárias humanas. A ideia é que genes de células doentes possam ser modificados, originando células sadias.

O desenvolvimento das pesquisas sobre DNA tornou possível o **Projeto Genoma Humano**, uma ambiciosa empreitada científica voltada a conhecer e caracterizar todos os genes de nossa espécie, mapeando-os nos cromossomos e determinando seu modo de funcionamento. Os resultados do projeto já revelaram que o sistema biológico é mais complexo do que se imaginava e que ainda será necessário muito estudo para realmente compreender os fundamentos da vida.

O Projeto Genoma Humano começou oficialmente em outubro de 1990 com a publicação de um plano de pesquisa cujo objetivo principal era determinar a sequência de todos os nucleotídios dos 24 tipos de cromossomos constituintes do genoma humano (os 22 autossomos e os cromossomos sexuais X e Y). Outro objetivo do projeto era a identificação de todos os genes humanos.

O projeto foi iniciado por duas agências governamentais estadunidenses, o Departamento de Energia e o Instituto Nacional de Saúde (em inglês, ***N**ational **I**nstitutes of **H**ealth*, **NIH**), com a participação de universidades e institutos de pesquisa de diversos países. Uma empresa privada estadunidense entrou na disputa pelo sequenciamento do genoma humano em maio de 1998, prometendo completá-lo em apenas três anos, quatro anos antes do previsto pelo consórcio público. A principal diferença entre os dois projetos era o método empregado para a determinação das sequências de nucleotídios. A estratégia do consórcio público era dividir cada cromossomo em grandes fragmentos e determinar a sequência de nucleotídios de fragmentos adjacentes. A empresa privada adotou a estratégia de partir todo o genoma em pequenos fragmentos, sequenciar cada um deles e, em seguida, ordená-los pela sobreposição de suas extremidades, o que demandou o uso de potentes computadores e programação sofisticada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A empresa privada não pretendia tornar públicos os dados obtidos, e sim patenteá-los e comercializá-los. Diante da possibilidade de uma corporação particular tornar-se proprietária exclusiva de um patrimônio da humanidade, o consórcio público redobrou os esforços para concluir o Projeto Genoma Humano no menor tempo possível.

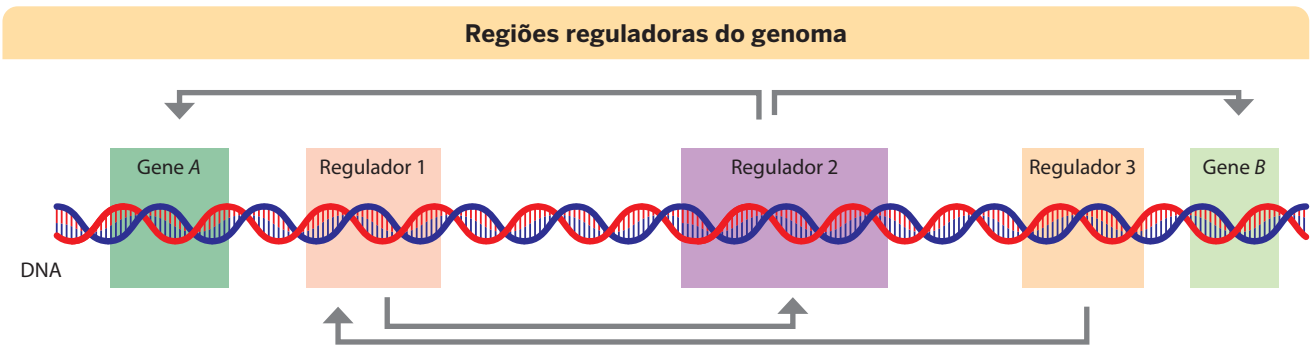
Em 26 de junho de 2000, os pesquisadores Francis Collins (1950-) (líder do consórcio público) e Craig Venter (1946-) (presidente da empresa privada) anunciaram conjuntamente um esboço geral do genoma humano. Os trabalhos foram publicados em fevereiro de 2001 nas revistas científicas *Science* (a parte realizada pela corporação particular) e *Nature* (a parte realizada pelo consórcio público). O projeto foi considerado concluído em 2003, mas as análises dos dados obtidos continuaram, e somente em março de 2022 foi finalmente anunciada a conclusão do mapeamento de todo o genoma humano, com uma precisão de 99,99%.

Graças ao Projeto Genoma Humano, sabemos que há cerca de 3 bilhões e 245 milhões de pares de nucleotídios nos cromossomos humanos, dos quais apenas cerca de 2% correspondem a genes. Os 98% restantes são sequências não codificantes, que não são transcritas para moléculas de RNA. O número total de genes humanos, estimado entre 20 mil e 25 mil, é bem menor do que os 100 mil previstos antes do início do sequenciamento. O tamanho médio de um gene humano é de 3 mil pares de bases. O mais longo gene humano, que codifica a proteína distrofina, tem 2,4 milhões de pares de bases. Com relação ao número de genes, o genoma humano assemelha-se ao de camundongos.

Os estudos têm mostrado que a parte do DNA humano não codificante (aproximadamente 80% do genoma) exerce função de regulação da síntese de proteínas por mecanismos ainda não compreendidos completamente. Muitas dessas sequências de nucleotídios, que se pensava não terem função alguma, atuam como interruptores nos circuitos genéticos, controlando a ativação ou desativação de genes. (Fig. 19.7)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. *et al*. **Introdução à genética**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Figura 19.7. Representação esquemática da ação reguladora de regiões não codificantes do genoma. Os genes *A* e *B* são sequências de nucleotídios que codificam proteínas (DNA codificante). As regiões reguladoras são sequências de bases que não codificam proteínas, mas que afetam a transcrição em outros locais do genoma. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Como é denominado o conjunto de técnicas que visam à seleção e ao aprimoramento das qualidades dos organismos úteis à nossa espécie? 1.c

a. Clonagem.
b. Engenharia Genética.
c. Melhoramento genético.
d. Vigor híbrido ou heterose.

2. O que é Engenharia Genética? 2.a

a. Conjunto de procedimentos empregados na manipulação do DNA.
b. Processo por meio do qual os genes produzem proteínas.
c. Ramo da Biologia que estuda os genes humanos.
d. Ramo especializado na produção de equipamentos científicos.

3. 3.c Que nome é dado a um organismo que tem genes de outra espécie incorporados ao seu genoma?

a. Heterozigótico.
b. Homozigótico.
c. Transgênico.
d. Clone.

4. 4.d A que se refere o termo clonagem molecular?

a. À duplicação normal do cromossomo bacteriano.
b. A um mecanismo de defesa das bactérias contra vírus bacteriófagos.
c. A um processo utilizado para atenuar vírus letais.
d. A uma técnica para multiplicar segmentos específicos de DNA.

5. 5.a Amostras de DNA podem ser identificadas pelo conjunto de fragmentos obtidos após o corte com enzimas de restrição e sua posterior separação por

a. eletroforese.
b. ligases.
c. melhoramento genético.
d. transcrição gênica.

6. 6.d Uma ovelha gerada na Inglaterra, Tracy, tinha incorporado em um de seus cromossomos o gene para a enzima antitripsina humana; tratava-se, portanto, de um

a. clone.
b. híbrido.
c. plasmídio.
d. transgênico.

Questões de vestibulares

7. 7.d **(UFRN)** As técnicas de Engenharia Genética possibilitaram a produção de grandes quantidades de insulina por bactérias que receberam o gene humano para esse hormônio. Tal feito só foi possível pelo emprego das enzimas de restrição, que agem

a. traduzindo o gene da insulina para o código genético da bactéria.
b. ligando o pedaço do DNA humano no DNA da bactéria.
c. identificando os aminoácidos codificados pelo gene.
d. cortando o DNA da bactéria em pontos específicos.

8. 8.c **(UFRR)** Com relação a organismos transgênicos, a alternativa correta é:

a. Sofrem mudanças nas características fenotípicas ao longo da vida.
b. Animais transgênicos são produzidos a partir de aprimoramento de determinadas qualidades na espécie.
c. Possuem parte da informação genética de outro ser vivo.
d. Organismos transgênicos são aqueles que recebem o DNA da mesma espécie.
e. A alteração genética de animais e plantas não interfere na evolução natural das espécies.

9. 9.c **(Ufal)** A tecnologia do DNA recombinante tem produzido uma série de avanços no setor agropecuário brasileiro. A inserção de um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis* em algumas variedades de plantas, por exemplo, as torna resistentes a certas pragas. Sobre essas tecnologias, é correto afirmar:

a. a transferência de qualquer gene de um organismo a outro produz variabilidade genética; daí, os transgênicos serem resistentes a pragas.
b. plasmídios virais são utilizados como vetores de genes de interesse que serão transferidos a um organismo.
c. a resistência de uma planta transgênica a uma praga se deve à ação do produto do gene inserido na planta, e não à presença do gene em si.
d. plantas naturalmente resistentes a pragas não passam necessariamente essa característica à prole, daí a necessidade das técnicas de Engenharia Genética.
e. a clonagem de plantas com características de resistência a pragas as torna menos suscetíveis à extinção ao longo da evolução, segundo as leis da seleção natural.

10. 10.c **(UFG-GO)** No que se refere ao desenvolvimento do chamado milho híbrido, sabe-se que o cruzamento de duas linhagens homozigotas selecionadas pode produzir espigas maiores e de melhor qualidade comercial, em consequência da alta

a. interação de genes recessivos.
b. taxa de *crossing-over*.
c. frequência de genes em heterozigose.
d. inativação de alelos codominantes.
e. ocorrência de pleiotropia.

11. 11.a **(Fuvest-SP)** O anúncio do sequenciamento do genoma humano, em 21 de junho de 2000, significa que os cientistas determinaram

a. a sequência de nucleotídios dos cromossomos humanos.
b. todos os tipos de proteína codificados pelos genes humanos.
c. a sequência de aminoácidos do DNA humano.
d. a sequência de aminoácidos de todas as proteínas humanas.
e. o número correto de cromossomos da espécie humana.

12. **(Ufes)** A partir da década dos 1970, as moléculas de ácidos nucleicos da célula passaram a ser exploradas através da utilização de novas metodologias, conhecidas como tecnologia do DNA recombinante.

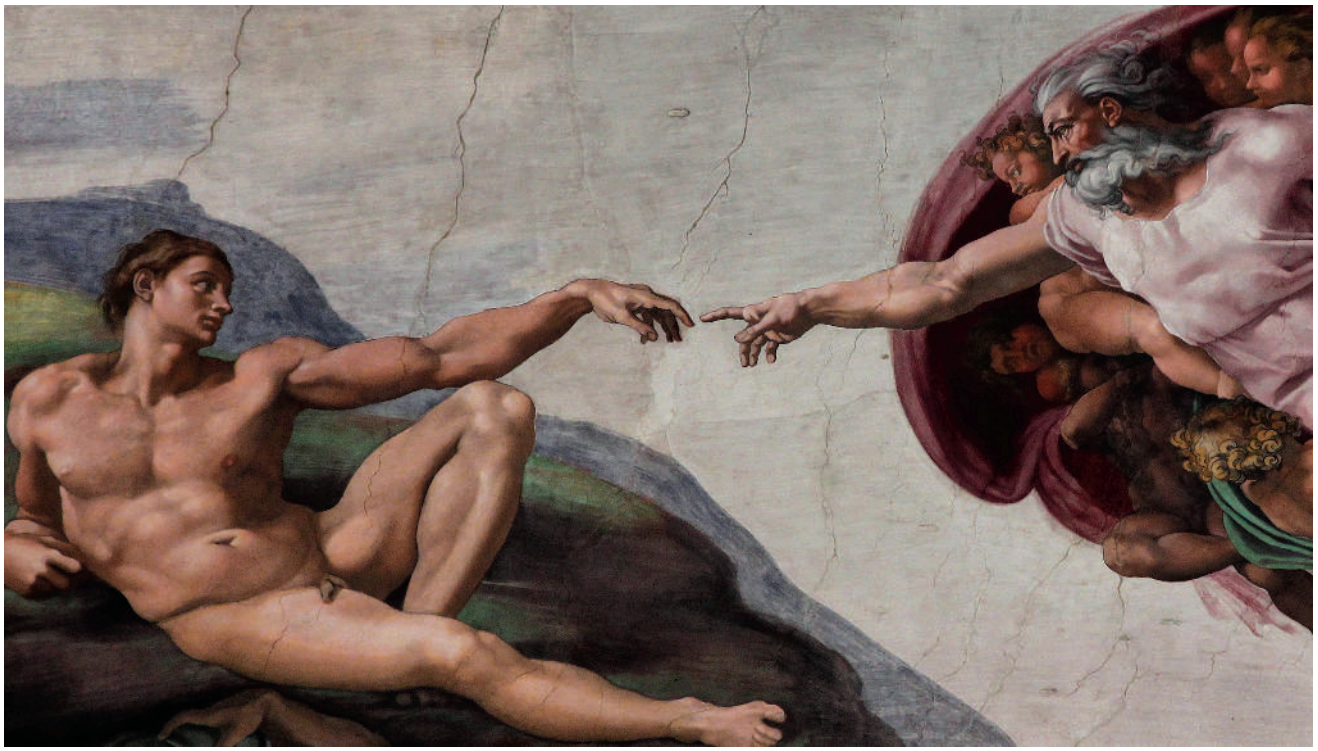
Por meio dessa tecnologia, a medicina e a indústria ganharam alternativas eficientes para a produção, em grande escala, de determinadas proteínas, que antes eram disponíveis em quantidades extremamente reduzidas.

a. Qual é a função das endonucleases de restrição e a das ligases na aplicação da tecnologia anteriormente citada?
b. Explique como a tecnologia do DNA recombinante participa no processo de produção de organismos transgênicos.
c. Cite dois produtos, utilizados pelo homem, que foram obtidos a partir da aplicação da tecnologia do DNA recombinante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 20

Os fundamentos da evolução biológica



MICHELANGELO. FOTO: LUCAS SCHIFRES/GETTY IMAGES

Em seu afresco pintado entre 1508 e 1512 no teto da Capela Sistina, no Vaticano, Michelangelo retrata o mito bíblico da criação humana por Deus (Roma, Itália, 2012).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Explicações para a criação do mundo e dos seres vivos estão presentes em praticamente todas as culturas. Uma visão mítica sobre a criação, muito difundida entre os povos ocidentais de tradição judaico-cristã, está presente nas bíblias hebraica e cristã, narrando a criação do universo por um deus único, eterno e soberano. Atualmente, parte dos cristãos e dos judeus considera a explicação bíblica da criação uma alegoria mítica para a criação do Universo e não uma verdade histórica. No entanto, certas correntes religiosas fundamentalistas defendem a interpretação literal da Bíblia, rejeitando explicações científicas para a origem do Universo e dos seres vivos, particularmente da espécie humana.

O desenvolvimento do pensamento científico a partir do Renascimento possibilitou o emprego dos métodos e pressupostos da ciência na elaboração de uma teoria científica para a origem do Universo, da Terra e dos seres vivos. Para a ciência atual, a vida surgiu por processos naturais há pelo menos 3,5 bilhões de anos. Desde então os seres vivos vêm evoluindo e se diversificando.

Este capítulo trata dos fundamentos da teoria evolucionista, com ênfase nas ideias e nos trabalhos de Charles Darwin. Discute também as evidências que corroboram a ideia de que ocorreu, e continua ocorrendo, a evolução dos seres vivos. A teoria evolucionista moderna contou com a contribuição de muitos cientistas, que integraram conhecimentos modernos de Genética com as ideias propostas por Darwin, fundando assim a teoria sintética da evolução. Conhecer as ideias científicas sobre a origem do Universo e dos seres vivos ajuda a refletir sobre a história humana e sua relação com o Universo.

1. O pensamento evolucionista

Criacionismo e evolucionismo

Até o início do século XIX, a maioria dos naturalistas acreditava que as espécies de seres vivos não haviam mudado desde que surgiram, doutrina que ficou conhecida como **fixismo**. Segundo essa doutrina, as espécies atuais de seres vivos seriam as mesmas que existiram no passado, embora pudesse haver pequenas variações entre os membros de uma espécie. Naturalistas adeptos do fixismo geralmente também aceitavam o **criacionismo**, doutrina que atribui o surgimento das espécies biológicas a um ato divino de criação.

O desenvolvimento da Ciência e a descoberta de novos continentes, nos quais a fauna e a flora eram muito diferentes das europeias, levaram alguns naturalistas a considerar que as espécies vivas poderiam ter se modificado ao longo do tempo. Os primeiros livros que defendiam a possibilidade de os seres vivos se modificarem, com espécies ancestrais originando novas espécies, surgiram no final do século XIX. Começava a despontar, assim, o **evolucionismo**.

O evolucionismo é atualmente apoiado por evidências científicas em diversos campos do conhecimento científico: cosmológico, geológico, arqueológico e antropológico, entre outros. Do ponto de vista da ciência, a teoria evolucionista é a única forma de explicar racional e coerentemente a origem e a diversidade de seres vivos. O biólogo ucraniano naturalizado estadunidense Theodosius Dobzhansky (1900-1975), em um artigo intitulado *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution* [Nada em Biologia faz sentido a não ser sob a luz da evolução], publicado em 1973 na revista *American Biology Teacher*, nº 35, páginas 125-129, escreveu: "Interpretada à luz da evolução, a Biologia é, do ponto de vista intelectual, talvez a mais inspirada e satisfatória das ciências. Sem a luz evolucionista, a Biologia torna-se uma miscelânea de fatos, alguns deles interessantes ou curiosos, mas desprovidos de significado quando considerados em conjunto". (Fig. 20.1)

CHARLES THEVENIN - COLEÇÃO PARTICULAR

Figura 20.1. Theodosius Dobzhansky, um dos mais importantes biólogos do século XX, publicou um artigo desafiando o movimento criacionista, que tentava aprovar leis para excluir o ensino da evolução nas escolas públicas estadunidenses. (Fotografia da década de 1960.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

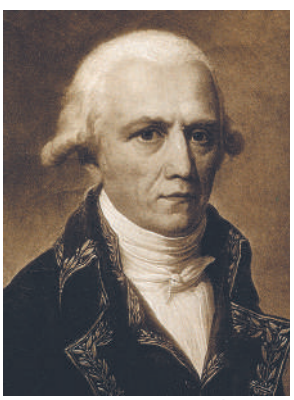
Religiões e evolucionismo

O capítulo trata dos principais temas relacionados ao pensamento evolucionista sem abordar os embates entre religião e ciência sobre a origem dos seres vivos. Entretanto, aprofundar o conhecimento nessas questões sociais e históricas pode ser muito interessante e esclarecedor. Pesquise a respeito de controvérsias históricas e atuais entre religião e ciência e resuma os aspectos mais interessantes de suas pesquisas em um texto.

As ideias evolucionistas de Lamarck

Um pioneiro na história do pensamento evolucionista foi o naturalista francês Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet (1744-1829), Cavaleiro de Lamarck, que ficou conhecido como Jean-Baptiste de Lamarck. Para Lamarck, cada espécie de ser vivo teria surgido por transformações sucessivas de uma forma primitiva, originada de matéria não viva.

Lamarck defendia a influência direta do ambiente nas transformações evolutivas dos seres vivos. Segundo ele, o ambiente pode levar a mudanças no corpo de um organismo, com desenvolvimento de certas partes e atrofia de outras, geralmente causadas por sua maior ou menor utilização. Lamarck denominou essa explicação de **lei do uso e desuso** e a exemplificou atribuindo a ausência de pernas nas serpentes à pequena utilização desses membros na ancestralidade desses animais. Assim, a adaptação a um modo de vida rastejante teria levado os ancestrais das serpentes a utilizarem mais a movimentação do corpo e menos as pernas, que teriam se atrofiado progressivamente ao longo das gerações até desaparecerem. A atrofia das pernas, uma característica adquirida pelo desuso, seria transmitida ao longo das gerações, o que Lamarck chamou de **lei da transmissão das características adquiridas**. Os historiadores da Ciência costumam se referir às ideias e aos pressupostos evolucionistas de Lamarck como **lamarckismo**. (Fig. 20.2)



CHARLES THEVENIN - COLEÇÃO PARTICULAR

Figura 20.2. Retrato de Jean-Baptiste de Lamarck, pintura a óleo feita por Charles Thévenin, em 1802 ou 1803.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

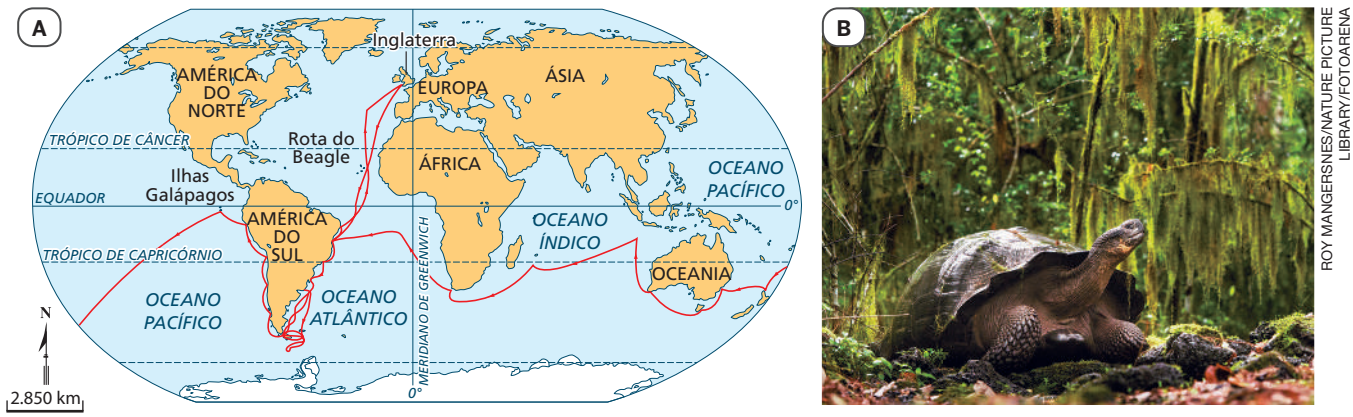
As ideias evolucionistas de Darwin

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Galápagos

O naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-1882) nasceu em 12 de fevereiro de 1809, coincidentemente o ano da publicação do livro *Philosophie Zoologique* por Lamarck. Diversas observações que levaram Charles Darwin a elaborar sua teoria evolucionista ocorreram em uma viagem de cinco anos ao redor do mundo como naturalista do navio inglês H. S. S. Beagle.

Após diversas escalas na costa da América do Sul, o navio seguiu rumo a Galápagos, um arquipélago de ilhas pequenas e áridas no Oceano Pacífico, a cerca de 800 km da costa do Equador. Darwin observou que a flora e a fauna diferiam ligeiramente de ilha para ilha do arquipélago, além de serem diferentes da flora e da fauna do continente sul-americano. A natureza peculiar dos seres que viviam em Galápagos impressionou o naturalista inglês, mas ele só percebeu a real importância de suas observações meses depois de retornar à Inglaterra. (Fig. 20.3)

A viagem de Darwin



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ ARQUIVO DA EDITORA

ROY MANGERSNES/NATURE PICTURE LIBRARY/FOTOARENA

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 20.3. (A) Roteiro percorrido pelo navio britânico H. S. S. Beagle em sua viagem de cinco anos pelo mundo, de 7/12/1831 a 2/10/1836. (B) Jabutis-gigantes como *Chelonoidis nigra*, mostrado na foto, chamaram a atenção de Darwin em Galápagos. Esse jabuti chega a medir 1,3 m de comprimento e ter 300 kg de massa corporal.

Ao analisar suas anotações e submeter o material coletado durante a viagem à avaliação de diversos especialistas, Darwin compreendeu o significado de muitas de suas observações em Galápagos, tornando-se cada vez mais adepto do evolucionismo. Em 10 de maio de 1837, cerca de sete meses após o retorno à Inglaterra, Darwin começou a escrever seu primeiro caderno de anotações sobre a transmutação das espécies, onde anotou ideias sobre o parentesco evolutivo entre espécies de seres vivos, ponto central de sua teoria. Por exemplo, ele explicou a semelhança entre a flora e a fauna de ilhas vizinhas por terem sido colonizadas por espécimes provenientes do continente sul-americano. As populações colonizadoras teriam desenvolvido adaptações específicas em cada ilha ao longo das gerações, diversificando-se e originando novas variedades.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Conhecendo melhor as ilhas Galápagos

O arquipélago de Galápagos foi um grande laboratório natural para os estudos de Charles Darwin sobre evolução biológica. Vale a pena pesquisar, na internet e em outras fontes, os inúmeros aspectos interessantes sobre a localização geográfica e as condições climáticas em Galápagos, além das características dos animais e das plantas típicos dessas ilhas. Pesquise também o tema Darwin e Galápagos. Imagine que você seja convidado a explicar para o jornal da escola a importância de Galápagos na elaboração da teoria evolucionista de Darwin. Escreva o texto que gostaria de ver publicado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O conceito darwiniano de seleção natural

Na época de Darwin já se sabia que certos animais e vegetais domésticos pertenciam a espécies que também existiam na condição selvagem. Darwin notou que as diferenças entre organismos domesticados e seus correspondentes selvagens podiam ser expressivas a ponto de parecerem espécies diferentes. A **seleção artificial**, pela qual os agricultores e pecuaristas produzem novas variedades de plantas e de animais, foi um dos argumentos utilizados por Darwin em favor da mutabilidade das espécies. No processo de seleção, os agropecuaristas selecionam para a reprodução apenas os espécimes que apresentam determinadas características de interesse. (Fig. 20.4)

DAMIANKUZDAK/E+/SHUTTERSTOCK

BILDAGENTUR GEDULDIG/ALAMY/FOTOARENA

Figura 20.4. (A) O porco-selvagem (*Sus scrofa*) chega a medir entre 1,2 m e 1,8 m de comprimento, 90 cm de altura e ter entre 50 kg e 90 kg de massa corporal. (B) O porco domesticado (*Sus scrofa domesticus*) pode atingir comprimento e altura semelhantes aos do porco-selvagem e apresentar entre 200 kg e 300 kg de massa corporal. O porco-selvagem teria originado o porco domesticado e as diferenças entre eles resultam da seleção realizada pelos criadores, que cruzam espécimes com características comercialmente desejáveis, entre as quais maior massa corporal.

Um exemplo marcante de seleção artificial refere-se às diversas variedades de *Brassica oleracea* obtidas por seleção artificial a partir da variedade selvagem. Os evolucionistas sugerem que diferenças ainda mais expressivas poderiam ocorrer em milhares ou milhões de anos de evolução. (Fig. 20.5)

FOTOS: MOSTARDA: BLICKWINKEL/ALAMY/FOTOARENA; COUVE-FLOR: EGOR RODYNCHENKO/SHUTTERSTOCK; BRÓCOLIS: DANNY SMYTHE/SHUTTERSTOCK; REPOLHO: PALOKHA TETIANA/SHUTTERSTOCK; COUVE-FRISADA: BINH THANH BUI/SHUTTERSTOCK; COUVE-NABO: JHY/SHUTTERSTOCK

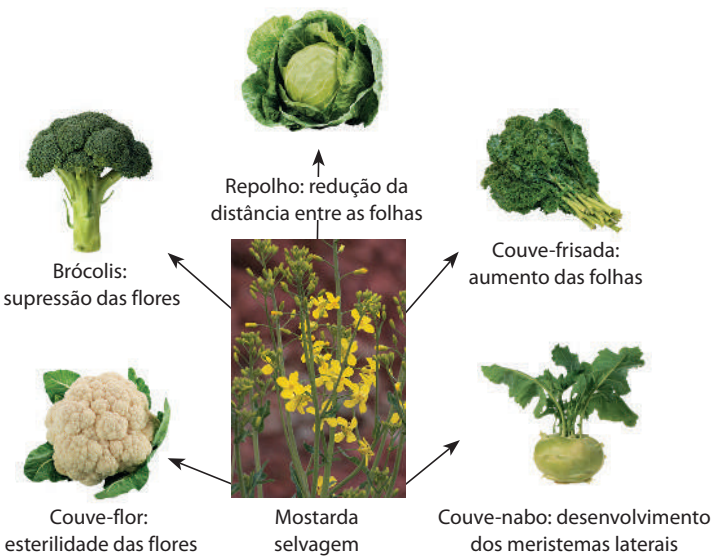


Figura 20.5. A seleção artificial feita pelos seres humanos e responsável pelo surgimento de novas raças de animais ou variedades de plantas foi um argumento utilizado por Darwin para sustentar a ideia de evolução biológica.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

A domesticação de plantas e de animais

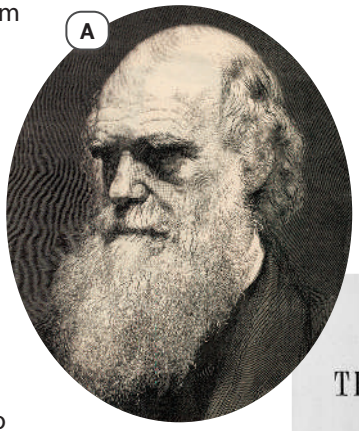
Seu desafio nesta atividade é pesquisar, em livros e na internet, exemplos da obtenção de variedades de plantas e animais domesticadas pela humanidade. Se possível aborde aspectos históricos da questão. Escolha os exemplos que julgar mais representativos e redija um texto objetivo que sintetize o assunto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

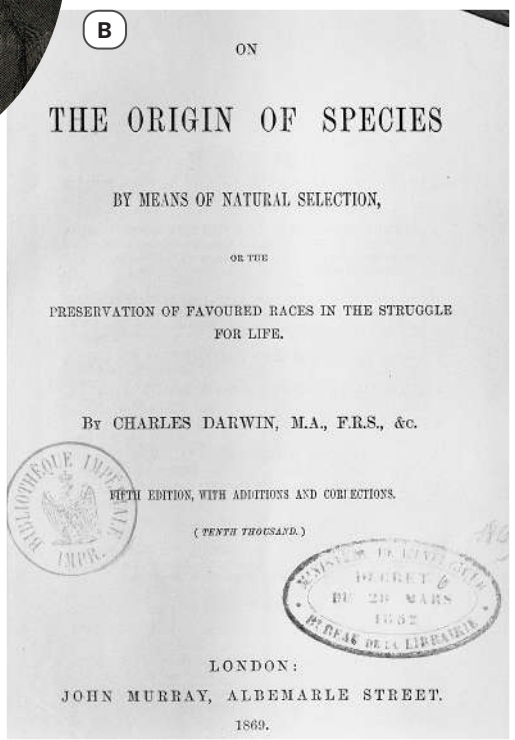
Darwin achava que a natureza exerce um papel seletivo semelhante ao dos agricultores e criadores de animais. Em condições naturais, indivíduos que apresentam características vantajosas têm mais chance de sobreviver e de deixar descendentes, contribuindo significativamente para a formação da geração seguinte. Em linhas gerais é esse o conceito darwiniano de **seleção natural**.

Em 1844, Darwin concluiu um extenso trabalho sobre a origem das espécies e sua relação com a seleção natural. Entretanto, não o publicou com receio de que suas ideias não fossem bem aceitas devido ao seu teor um tanto revolucionário. Em junho de 1858, Darwin recebeu uma carta do naturalista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913), acompanhada de um manuscrito sobre as faunas da Amazônia e das Índias Orientais. Nessa correspondência, Wallace relatava que havia chegado à conclusão de que as espécies se modificam por seleção dos mais aptos. Darwin ficou impressionado com as semelhanças entre suas próprias ideias e as de Wallace e se dispôs a escrever um resumo de seu trabalho, apresentando-o juntamente com Wallace em uma reunião da *Linnean Society of London*, em julho de 1858. Um ano mais tarde, Darwin publicou o livro *On the origin of species by means of natural selection*, traduzido para o português com o título *A origem das espécies*.

Darwin concebeu sua teoria de evolução biológica anos antes de receber a carta de Wallace, que admitiu publicamente o pioneirismo do colega. O livro de Charles Darwin gerou grandes debates e consolidou seu nome como o principal autor da teoria da evolução com base na seleção natural. (Fig. 20.6)



BIBLIOTECA NACIONAL DA DINAMARCA, COPENHAGUE



BIBLIOTECA NACIONAL DA FRANÇA, PARIS

Figura 20.6. (A) Retrato de Charles Robert Darwin, em 1874. (B) Página de rosto da edição de 1869 do livro de Darwin *On the origin of species by means of natural selection* (*A origem das espécies*).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Thomas Malthus e o crescimento de populações

Em sua obra, Darwin menciona o livro *An essay on the principle of population* (*Ensaio sobre o princípio da população*), do economista inglês Thomas R. Malthus (1766-1834). Nesse livro, Malthus sugere que o descompasso entre o crescimento das populações e a produção de alimentos é a principal causa da miséria humana. Para ele, o poder da terra em produzir meios de subsistência é muito menor que o poder do crescimento populacional, pois, se uma população não encontra obstáculos, ela cresce em progressão geométrica, mas os meios de subsistência aumentam em progressão aritmética. Malthus tentou imaginar a humanidade submetida às mesmas leis gerais que regem populações de outras espécies de seres vivos.

Alguns historiadores acreditam que a conclusão de Malthus despertou a atenção de Darwin para as ideias de luta pela vida e a sobrevivência dos mais aptos, possivelmente contribuindo para a elaboração do conceito de seleção natural.

Pesquise os conceitos de progressão geométrica e progressão aritmética em livros de Matemática e na internet. Seu primeiro desafio é construir um gráfico que mostre as curvas de progressão aritmética, em que o termo seguinte é obtido pela soma dos dois anteriores, por exemplo $2 + 2 = 4$; $2 + 4 = 6$; $4 + 6 = 10$ etc., e de progressão geométrica, em que o termo seguinte é obtido pela multiplicação dos dois anteriores, por exemplo $2 \times 2 = 4$; $2 \times 4 = 8$; $4 \times 8 = 32$ etc. Redija um texto explicando o que Malthus quis dizer sobre o destino da população humana mundial e os principais motivos pelos quais suas previsões não se confirmaram. Pesquise também sobre a influência histórica do pensamento malthusiano.

2. Evidências da evolução biológica

Pesquisas em diferentes áreas científicas têm fornecido evidências em favor da teoria da evolução biológica. Essas evidências são fornecidas pelo documentário fóssil, pelas semelhanças embrionárias, anatômicas, fisiológicas e genéticas entre as espécies e pela adaptação dos seres vivos a seus ambientes.

O documentário fóssil

Em condições normais, logo que um organismo morre, agentes decompositores entram em ação e destroem o cadáver. Eventualmente ocorrem circunstâncias que favorecem a preservação de restos corporais ou de vestígios de organismos mortos. Os restos e vestígios preservados de seres que viveram no passado são denominados **fósseis** (do latim *fossilis*, tirado da terra). Os fósseis revelam semelhanças e diferenças com os seres atuais, o que possibilita imaginar que tipos de processos evolutivos teriam atuado no passado, levando à formação das espécies atuais.

Vestígios fósseis podem ser ossos, dentes, pegadas impressas em rochas, fezes petrificadas, animais conservados no gelo, troncos de árvores petrificados etc. O estudo dos fósseis permite deduzir, entre outras coisas, o tamanho e a forma dos organismos fossilizados, possibilitando a reconstituição de imagens aproximadas desses organismos quando eram vivos. Os fósseis constituem a mais forte evidência de que nosso planeta foi habitado no passado por seres diferentes dos que vivem atualmente. (Fig. 20.7)

JON G. FULLER/VWPICS/ALAMY/FOTOARENA

SCENICS SCIENCE/ALAMY/FOTOARENA

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 20.7. (A) Paleontólogo escava fóssil de dinossauro no deserto de Caineville (Utah, Estados Unidos da América, 2023.) (B) Pedaço de âmbar fóssil contendo inseto datado em 44 milhões de anos. (C) Fóssil da pteridófita *Anemia* sp. com cerca de 100 milhões de anos (Chapada do Araripe, Ceará, 2012.) Esse fóssil mede cerca de 12 cm de comprimento. (D) Pegadas fossilizadas do dinossauro *Iguanodonte mantelli*, preservadas em lama petrificada (Vale dos Dinossauros, Sousa, PB, 2012.) Calcula-se que esse dinossauro chegava a medir cerca de 9 m de comprimento.

Um dos grandes desafios da Ciência foi desenvolver métodos para descobrir a idade de um fóssil ou da rocha que o contém. O primeiro método para datar fósseis foi a **datação relativa**, desenvolvida no século XIX com base nas ideias do geólogo inglês William Smith (1769-1839). Partindo do princípio de que as rochas sedimentares sempre se formam no fundo de mares e lagos por deposição sucessiva de camadas de sedimentos, Smith concluiu que as camadas localizadas em posições inferiores na pilha sedimentar deviam ter-se depositado antes das camadas superiores. O conhecimento de quais são as rochas mais antigas e as mais recentes permitiu determinar as idades relativas das camadas sedimentares e dos fósseis nelas contidos.

Em meados do século XX, com o desenvolvimento de métodos fundamentados na análise de elementos radioativos, a datação dos fósseis e das camadas da Terra tornou-se mais precisa. A técnica de **datação radiométrica**, ou **datação absoluta**, permite estabelecer com razoável precisão há quanto tempo um fóssil ou uma rocha se formaram.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

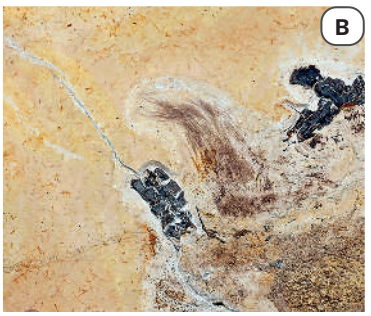
O contrabando de fósseis

Em 2023, o fóssil do dinossauro brasileiro *Ubirajara jubatus*, contrabandeado para a Alemanha nos anos 1990, foi devolvido ao Brasil. O repatriamento desse fóssil foi resultado de uma série de esforços por parte de cientistas e entusiastas. A mobilização nas redes sociais foi reforçada pela atuação de divulgadores científicos em entrevistas, *podcasts*, artigos informativos e o apoio de influenciadores digitais. Essas ações sensibilizaram muitas pessoas e pressionaram autoridades dentro e fora do Brasil.

A eficácia dessa mobilização nas redes sociais é um exemplo de como a escolha do formato narrativo e o uso inteligente dos meios de comunicação podem ser ferramentas eficientes para alcançar determinados objetivos. Trata-se de uma estratégia de ação e de comunicação que mobiliza as pessoas a refletir sobre princípios éticos e democráticos relacionados aos recursos e ao patrimônio natural do Brasil.

Sugerimos que você forme um grupo de colegas para elaborar uma campanha informatizada que conscientize as pessoas sobre o contrabando de fósseis. Esse trabalho envolve diferentes etapas e pode ser dividido em duas fases: o planejamento e a execução.

BOB NICHOLLS/PALEOCREATIONS



ULI DECK/DPA/ALAMY/FOTOARENA

(A) Representação artística do *Ubirajara jubatus*. (B) Fotografia do fóssil de *Ubirajara jubatus* que pertence ao Brasil. Esse animal tinha cerca de 1 m de comprimento.

Planejamento

- Defina o que deseja comunicar, o público-alvo e o formato (vídeo, texto, áudio ou outros).
- Elabore rascunhos para organizar suas ideias.
- Para obras audiovisuais, elabore um roteiro que oriente o trabalho.
- Reúna os materiais que você quer usar no produto final (textos, imagens, vídeos e áudios que contribuirão para transmitir a mensagem).
- Crie uma pasta compartilhada no computador (ou em um serviço *on-line* de hospedagem de arquivos) para organizar todos os recursos coletados.
- Certifique-se de que a organização seja simples, facilitando o acesso aos materiais durante o processo de criação.

Durante a fase do planejamento, é interessante compartilhar suas ideias com outras pessoas e ouvir o que elas têm a dizer a respeito. Acolha sugestões, elogios e críticas e analise os pontos que podem auxiliar na obtenção de um produto final que atinja os objetivos pretendidos.

Execução

A fase de execução, na qual o projeto para a campanha será implementado, só deve se iniciar quando a fase de planejamento estiver concluída.

- Faça as gravações de áudio ou vídeo de acordo com o roteiro elaborado. Caso o formato escolhido seja o textual, produza os textos que serão utilizados.
- Reúna as gravações, edite-as e monte o produto final.
- Inclua créditos apropriados para imagens, textos ou músicas que você tenha utilizado.
- Procure garantir a coesão e a coerência na forma como a história é contada, deixando-a envolvente e instigante.
- Escolha as plataformas ou meios adequados para a publicação, considerando sempre seu público-alvo.
- Publique a campanha na plataforma escolhida e divulgue para grande número de pessoas da escola e da comunidade.

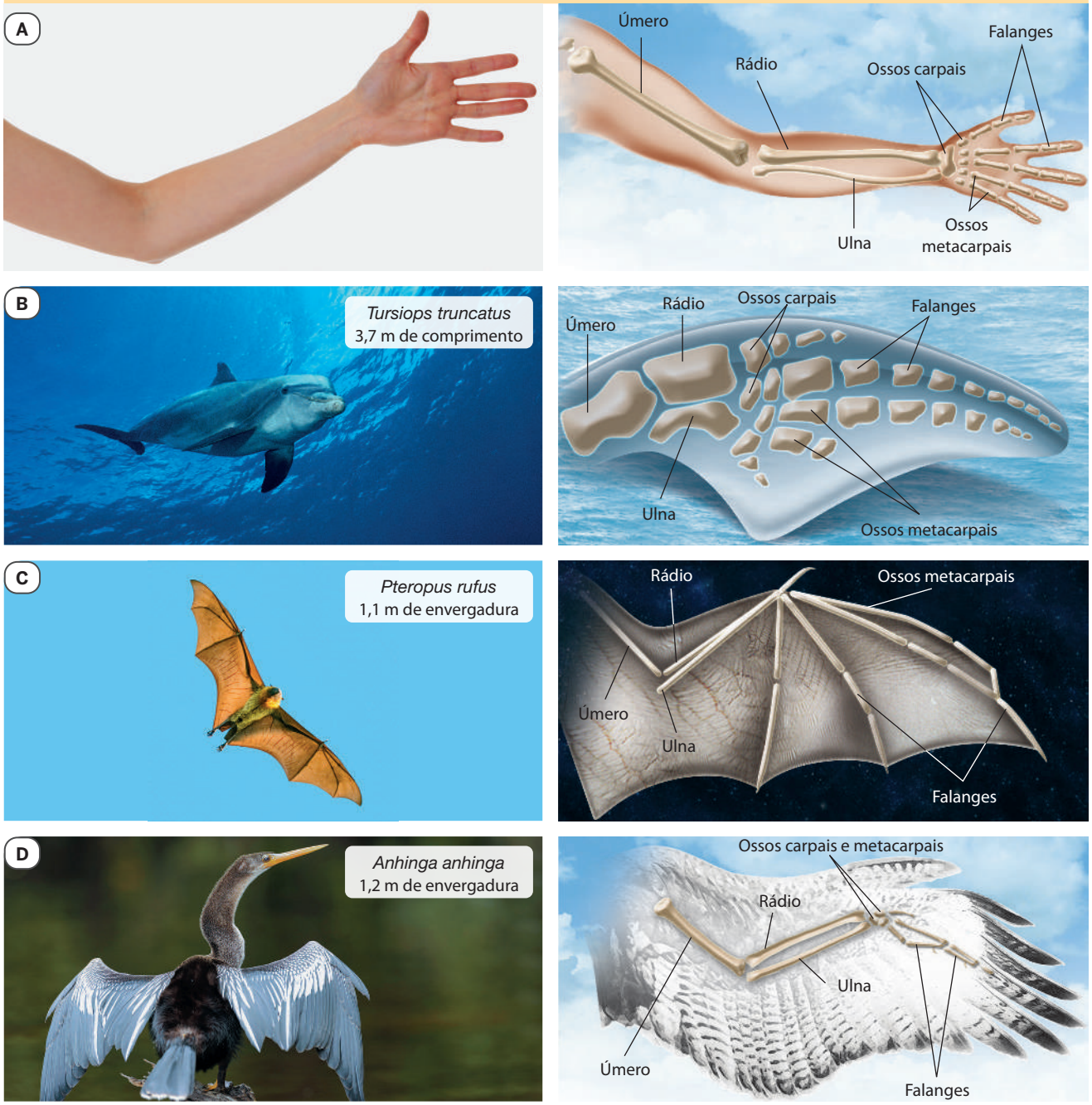
De maneira simplificada, essas etapas podem ser representadas no diagrama a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A anatomia comparada atestando a evolução

De acordo com a teoria evolucionista, as partes corporais que se desenvolvem de modo semelhante em embriões de diferentes espécies, denominadas **estruturas homólogas**, sinalizam a existência de parentesco evolutivo entre espécies. As funções diferentes que órgãos homólogos desempenham devem-se à adaptação das espécies ancestrais aos ambientes em que viveram, ao longo da evolução. Exemplos de órgãos homólogos são os braços humanos, as nadadeiras dos golfinhos, as asas dos morcegos e as asas das aves. A diversificação evolutiva de estruturas homólogas, decorrente da adaptação a modos de vida diferentes, constitui o que os biólogos denominam **divergência evolutiva**. (Fig. 20.8)

Divergência evolutiva de órgãos homólogos



PIOTR MARCINSKI/SHUTTERSTOCK

GERARD SOURY/THE IMAGE BANK/GETTY IMAGES

PANORAMIC IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

MARCOS AMEND/PULSAR IMAGENS

ILUSTRAÇÕES: ERIKA ONODERA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 20.8. Fotos e representações esquemáticas que comparam os membros anteriores de alguns vertebrados: (A) braço, antebraço e mão humanos; (B) nadadeira de golfinho; (C) asa de morcego; (D) asa de ave. Note a correspondência dos ossos nas diferentes espécies. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estruturas corporais de diferentes espécies podem desempenhar funções semelhantes, embora suas origens embrionárias sejam distintas. Por exemplo, as asas de aves e de insetos, adaptadas ao voo, apresentam amplas superfícies para obter sustentação no ar. As estruturas e as origens das asas de aves e de insetos são muito diferentes: enquanto as asas das aves são órgãos dotados de ossos e músculos, as asas de insetos são expansões da epiderme corporal, com os músculos relacionados ao voo localizados dentro do tórax. Órgãos como esses, com funções semelhantes mas com estruturas e origens diferentes, são chamados de **órgãos análogos**.

Estruturas ou órgãos análogos surgem de maneira independente na evolução de diferentes grupos de organismos, constituindo adaptações a modos de vida semelhantes, sem relação com o parentesco evolutivo. O fenômeno de organismos pouco aparentados desenvolverem estruturas e formas corporais semelhantes é conhecido como **convergência evolutiva**. Por exemplo, a forma hidrodinâmica do corpo de vertebrados aquáticos desenvolveu-se independentemente em diferentes espécies por convergência evolutiva, decorrente da adaptação à vida na água. (Fig. 20.9)

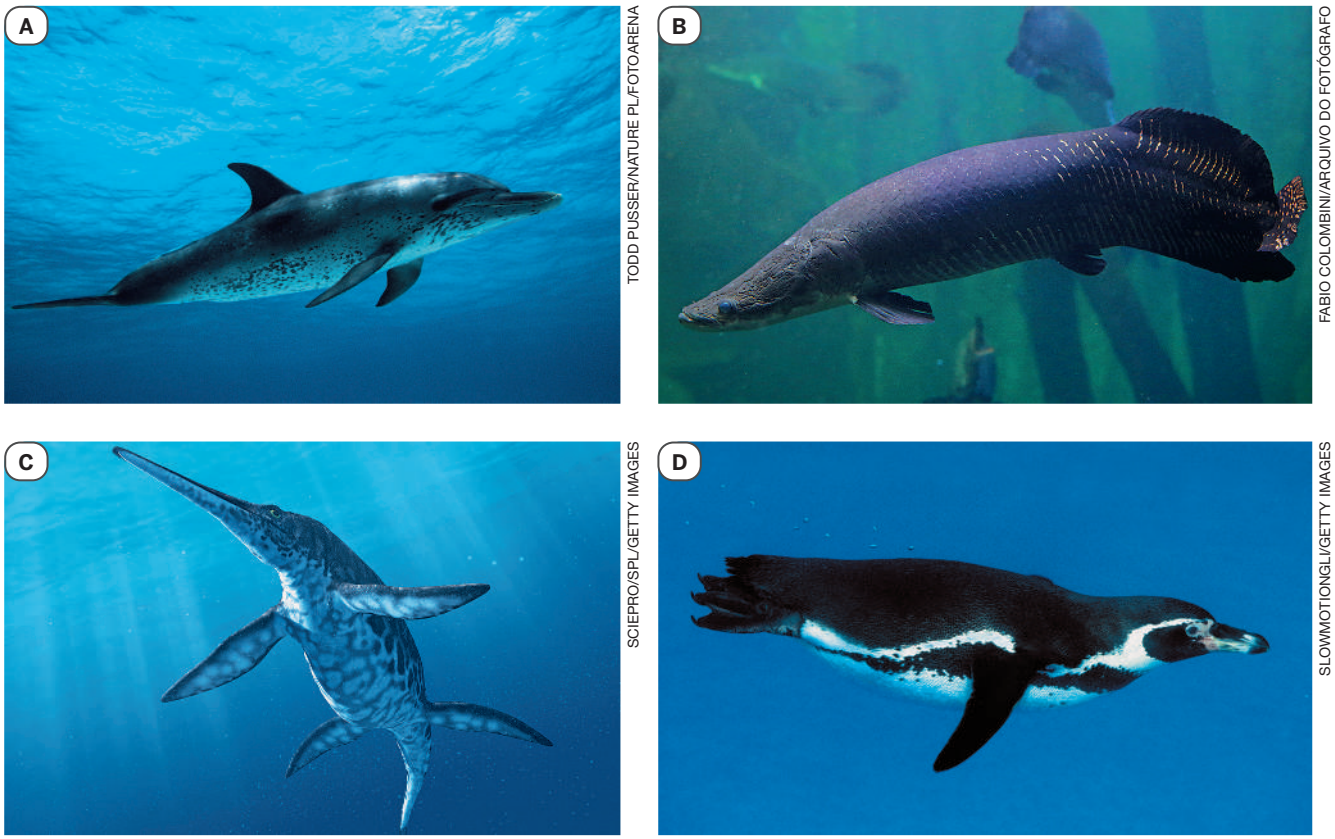


Figura 20.9. Exemplo de convergência evolutiva. (A) O golfinho da espécie *Stenella frontalis* chega a medir 2,2 m de comprimento. (B) O pirarucu é um peixe ósseo da espécie *Arapaima gigas*, que pode alcançar cerca de 3 m de comprimento. (C) Representação artística de ictiossauro do gênero *Shonisaurus*, réptil extinto que podia ultrapassar os 15 m de comprimento. (D) O pinguim da espécie *Spheniscus humboldti* pode medir cerca de 70 cm de comprimento.

3. A teoria sintética da evolução

Durante as décadas de 1930 e 1940, o darwinismo integrou conhecimentos genéticos, o que resultou na **teoria sintética da evolução**, ou **teoria moderna da evolução**.

A teoria sintética da evolução considera a ação de três fatores evolutivos principais: a) mutação gênica; b) recombinação gênica; c) seleção natural. Os dois primeiros fatores atuam promovendo variabilidade genética, ou seja, produzindo diferenças genéticas entre os indivíduos de uma população. A seleção natural, por sua vez, atua sobre as variantes genéticas da população selecionando os indivíduos mais aptos a sobreviver e a se reproduzir em cada contexto ambiental.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mutação gênica e recombinação gênica

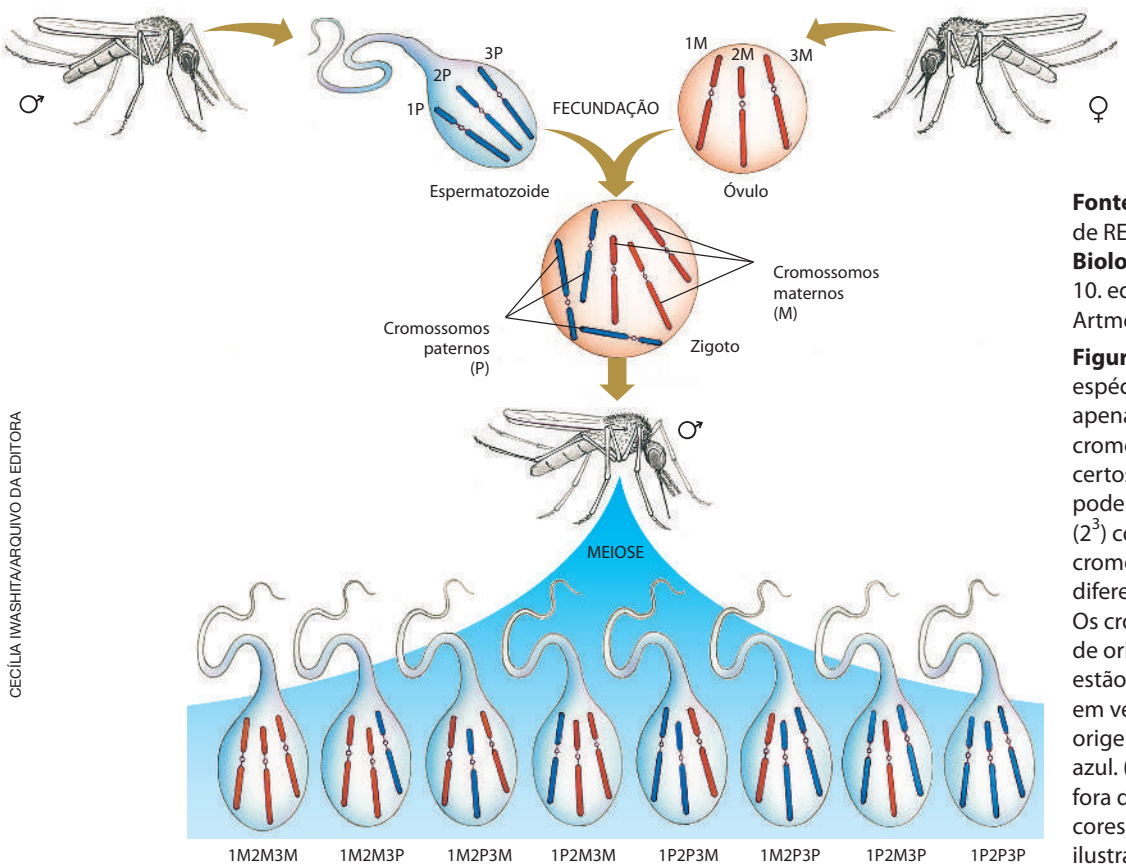
Mutações gênicas são alterações em sequências de bases nitrogenadas do DNA que originam novas versões, ou novos alelos, de um gene. Se o novo alelo conferir vantagens a seu portador, ele tende a ser selecionado positivamente e sua frequência tende a aumentar na população. O conjunto de genes típico de cada espécie resulta de mutações que foram selecionadas positivamente, acumulando-se ao longo dos bilhões de anos de evolução biológica.

Mutações gênicas podem ocorrer espontaneamente pela própria dinâmica das moléculas de DNA. Mutações desse tipo são chamadas de **mutações espontâneas**. As mutações também podem ser causadas por agentes físicos como radiações (raios X, raios gama e radiações ultravioleta) ou por agentes químicos mutagênicos, como os acetaldeídos produzidos na combustão do tabaco. Mutações desse tipo são chamadas de **mutações induzidas**.

Recombinação gênica é a combinação de genes de indivíduos diferentes que ocorre na reprodução sexuada. Nos organismos eucarióticos, a recombinação gênica ocorre por meio de dois processos: a) **segregação independente dos cromossomos** e b) **permutação**, ou ***crossing-over***. O primeiro caso ocorre quando as células germinativas sofrem meiose. Os cromossomos homólogos de cada par se combinam livremente, de tal maneira que as células haploides formadas podem conter desde cromossomos exclusivamente maternos até cromossomos exclusivamente paternos, passando por todas as combinações possíveis.

O número de combinações entre cromossomos maternos e paternos pode ser calculado pela expressão 2^n, em que *n* é o número de pares de cromossomos da espécie considerada. Na espécie humana, por exemplo, em que o número cromossômico *n* é 23, uma pessoa pode produzir 2^{23} (8.388.608) tipos de gametas diferentes, levando em conta apenas as possíveis combinações entre cromossomos herdados da mãe e do pai. A probabilidade de um gameta humano conter apenas cromossomos de origem paterna seria 1 em cada 8.388.608 gametas, a mesma que a de possuir apenas cromossomos de origem materna. (Fig. 20.10)

A segregação independente dos cromossomos



CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 20.10. Uma espécie que apresenta apenas três pares de cromossomos, como certos pernilongos, pode produzir oito (2^3) combinações cromossômicas diferentes nos gametas. Os cromossomos de origem materna estão representados em vermelho, e os de origem paterna, em azul. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A diversidade das células originadas pela segregação independente dos cromossomos aumenta significativamente com a ocorrência da **permutação**, fenômeno em que cromossomos homólogos maternos e paternos trocam pedaços durante a meiose (relembre no capítulo 18).

Assim, a mutação gênica é responsável pelo surgimento de novos alelos na população. A recombinação gênica, devido à segregação independente e à permutação, possibilita novos arranjos gênicos nos indivíduos, sobre os quais a seleção natural atua.

Seleção natural

Todos os organismos travam lutas pela sobrevivência em cada instante de suas vidas. Os indivíduos mais aptos no enfrentamento dos desafios têm maior chance de sobreviver. A luta pela sobrevivência foi a metáfora utilizada por Darwin para se referir à seleção natural, inspirada no fato de que algumas espécies precisam evitar serem devoradas por espécies predadoras, enquanto estas têm que capturar animais que lhes sirvam de alimento ou morrerão de fome.

Darwin ressaltou, porém, que há formas menos evidentes de luta pela sobrevivência. Em diversas espécies animais, por exemplo, os machos disputam a atenção das fêmeas e o direito de acasalar com elas. Os vencedores dessa disputa têm maiores chances de perpetuar seu patrimônio genético. Plantas competem pela umidade do solo, por nutrientes e pela luz solar, por exemplo. A seleção natural favorece os mais bem adaptados em determinado ambiente, que terão maiores chances de deixar descendentes.

A seleção natural resulta da disponibilidade de alimento, da disputa por recursos com outros seres vivos, da ação de predadores e de parasitas, de doenças etc. Nessas condições, os mais aptos a sobreviver são os que herdaram combinações gênicas mais favoráveis à vida e à reprodução em determinadas condições ambientais. (Fig. 20.11)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

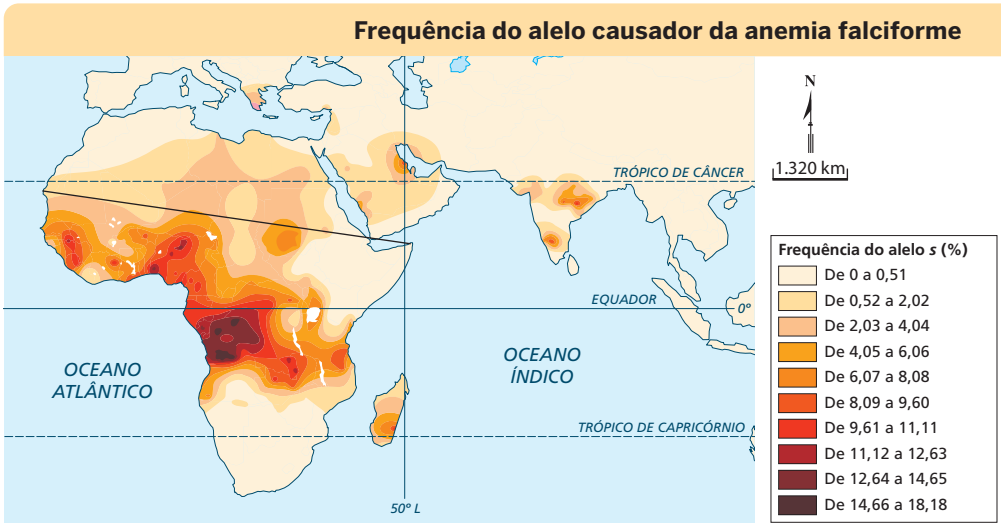
ADAM JONES/GETTY IMAGES

Figura 20.11. Um guepardo (*Acinonyx jubatus*), ao atacar um bando de gazelas-de-thomson (*Eudorcas thomsonii*), exemplifica um dos mecanismos pelos quais a seleção natural atua. O guepardo e a gazela-de-thomson medem, respectivamente, cerca de 130 cm e 90 cm de comprimento (Parque Nacional Serengeti, Tanzânia.)

Exemplo de seleção natural na espécie humana

Na espécie humana, pode-se identificar a ação da seleção natural em uma forma hereditária de anemia, a **siclemia**, ou **anemia falciforme**. Pessoas homozigóticas para o alelo recessivo condicionante da siclemia (genótipo *ss*) apresentam anemia severa e, se não receberem tratamento, podem morrer antes de atingir a idade adulta. Pessoas homozigóticas *SS* não apresentam anemia e pessoas heterozigóticas *Ss* apresentam anemia leve. Um fato que chama a atenção é que, em locais onde a malária é endêmica, a frequência do alelo mutante *s* é elevada em relação a locais sem malária, em que o alelo *s* é quase inexistente. Por que isso ocorre?

Descobriu-se que as pessoas heterozigóticas *Ss* são mais resistentes à malária do que as pessoas homozigóticas *SS*. Assim, as pessoas heterozigóticas *Ss* sobrevivem em maior número e têm mais chance de transmitir o alelo *s* à geração seguinte. Isso explica por que o alelo para a siclemia se mantém em frequências relativamente elevadas em populações em que a malária é endêmica. O protozoário causador da malária atua, portanto, como agente da seleção natural do alelo responsável pela siclemia. (Fig. 20.12)



Fonte: adaptado de PIEL, F. B. *et al*. Global distribution of sickle cell gene and geographical confirmation of the malaria hypothesis. **Nature Communications**. 2 nov. 2010. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3060623/. Acesso em: 23 set. 2024.

Figura 20.12. Frequência do alelo que condiciona a anemia falciforme (*s*) na África, no Oriente Médio, no sul da Europa e na Índia. Populações que vivem em regiões com grande incidência de malária apresentam o alelo *s* em frequência alta.

O conceito de adaptação

O termo **adaptação** (do latim *adaptare*, tornar apto) significa, em Biologia, a capacidade de os seres vivos ajustarem-se ao ambiente e responderem positivamente a mudanças ambientais. Esse conceito aplica-se tanto no nível individual quanto no nível populacional. Por exemplo, quando a temperatura ambiental se eleva, as pessoas tendem a ficar coradas e a transpirar. A vermelhidão da pele deve-se à dilatação dos vasos sanguíneos, que passam a irradiar mais calor, resfriando o corpo. Esse processo é auxiliado pela sudorese, uma vez que a evaporação do suor leva à diminuição da temperatura corporal. A adaptação, nesse caso, consiste no ajustamento do organismo individual a determinada mudança ambiental, sendo mais apropriadamente denominada **homeostase** (do grego *homoios*, igual, e *stasis*, estabilidade). Do ponto de vista populacional, adaptação refere-se ao ajustamento da população ao ambiente ao longo de sucessivas gerações, por meio da seleção natural. Por isso, esse tipo de ajustamento é denominado **adaptação evolutiva**.

O melanismo industrial

O estudo de populações da mariposa *Biston betularia* em áreas industriais da Inglaterra mostrou claramente a atuação da seleção natural. A partir de 1850, observou-se que a forma escura da mariposa, até então muito rara, foi se tornando cada vez mais comum em áreas industrializadas até suplantar as mariposas claras e passar a ser predominante. O fenômeno foi denominado **melanismo industrial** porque a predominância das mariposas escuras, denominadas melânicas (do grego *melas*, escuro), estava nitidamente associada ao aumento da industrialização, responsável pela liberação de poluentes atmosféricos que matam os liquens dos troncos das árvores e os tornam enegrecidos pela fuligem. (Fig. 20.13)

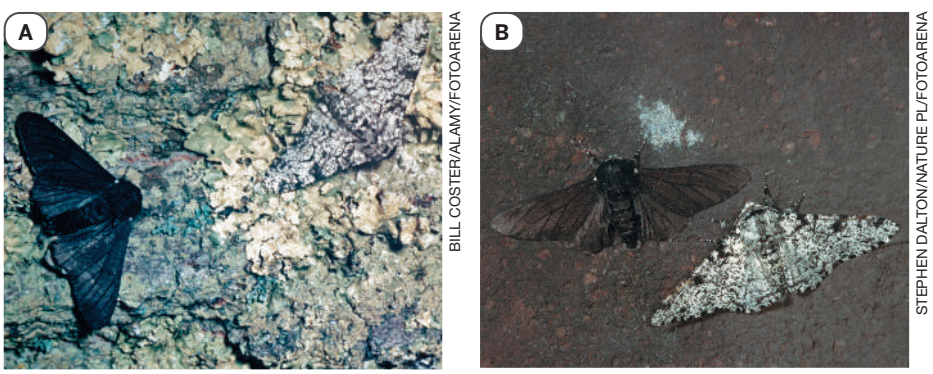


Figura 20.13. Variedades clara e melânica da mariposa *Biston betularia*, cujos indivíduos adultos têm aproximadamente 6 cm de envergadura. (A) Em troncos de árvores cobertos por liquens, a forma melânica é bem visível, enquanto a forma clara é quase imperceptível. (B) Em troncos cobertos por fuligem, a situação é inversa: as mariposas melânicas são menos visíveis que as claras.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estudos realizados em bosques poluídos e não poluídos mostraram que as mudanças nas frequências de mariposas claras e escuras resultavam da predação seletiva por pássaros, que representam o agente seletivo. As mariposas melânicas, ao pousar nos troncos cobertos de liquens em bosques não poluídos, ficam bem visíveis e são facilmente percebidas e devoradas por pássaros, o que explica o fato de serem raras nesses locais.

Ao contrário, em bosques poluídos, as mariposas claras são as mais visíveis ao pousar em troncos escuros cobertos de fuligem. Na condição pós-industrial, as formas melânicas da mariposa passaram a ter maior chance de sobrevivência, uma vez que tendem a sofrer menor predação pelos pássaros. A seleção natural realizada pelos pássaros predadores levou à predominância da variedade melânica sobre a variedade clara nas áreas poluídas.

Camuflagem, coloração de aviso e mimetismo

OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: Diferentes camuflagens, diferentes vantagens

Camuflagem é uma adaptação que permite a certas espécies confundirem-se com o ambiente, o que dificulta sua localização por eventuais predadores ou presas. No caso do melanismo industrial, comentado anteriormente, ocorre camuflagem. As mariposas de coloração clara da espécie *Biston betularia* confundem-se com os liquens que recobrem as árvores em que pousam, camuflando-se com elas. Por outro lado, as formas melânicas dessa mariposa camuflam-se ao pousar sobre troncos de árvores enegrecidos pela fuligem das áreas industrializadas.

As raposas-do-ártico (*Alopex lagopus*) apresentam pelagem branca no inverno e pelagem colorida nas outras épocas do ano. No inverno, a pelagem branca faz com que as raposas sejam confundidas com o ambiente nevado, o que facilita a elas se aproximar das presas e se esconder de predadores. Quando não há neve, a pelagem colorida confere à raposa maior camuflagem com o ambiente. A troca de pelagem é regulada pela temperatura ambiental, sendo uma característica adaptativa incorporada a essa espécie de raposa ao longo de sua evolução. (Fig. 20.14)

ALL CANADA PHOTOS/ALAMY/FOTOARENA

MICHEL VIARD/ISTOCK/GETTY IMAGES

MAURITIUS IMAGES GMBH/ALAMY/FOTOARENA

PREMAPHOTOS/ALAMY/FOTOARENA

Figura 20.14. Exemplos de camuflagem. (A) e (B) Raposa-do-ártico (*Alopex lagopus*) com pelagens de inverno e de verão, respectivamente. Essa raposa mede até 55 cm de comprimento, sem contar a cauda. (C) O cavalo-marinho da espécie *Hyppocampus bargibanti* confunde-se com certos corais do ambiente em que vive. Esse animal mede cerca de 3 cm de comprimento. (D) O bicho-folha (*Typophyllum* sp.) apresenta forma e coloração semelhantes às de folhas em decomposição. Esse inseto mede aproximadamente 2,5 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Certas espécies de animais têm cores e desenhos marcantes que, em vez de esconder, destacam o animal no ambiente. Esse padrão corporal é denominado pelos biólogos **coloração de aviso**, ou **coloração de advertência**. Essa coloração adverte eventuais predadores de que o animal deve ser evitado por apresentar sabor desagradável ou por ser tóxico.

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 20.15. Um anfíbio que secreta venenos poderosos na pele, o *Dendrobates* sp., exibe a coloração de aviso, um alerta de perigo a possíveis predadores. Esse animal mede aproximadamente 1,5 cm de comprimento.

Exemplos de animais com coloração de aviso são certas espécies de sapos e de pererecas coloridos, em cuja pele há venenos altamente tóxicos. Os predadores aprendem a associar a cor vistosa desses anfíbios à presença das toxinas em seu corpo, o que os protege da predação. Répteis peçonhentos como as cobras-corais apresentam um padrão colorido na pele que é interpretado pelos biólogos como uma forma de alertar eventuais predadores sobre o perigo que as corais representam (Fig. 20.15)

Mimetismo é uma adaptação evolutiva em que certas espécies se assemelham a outras, obtendo vantagens com a imitação. Um exemplo de mimetismo ocorre em serpentes não peçonhentas, popularmente conhecidas como falsas-corais, que apresentam padrão de coloração semelhante ao de cobras-corais verdadeiras, altamente peçonhentas.

Por exemplo, a serpente *Erythrolamprus aesculapii*, uma falsa-coral, não apresenta dentes injetores de peçonha, oferecendo pouco perigo a eventuais predadores. Entretanto, seu padrão de coloração corporal é muito semelhante ao da serpente *Micrurus coralinnus*, uma cobra-coral peçonhenta. De acordo com a teoria evolucionista, a semelhança de coloração entre essas serpentes resulta de um processo de adaptação da falsa-coral, cujos ancestrais teriam se beneficiado com a semelhança às corais-verdadeiras, com as quais conviviam. Por serem favorecidas pela seleção natural, serpentes mais parecidas com as cobras-corais peçonhentas tenderiam a sobreviver em maior número e a deixar mais descendentes que serpentes menos parecidas com corais-verdadeiras. Assim, a frequência de falsas-corais mais semelhantes às corais-verdadeiras tenderia a aumentar ao longo das gerações. (Fig. 20.16)

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 20.16. Exemplo de mimetismo. (A) Serpente falsa-coral *Erythrolamprus aesculapii*, que mede cerca de 80 cm de comprimento. (B) Serpente coral-verdadeira *Micrurus coralinnus*, que mede cerca de 60 cm de comprimento.

No século XIX, o naturalista inglês Henry Walter Bates (1825-1892), ao estudar borboletas na Amazônia, notou que havia grande semelhança de cores e desenhos nas asas de indivíduos de duas famílias muito diferentes de borboletas, Heliconiidae e Pieridae. As borboletas da família Heliconiidae são conhecidas por seu sabor extremamente desagradável aos pássaros, que aprendem a evitá-las. As borboletas da família Pieridae têm sabor agradável e são apreciadas por pássaros insetívoros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A grande semelhança visual entre essas duas espécies foi explicada por Bates da seguinte maneira: borboletas de sabor agradável apresentavam vantagens seletivas ao serem mais semelhantes a borboletas de gosto ruim. Pássaros que aprendem a evitar os espécimes de sabor desagradável são levados também a evitar borboletas de sabor agradável, dada a semelhança entre elas. Isso faz as semelhanças entre essas espécies acentuarem-se ao longo da evolução. Em homenagens a Bates, a adaptação em que um modelo perigoso é imitado evolutivamente por espécies inofensivas foi denominada **mimetismo batesiano**. A semelhança entre as serpentes falsas-corais e corais-verdadeiras, comentada anteriormente, é considerada um exemplo de mimetismo batesiano. (Fig. 20.17)

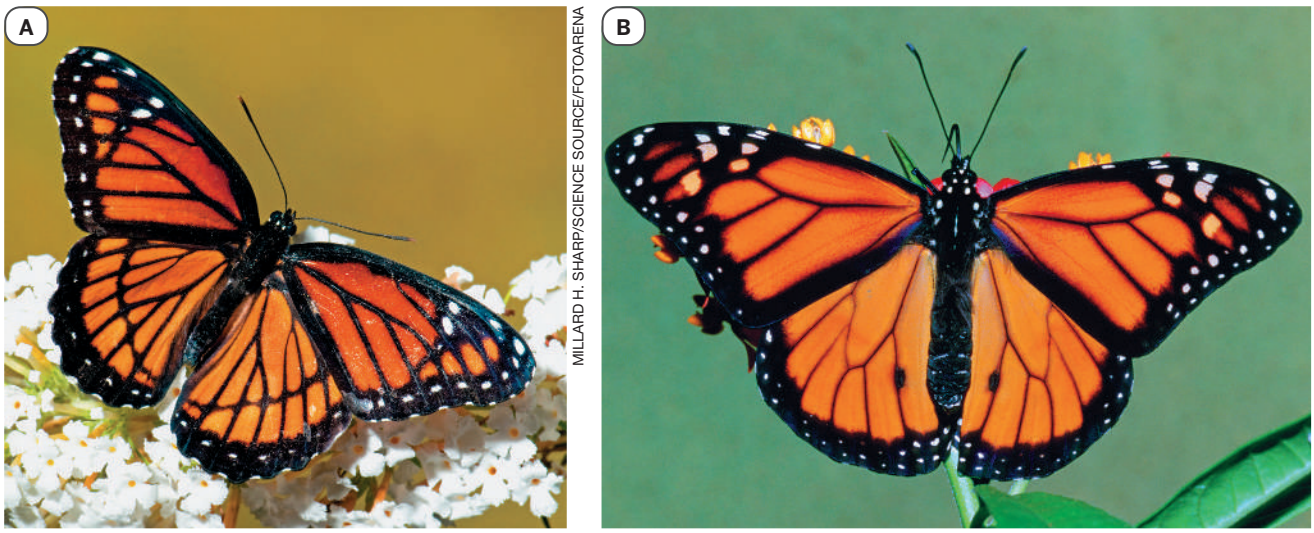


Figura 20.17. Exemplo de mimetismo batesiano. (A) Borboleta vice-rei (*Limentitis archippus*), de sabor agradável para pássaros predadores. (B) Borboleta-monarca (*Danaus plexippus*), que é tóxica e tem sabor desagradável para os predadores. A borboleta vice-rei tem aproximadamente 8 cm de envergadura, e a monarca, cerca de 12 cm.

Em 1864, o alemão naturalizado brasileiro Fritz Müller (1822-1897) concluiu que a existência de várias espécies parecidas de borboletas tóxicas reforçava a proteção de todas elas contra predadores. Isso ocorreria porque, segundo Müller, os pássaros guardam na memória a coloração de aviso a ser evitada. Se as borboletas são parecidas, todas levam vantagem e são selecionadas positivamente. Esse tipo de imitação evolutiva, em que diferentes espécies tóxicas ou perigosas são semelhantes entre si, ficou conhecido como **mimetismo mülleriano** em homenagem a Fritz Müller. Por exemplo, nas serpentes popularmente chamadas de corais-verdadeiras, todas peçonhentas e muito semelhantes, ocorre mimetismo mülleriano. A semelhança entre as espécies peçonhentas reforça o aviso de que elas devem ser evitadas.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

CIÊNCIA E TECNOLOGIA SAÚDE

Antibióticos e seleção da resistência em bactérias

Forme um grupo de colegas para pesquisar sobre o uso indiscriminado de antibióticos e o desenvolvimento de linhagens bacterianas resistentes. Desde que os antibióticos começaram a ser empregados em larga escala, após a Segunda Guerra Mundial, surgiram inúmeras linhagens bacterianas altamente resistentes a essas drogas. O uso indiscriminado de antibióticos favorece o desenvolvimento de linhagens bacterianas resistentes porque atua como agente seletivo da resistência. Após as pesquisas, elaborem um folheto informativo, com texto e imagens de fácil compreensão pelo grande público, sobre os riscos à população do uso indiscriminado de antibióticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. A que se refere o termo fóssil?
1.d
a. A ossos petrificados, apenas.
b. A todo organismo que viveu em passado remoto.
c. Aos organismos que surgiram pela evolução de ancestrais remotos.
d. A qualquer vestígio de um organismo que viveu em passado remoto.

2. Como é conhecida a atual teoria da evolução que incorpora os conhecimentos advindos do desenvolvimento da Genética à teoria da seleção natural de Darwin?
2.d
a. Darwinismo.
b. Lamarckismo.
c. Teoria da seleção natural.
d. Teoria sintética da evolução.

As frases a seguir referem-se às questões 3 e 4.
I. A adaptação evolutiva resulta do sucesso reprodutivo diferencial.
II. A adaptação resulta da interação dos organismos com o ambiente.
III. A adaptação resulta do uso e do desuso de estruturas anatômicas.
IV. O documentário fóssil sustenta a ideia de que as espécies são fixas.

3. A teoria evolucionista de Darwin admite as ideias expressas em
3.a
a. I e II. **b.** I e III. **c.** II e III. **d.** III e IV.

4. A teoria evolucionista de Lamarck admite as ideias expressas em
4.c
a. I e II. **b.** I e III. **c.** II e III. **d.** III e IV.

5. Considere as afirmações a seguir.
5.d
I. Alguns acreditam que o bico longo dos beija-flores surgiu da necessidade de eles alcançarem as glândulas produtoras de néctar no interior de flores tubulares.
II. Alguns admitem que os bicos alongados dos beija-flores surgiram porque as aves que eventualmente nasciam com bicos mais longos tinham mais facilidade de obter alimento e maior chance de sobreviver e deixar descendentes, que herdavam a nova característica.

As interpretações I e II para a origem dos longos bicos dos beija-flores podem ser creditadas a quais teorias, respectivamente?
a. Criacionismo e lamarckismo.
b. Criacionismo e darwinismo.
c. Darwinismo e lamarckismo.
d. Lamarckismo e darwinismo.

6. Considere as afirmações a seguir.
6.d
I. Fósseis são vestígios de seres que viveram no passado.
II. Muitos fósseis são pertencentes a espécies ancestrais das atuais.

Qual teoria aceita essas afirmações?
a. Apenas o criacionismo.
b. Apenas o darwinismo.
c. Apenas o lamarckismo.
d. Tanto o darwinismo quanto o lamarckismo.

7. Um dos mais preciosos e importantes sítios paleontológicos, com cerca de meio bilhão de anos, foi descoberto em 1909 no alto das Montanhas Rochosas canadenses, no interior do Parque Nacional de Yoho, próximo à fronteira oriental da Colúmbia Britânica. São impressões na rocha de carapaça e das partes moles de diversos tipos de animais invertebrados, o que permite inferir sua organização anatômica. Vestígios como esses são exemplos de
7.b
a. adaptação. **c.** mimetismo.
b. fósseis. **d.** seleção natural.

8. A diversidade de fenótipos existente em uma população, sobre os quais atua a seleção natural, é mantida por mutação e por recombinação gênica. A frase resume os aspectos fundamentais de qual teoria?
8.d
a. Do criacionismo.
b. Do lamarckismo.
c. Do darwinismo.
d. Da teoria sintética de evolução.

9. "(I) geram variabilidade genética, enquanto (II) é a força responsável pelo direcionamento do processo evolutivo." Qual é a alternativa que completa corretamente a frase?
9.b
a. (I) Mutação gênica e seleção natural; (II) recombinação gênica.
b. (I) Mutação gênica e recombinação gênica; (II) seleção natural.
c. (I) Recombinação gênica e convergência evolutiva; (II) seleção natural.
d. (I) Mutação gênica e recombinação gênica; (II) convergência evolutiva.

10. Algumas das ilhas Galápagos são habitadas por iguanas, um tipo de lagarto de terra firme que come flores de cactos. Nas ilhas onde esses animais não estão presentes, os cactos são rasteiros e têm flores bem próximas ao chão. Nas ilhas onde vivem as iguanas, os cactos são arborescentes e suas flores ficam no alto, distantes do chão. Como é possível explicar, pela seleção natural, o fato de as plantas de cactos serem arborescentes nas ilhas onde vivem as iguanas e rasteiras nas ilhas onde esses lagartos não existem? Escreva um texto objetivo e fundamentado nos conceitos de evolução que aprendeu no capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

11. Para livrar sua plantação de uma infestação de insetos-praga, um agricultor pulverizou as plantas com determinado inseticida, matando 95% dos insetos. Algumas semanas mais tarde, ocorreu nova infestação e o agricultor fez nova pulverização, com a mesma dose do mesmo inseticida. Dessa vez, conseguiu eliminar apenas metade dos insetos. Baseando-se na seleção natural das formas resistentes, explique por que a pulverização de inseticida não funcionou tão bem como na primeira vez.

Questões de vestibulares e do Enem

12. (UFC-CE) A competição por um recurso de disponibilidade limitada é um dos pressupostos do conceito de seleção natural na teoria evolutiva de Darwin. Sobre essa declaração, é correto afirmar que é

12.c

a. verdadeira, pois o conceito de seleção natural do organismo mais bem adaptado pressupõe que os predadores mais eficazes levem suas presas à extinção.
b. falsa, pois apenas a competição interespecífica por um recurso de disponibilidade limitada contribui efetivamente para o conceito de seleção natural.
c. verdadeira, pois apenas em decorrência da competição por um recurso de disponibilidade limitada é que há a seleção do organismo mais bem adaptado.
d. verdadeira, pois tanto a competição intraespecífica quanto a interespecífica são comportamentos que apresentam um alto grau de expressividade gênica.
e. falsa, pois apenas a competição intraespecífica por um recurso de disponibilidade limitada contribui efetivamente para o conceito de seleção natural.

13. (Fuvest-SP) Uma ideia comum às teorias da evolução propostas por Darwin e por Lamarck é que a adaptação resulta

13.c

a. do sucesso reprodutivo diferencial.
b. de uso e desuso de estruturas anatômicas.
c. da interação entre os organismos e seus ambientes.
d. da manutenção das melhores combinações gênicas.
e. de mutações gênicas induzidas pelo ambiente.

14. (UFC-CE) Um problema para a teoria da evolução proposta por Charles Darwin no século XIX dizia respeito ao surgimento da variabilidade sobre a qual a seleção poderia atuar. Segundo a teoria sintética da evolução, proposta no século XX, dois fatores que contribuem para o surgimento da variabilidade genética das populações naturais são

14.a

a. mutação e recombinação genética.
b. deriva genética e mutação.
c. seleção natural e especiação.
d. migração e frequência gênica.
e. adaptação e seleção natural.

15. (UFPR) A seleção natural é um dos principais fatores responsáveis pela evolução, juntamente com a mutação, a deriva genética e a migração genética. Para que a seleção natural ocorra em uma população, é imprescindível que haja

15.a

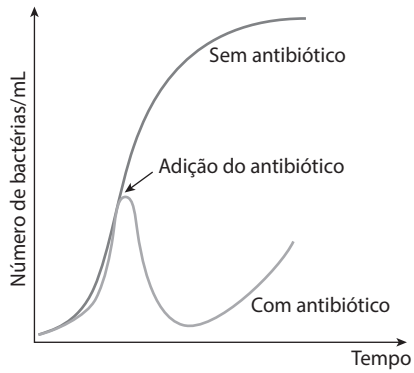
a. diversidade da composição genética dos indivíduos da população.
b. alteração do meio ambiente, propiciando o favorecimento de alguns indivíduos da população.
c. informações genéticas anômalas que produzam doenças quando em homozigose.
d. disputa entre os indivíduos, com a morte dos menos aptos.
e. mutação em taxa compatível com as exigências ambientais.

16. (Enem-MEC) O que têm em comum Noel Rosa, Castro Alves, Franz Kafka, Álvares de Azevedo, José de Alencar e Frédéric Chopin? Todos eles morreram de tuberculose, doença que ao longo dos séculos fez mais de 100 milhões de vítimas. Aparentemente controlada durante algumas décadas, a tuberculose voltou a matar. O principal obstáculo para seu controle é o aumento do número de linhagens de bactérias resistentes aos antibióticos usados para combatê-la. Esse aumento do número de linhagens resistentes se deve a

16.b

a. modificações no metabolismo das bactérias, para neutralizar o efeito dos antibióticos e incorporá-los à sua nutrição.
b. mutações selecionadas pelos antibióticos, que eliminam as bactérias sensíveis a eles, mas permitem que as resistentes se multipliquem.
c. mutações causadas pelos antibióticos, para que as bactérias se adaptem e transmitam essa adaptação a seus descendentes.
d. modificações fisiológicas nas bactérias, para torná-las cada vez mais fortes e mais agressivas no desenvolvimento da doença.
e. modificações na sensibilidade das bactérias, ocorridas depois de passarem um longo tempo sem contato com antibióticos.

17. (Uerj) Foram introduzidas em dois frascos, que contêm um mesmo meio de cultura, quantidades idênticas de um tipo de bactéria. Após algum tempo de incubação, adicionou-se, a apenas um dos frascos, um antibiótico estável, de uso frequente na clínica e cuja concentração não se modificou durante todo o experimento. O gráfico a seguir representa a variação do número de bactérias vivas no meio de cultura em função do tempo de crescimento bacteriano em cada frasco.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A observação do gráfico permite concluir que, no frasco em que se adicionou o antibiótico, ocorreu uma grande diminuição no número de bactérias. Utilizando a teoria da seleção natural, explique o fato de essa população ter voltado a crescer após a diminuição observada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 21

A evolução da vida e da espécie humana

ANDRE DIB/PULSAR IMAGENS

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No Parque Nacional Serra da Capivara, no Piauí, encontra-se o maior conjunto de pinturas rupestres do mundo, as quais registram o desenvolvimento cultural dos povos que habitaram a região há cerca de 12 mil anos. (Coronel José Dias, PI, 2023.)

A importância do assunto

A teoria da evolução biológica vem sendo corroborada e ampliada por novas descobertas, muitas delas com o emprego das novas tecnologias de investigação do DNA. A ampliação dos estudos paleontológicos, com a descoberta de novos fósseis, tem permitido traçar um panorama mais completo da origem dos grandes grupos de seres vivos, com destaque para o grupo dos vertebrados, em particular a espécie humana. A visão científica sobre a ancestralidade humana vem passando por grandes transformações nos últimos anos, principalmente em razão das novas descobertas paleontológicas e da aplicação de novos métodos de análise das evidências fósseis.

Como teria surgido a espécie humana? Há quanto tempo isso teria ocorrido? Quais são as relações de parentesco evolutivo entre a espécie humana e outros animais? Essas são algumas das questões abordadas neste capítulo. Conhecer um pouco mais da história evolutiva da vida e da espécie humana ajuda a compreender nossa relação com outros seres vivos e com a natureza, levando-nos a refletir sobre a importância de preservar a biodiversidade e manter o equilíbrio ambiental.

1. O processo evolutivo e a diversificação da vida

Árvores filogenéticas

Em suas reflexões sobre a diversificação dos seres vivos, Darwin comparou a história evolutiva da vida a uma árvore: o tronco junto às raízes representaria os primeiros seres vivos, e os ramos corresponderiam às diferentes linhagens de organismos que foram surgindo ao longo da evolução. Cada espécie de hoje corresponderia à extremidade de um longo ramo. Ramos mais curtos representariam espécies extintas.

As árvores evolutivas imaginadas por Darwin, denominadas **árvores filogenéticas**, são diagramas que indicam as relações de parentesco evolutivo entre grupos de seres vivos. Se escolhermos uma espécie atual e percorrermos o ramo que a originou chegaremos, depois de muitas e muitas bifurcações, ao tronco primitivo ancestral, representado pelos primeiros seres que habitaram a Terra.

As bifurcações ao longo do caminho evolutivo correspondem aos pontos em que as linhagens se diversificaram. Por exemplo, se descermos pelo ramo evolutivo da espécie humana chegaremos a uma bifurcação correspondente ao ancestral que originou, por um lado, os chimpanzés e os bonobos e, por outro, os seres humanos. Acredita-se que essa ramificação da árvore filogenética tenha ocorrido há cerca de 7 milhões ou 8 milhões de anos. Se descermos ainda mais, chegaremos à ramificação correspondente a uma espécie de réptil, semelhante a um pequeno lagarto, que teria originado as aves e os mamíferos. As evidências fósseis indicam que essa bifurcação da árvore filogenética teria ocorrido há cerca de 320 milhões de anos. (Fig. 21.1)

Árvore filogenética que relaciona aves e mamíferos

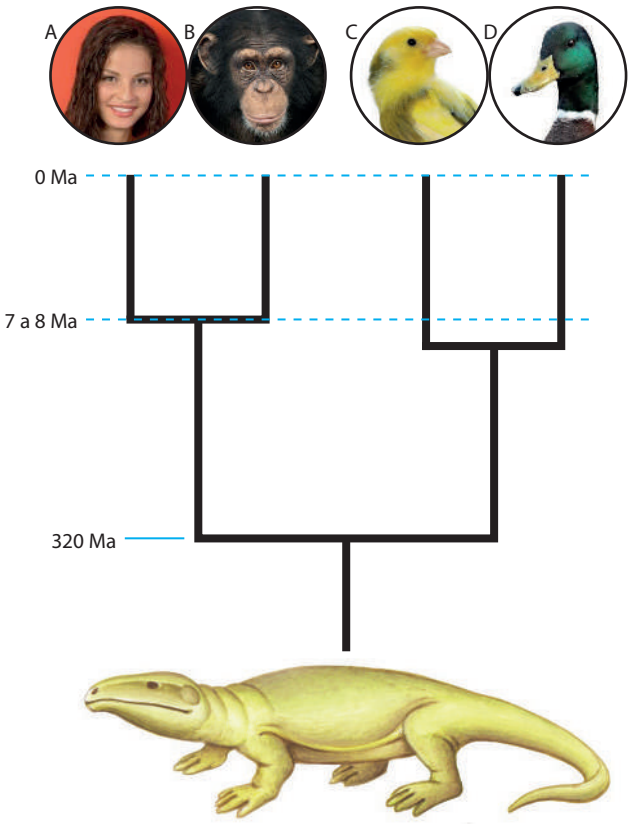


Figura 21.1. Há cerca de 320 milhões de anos uma espécie de réptil semelhante a um pequeno lagarto teria originado as linhagens das aves e dos mamíferos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Como a vida se diversifica: anagênese e cladogênese

Os indivíduos de uma população biológica sempre apresentam pequenas diferenças genéticas entre si, que se traduzem em características morfológicas, bioquímicas e comportamentais. Características que favorecerem a adaptação dos indivíduos que as apresentam tendem a aumentar em frequência na população. Assim, a adaptação leva uma população a se modificar gradativamente ao longo do tempo, diferenciando-se da população original. A transformação evolutiva em que uma linhagem de seres vivos se diferencia ao longo do tempo é denominada **anagênese** (do grego *ana*, movimento de baixo para cima, e *genesis*, origem).

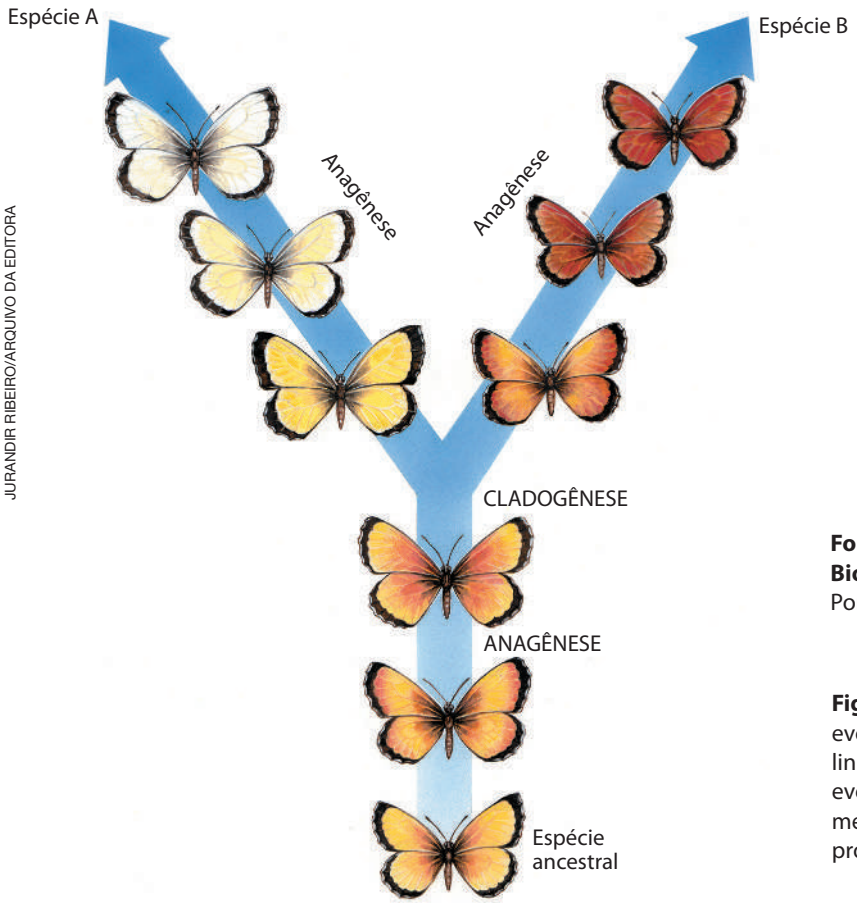
Em determinado estágio da evolução de uma espécie, dois grupos populacionais podem se isolar geograficamente. Se isso ocorrer, cada grupo tende a se adaptar às condições particulares das regiões em que habitam. A adaptação dos grupos isolados leva progressivamente ao aumento de diferenças genéticas entre eles. Em determinado momento, as duas populações isoladas podem ter acumulado tantas diferenças genéticas entre si que não podem mais se cruzar e produzir descendentes férteis, caso voltem a se reunir. Nesse estágio, as populações isoladas passam a constituir duas novas espécies.

FOTOS: A. PAUL GARNIER RIMOLO/SHUTTERSTOCK; B. ERIC ISSELE/SHUTTERSTOCK; C. XPIXEL/SHUTTERSTOCK; D. AKSENOVA NATALYA/SHUTTERSTOCK
ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O processo evolutivo pelo qual duas populações se isolam e se diferenciam em duas novas espécies é denominado **cladogênese** (do grego *klados*, ramo, e *genesis*, origem). (Fig. 21.2)

Os processos de anagênese e de cladogênese



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.2. Cladogênese é o processo evolutivo que resulta na divisão de uma linhagem em duas outras. Anagênese é a evolução adaptativa que ocorre em uma mesma linhagem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Especiação

Especiação é o processo pelo qual surgem novas espécies a partir de uma espécie ancestral. A maioria dos evolucionistas admite que a especiação ocorre por meio da cladogênese, que tem início com o isolamento territorial de dois grupos populacionais de uma espécie. Essa separação territorial é denominada **isolamento geográfico**.

O isolamento geográfico entre as duas populações impede o fluxo de genes entre elas ao mesmo tempo que a adaptação particular de cada isolado populacional leva à sua própria diferenciação genética. Como as populações isoladas não trocam genes, com o passar do tempo elas podem se tornar tão distintas geneticamente que a reprodução entre elas se torna impossível ou muito rara. Estabelece-se, assim, o que os biólogos denominam **isolamento reprodutivo**.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

O vigor híbrido

O cruzamento entre animais ou plantas de espécies diferentes pode levar à geração de descendentes híbridos mais vigorosos que os pais, fenômeno denominado **vigor híbrido**. Por exemplo, no cruzamento entre uma égua (*Equus ferus caballus*) e um jumento (*Equus africanus asinus*), são geradas as **mulas** (fêmeas ou machos). No cruzamento entre um cavalo e uma jumenta, são gerados os **bardotos** (fêmeas ou machos). Esses híbridos, embora estéreis, geralmente são mais vigorosos que os indivíduos parentais.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

ANASTASIJA POPOVA/SHUTTERSTOCK

DANIELA KORN/SHUTTERSTOCK

MAURICIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

(A) O cavalo *Eqqus ferus caballus* pode atingir cerca de 1,9 m de altura, dependendo da raça. (B) O jumento *Eqqus africanus asinus* mede cerca de 1,4 m de altura. (C) O cruzamento entre uma égua e um jumento origina a mula, que mede cerca de 1,5 m de altura.

A hibridização de plantas vem trazendo expressivo aumento da produção agrícola. A sugestão para esta atividade é realizar uma pesquisa na internet ou em livros, sobre plantas híbridas. A pesquisa específica por milho híbrido também pode mostrar *sites* interessantes. Selecione as ideias que considera mais importantes do que pesquisou e elabore um texto destacando que as hibridizações entre espécies de plantas domésticas têm resultado em variedades de maior valor econômico.

O conceito de subespécie

Subespécies, também chamadas de **raças**, são populações de mesma espécie que diferem em determinadas características genéticas. Por exemplo, os especialistas reconhecem 32 subespécies de *Canis lupus* (lobo), que diferem quanto ao tamanho corporal, à cor da pelagem, ao tamanho e à forma do crânio, ao tamanho das orelhas e à espessura dos dentes molares, entre outros aspectos. Para muitos biólogos, as subespécies representariam uma etapa inicial no processo de formação de novas espécies. (Fig. 21.3)

MERC67/SHUTTERSTOCK

KAREL BARTIK/SHUTTERSTOCK

DR P. MARAZZI/SPL/FOTOARENA

Figura 21.3. (A) Os cães domésticos são considerados uma subespécie de lobo e classificados como *Canis lupus familiaris*. Na imagem, um cão da raça pastor-alemão, cujo corpo mede cerca de 80 cm de comprimento sem a cauda. (B) *Canis lupus hudsonicus*, o lobo da Baía de Hudson, mede cerca de 1 m de comprimento. (C) *Canis lupus lupus*, o lobo da Europa e das florestas da Rússia, chega a medir aproximadamente 1,5 m de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. A origem dos grandes grupos de seres vivos

O tempo geológico

A história da vida está intimamente ligada à história geológica da Terra. Os eventos geológicos que moldaram os ambientes terrestres definiram os rumos da evolução biológica. A multiplicação e diversificação dos seres vivos, por sua vez, alterou condições físicas e químicas do planeta. Por exemplo, a concentração de gás oxigênio (O_2) na atmosfera atual da Terra é equivalente a cerca de 21% do volume atmosférico. O teor de O_2, que não chegava a 1% na atmosfera da Terra primitiva, elevou-se devido ao aparecimento e à proliferação dos seres fotossintetizantes, que teria ocorrido há cerca de 1,5 bilhão de anos. Na fotossíntese, ocorre consumo de CO_2 e liberação de O_2.

Os cientistas denominam **tempo geológico** o intervalo que vai desde a origem da Terra até os dias de hoje. O tempo geológico é dividido em unidades temporais hierárquicas, estabelecidas com base em eventos geológicos e/ou biológicos marcantes ocorridos na história do planeta. Em ordem hierárquica, essas unidades são denominadas éons, eras, períodos, épocas e idades. Éon é o intervalo mais abrangente do tempo geológico, e idade, o intervalo mais restrito. (Tab. 21.1)

Tabela 21.1 Principais unidades do tempo geológico

Éon	Era	Período e subperíodo	Época	Duração (milhões de anos atrás – Ma)	Eventos biológicos marcantes
Fanerozoico	Cenozoica	Quaternário	Holoceno	0 a 0,0117	Extinção em massa dos grandes mamíferos e de muitas aves há cerca de 10 mil anos. Surgimento da civilização humana. Declínio das grandes florestas e considerável extinção de espécies, sobretudo em decorrência da atividade humana.
			Pleistoceno	0,0117 a 2,588	Expansão dos mamíferos de grande porte; aparecimento da espécie humana moderna. Dispersão do *Homo sapiens sapiens* pelo planeta e extinção dos neandertais (*Homo sapiens neanderthalensis*).
		Neogeno	Plioceno	2,588 a 5,333	"Grande intercâmbio americano de fauna", determinado pelo aparecimento do istmo do Panamá. Expansão dos hominídeos.
			Mioceno	5,333 a 23,03	Fauna semelhante à atual. Expansão dos campos e diminuição das florestas.
		Paleogeno	Oligoceno	23,03 a 33,9	Expansão das gramíneas. Aparecimento dos macacos antropoides e de muitas famílias de plantas modernas.
			Eoceno	33,9 a 56,0	Aparecimento das ordens modernas de mamíferos. Expansão das aves e de florestas temperadas de angiospermas decíduas.
			Paleoceno	56,0 a 66,0	Diversificação de mamíferos arcaicos e grande aumento da vegetação; aparecimento de mamíferos de grande porte e dos primeiros primatas (prossímios).
	Mesozoica	Cretáceo		66,0 a 145,0 ± 0,8	Abundância de répteis arcossauros. Pequena diversificação de mamíferos placentários e marsupiais. Aparecimento das angiospermas. Final do período marcado pela quinta grande extinção, com desaparecimento de cerca de 75% das espécies, incluindo todos os dinossauros (com exceção das aves).
		Jurássico		145,0 ± 0,8 a 201,3 ± 0,2	Abundância de répteis arcossauros; abundância de gimnospermas; aparecimento das aves. Surgimento dos mamíferos placentários e marsupiais.
		Triássico		201,3 ± 0,2 a 252,2 ± 0,5	Aparecimento dos répteis arcossauros (dinossauros, pterossauros, ictiossauros e plesiossauros), dos primeiros mamíferos, das tartarugas e crocodilos e de gimnospermas dos grupos das cicas e dos gincos. Final do período marcado pela quarta grande extinção, com desaparecimento de cerca de 70% a 75% das espécies.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Éon	Era	Período e subperíodo	Duração (milhões de anos atrás – Ma)	Eventos biológicos marcantes
Fanerozoico	Paleozoica	Permiano	252,2 ± 0,5 a 298,9 ± 0,2	Declínio dos anfíbios. Diversificação dos répteis pelicossauros e, em seguida, dos terapsidas. Aparecimento das gimnospermas do grupo das coníferas e da maioria das ordens modernas de insetos. Final do período marcado pela terceira e maior de todas as grandes extinções, com desaparecimento de cerca de 90% a 96% das espécies.
		Carbonífero	298,9 ± 0,2 a 358,9 ± 0,4	Diversificação dos anfíbios ("idade dos anfíbios"); aparecimento dos répteis; expansão dos insetos e de florestas de plantas vasculares sem sementes, semelhantes às pteridófitas, que deram origem aos depósitos de carvão mineral. Ocorrência do "colapso das florestas úmidas do Carbonífero".
		Devoniano	358,9 ± 0,4 a 419,2 ± 3,2	Expansão das plantas vasculares com formação de florestas; surgimento dos tetrápodes (anfíbios). Abundância de moluscos, de trilobitas e considerável diversidade de peixes dotados de mandíbula ("idade dos peixes"). Final do período marcado pela segunda grande extinção, com desaparecimento de cerca de 70% das espécies.
		Siluriano	419,2 ± 3,2 a 443,4 ± 1,5	Aparecimento das primeiras plantas dotadas de vasos condutores de seiva. Surgimento dos primeiros peixes dotados de mandíbula e grande expansão dos corais. Aparecimento dos artrópodes unirremes (insetos e miriápodes) e dos primeiros animais de terra firme.
		Ordoviciano	443,4 ± 1,5 a 485,4 ± 1,9	Continuidade da diversificação das algas e grande expansão dos invertebrados e dos peixes sem mandíbulas. Aparecimento das primeiras plantas em ambiente de terra firme. Final do período marcado pela primeira grande extinção, com desaparecimento de 60% a 70% das espécies.
		Cambriano	485,4 ± 1,9 a 541,0 ± 1,0	Aparecimento da maioria dos filos existentes atualmente ("explosão cambriana"). Desenvolvimento de conchas e esqueletos mineralizados em muitos animais marinhos: moluscos, equinodermos, trilobitas, braquiópodes etc. Grande expansão dos trilobitas ("idade dos trilobitas"); aparecimento dos vertebrados, representados por peixes agnatos.
Pré-cambriano – Proterozoico	Neoproterozoica	Ediacarano	541 ± 1,0 a ~ 635	Grande diversificação dos seres multicelulares.
	Mesoproterozoica		~ 635 a 2.500	Surgimento das células eucarióticas e dos primeiros seres multicelulares: algas coloniais e invertebrados de corpo mole (destituídos de esqueleto). Proliferação dos seres fotossintetizantes com aumento da liberação de gás oxigênio para a atmosfera.
	Paleoproterozoica			
Pré-cambriano – Arqueano			2.500 a 4.000	Aparecimento e evolução das primeiras formas de vida unicelulares nos mares primitivos: arqueas, cianobactérias e bactérias. Aparecimento dos primeiros seres fotossintetizantes com início de liberação de gás oxigênio para a atmosfera.
Pré-cambriano – Hadeano			4.000 a ~ 4.600	Solidificação da crosta terrestre.

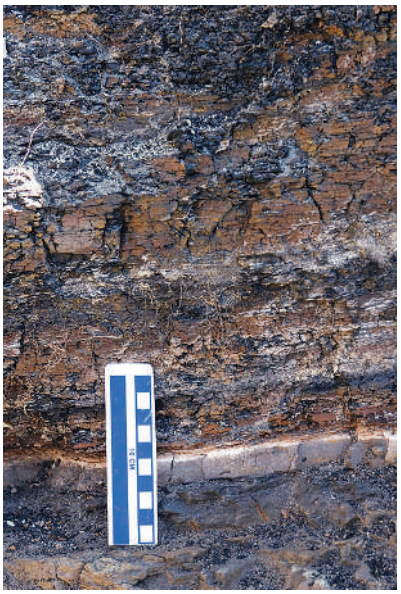
A indicação ± refere-se à faixa de variação estimada dos limites da unidade.

Fonte: Adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As divisões do tempo geológico são definidas com base na composição das camadas rochosas da crosta terrestre, que indicam a ocorrência de eventos geológicos ou paleontológicos marcantes. Entre esses últimos eventos, estão o surgimento de novas espécies de seres vivos e as extinções em massa de certas espécies, ocorridas em determinadas épocas. Por exemplo, o limite entre os éons Proterozoico e Fanerozoico, em torno de 541 milhões de anos atrás (541 Ma), é marcado pelo aparecimento de fósseis de animais cujos esqueletos são formados por componentes mineralizados. O limite entre os períodos Cretáceo e Paleogeno, por sua vez, é marcado por um evento de extinção em massa ocorrido por volta de 66 Ma, quando desapareceram, além dos dinossauros, muitos outros grupos de seres vivos.

Um grupo de pesquisadores liderado pelo geólogo estadunidense Walter Alvarez (1940-) descobriu, em 1980, uma camada de rocha que teria se formado no limite entre os períodos Cretáceo e Paleogeno. Essa camada continha grande quantidade de irídio, metal raro no planeta Terra mas abundante em asteroides e cometas. Esse e outros achados relacionados sugerem que a grande extinção ocorrida há 66 Ma teria sido provocada pela colisão de um grande corpo celeste com a Terra. O impacto teria levado à liberação do irídio encontrado na camada rochosa. Acredita-se que a extinção do grande número de espécies existentes no período Cretáceo tenha sido ocasionada pelo escurecimento da Terra por muitos meses, devido às cinzas e à poeira acumuladas na atmosfera em decorrência do impacto com o corpo celeste. A falta de luminosidade teria levado à extinção da maioria das plantas e, consequentemente, à extinção da maioria dos animais herbívoros e carnívoros das cadeias alimentares cretáceas. (Fig. 21.4)



FRANCOIS GOHIER/ARDEA.COM/MARY EVANS/IMAGEPLUS

Figura 21.4. Corte de uma rocha sedimentar em Wyoming (EUA) em que há uma camada de sedimentos com alta concentração de irídio. Supõe-se que o irídio foi proveniente de um grande corpo celeste que teria se chocado com a Terra há 66 milhões de anos, causando a onda de extinções do final do período Cretáceo.

A vida nos mares primitivos

Os cientistas estimam que os primeiros seres vivos surgiram há mais de 3,5 bilhões de anos. Supõe-se que os seres atuais mais parecidos com os primeiros seres vivos da Terra sejam as arqueas, seres unicelulares procarióticos do tamanho de bactérias e capazes de viver em ambientes inóspitos, tais como fontes de água quente, lagos de alta salinidade e pântanos. Acredita-se que nesses ambientes há condições semelhantes às da Terra primitiva, onde teriam evoluído as primeiras formas de vida. (Fig. 21.5)

JEK25/SHUTTERSTOCK

Figura 21.5. Lago de água quente no Parque Nacional de Yellowstone (Estados Unidos, 2023), onde vivem arqueas termófilas em condições possivelmente similares às existentes há bilhões de anos na Terra primitiva, quando teria surgido a vida.

Calcula-se que a primeira célula eucariótica tenha surgido por volta de 2 bilhões de anos atrás. Há evidências de que as mitocôndrias, presentes em praticamente todas as células eucarióticas, e os plastos, presentes em células de algas e de plantas, descendem de seres procarióticos que teriam invadido células eucarióticas primitivas e com elas estabelecido relações amistosas de **endossimbiose**. Essa associação endossimbiótica teria ocorrido há pelo menos 1,5 bilhão de anos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outro passo importante na história da vida foi o aparecimento dos seres multicelulares. A estratégia multicelular teria surgido quando células resultantes da multiplicação de uma célula passaram a viver juntas e a dividir tarefas de sobrevivência. A evolução teria levado ao surgimento de organismos com células cada vez mais especializadas no desempenho de funções diversas, formando os tecidos e órgãos dos seres multicelulares.

Os primeiros fósseis de algas filamentosas multicelulares foram encontrados em rochas com cerca de 1 bilhão de anos. Os mais antigos fósseis de animais invertebrados de corpo mole, alguns semelhantes a águas-vivas e a certos vermes marinhos atuais, datam de cerca de 600 Ma. Tudo indica que nessa época havia na Terra um único continente, Rodínia (do russo *ródina*, que significa "terra-mãe"), o qual reunia as terras firmes do planeta. (Fig. 21.6)

Mapa-múndi de 650 milhões de anos atrás

ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

CHASE STUDIO/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 21.6. (A) Há 650 Ma existiria um único continente na Terra, a Rodínia, cuja relação com as áreas que formam os continentes atuais é mostrada no esquema. (B) Representação artística de seres vivos do período Ediacarano.

A explosão de vida no período Cambriano

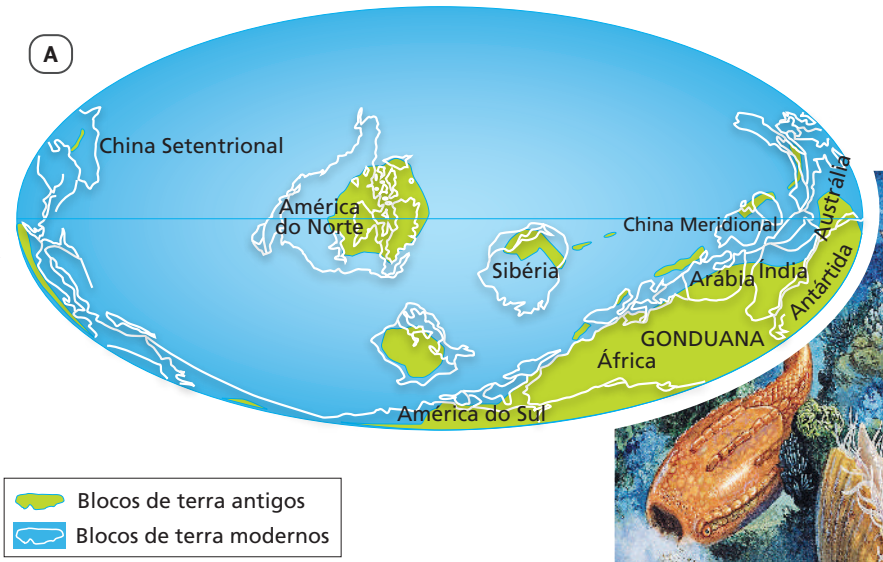
Há evidências de que, por volta de 530 Ma, no período Cambriano (541 Ma a 485,5 Ma), ocorreu elevação das temperaturas da atmosfera e dos mares. Com isso, o ambiente teria se tornado mais favorável à vida, propiciando uma grande diversificação dos seres então existentes. A rapidez e a intensidade com que surgiram os principais grupos de animais levaram os estudiosos a usar o termo "explosão cambriana" para se referir à grande diversificação da vida ocorrida nesse período geológico.

O documentário fóssil do período Cambriano revela que os mares eram habitados por muitas espécies de algas multicelulares e por animais invertebrados, entre eles cordados primitivos que teriam originado mais tarde os vertebrados. Alguns dos animais cambrianos apresentavam semelhanças com

animais de hoje e podem ser associados aos filos atuais. Outros, entretanto, parecem não se relacionar com nenhum dos filos existentes. Possivelmente, esses animais se extinguiram sem deixar descendentes que continuassem sua linhagem. (Fig. 21.7)

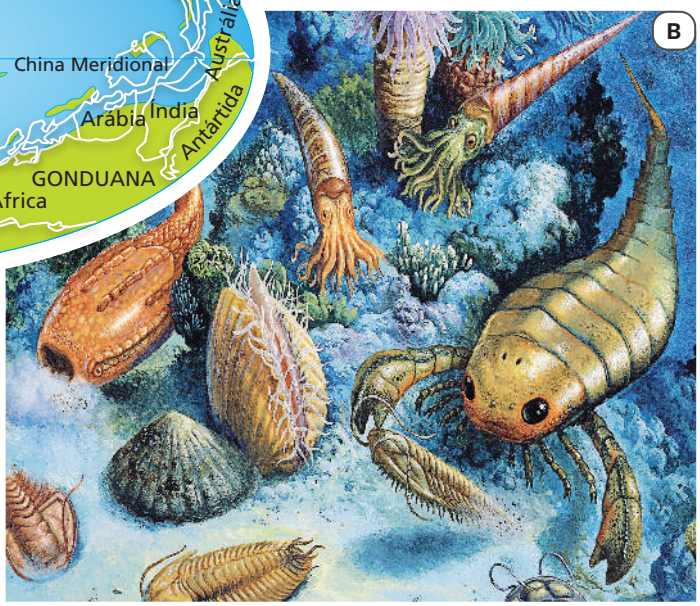
Mapa-múndi de 514 milhões de anos atrás

Final do Cambriano – 514 Ma



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.



CHRISTIAN JEGOU/SPL/ FOTOARENA

Figura 21.7. (A) Os continentes primitivos originados pela fragmentação da Rodínia e sua relação com as áreas que formam os continentes atuais. (B) Representação artística de animais do Cambriano.

O documentário fóssil mostra que os trilobitas, um dos primeiros grupos de artrópodes, foram os animais mais bem-sucedidos do período Cambriano, colonizando amplamente os oceanos durante mais de 270 milhões de anos. Os trilobitas teriam surgido no final do período Ediacarano e atingido sua densidade máxima no início do período Cambriano (541 Ma a 485,4 Ma), que ficou conhecido como **idade dos trilobitas**. Esses artrópodes primitivos extinguiram-se no final da era Paleozoica (485,4 Ma a 252,2 Ma). (Fig. 21.8)

SINCLAIR STAMMERS/SPL/FOTOARENA

Figura 21.8. Os trilobitas apresentavam tamanhos muito variados, desde espécies milimétricas até aquelas com mais de 70 cm de comprimento.

A conquista do ambiente de terra firme

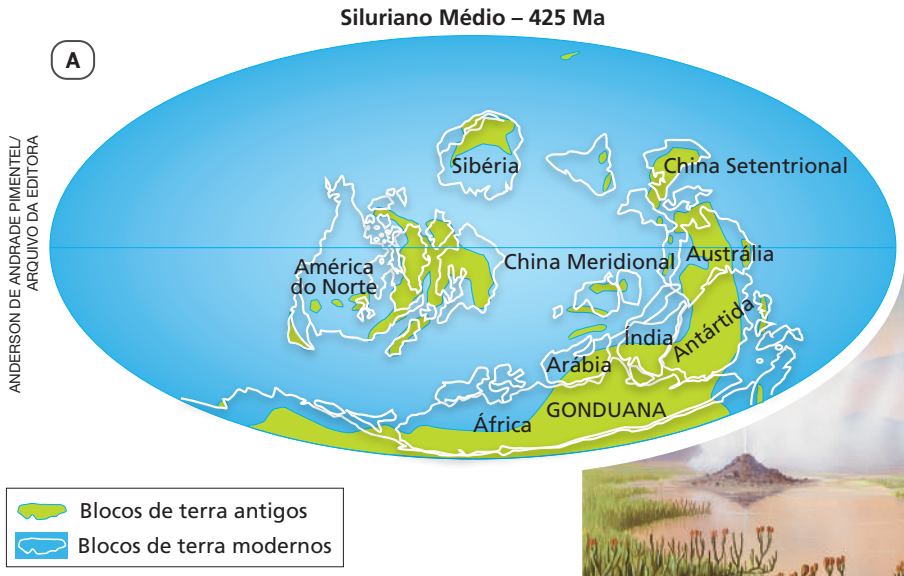
O documentário fóssil mostra que, até o período Ordoviciano (485,4 Ma a 443,3 Ma), os seres vivos habitavam apenas os ambientes aquáticos. É possível que já houvesse bactérias e algas vivendo em barrancos nas margens de lagos e rios. As plantas só teriam surgido por volta de 470 Ma, a partir de um grupo de algas verdes multicelulares que desenvolveram adaptações para sobreviver fora da água.

As primeiras plantas só se diversificaram em grande escala após a onda de extinções que marcou a passagem do período Ordoviciano para o Siluriano, por volta de 443 Ma. Essa foi a primeira das cinco grandes extinções em massa na história da Terra e a segunda em dimensão, com desaparecimento de 60% a 70% de todas as espécies viventes. Suas causas ainda são desconhecidas, mas sabe-se que, durante o evento,

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

houve grandes glaciações e formação de extensas geleiras, com drástica redução do nível dos oceanos. No período Siluriano (443,4 Ma a 419,2 Ma) teria ocorrido diversificação de plantas de terra firme e de animais aquáticos sobreviventes da extinção em massa entre os períodos Ordoviciano e Siluriano. (Fig. 21.9)

Mapa-múndi de 425 milhões de anos atrás



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

RICHARD BIZLEY/SPL/FOTOARENA

Figura 21.9. (A) Continentes existentes há 425 Ma e sua relação com as áreas que formam os continentes atuais. (B) Representação artística de plantas primitivas de terra firme do período Siluriano.

A colonização da terra firme pelas plantas forneceu abrigo e alimento para que os animais pudessem explorar o novo ambiente. Há indicações de que os primeiros animais a conquistar o ambiente de terra firme foram artrópodes. O mais antigo fóssil de animal de terra firme é de *Pneumodesmus newmani*, um artrópode que teria vivido por volta de 428 Ma. (Fig. 21.10)

ANDREW NEWTON/MUSEU DE HISTÓRIA STONEHAVEN TOLBOOTH - ABERDEENSHIRE

Figura 21.10. Reconstrução artística do *P. newmani*, que media cerca de 1 cm de comprimento.

A expansão da vegetação

As primeiras plantas dotadas de vasos condutores de seiva, as **traqueófitas**, teriam surgido no período Siluriano (443,4 Ma a 419,2 Ma). O desenvolvimento evolutivo de vasos condutores de seiva permitiu às plantas atingirem grandes tamanhos e formarem as primeiras matas, possivelmente junto às margens de regiões alagadas.

As primeiras plantas com sementes, as **espermatófitas**, teriam surgido no período Devoniano (419,2 Ma a 358,9 Ma). A origem da semente foi o passo decisivo para a conquista do ambiente de terra firme pelas plantas, que se tornaram independentes da água líquida para a reprodução e puderam se expandir para longe de lagos e rios.

No período Carbonífero (358,9 Ma a 298,9 Ma), já havia grandes florestas cobrindo os continentes e criando ambientes úmidos e protegidos, favoráveis à vida de insetos e de anfíbios. As primeiras **gimnospermas** teriam surgido no período Permiano (298,9 Ma a 252,2 Ma) e apresentavam sementes expostas nos estróbilos femininos (sementes nuas). As **angiospermas**, plantas dotadas de sementes protegidas no interior de frutos teriam surgido no período Cretáceo (145 Ma a 66 Ma). (Fig. 21.11)

SHEILA TERRY/SPL/FOTOARENA

Figura 21.11. Representação artística de uma floresta do período Carbonífero com base nas evidências fósseis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

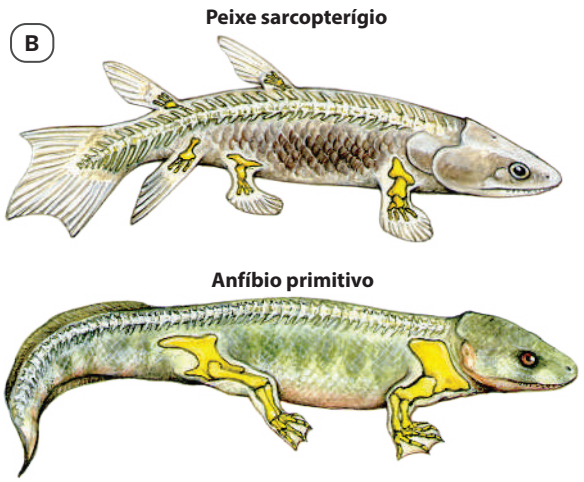
A origem dos tetrápodes

Há evidências de que os animais de quatro membros, os **tetrápodes** (do grego *tetra*, quatro, e *podos*, pés, pernas), grupo ao qual pertencem anfíbios, répteis, aves e mamíferos, teriam surgido a partir de peixes dotados de nadadeiras carnosas e com estrutura óssea de sustentação: os sarcopterígios.

Atualmente, há uma única espécie conhecida de sarcopterígio, o celacanto *Latimeria chalumnae*. Os cientistas consideram o celacanto um **relicto**, termo que se aplica a organismos atuais que mantêm características muito semelhantes às de seus ancestrais fossilizados. (Fig. 21.12)

Peixes sarcopterígios e anfíbios primitivos

IMAGEBROKER/ALAMY/FOTOARENA



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

Figura 21.12. (A) Fotografia de *Latimeria chalumnae*, que pode chegar a 2 m de comprimento. (B) Representação esquemática que compara os esqueletos das nadadeiras carnosas de um peixe sarcopterígio e das pernas de um anfíbio primitivo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A origem dos anfíbios

Os primeiros **anfíbios** teriam surgido no período Devoniano a partir de uma linhagem de sarcopterígios. Os anfíbios foram os primeiros animais vertebrados a habitar a terra firme, embora não a tenham conquistado completamente, uma vez que sua fecundação geralmente ocorre na água, e o zigoto se desenvolve em uma forma larval aquática, o **girino**, que respira por meio de brânquias.

Os anfíbios foram os animais dominantes em terra firme desde o final do período Carbonífero (358,9 Ma a 298,9 Ma) até o início do período Permiano (298,9 Ma a 252,2 Ma). Essa etapa da história da vida na Terra ficou conhecida como **idade dos anfíbios**. Algumas espécies de anfíbios chegavam a atingir 9 metros de comprimento e eram predadoras vorazes. O declínio dos anfíbios ocorreu no período Permiano, sendo atribuído principalmente a mudanças climáticas globais que causaram aridez na maior parte dos ambientes de terra firme. Apenas um grupo de anfíbios teria sobrevivido à extinção e originado as três ordens atuais do grupo: **Anura** (rãs, sapos e pererecas), **Caudata** ou **Urodela** (salamandras), e **Gymnophiona** ou **Apoda** (cobras-cegas ou cecílias). (Fig. 21.13)

WALTER MYERS/SPL/ FOTOARENA

Figura 21.13. Representação artística de um possível cenário do período Carbonífero, com anfíbios primitivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de 19 de fevereiro de 1998.

A origem dos répteis

Os **répteis** foram os primeiros animais a conquistar definitivamente o ambiente de terra firme, graças a uma importante novidade evolutiva: o **ovo amniótico**, que permitiu o desenvolvimento embrionário fora do ambiente aquático. No desenvolvimento do ovo amniótico, formam-se **anexos embrionários** que desempenham diferentes funções. Um desses anexos é o **âmnio**, membrana que envolve e protege o embrião, daí a denominação ovo amniótico. Esse tipo de ovo contribuiu para o sucesso dos répteis, das aves e dos mamíferos, denominados **animais amniotas**.

Tudo indica que os répteis tenham surgido no período Carbonífero (358,9 Ma a 298,9 Ma), a partir de uma linhagem de anfíbios. Os primeiros répteis eram animais pequenos e desempenhavam um papel discreto na fauna, então dominada pelos grandes anfíbios. Com o declínio dos anfíbios, surgiram, no final do Permiano (298,9 Ma a 252,2 Ma) ou no início do Triássico (252,2 Ma a 201,3 Ma), linhagens de grandes répteis, como os dinossauros, que ocuparam os ambientes de terra firme, os pterossauros, que eram répteis voadores, e os ictiossauros e os plesiossauros, répteis aquáticos que viveram nos mares. O predomínio desses animais na Era Mesozoica levou à denominação informal **idade dos répteis** para essa etapa da história da Terra.

O domínio dos répteis terminou repentinamente, com a extinção em massa ocorrida por volta de 66 Ma, quando desapareceram 75% das espécies de seres vivos. Os principais grupos de répteis que sobreviveram foram os das tartarugas, dos crocodilos e dos lagartos e serpentes. (Fig. 21.14)

LEONELLO CALVETTI/SPL/ FOTOARENA

Figura 21.14. Representação artística que mostra dinossauros da família Gallimimus sendo perseguidos por um *Tyrannosaurus rex* (ordem Saurischia), que chegava a medir 6 m de altura.

A origem das aves

As **aves** teriam surgido no período Jurássico (201,3 Ma a 145 Ma), a partir de uma linhagem de dinossauros. Os especialistas consideram aves e répteis muito semelhantes e sugerem sua classificação na mesma categoria taxonômica. A presença de penas não é um caráter exclusivo de aves. Novas descobertas paleontológicas mostraram que havia diversas linhagens de répteis dotados de penas. Um exemplo emblemático é *Archaeopteryx lithographica*, o arqueoptérix, réptil alado e dotado de penas que teria vivido no final do período Jurássico, por volta de 150 Ma. Nos últimos anos, ocorreram descobertas de vários fósseis de dinossauros dotados de penas, principalmente na China. De acordo com a sistemática filogenética, as aves são remanescentes dos dinossauros e deveriam ser incluídas no mesmo grupo que eles. (Fig. 21.15)

No final do período Cretáceo (145 Ma a 66 Ma), as aves já apresentavam muitas de suas características atuais. Após a última grande extinção em massa, as aves se diversificaram e passaram a explorar com sucesso diversos ambientes. Há pelo menos 25 ordens de aves, entre as quais se destacam os pássaros, os galináceos e os avestruzes, apenas para citar alguns dos representantes mais conhecidos.

CHRIS HELLIER/SPL/FOTOARENA

Figura 21.15. Fóssil de arqueoptérix com 150 milhões de anos encontrado na Alemanha. Esse animal podia atingir 1 m de comprimento e 4 kg de massa corporal.

A origem dos mamíferos

Os **mamíferos** teriam surgido no período Triássico (252,2 Ma a 201,3 Ma), a partir de um grupo de répteis. Esses animais se caracterizam por apresentarem **glândulas mamárias**, que produzem secreções nutritivas para alimentar os filhotes. Acredita-se que os primeiros mamíferos eram animais de pequeno porte, talvez com menos de 5 cm de comprimento, e que se alimentavam principalmente de insetos. O olfato e a audição apurados teriam possibilitado aos mamíferos ancestrais desenvolverem hábitos noturnos, o que os deixava menos expostos aos predadores. Os mamíferos primitivos também desenvolveram pelos e a capacidade de manter estável a temperatura corporal apesar das variações da temperatura ambiental, característica denominada **endotermia**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Evidências recentes sugerem que os primeiros mamíferos eram **ovíparos,** e seus embriões se desenvolviam fora do corpo da mãe, no interior de um ovo amniótico, como ocorre atualmente com os ornitorrincos e as equidnas (mamíferos monotremados). Em seguida, teriam surgido os mamíferos marsupiais, e os mamíferos placentários.

O desenvolvimento embrionário dos **marsupiais** começa no interior do corpo materno, e os filhotes nascem ainda não completamente formados. Os filhotes imaturos abrigam-se em uma bolsa no abdômen da mãe, o **marsúpio**, onde se localizam os mamilos. Ao chegar ao marsúpio, o filhote adere a um dos mamilos da fêmea e passa a se alimentar do leite materno.

O desenvolvimento embrionário dos **placentários** ocorre inteiramente no interior do útero, onde os filhotes recebem alimento e gás oxigênio do sangue materno, nele eliminando gás carbônico e excreções. Essas trocas entre os sangues da mãe e do feto ocorrem por meio da **placenta**, um órgão materno-fetal (relembre o capítulo 8.) (Fig. 21.16.)

Figura 21.16. (A) O ornitorrinco *Ornithorhynchus anatinus* pode medir cerca de 45 cm. (B) O canguru *Macropus fuliginosus* pode atingir cerca 2 metros de comprimento. (C) Cadela da espécie *Canis lupus familiaris* cortando o cordão umbilical que liga seu filhote recém-nascido à placenta. Esse animal tem cerca de 80 cm de comprimento.

A grande extinção em massa ocorrida há 66 milhões de anos criou condições para a expansão e o sucesso evolutivo dos mamíferos. No fim da época Oligoceno (33,9 Ma e 23,03 Ma) e no início do Mioceno (23,03 Ma e 5,333 Ma), a fauna de mamíferos placentários já era bem semelhante à atual. Se pudéssemos voltar àquela época, reconheceríamos cavalos, camelos, veados, antílopes, girafas, ursos, hienas, cães, macacos e elefantes, entre outros mamíferos. Na Austrália, porém, a fauna de mamíferos era composta apenas de monotremados e marsupiais. (Fig. 21.17).

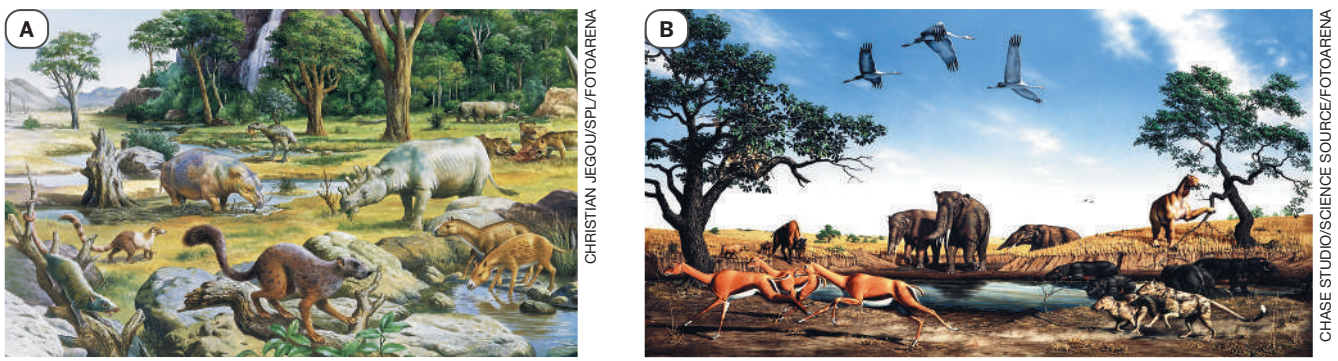


Figura 21.17. (A) Representação artística de cenário do período Paleoceno. Nessa época, após a extinção dos grandes répteis, os mamíferos placentários teriam se diversificado e se expandido. (B) Representação artística de cenário do Oligoceno na América do Norte.

Movimentação dos continentes e evolução biológica

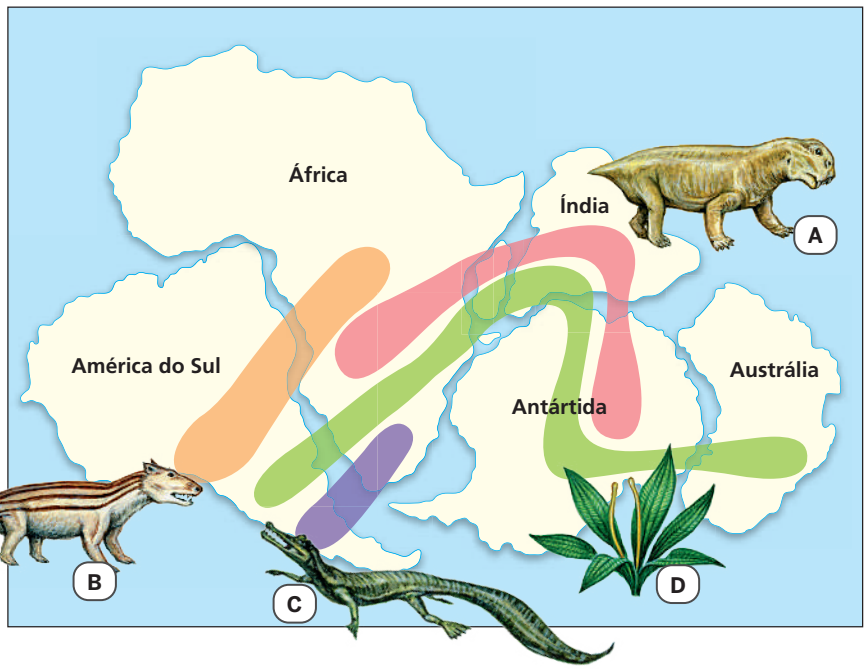
A forma e a posição dos continentes, que hoje parecem tão estáveis, mudaram significativamente ao longo da história geológica da Terra. A teoria científica sobre a mudança dos continentes desde a formação da Terra é conhecida como **teoria da deriva continental**, sendo apoiada por evidências em diversas áreas do conhecimento, como a Geologia, a Geografia, a Paleontologia, a Física, a Química e a Biologia.

A teoria da deriva continental explica diversos fenômenos naturais, tais como a ocorrência de terremotos, a distribuição de vulcões, a origem das grandes cadeias de montanhas, a distribuição de fósseis, de rochas e de petróleo, bem como a distribuição geográfica dos diversos grupos de animais e plantas atuais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os contornos das costas leste da América do Sul e oeste da África parecem complementares, como peças de um quebra-cabeça, o que reforça a ideia de que estiveram unidas no passado. A complementariedade dos contornos dos continentes já havia sido percebida por geógrafos de séculos passados, mas foi apenas em 1912 que o geofísico e meteorologista alemão Alfred Wegener (1880-1930) propôs uma explicação racional para essa complementaridade. Um de seus argumentos era a distribuição de certos fósseis em diferentes continentes, que só podia ser explicada racionalmente admitindo-se que as espécies fósseis viveram em uma época em que os continentes estavam unidos. Segundo Wegener, inicialmente toda a terra firme do planeta constituía um único bloco, que foi se fragmentando em porções que se deslocaram, originando os diversos continentes atuais. (Fig. 21.18)

Evidência da deriva continental pela distribuição de fósseis



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.18. A distribuição de fósseis de algumas espécies extintas em diferentes continentes (faixas coloridas) pode ser explicada admitindo que elas viveram quando esses continentes estavam unidos, como propõe a teoria da deriva continental de Wegener. (A) Réptil terrestre do gênero *Lystrosaurus*, do período Triássico, que media cerca de 1 m de comprimento. (B) Réptil *Cynognathus* sp., do período Triássico, que media aproximadamente 3 m de comprimento. (C) Réptil de água doce do gênero *Mesosaurus*, que atingia mais ou menos 1 m de comprimento. (D) Gimnosperma do gênero *Glossopteris*, que podia atingir cerca de 5 m de altura. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As ideias de Wegener sofreram forte oposição por parte da comunidade científica na primeira metade do século XX. Entretanto, no começo da década de 1950, um novo campo de pesquisa na área das Ciências da Natureza, o **paleomagnetismo**, forneceu evidências de que a posição dos continentes havia mudado. O campo magnético de rochas da Índia, por exemplo, indicava claramente que ela anteriormente se localizava no Hemisfério Sul, como havia sido previsto por Wegener.

No começo da década de 1960, a teoria da deriva continental se consolidou com a descoberta de grande atividade geológica no fundo dos oceanos, com formação e destruição das placas rochosas sobre as quais se assentam os continentes. Essas placas rochosas, denominadas **placas tectônicas**, ou **placas litosféricas**, crescem por agregação de magma liberado por fendas no fundo dos oceanos. O magma que se agrega às bordas das placas faz os continentes se afastarem. Por exemplo, no Oceano Atlântico, entre a América do Sul e a África, há uma fenda que provoca o crescimento das placas onde se assentam esses dois continentes. Com isso, a América do Sul e a África afastam-se cerca de 2 cm por ano. As bordas das placas tectônicas situadas em posição oposta às bordas que crescem mergulham umas sob as outras, fundindo-se ao magma.

3. A evolução humana

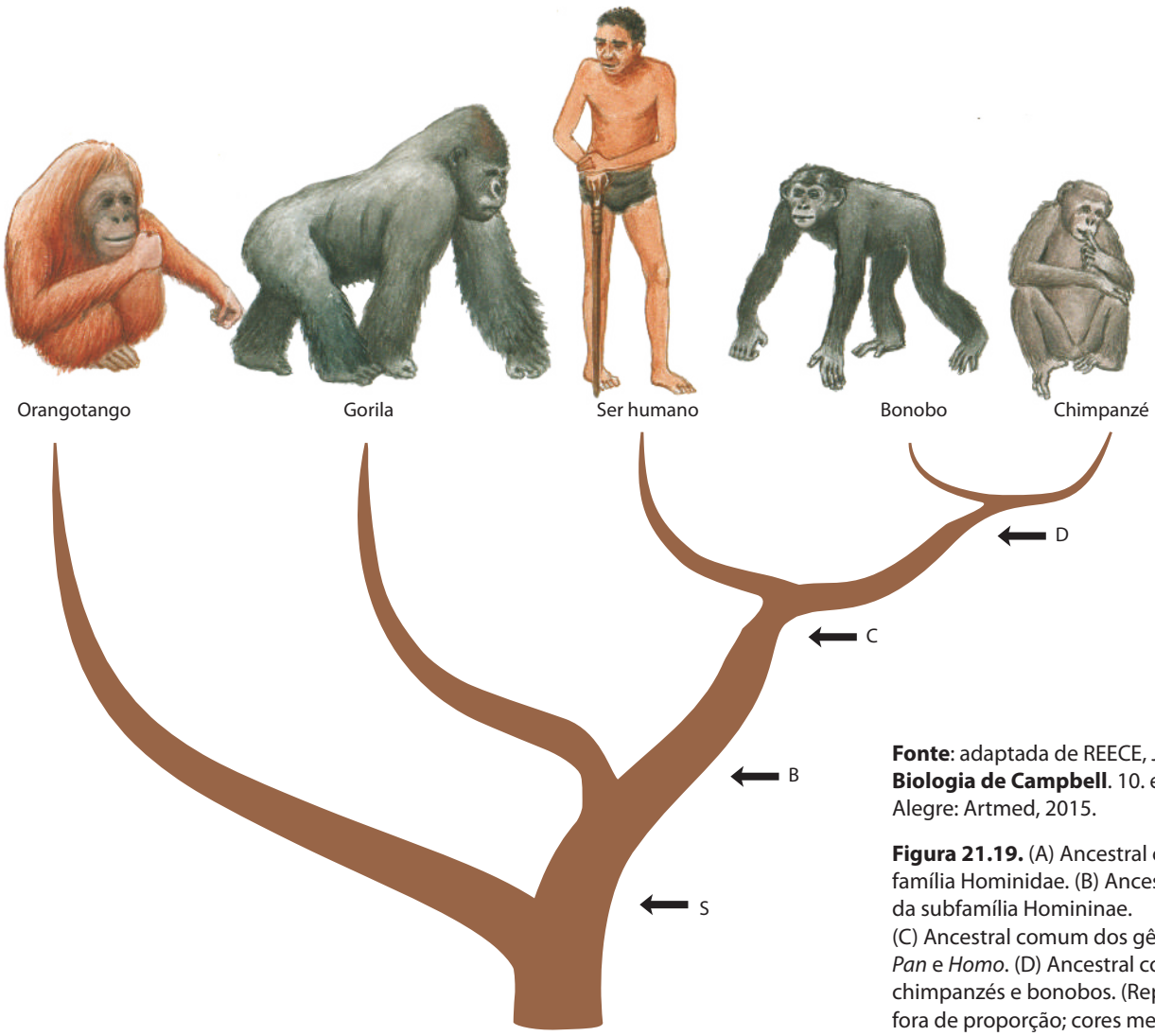
Ao voltar à Inglaterra após sua longa viagem pelo mundo, Charles Darwin visitou o Zoológico de Londres para conhecer Jenny, uma orangotango fêmea recém-adquirida pelo zoológico. O cientista se encantou com a inteligência de Jenny e com a interação amistosa que ela mantinha com seu tratador. Darwin também ficou impressionado com as semelhanças faciais entre Jenny e os seres humanos, comentando depois que a jovialidade do animal lembrava a de uma criança. Anos mais tarde, em seu livro

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

The descent of man and selection in relation to sex (em português, *A origem do homem e a seleção sexual)* publicado em 1871, Darwin apresentou ideias revolucionárias sobre a origem da espécie humana, destacando nossas semelhanças anatômicas e comportamentais com os grandes macacos. Essas semelhanças também haviam sido notadas pelo biólogo e anatomista britânico Thomas Henry Huxley (1825-1895), contemporâneo de Darwin e defensor de suas ideias evolucionistas.

Darwin defendia a ideia de que os seres humanos e os grandes macacos tiveram um ancestral em comum em um passado relativamente recente para os padrões geológicos. Essa ideia não foi bem-aceita na época, pois muitos entenderam erroneamente que Darwin considerava a espécie humana descendente direta de macacos atuais, como gorilas, e chimpanzés. Entretanto, para Darwin, nenhuma espécie atual de macaco foi ancestral da espécie humana. Novas evidências fósseis, genéticas e moleculares têm se complementado para esclarecer melhor nossas relações de parentesco evolutivo com os grandes macacos. (Fig. 21.19.)

Árvore filogenética da espécie humana e dos macacos



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.19. (A) Ancestral comum da família Hominidae. (B) Ancestral comum da subfamília Homininae. (C) Ancestral comum dos gêneros *Pan* e *Homo*. (D) Ancestral comum de chimpanzés e bonobos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

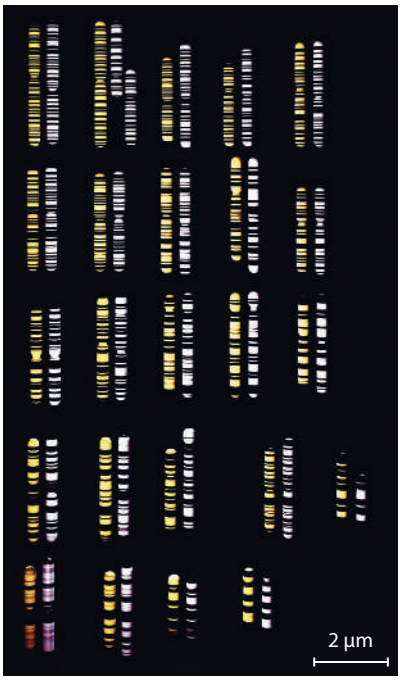
Nossa origem primata

Há grandes semelhanças entre as espécies da família Hominidae, como *Homo sapiens* (espécie humana), *Pan troglodytes* (chimpanzé), *Gorilla gorilla* (gorila-do-ocidente) e *Pongo abelii* (orangotango-de-sumatra). Uma dessas semelhanças refere-se à constituição cromossômica. Os orangotangos, os gorilas e os chimpanzés apresentam 48 cromossomos em suas células somáticas ($2n = 48$), enquanto as células humanas apresentam 46 cromossomos ($2n = 46$). Entretanto, o conjunto cromossômico dessas espécies é muito parecido. Estudos revelaram que o cromossomo metacêntrico número 2 humano é geneticamente

correspondente a dois cromossomos acrocêntricos dos macacos antropoides. Isso indica que esse cromossomo humano teria surgido da fusão entre dois cromossomos acrocêntricos na linhagem hominídea que originou a espécie humana, após sua divergência da linhagem dos chimpanzés. (Fig. 21.20)

A revista científica britânica *Nature* de setembro de 2005 publicou uma comparação genética detalhada entre chimpanzés e seres humanos. O estudo mostrou que cerca de 96% das sequências de bases nitrogenadas dos genomas das duas espécies são exatamente iguais. Os 4% das sequências genéticas que diferem nas duas espécies referem-se, em sua maioria, a regiões que não contêm genes. Considerando apenas as regiões do DNA que contêm genes, a semelhança genética entre chimpanzés e seres humanos chega a 98%.

As diferenças genéticas entre seres humanos e chimpanzés podem ser explicadas pelas diferentes pressões seletivas a que estiveram submetidos nossos ancestrais e os ancestrais dos chimpanzés, desde a divergência entre essas duas linhagens, que teria ocorrido entre 7 Ma e 8 Ma. Na linhagem humana, as pressões seletivas levaram a adaptações na dieta, ao bipedalismo, à fala e ao raciocínio lógico, entre outras.



JJP/EURELIOS/SPL/FOTOARENA

Figura 21.20. Comparação entre os 24 tipos de cromossomos humanos (coloridos em amarelo) e os 25 tipos de cromossomos de chimpanzés (coloridos em branco). O segundo cromossomo à esquerda, na linha superior, é o cromossomo 2 humano, do tipo metacêntrico (centrômero na região central). Nos chimpanzés, há dois cromossomos menores do tipo acrocêntrico (centrômero próximo à extremidade), cujos padrões genéticos assemelham-se aos braços do cromossomo 2 humano. Acredita-se que esses dois cromossomos acrocêntricos dos ancestrais símios tenham se fundido na evolução da linhagem que levou à espécie humana, originando o cromossomo 2 metacêntrico. (Microscópio óptico; aumento ≃ 2300×; cores meramente ilustrativas.)

A linhagem humana

Em seu livro *A origem do homem e a seleção sexual*, Charles Darwin previu que vestígios de ancestrais humanos seriam encontrados no continente africano. Essa previsão baseava-se no fato de que os gorilas e os chimpanzés, que seriam nossos parentes mais próximos, habitam somente a África. Portanto, seria esperado que nesse continente tenham vivido os ancestrais comuns a gorilas, chimpanzés e seres humanos.

As conclusões de Darwin não foram bem recebidas pelo mundo científico da época. Além da falta de evidências que sustentassem a hipótese da origem africana dos seres humanos, havia certa predisposição na cultura europeia para rejeitar a ideia de que o berço da humanidade tivesse sido o continente africano. Além disso, até a década de 1920, fósseis claramente relacionados à ancestralidade humana tinham sido encontrados apenas na Europa e na Ilha de Java, na Indonésia.

Em 1924, o antropólogo australiano Raymond Dart (1893-1988) encontrou na África um crânio fóssil com características hominídeas, classificado por ele como *Australopithecus africanus*. Com base em características do fóssil, Dart lançou a hipótese de que os australopitecos teriam sido os ancestrais da espécie humana. Essa descoberta não foi muito valorizada na época devido à aceitação do fóssil fraudado do homem de Piltdown (veja na seção *Em destaque*, a seguir).

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

A fraude do homem de Piltdown

Em 1912, o arqueólogo amador britânico Charles Dawson (1864-1916) e o paleontólogo britânico Arthur S. Woodward (1864-1944), do Museu de História Natural de Londres, anunciaram uma descoberta bombástica: um fóssil que parecia ser o elo perdido da evolução humana, reunindo características de grandes macacos e de seres humanos. O achado, ocorrido na região de Piltdown, na Grã-Bretanha, ficou conhecido como **homem de Piltdown**.

Em 1953, o homem de Piltdown, então identificado com o nome científico de *Eoanthropus dawsoni*, passou da condição de elo perdido à de maior fraude científica do século XX. Descobriu-se que o fóssil era totalmente falsificado: o crânio, tipicamente humano, havia sido tratado com ácidos e sulfato de ferro para parecer antigo. Os dentes foram limados para parecerem gastos. A mandíbula, cujo encaixe com o crânio tinha sido

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

estrategicamente quebrado, era de um orangotango asiático. Acredita-se que a fraude do homem de Piltdown tenha prejudicado temporariamente as investigações sérias sobre a ancestralidade humana, entre elas a descoberta do *Australopithecus africanus*, em 1924, na África.

Um grupo de pesquisadores do Museu de História Natural britânico, liderado pelo antropólogo britânico Chris Stringer (1947-), tenta entender por que a falsificação levou cerca de 40 anos para ser desmascarada. Para Stringer, embora não fosse fácil reconhecer a fraude no início do século XX, o fóssil talvez não tenha sido analisado com a devida atenção. O que teria feito com que essa falsificação fosse tão facilmente aceita no meio científico da época?

Por um lado, havia certa expectativa em descobrir um suposto elo perdido entre grandes macacos e seres humanos, o que viria a confirmar pressupostos da teoria de Charles Darwin. Por outro lado, os naturalistas europeus pareciam mais inclinados a aceitar a hipótese de que o berço da humanidade teria sido a Europa, e não a África. O próprio Chris Stringer avalia: "Seja lá quem tenha sido o responsável, a fraude de Piltdown é um lembrete claro de que, em Ciência, se algo parece bom demais para ser verdade, é bom desconfiar. A fama do fóssil [falso] atrasou os estudos sobre a evolução humana".

Além do lembrete de que em Ciência é importante desconfiar, a fraude de Piltdown traz outras lições. A primeira é que a Ciência pode ser influenciada pelo contexto histórico e está longe de ser infalível. A segunda é que a visão não dogmática e crítica da Ciência permite corrigir conclusões equivocadas, como ocorreu no caso dessa fraude.

Escreva um artigo expressando sua opinião sobre a importância da ética na Ciência e a necessidade de um olhar crítico para os resultados de pesquisas científicas.

As escavações arqueológicas no continente africano levaram à descoberta de várias espécies de australopitecos. Evidências atuais sugerem que o gênero *Australopithecus*, surgido por volta de 4 Ma, teria se dispersado amplamente pelas savanas africanas, diversificando-se em diversas espécies que coexistiram em determinados locais e eventualmente competiram entre si. Os australopitecos extinguiram-se por volta de 2 Ma. Acredita-se que uma linhagem de austrapiteco tenha sido a ancestral do gênero *Homo*. (Fig. 21.21)

SCOTT CAMAZINE/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

NEVENA TSVETANOVA/ALAMY/FOTOARENA

Figura 21.21. (A) Crânio de hominídeo extinto da espécie *Australopithecus afarensis*. (B) Representação artística da possível aparência de um casal de *A. afarensis*.

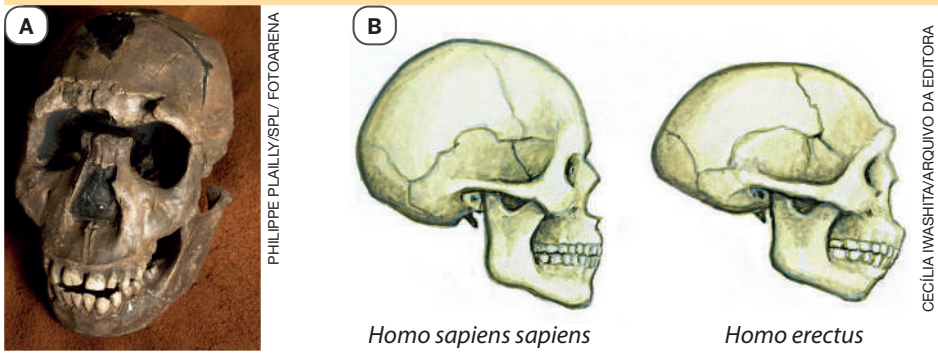
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Surgimento e evolução do *Homo erectus*

As savanas abertas traziam ameaças à sobrevivência dos australopitecos, principalmente devido à presença de diversos tipos de predadores. Entre as adaptações evolutivas ao novo ambiente, destacaram-se a habilidade na fabricação de ferramentas e o uso do fogo. O sucesso de algumas linhagens de australopitecos certamente envolveu o maior desenvolvimento do sistema nervoso e da inteligência. Começavam a surgir, assim, as primeiras espécies primatas tipicamente humanas, atualmente classificadas no gênero *Homo*.

Registros fósseis mostram que, entre 1,8 Ma e 2 Ma, apareceu um novo grupo de hominídeos, classificado como ***Homo erectus***. Os primeiros fósseis dessa espécie foram encontrados na ilha de Java, em 1891, e na China, em 1927. Tudo indica que *H. erectus* e os hominídeos que o antecederam surgiram na África e se espalharam para a Ásia e para a Europa. Os fósseis mostravam diferentes linhagens de *H. erectus*, o que levou alguns cientistas a utilizarem o termo ***erectus*** para se referir a essa variedade de hominídeos. Os fósseis mais antigos de *H. erectus* datam de 1,8 Ma, e os mais recentes, de 300 mil anos atrás. Alguns paleontólogos questionam esta última data e sugerem que fósseis mais recentes encontrados na Ásia, com idade entre 80 mil e 100 mil anos, também pertenceriam ao grupo *erectus*. (Fig. 21.22)

Crânios de *Homo erectus* e *Homo sapiens*



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.22. (A) Crânio fossilizado de *Homo erectus* datado de cerca de 1,6 milhão de anos. (B) Representação esquemática que compara o crânio de um *H. sapiens* com o de um *H. erectus*.

O representante típico de *H. erectus* teria postura ereta e maxilares menos proeminentes que seus antecessores australopitecos. Eram mais altos que seus ancestrais, apresentando possivelmente entre 1,50 m a 1,80 m de altura e massa corporal entre 55 kg e 85 kg. A testa era baixa, com protuberâncias ósseas acima das órbitas oculares (pregas ou saliências supraorbitais), características indicativas do parentesco com os símios.

Acredita-se que *H. erectus* tenha sido o primeiro hominídeo a constituir uma sociedade caçadora-coletora semelhante à de seres humanos mais modernos. Para se protegerem dos inimigos e do frio, eles faziam fogueiras, moravam em cavernas e se cobriam com peles de animais. Algumas populações de *H. erectus* fabricavam ferramentas dotadas de cabos e com diferentes formatos, utilizadas em aplicações variadas. *H. erectus* foi provavelmente a primeira espécie de hominídeo a caçar em grupos coordenados, capazes de abater presas de grande porte. As linhagens do grupo *erectus* que permaneceram na África foram classificadas como *Homo erectus ergaster,* ou simplesmente *Homo ergaster*. (Fig. 21.23)

Figura 21.23. (A) Fóssil de *Homo ergaster* com idade estimada em aproximadamente 1,5 milhão de anos. (B) Representação artística da provável aparência facial do *H. ergaster*.

O *H. erectus* africano ou *H. ergaster*, teria vivido nas partes leste e sul da África entre 1,3 Ma e 1,8 Ma. O epíteto específico *ergaster* deriva do grego e significa trabalhador, ressaltando a habilidade desses hominídeos em fabricar objetos de pedra mais avançados que os de seus predecessores.

O *H. ergaster* é considerado ancestral do ***Homo antecessor***, espécie que teria sido realmente a primeira linhagem humana da Europa. Fósseis de *H. antecessor* foram encontrados na Espanha, em sítios arqueológicos datados entre 0,8 Ma e 1,2 Ma. Calcula-se que os adultos de *H. antecessor* mediam entre 1,60 m e 1,80 m de altura, com os machos chegando a 90 kg de massa corporal. O volume craniano variava entre 1.000 cm^3 e 1.150 cm^3, um pouco menor que a média de 1.350 cm^3 dos seres humanos atuais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outra espécie que teria vivido na Europa entre 500 mil e 250 mil anos atrás foi *Homo heidelbergensis*. Seus fósseis indicam que eles eram um pouco menores do que *H. antecessor*, com os machos adultos medindo em média 1,75 m de altura e 62 kg de massa corporal. Seu volume craniano variava entre 1.100 cm^3 e 1.400 cm^3, sendo, portanto, maior do que o de *H. antecessor*. Uma linhagem de *H. heidelbergensis* teria originado o *Homo sapiens neanderthalensis* há aproximadamente 450 mil anos.

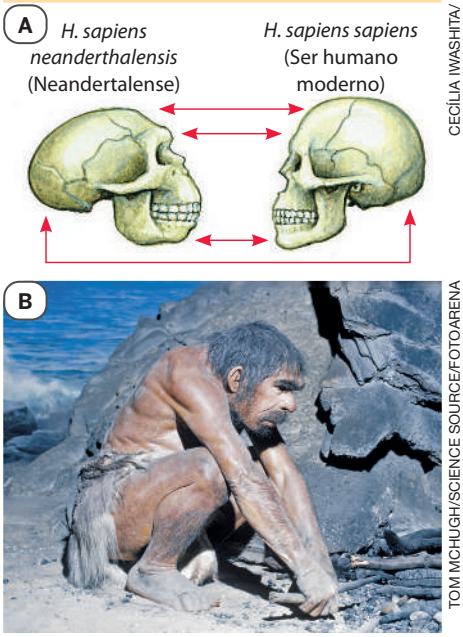
Os neandertalenses

Os primeiros fósseis de **neandertalenses**, ou **homens de Neanderthal**, foram descobertos em 1856 no vale de Neander, na Alemanha. Atualmente os neandertalenses são considerados uma subespécie de *H. sapiens* e classificados como *Homo sapiens neanderthalensis*, enquanto seres humanos modernos pertencem à subespécie *Homo sapiens sapiens*. Fósseis descobertos em diferentes regiões da Europa e do Oriente Médio mostram que o *H. sapiens neanderthalensis* viveu entre 450 mil e 25 mil anos atrás. Nunca foram encontrados fósseis desses hominídeos na África ou na Ásia.

Os neandertalenses tinham corpo atarracado e forte. Os machos mediam entre 1,64 m e 1,68 m de altura, com massa corporal média de 70 kg. As fêmeas mediam entre 1,52 m e 1,60 m de altura, e sua massa corporal média era de pouco menos de 60 kg. O volume craniano de alguns fósseis de neandertalenses atinge 1.600 cm^3, maior que o dos seres humanos modernos. A parte frontal do crânio dos neandertalenses era oblíqua, e a maior parte do volume craniano se concentrava na região occipital (posterior do crânio). Eles apresentavam saliências supraorbitais proeminentes e maxilares salientes. Características físicas como nariz grande e corpo e membros curtos e compactos indicam adaptação ao clima frio da Europa na época em que os neandertalenses viveram. (Fig. 21.24)

O desaparecimento de neandertalenses no documentário fóssil há 25 mil anos revela a completa extinção desse hominídeo, atribuída a mudanças climáticas e à interação com os seres humanos modernos, que chegaram ao Oriente Médio e à Europa entre 40 mil e 35 mil anos atrás.

Crânios de *Homo sapiens neanderthalensis* e *Homo sapiens sapiens*



CEGILIA IWASHITA/ ARQUIVO DA EDITORA

TOM MCHUGH/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.24. (A) Representação esquemática que compara o crânio do *Homo sapiens neanderthalensis* (neandertalenses) com o do *Homo sapiens sapiens* (ser humano moderno). As setas vermelhas indicam, de cima para baixo, a testa oblíqua, as saliências supraorbitais desenvolvidas, o queixo pouco proeminente e a região occipital do crânio mais alongada. (B) Representação artística de um macho de *H. sapiens neanderthalensis*.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

A sociedade neandertal

Realize uma pesquisa, em livros e na internet, sobre os neandertalenses, ou homens de Neanderthal. Os neandertalenses enterravam os mortos, às vezes com armas, utensílios, comida e enfeites supostamente pertencentes ao falecido. O que isso poderia significar? A descoberta de esqueletos fósseis de neandertalenses idosos poderia levar a que conclusões? Inclua em sua pesquisa as respostas da Ciência para essas perguntas, entre outras.

O desafio é elaborar um infográfico em tamanho grande que reúna imagens e textos curtos sobre os neandertalenses. Os infográficos podem ser exibidos no mural da escola ou em mídias digitais, para que todos os colegas possam se informar sobre a história do surgimento e desaparecimento dos neandertalenses.

A espécie humana moderna

Descobertas recentes indicam que a espécie humana moderna, *Homo sapiens sapiens*, teria surgido na África há cerca de 250 mil anos, provavelmente a partir de linhagens de *H. ergaster*. Os seres humanos modernos teriam então se espalhado, colonizando outros continentes.

Os seres humanos modernos teriam chegado à Ásia entre 70 mil e 100 mil anos atrás e à Europa há 40 mil anos. Entre 60 mil e 40 mil anos atrás, seres humanos modernos oriundos da Ásia teriam chegado à Austrália, sendo os ancestrais dos aborígenes australianos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quanto à chegada dos seres humanos às Américas, as polêmicas ainda são grandes. Uma hipótese admite que grupos humanos provenientes da Ásia atravessaram o Estreito de Bering, um espaço marítimo que separa a Ásia e a América do Norte, e chegaram ao continente americano por volta de 14 mil anos atrás. Supõe-se que, nessa época, o estreito seria mais raso, o que teria facilitado sua travessia por grupos humanos colonizadores. Novas evidências, no entanto, indicam a ocorrência de mais de uma onda migratória para o continente americano e que as migrações mais antigas podem ter ocorrido por volta de 40 mil anos atrás. (Fig. 21.25)

Possíveis irradiações do *Homo sapiens sapiens*

ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de HÜBBE, M. *et al*. **A primeira descoberta da América**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2003.

Figura 21.25. A hipótese mais aceita atualmente sugere que a espécie humana moderna surgiu possivelmente a partir do *H. ergaster*, na África, de onde teria se irradiado para diversas partes do mundo.

Em 1997, foi possível extrair e caracterizar DNA mitocondrial proveniente de um osso fóssil de *H. sapiens neanderthalensis*, datado em mais de 30 mil anos de idade. A comparação do DNA do fóssil com o de seres humanos modernos levou à conclusão de que *H. sapiens neanderthalensis* e *H. sapiens sapiens* compartilharam um ancestral comum há mais ou menos 500 mil anos. Há estudos, porém, que indicam que a divergência entre a espécie humana atual e os neandertalenses pode ser mais antiga, por volta de 800 mil anos atrás.

A determinação da sequência de bases nitrogenadas do genoma do *H. sapiens neanderthalensis*, concluída em 2010, mostrou que há cerca de 99,5% de identidade entre os genomas dos neandertalenses e dos seres humanos modernos. O estudo também estimou que entre 1% e 4% do DNA de pessoas não africanas tem origem neandertalense. Por outro lado, populações africanas que vivem ao sul do Saara não apresentam nenhum vestígio de DNA neandertalense.

O geneticista suíço Svante Pääblo (1955-), que liderou esse projeto de pesquisa do DNA neandertalense, concluiu que todas as pessoas que descendem da linhagem humana que saiu da África carregam um pouco de DNA neandertalense. A presença de sequências de DNA tipicamente neandertalense no genoma humano moderno pode ser explicada admitindo-se que ocorreram cruzamentos entre membros dessas duas subespécies, logo após a chegada dos seres humanos modernos à Europa e ao Oriente Médio. Acredita-se que os primeiros contatos entre esses hominídeos teriam ocorrido entre uma população relativamente pequena de *H. sapiens sapiens* e uma população maior de *H. sapiens neanderthalensis*. (Fig. 21.26)

VOLKER STEGER/SPL/FOTOARENA

Figura 21.26. O sequenciamento de DNA obtido de fósseis demanda técnicas sofisticadas e cuidados rigorosos para evitar a degradação das amostras e sua eventual contaminação pelo DNA do pesquisador. Na foto, um cientista trabalha na extração de DNA de neandertalense em um ambiente asséptico e protegido.

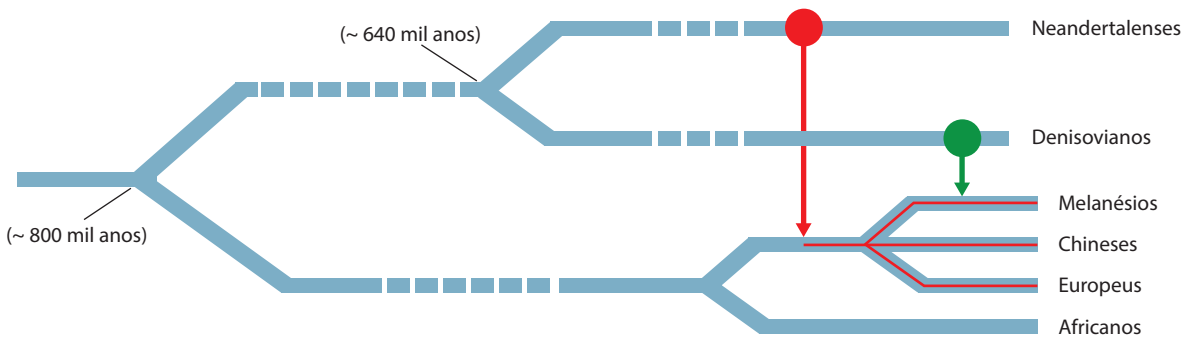
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em 2008, na caverna Denisova, localizada nas montanhas Altai, na Sibéria, foram encontrados um dente e o fragmento ósseo de um dedo datados de aproximadamente 41 mil anos. Havia indícios de que a caverna havia sido habitada tanto por seres humanos modernos quanto por neandertalenses. A pergunta era: a qual grupo humano pertenceriam os fósseis encontrados?

Os pesquisadores conseguiram extrair DNA dos fósseis, que estavam bem preservados graças às temperaturas e umidade baixas reinantes na caverna. Foi possível sequenciar praticamente todo o genoma dos restos fósseis, mostrando que eles pertenciam a um hominídeo ainda desconhecido, que foi provisoriamente chamado de **povo denisoviano**. O estudo dos genomas permitiu estimar que a divergência evolutiva entre as linhagens denisoviana e neandertalense teria ocorrido há cerca de 640 mil anos. Por sua vez, a separação evolutiva entre denisovianos e seres humanos modernos teria ocorrido por volta de 800 mil anos atrás.

Ao comparar o DNA denisoviano com o DNA de diversas populações humanas atuais, os pesquisadores concluíram que cerca de 4% a 6% do genoma dos melanésios (povo que vive atualmente em Papua Nova Guiné e na ilha Bougainville, na Oceania) apresentam sequências de DNA provenientes do genoma denisoviano. Os aborígenes australianos e o povo negrito, do sudeste da Ásia, também apresentam sequências de DNA denisoviano em seus genomas, indicando miscigenação entre eles e a linhagem humana moderna ancestral das populações do sudeste asiático e da Austrália. (Fig. 21.27)

Relações evolutivas entre diferentes linhagens humanas



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 21.27. Relações evolutivas com base na comparação de DNA de seres humanos modernos, de neandertalenses e de denisovianos. As setas vermelha e verde indicam, respectivamente, cruzamentos de seres humanos modernos com neandertalenses e com denisovianos, que permitiram o fluxo de genes entre essas linhagens humanas.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

MULTICULTURALISMO

O que as pessoas do meu convívio sabem sobre a origem humana?

Forme um grupo de colegas para descobrir o que pessoas conhecidas suas sabem e pensam sobre a origem da espécie humana. O grupo pode entrevistar pessoas com diferentes graus de escolaridade e que exerçam atividades diversas, tais como médicos, padres ou outros religiosos, empregados domésticos e engenheiros. É importante que as perguntas sejam elaboradas pelo grupo com antecedência. Aos entrevistados pode-se perguntar, por exemplo, o que eles sabem sobre fósseis humanos. Pergunte também se eles conhecem a teoria da evolução e, em caso afirmativo, se acham que ela explica ou não a origem da espécie humana. Outra pergunta interessante é: há quanto tempo teria surgido a humanidade?

Sugerimos que o grupo elabore uma ficha para anotar as entrevistas. Nessa ficha podem constar perguntas relativas ao grau de escolaridade, profissão, religião e idade dos entrevistados. As respostas, desde que autorizadas pelos entrevistados, poderiam também ser gravadas em áudio e em vídeo. O grupo pode avaliar, por exemplo, que porcentagem dos entrevistados respondeu afirmativamente ou negativamente à ideia de que a espécie humana teria surgido por evolução. No caso de o entrevistado defender uma visão criacionista da origem humana, peça esclarecimentos sobre como isso teria ocorrido. Os dados obtidos pelo grupo podem ser comparados com dados de pesquisas semelhantes, nacionais e internacionais, obtidos na internet.

Evolução e cultura

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Sítios arqueológicos ao redor do mundo

Na linhagem hominídea, paralelamente à evolução do encéfalo, ocorreu o desenvolvimento da **linguagem simbólica**, que consiste em associar objetos e eventos do mundo a representações mentais ou símbolos. A linguagem simbólica permite expressar ideias, experiências e sentimentos, estando associada ao próprio processo de pensamento. A linguagem foi a principal inovação evolutiva da linhagem humana e continua a ser sua principal fonte de criatividade.

O desenvolvimento da linguagem simbólica está intimamente relacionado com a evolução do **pensamento abstrato**, que consiste na representação mental de eventos e objetos sem sua presença concreta. O pensamento abstrato permite relacionar memórias do passado com o presente, possibilitando assim fazer previsões sobre o futuro. Por exemplo, com base em uma série de memórias sobre os hábitos de um animal, um caçador pode prever como o animal reagirá em certa situação, facilitando a caçada. A dimensão histórica de passado, presente e futuro foi e continua sendo fundamental para a evolução de nossa **cultura**, que pode ser definida como o conjunto de conhecimentos e experiências acumulados historicamente pelas populações humanas e transmitidos ao longo das gerações.

Cultura também se refere ao processo pelo qual as pessoas individualmente e a humanidade como um todo extraem e acumulam conhecimentos com base nas experiências e na reflexão. Um salto prodigioso da humanidade rumo ao conhecimento foi o desenvolvimento da escrita, que teria ocorrido há cerca de 10 mil anos ou pouco mais. Desde então, gerações humanas passaram a deixar para as gerações seguintes registros mais precisos sobre seu modo de vida e suas realizações.

A civilização que hoje conhecemos, com cidades, monumentos, obras artísticas, filosofias, religiões, Ciência e tecnologia etc., foi construída graças à enorme quantidade de conhecimentos escritos e transmitidos de geração em geração. O impacto da cultura humana tornou-se mais acentuado a partir da **Revolução Industrial**, ocorrida há pouco mais de 200 anos. Desde então, o ritmo de evolução cultural e tecnológica se acelerou, levando a humanidade a enfrentar os maiores desafios de sua história: como alimentar a imensa e crescente população humana e como preservar o ambiente terrestre para as gerações vindouras? Esperamos que a humanidade possa resolver esses e outros problemas e que possamos dar continuidade a nossa história evolutiva no planeta por muito tempo ainda. (Fig. 21.28)

RAPHAEL GAILLARDE/GAMMA-RAPHO/GETTY IMAGE

LUCIANA WHITAKER/PULSAR IMAGENS

Figura 21.28. (A) Pinturas rupestres da caverna de Lascaux, feitas há aproximadamente 17 mil anos (França, foto de 2022). (B) Visitantes apreciando pinturas no Museu de Arte Contemporânea, em Niterói (RJ), 2023.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

A inteligência artificial no futuro

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

O passado da evolução humana é relativamente bem conhecido, mas o futuro pode ser apenas especulado. Se você gosta de ficção científica, certamente já se deparou com histórias – em filmes, *videogames*, histórias em quadrinhos, livros etc. – imaginando um futuro em que seres humanos e máquinas inteligentes coexistem e convivem. Em alguns casos, essas máquinas inteligentes são vistas como importantes aliadas, auxiliando as pessoas a superarem desafios e a viverem melhor. Em outros casos, porém, máquinas e seres humanos são inimigos.

REPRODUÇÃO/QUANTIC DREAM

Cena do jogo *Detroit: Become Human* (2018), cuja história se passa em um futuro em que androides inteligentes são usados por seres humanos para diversas finalidades.

A inteligência artificial (IA) está se moldando como uma das tecnologias mais revolucionárias do século XXI, redefinindo a relação entre o ser humano e a máquina inteligente. Suas aplicações vão desde diagnósticos médicos até a criação de livros, filmes e músicas, podendo transformar radicalmente o mercado de trabalho e o cotidiano das pessoas. Com a capacidade de aprender e se adaptar, a IA tem o potencial de superar desafios complexos, otimizar processos e criar soluções inovadoras para problemas antigos e novos. Ao mesmo tempo, as mudanças que ela representa também trazem desafios, como o fim ou a desvalorização de determinadas profissões e a produção de desinformação em massa.

À medida que essa tecnologia se aprimora, é fundamental refletir sobre como tal revolução tecnológica afetará você, sua comunidade, o país e o mundo. Como você pode se manter relevante em um mercado de trabalho em constante evolução?

Após a leitura do texto anterior, pesquise na internet sobre IA e profissões. Selecione *sites* confiáveis e elabore um texto imaginando que tipos de mudanças a IA poderia trazer ao seu cotidiano e ao seu projeto de vida.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIDADANIA E CIVISMO

Receita para uma humanidade desracializada

No texto a seguir, Sérgio Danilo Pena, médico geneticista que desenvolveu pesquisas sobre a composição genética da população brasileira, nos leva a pensar em uma humanidade na qual a diversidade de fenótipos seja a expressão da individualidade humana, sem preconceitos. Como você vê essa perspectiva? Após ler o texto, organize um grupo com os colegas para uma troca de ideias sobre um tema tão importante e atual como esse. Selecionem argumentos relacionados à importância do combate ao racismo e, com base nisso, elaborem uma campanha sobre o tema. Usem a criatividade para divulgar: pode ser *podcast*, cartaz, folhetos etc.

Diversidade geográfica humana e "raças"

Quando estudamos os seres humanos, também observamos uma grande diversidade morfológica, que pode ser descrita em dois níveis diferentes. O primeiro é o nível interpessoal, a diversidade que distingue uma pessoa da outra na mesma população e que está intimamente ligada à identidade individual. O segundo é o nível interpopulacional, ou seja, a diversidade morfológica que caracteriza populações, especialmente grupos de diferentes continentes.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A segunda diversidade é relevante, pois historicamente tem servido de base para a divisão da humanidade em "raças". A mais influente proposta neste sentido foi a do antropólogo alemão Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840). Em seu livro De generis humani varietate nativa ("Das variedades naturais da humanidade") propôs a existência de cinco principais "raças" humanas: a caucasoide, a mongoloide, a etiópica, a americana e a malaia.

A "raça" que incluía os nativos da Europa, Oriente Médio, Norte da África e Índia foi chamada "caucasoide" porque Blumenbach achava que o "tipo" humano perfeito era o encontrado nos habitantes das montanhas do Cáucaso. Essa classificação persistiu até o século 20, quando foi demonstrado, como veremos a seguir, que é impossível separar a humanidade em categorias raciais biologicamente significativas, independentemente do critério adotado.

Diversidade genômica humana

A descrição das variabilidades morfológicas interpessoal e interpopulacional pertence à esfera das aparências, ao mundo fenotípico. Se agora penetrarmos no mundo genômico, o quadro muda consideravelmente. Subjacente à individualidade morfológica das pessoas realmente existe uma individualidade genômica absoluta. Estudos em DNA demonstram que cada ser humano é genomicamente diferente de todos os outros, com exceção de gêmeos idênticos.

No entanto, a representação genômica da variabilidade entre os grupos humanos dos diferentes continentes – ou seja, as ditas "raças" humanas – é muito pequena. As características físicas desses grupos na realidade representam adaptações morfológicas ao meio ambiente, sendo assim produtos da seleção natural agindo sobre um pequeno número de genes.

Acredita-se, por exemplo, que dois fatores seletivos servem para adaptar a cor da pele aos níveis de radiação ultravioleta do ambiente geográfico: a destruição do ácido fólico quando é excessiva e a falta de síntese de vitamina D3 na pele quando ela é insuficiente. A cor da pele é determinada pela quantidade e tipo do pigmento melanina na derme, que são controlados por poucos genes (de quatro a seis), dos quais o mais importante parece ser o gene do receptor do hormônio melanotrópico.

Da mesma maneira que a cor da pele, outras características físicas externas como o formato da face, da fissura palpebral, dos lábios, do nariz e a cor e a textura do cabelo são traços literalmente superficiais. Embora não conheçamos os fatores geográficos locais responsáveis pela seleção dessas características, é razoável assumir que esses traços morfológicos espelhem adaptações ao clima e outras variáveis ambientais de diferentes partes da Terra.

Assim como a cor da pele, essas características físicas das porções expostas do corpo dependem da expressão de poucos genes. Resumo da ópera: as diferenças icônicas das chamadas "raças" humanas correlacionam-se bem com o continente de origem, mas dependem de uma porção ínfima dos cerca de 25.000 genes estimados do genoma humano.

Em outras palavras, pode parecer fácil distinguir fenotipicamente um europeu de um africano ou de um asiático, mas tal facilidade desaparece completamente quando procuramos evidências dessas diferenças "raciais" no genoma das pessoas. As diferenças entre os grupos humanos continentais – ou seja, o que se costumava chamar "raças" humanas – estão literalmente à flor da pele!

Em uma conferência proferida em 2004 na Universidade de Berkeley (EUA), o brilhante geneticista norte-americano Richard Lewontin (1929-2021) fez uma importante observação a respeito dos níveis de diversidade humana [...] Uma marca de preconceito é ver a humanidade em termos apenas interpopulacionais, ou seja, a inabilidade de reconhecer em outros grupos "raciais" a individualidade de cada pessoa. Isto é frequentemente expresso na frase: "*eles* parecem todos iguais, mas nós somos todos diferentes uns dos outros." Ao ser negada a individualidade dos membros de outros grupos, eles são objetivados, desumanizados. É igual dizer: "eu sei a 'raça' a que ele(a) pertence, portanto já sei tudo que é possível saber a respeito dele(a)".

A inexistência biológica de "raças" humanas

É possível saber qual proporção da variabilidade genômica humana ocorre em nível interpessoal (dentro das populações) e qual proporção é interpopulacional (entre as populações)? A resposta é *sim*. Em 1972, Lewontin compilou da literatura científica as frequências alélicas de 17 polimorfismos genéticos clássicos disponíveis na época (incluindo grupos sanguíneos, proteínas séricas e isoenzimas) de diferentes populações. A partir desses dados, ele agrupou as diferentes populações em "grupos raciais" definidos de acordo com Blumenbach e calculou a diversidade dentro desses grupos e entre eles.

O resultado foi que 85,4% da diversidade alélica ocorria dentro das próprias populações, 8,3% entre as populações de uma mesma "raça" e apenas 6,3% entre as chamadas "raças"!!! Recentemente, nosso grupo de pesquisa na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), trabalhando com 40 polimorfismos de inserção-deleção de DNA em 1.064 indivíduos de todo o globo, confirmou amplamente os resultados de Lewontin (este estudo acaba de ser publicado no periódico *Annals of Human Genetics*).

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A constatação de que uma parte muito pequena da variação genômica humana ocorre entre as supostas "raças" leva necessariamente à conclusão de que elas não são significativas do ponto de vista genético ou biológico. Duas outras linhas separadas de pesquisa dão suporte científico a essa inexistência de "raças" humanas. A primeira é a constatação de que a espécie humana é muito jovem e seus padrões migratórios demasiadamente amplos para permitir uma diferenciação e consequentemente separação em diferentes grupos biológicos que pudessem ser chamados de "raças". A segunda é a observação de que uma proporção pequena de todos os alelos de polimorfismos humanos é vista em apenas um continente, ou seja, a vasta maioria da variabilidade genômica é compartilhada entre as chamadas "raças".

Por uma humanidade desracializada

O fato assim cientificamente comprovado da inexistência das "raças" deve ser absorvido pela sociedade e incorporado às suas convicções e atitudes morais. Uma postura coerente e desejável seria a construção de uma sociedade desracializada, na qual a singularidade do indivíduo seja valorizada e celebrada. Temos de assimilar a noção de que a única divisão biologicamente coerente da espécie humana é em bilhões de indivíduos e não em um punhado de "raças".

Há um poema atribuído ao romano Virgílio (70 a.C.-19 a.C.) no qual ele descreve a feitura do *moretum*, uma massa não fermentada, assada, recheada com vinagre e azeite, coberta com fatias de alho e cebola crua (há quem acredite que o *moretum* é um dos precursores da *pizza*). Na receita, Virgílio descreve como as várias cores dos diferentes ingredientes vão se mesclando e se unindo:

It manus in gyrum: paulatim singula vires
deperdunt proprias; color est e pluribus unus.

(Minha tradução: Sua mão se move em círculos, até que um por um eles perdem seus próprios poderes, e, entre tantas cores, uma única emerge.)

Nesta época atual de conflitos de civilizações e recrudescimento de ódio étnico e racismo, precisamos esquecer as diferenças superficiais de cor entre os grupos continentais (vulgos "raças") e por trás da enorme diversidade humana distinguir uma espécie única composta de indivíduos igualmente diferentes e irmãos. *Color est pluribus unus*.*

* (nota dos autores): Literalmente, a tradução seria "a cor é uma entre as muitas", significando tanto que esse é um dos aspectos da diversidade humana como, no poema de Virgílio, que as várias cores se misturam para originar uma.

Fonte: PENA, S. D. Receita para uma humanidade desracializada. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/receita-para-uma-humanidade-desracializada/. Acesso em: 23 set. 2024.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.d Considere as informações a seguir sobre algumas ocorrências referentes ao processo de especiação. Qual é a alternativa que as ordena na sequência de formação de duas novas espécies a partir de uma população ancestral?

I. Populações que se cruzam livremente.
II. Acúmulo de diferenças genéticas entre as populações isoladas.
III. Estabelecimento de isolamento reprodutivo entre as populações.
IV. Aparecimento de barreira geográfica entre as populações.

a. I → II → III → IV
b. I → II→ IV → III
c. I → III → II → IV
d. I → IV → II → III

2. 2.c "O início da era (■) é marcado por uma 'explosão' de aparecimento de fósseis, o que indica o surgimento de muitas novas linhagens de seres vivos." Qual das alternativas substitui corretamente a tarja na frase anterior?

a. Cenozoica.
b. Mesozoica
c. Paleozoica.
d. Pré-cambriana.

3. 3.d Considerando evidências científicas, há quanto tempo, aproximadamente, a vida na Terra teria surgido?

a. Há 10 mil anos.
b. Entre 4,5 e 5 milhões de anos atrás.
c. Há 6 milhões de anos.
d. Entre 3,5 e 4 bilhões de anos atrás.

4. 4.a Acredita-se que os peixes de nadadeiras lobadas – os sarcopterígios – foram os ancestrais imediatos de quais grupos animais?

a. Anfíbios.
b. Aves e mamíferos.
c. Peixes ósseos.
d. Répteis.

5. 5.d Qual é o nome científico dos seres humanos modernos?

a. *Homo erectus*.
b. *Homo habilis*.
c. *Homo sapiens neanderthalensis*.
d. *Homo sapiens sapiens*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. 6.e Ovos amnióticos, em que os embriões se desenvolvem protegidos da dessecação por anexos embrionários, representaram uma novidade evolutiva que garantiu a independência de água líquida para a reprodução e a conquista do ambiente de terra firme pelos animais. Em que grupo animal essa novidade teria surgido e se estabelecido?

a. Anfíbios.
b. Aves.
c. Mamíferos.
d. Peixes.
e. Répteis.

Questões de vestibulares e do Enem

7. 7.c **(UFMS)** Na sequência mostrada a seguir, estão relacionados determinados eventos referentes ao processo de especiação biológica.

I. População original.
II. Surgimento de barreira geográfica.
III. Populações que já podem ser consideradas raças distintas.
IV. Populações que já podem ser consideradas espécies distintas.
V. Acúmulo de diferenças genéticas entre populações.
VI. Estabelecimento de isolamento reprodutivo.

Determine a sequência correta que ocorreu na formação de duas espécies novas a partir da população ancestral.

a. I, V, VI, II, III, IV.
b. I, VI, V, II, III, IV.
c. I, II, V, III, VI, IV.
d. I, II, IV, III, VI, V.
e. I, VI, V, IV, II, III.

8. 8.b **(Unifor-CE)** Atualmente, a hipótese filogenética mais aceita sobre a evolução das principais classes de vertebrados está esquematizada em

a. peixes → anfíbios → répteis → aves → mamíferos

b. peixes → anfíbios → répteis → aves / mamíferos

c. peixes → anfíbios / répteis → aves / mamíferos

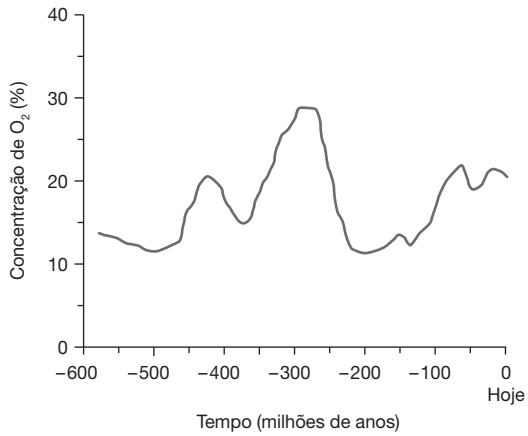
d. peixes → répteis → anfíbios → aves / mamíferos

e. peixes → anfíbios → mamíferos / répteis → aves

9. 9.d **(Unesp)** Três populações de insetos, X, Y e Z, habitantes de uma mesma região e pertencentes a uma mesma espécie, foram isoladas geograficamente. Após vários anos, com o desaparecimento da barreira geográfica, verificou-se que o cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Y produzia híbridos estéreis. O cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Z produzia descendentes férteis, e o dos indivíduos da população Y com os da população Z não produzia descendentes. A análise desses resultados permite concluir que

a. X, Y e Z continuaram pertencendo à mesma espécie.
b. X, Y e Z formaram três espécies diferentes.
c. X e Z tornaram-se espécies diferentes e Y continuou a pertencer à mesma espécie.
d. X e Z continuaram a pertencer à mesma espécie e Y tornou-se uma espécie diferente.
e. X e Y continuaram a pertencer à mesma espécie e Z tornou-se uma espécie diferente.

10. 10.c **(Enem-MEC)** Pesquisas recentes estimam o seguinte perfil da concentração de oxigênio (O_2) atmosférico ao longo da história evolutiva da Terra:



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

No período Carbonífero, entre aproximadamente 350 e 300 milhões de anos, houve uma ampla ocorrência de animais gigantes, como insetos voadores de 45 centímetros e anfíbios de até 2 metros de comprimento. No entanto, grande parte da vida na Terra foi extinta há cerca de 250 milhões de anos, durante o período Permiano. Sabendo-se que o O_2 é um gás extremamente importante para os processos de obtenção de energia em sistemas biológicos, conclui-se que

a. a concentração de nitrogênio atmosférico se manteve constante nos últimos 400 milhões de anos, possibilitando o surgimento de animais gigantes.
b. a produção de energia dos organismos fotossintéticos causou a extinção em massa no período Permiano por aumentar a concentração de oxigênio atmosférico.
c. o surgimento de animais gigantes pode ser explicado pelo aumento de concentração de oxigênio atmosférico, o que possibilitou uma maior absorção de oxigênio por esses animais.
d. o aumento da concentração de gás carbônico (CO_2) atmosférico no período Carbonífero causou mutações que permitiram o aparecimento de animais gigantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

e. a redução da concentração de oxigênio atmosférico no período Permiano permitiu um aumento da biodiversidade terrestre por meio da indução de processos de obtenção de energia.

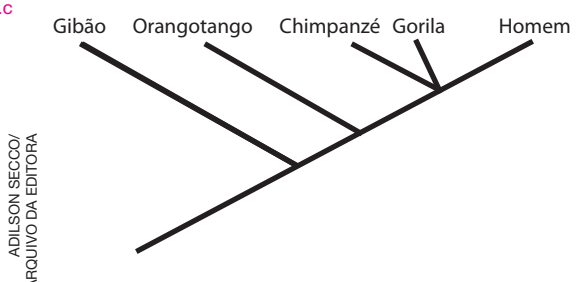
11. (Enem-MEC) 11.b Se a exploração descontrolada e predatória verificada atualmente continuar por mais alguns anos, pode-se antecipar a extinção do mogno. Essa madeira já desapareceu de extensas áreas do Pará, do Mato Grosso, de Rondônia, e há indícios de que a diversidade e o número de indivíduos existentes podem não ser suficientes para garantir a sobrevivência da espécie a longo prazo. A diversidade é um elemento fundamental na sobrevivência de qualquer ser vivo. Sem ela, perde-se a capacidade de adaptação ao ambiente, que muda tanto por interferência humana como por causas naturais.

Internet: <www.greenpeace.org.br> (com adaptações).

Com relação ao problema descrito no texto, é correto afirmar que

a. a baixa adaptação do mogno ao ambiente amazônico é causa da extinção dessa madeira.
b. a extração predatória do mogno pode reduzir o número de indivíduos dessa espécie e prejudicar sua diversidade genética.
c. as causas naturais decorrentes das mudanças climáticas globais contribuem mais para a extinção do mogno que a interferência humana.
d. a redução do número de árvores de mogno ocorre na mesma medida em que aumenta a diversidade biológica dessa madeira na região amazônica.
e. o desinteresse do mercado madeireiro internacional pelo mogno contribuiu para a redução da exploração predatória dessa espécie.

12. (UFS-SE) 12.c Considere a árvore filogenética a seguir.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Dos macacos antropoides representados no esquema, os que apresentam maior parentesco com o homem são o

a. chimpanzé e o orangotango.
b. orangotango e o gorila.
c. gorila e o chimpanzé.
d. gibão e o chimpanzé.
e. gorila e o gibão.

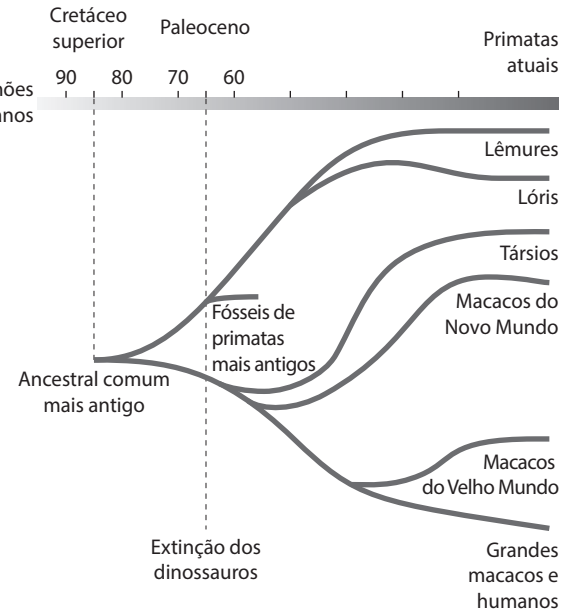
13. (Fuvest-SP) 13.e Pesquisadores descobriram na Etiópia fósseis que parecem ser do mais antigo ancestral da humanidade. Como a idade desses fósseis foi estimada entre 5,2 milhões e 5,8 milhões de anos, pode-se dizer que esses nossos ancestrais viveram

a. em época anterior ao aparecimento dos anfíbios e dos dinossauros.
b. na mesma época que os dinossauros e antes do aparecimento dos anfíbios.
c. na mesma época que os dinossauros e após o aparecimento dos anfíbios.
d. em época posterior ao desaparecimento dos dinossauros, mas antes do surgimento dos anfíbios.
e. em época posterior ao surgimento dos anfíbios e ao desaparecimento dos dinossauros.

14. (PUC-Minas) 14.b Recentes análises do DNA de chimpanzés permitiram concluir que o homem é mais aparentado com eles do que com qualquer outro primata. Isso permite concluir que

a. o chimpanzé é ancestral do homem.
b. o chimpanzé e o homem têm um ancestral comum.
c. o homem e o chimpanzé são ancestrais dos gorilas.
d. a evolução do homem não foi gradual.
e. os chimpanzés são tão inteligentes quanto o homem.

15. (Enem-MEC) 15.d Foi proposto um novo modelo de evolução dos primatas elaborado por matemáticos e biólogos. Nesse modelo o grupo de primatas pode ter tido origem quando os dinossauros ainda habitavam a Terra, e não há 65 milhões de anos, como é comumente aceito.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Examinando esta árvore evolutiva podemos dizer que a divergência entre os macacos do Velho Mundo e o grupo dos grandes macacos e de humanos ocorreu há aproximadamente

a. 10 milhões de anos.
b. 55 milhões de anos.
c. 85 milhões de anos.
d. 40 milhões de anos.
e. 65 milhões de anos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 22

Energia e matéria na natureza e a dinâmica das populações

TIAGO ROMANO/SHUTTERSTOCK

O Sol é a principal fonte de energia para a vida na Terra. Além do calor, que faz as temperaturas terrestres serem favoráveis para os seres vivos, a energia da luz solar captada pelas plantas é a fonte primária para a produção de alimentos de todos os seres vivos (Pantanal, Mato Grosso do Sul, 2021).

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 10 de Física desta coleção.

A importância do assunto

Ecologia é um ramo científico multidisciplinar que reúne conhecimentos em Biologia, Química, Física, além de áreas das Ciências Humanas. O objeto de estudo da Ecologia é a biosfera, que compreende o conjunto de ambientes da Terra habitados por seres vivos. Este capítulo analisa como a energia da luz solar captada pelos seres fotossintetizantes é transferida entre os organismos quando eles se alimentam uns dos outros. O estudo das transferências de energia e de matéria na natureza tem fornecido informações importantes sobre a vida na Terra.

A trama ecológica elaborada ao longo de milhões de anos de evolução vem sofrendo grande alteração devido a ações humanas. O aumento da população humana mundial tem agravado desequilíbrios ecológicos, colocando biomas inteiros sob ameaça de extinção. Para enfrentar as crises ambientais, que têm se tornado mais frequentes, é necessário compreender melhor a natureza e agir em prol do equilíbrio ecológico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Energia para a vida

Os diversos tipos de radiações eletromagnéticas emitidas pelo Sol caracterizam-se por uma grandeza física denominada **comprimento de onda**. Determinados comprimentos de onda das radiações solares são percebidos por nossos olhos, constituindo as radiações visíveis, que chamamos de **luz**. As radiações visíveis apresentam comprimentos de onda que vão da cor vermelha à violeta. Radiações de comprimentos de onda maiores que o vermelho são denominadas **radiações infravermelhas**, e radiações de comprimentos de onda menores que o violeta são denominadas **radiações ultravioleta**.

Certas radiações que compõem a luz solar são captadas pelos seres fotossintetizantes e utilizadas na síntese de moléculas orgânicas no processo denominado **fotossíntese**. Praticamente todos os seres vivos dependem direta ou indiretamente da fotossíntese. As substâncias orgânicas sintetizadas na fotossíntese são utilizadas pelo próprio organismo fotossintetizante para obter a energia necessária ao metabolismo e como matéria-prima para a síntese das moléculas que o constituem.

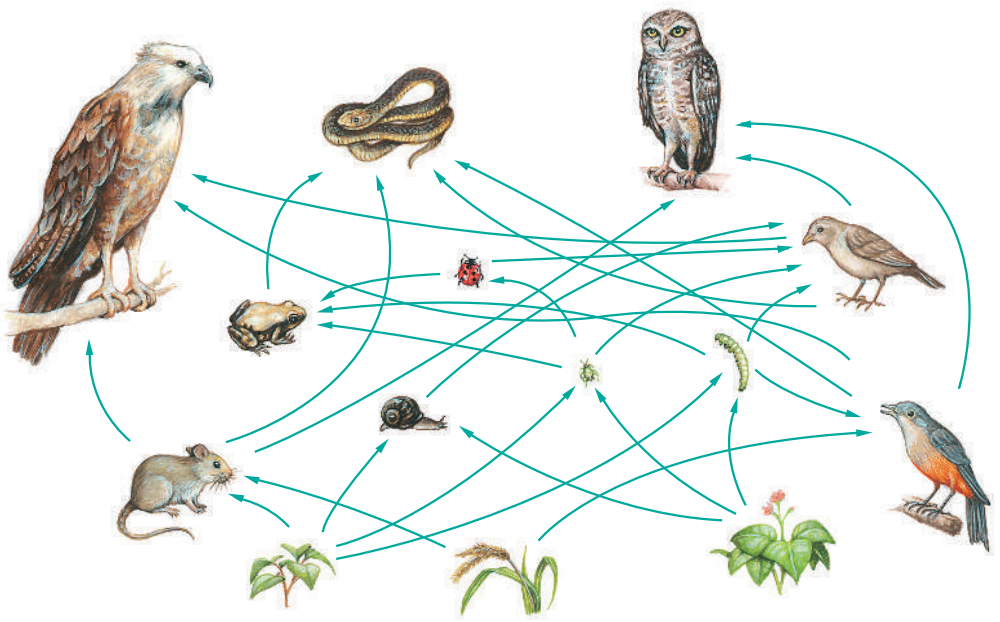
Quando os animais herbívoros se alimentam de seres fotossintetizantes, eles ingerem moléculas orgânicas produzidas originalmente na fotossíntese graças à energia proveniente da luz solar. O mesmo ocorre com os animais carnívoros ao se alimentarem de herbívoros. Assim, algas, plantas e bactérias fotossintetizantes são responsáveis, direta ou indiretamente, pela produção de quase toda a massa de matéria orgânica, ou **biomassa**, existente na Terra.

Teias e cadeias alimentares

Seres vivos que convivem em uma mesma região constituem uma **comunidade biológica**, ou **biocenose**. As espécies que fazem parte de uma comunidade biológica mantêm entre si diversos tipos de relações quanto à alimentação. Por exemplo, certas plantas servem de alimento a várias espécies de animais, certas aves alimentam-se de insetos, de vermes, de aranhas, de sementes de capim etc.

Em uma comunidade biológica, o conjunto das relações alimentares é comparável a uma rede de relações entrelaçadas, daí ser utilizado o termo **teia alimentar**, ou **teia trófica**, para designá-la. (Fig. 22.1)

Exemplo de teia alimentar



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.1. Representação esquemática da teia alimentar em uma comunidade biológica hipotética. As setas indicam o sentido de transferência de biomassa entre os diversos componentes da comunidade biológica. Os decompositores não foram representados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Dentro de uma teia alimentar, é possível destacar sequências lineares de organismos, que são denominadas **cadeias alimentares**, ou **cadeias tróficas**. Um exemplo de cadeia alimentar é: capim, gafanhotos que se alimentam do capim, pássaros que se alimentam dos gafanhotos e serpentes que se alimentam dos pássaros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os primeiros componentes de uma teia alimentar são seres autotróficos fotossintetizantes ou quimiossintetizantes, que, a partir de substâncias inorgânicas, produzem substâncias orgânicas. Esses seres constituem o nível dos **produtores** de matéria orgânica. Seres que se alimentam diretamente dos produtores são denominados **consumidores primários**. Seres que se alimentam de consumidores primários são chamados de **consumidores secundários**, e assim por diante. Após a morte dos produtores e dos diversos tipos de consumidores, a biomassa que os constitui serve de alimento para seres **decompositores** (fungos e bactérias), que ocupam o último nível trófico das teias alimentares.

Os decompositores obtêm nutrientes e energia pela decomposição da matéria orgânica de cadáveres e de resíduos orgânicos, como fezes e excreções. A decomposição permite reciclar átomos dos elementos químicos da biomassa dos cadáveres e dos resíduos orgânicos, tornando-os disponíveis para constituir a biomassa de outros seres vivos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Importância dos decompositores

Imagine uma situação hipotética em que os decompositores deixassem de atuar. Quais seriam as consequências possíveis dessa situação? Escreva um texto em estilo ficcional sobre isso.

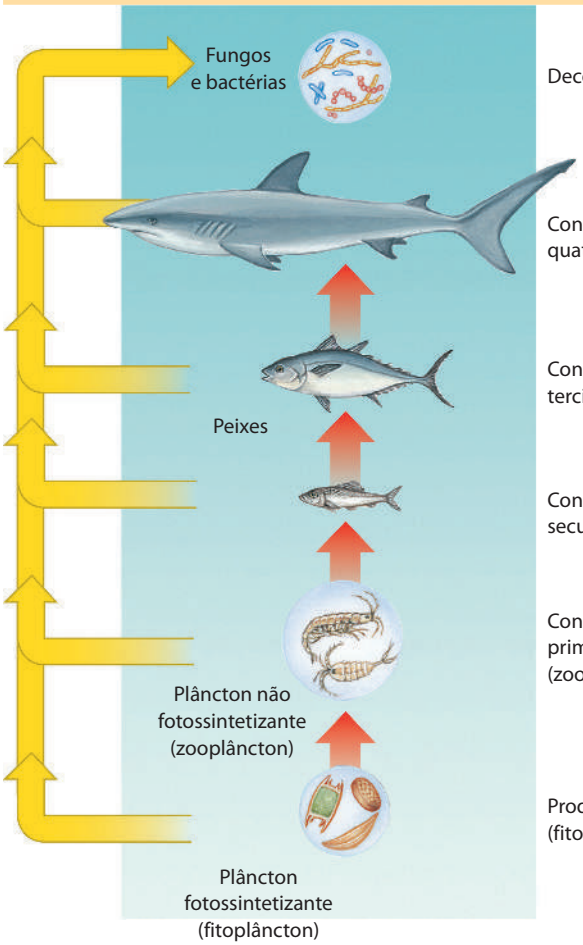
Os organismos de uma espécie podem ocupar mais de um nível trófico na teia alimentar de uma comunidade. Por exemplo, um animal que tem alimentação variada, comendo plantas e animais herbívoros, desempenha simultaneamente o papel de consumidor primário e de consumidor secundário. Organismos com alimentação desse tipo são especificamente chamados de **onívoros** (do latim *omnis*, tudo, e *vorare*, comer, devorar). Muitas espécies de animais são onívoras, incluindo a espécie humana.

Nos ambientes aquáticos, os produtores são representados principalmente por seres microscópicos, tais como bactérias autotróficas e algas que flutuam próximo à superfície. Essa comunidade de seres flutuantes fotossintetizantes constitui o **fitoplâncton** (do grego *phyton*, planta, e *plankton*, errante), ou **plâncton fotossintetizante**.

Os consumidores primários nas comunidades aquáticas são principalmente protozoários, pequenos crustáceos, vermes, moluscos e larvas de diversas espécies que se alimentam de fitoplâncton. Esses seres constituem o **zooplâncton** (do grego *zoon*, animal), ou **plâncton não fotossintetizante**.

Os principais consumidores secundários e terciários nas comunidades aquáticas são os peixes. (Fig. 22.2)

Exemplo de cadeia alimentar marinha



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 22.2. Representação esquemática de uma cadeia alimentar marinha. As setas vermelhas indicam a transferência de energia entre os diversos componentes da cadeia alimentar e as setas amarelas representam a atuação dos decompositores em todos os níveis tróficos da cadeia. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

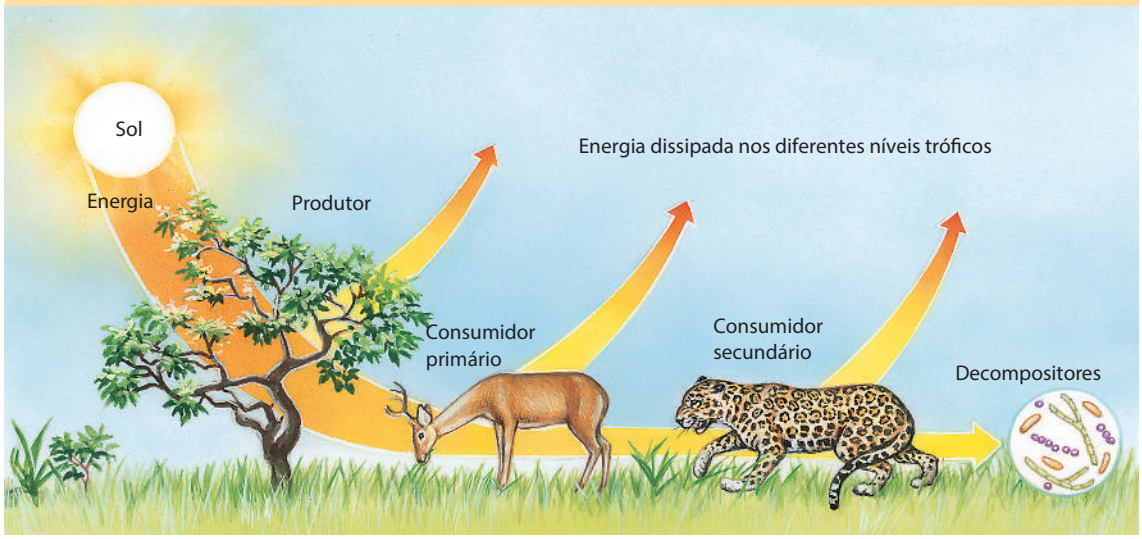
Dissipação de energia na teia alimentar

Um animal herbívoro utiliza moléculas orgânicas produzidas pelas plantas na fotossíntese como fonte de energia e de matéria-prima para produzir suas próprias substâncias orgânicas, isto é, sua própria biomassa. A quantidade de biomassa é diretamente proporcional à quantidade de energia armazenada nas moléculas orgânicas.

A biomassa vegetal que alimentou o herbívoro é bem maior que a biomassa que ele consegue incorporar em seu corpo, em primeiro lugar, porque uma porção significativa das moléculas orgânicas ingeridas é eliminada nas fezes. Além disso, do alimento efetivamente aproveitado, parte é consumida pelo animal para manter suas atividades metabólicas.

Assim, grande parte da energia presente na biomassa de um nível trófico não é transferida ao nível trófico seguinte. No caso dos animais herbívoros, a parte efetivamente aproveitada é ainda relativamente menor que nos níveis seguintes. Isso porque os alimentos vegetais são ricos em fibras, que, apesar de conterem muita energia potencial química, são pouco aproveitadas e acabam sendo eliminadas nas fezes. (Fig. 22.3)

Dissipação de energia em uma cadeia alimentar



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.3. Representação esquemática da transferência de energia ao longo de uma cadeia alimentar. Em uma teia alimentar, a energia é dissipada gradualmente ao passar pelos diversos níveis tróficos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

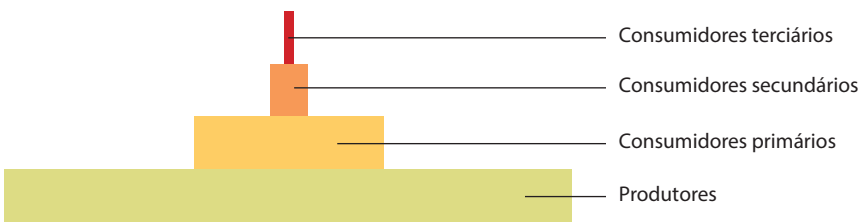
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pirâmides ecológicas

Pirâmides ecológicas são representações gráficas constituídas por retângulos sobrepostos em forma de pirâmide, que mostram a quantidade de **energia** ou a **biomassa** disponível em cada nível trófico de uma comunidade biológica. O retângulo da base da pirâmide corresponde ao nível trófico dos produtores. Os retângulos seguintes representam, em sequência, os níveis dos consumidores primários, dos consumidores secundários, e assim por diante. A largura relativa de cada retângulo corresponde à quantidade de energia ou de biomassa contida naquele nível trófico.

Nas **pirâmides de energia**, o retângulo inferior é sempre mais largo que o superior, pois a quantidade de energia reduz a cada nível trófico. (Fig. 22.4)

Pirâmides ecológicas



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

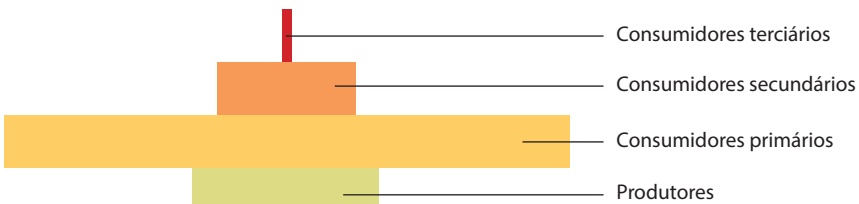
Figura 22.4. Uma pirâmide de energia mostra as quantidades de energia disponíveis em cada nível trófico em uma comunidade biológica.

Pirâmides de biomassa representam a massa de matéria orgânica disponível em cada nível trófico de uma comunidade biológica, em determinado momento, por área ou por volume. Quando se trata de organismos de terra firme, a unidade utilizada nas pirâmides de biomassa é massa/área, expressa geralmente em gramas por metro quadrado (g/m^2). Em ambientes aquáticos, a unidade geralmente utilizada nas pirâmides de biomassa é massa/volume, em geral expressa em gramas por metro cúbico (g/m^3).

Em terra firme, os produtores são geralmente plantas de ciclo relativamente longo, o que faz a pirâmide de biomassa apresentar base mais larga e ápice mais estreito. Nas pirâmides de biomassa de seres aquáticos, os produtores são bactérias autotróficas e algas unicelulares, e os consumidores primários são animais do zooplâncton e pequenos peixes. No ecossistema aquático, as biomassas dos seres do fitoplâncton, do zooplâncton, dos peixes herbívoros e dos peixes carnívoros são calculadas em determinado momento e utilizadas para construir as pirâmides de biomassa. Surge, então, uma aparente contradição: a biomassa do fitoplâncton é inferior à do zooplâncton. O paradoxo é: como uma biomassa menor no nível produtor da pirâmide poderia sustentar os níveis superiores?

Essa contradição é resolvida se pensarmos no ciclo de vida extremamente curto e rápido dos seres produtores. Enquanto um peixe pode levar anos acumulando biomassa, os seres do fitoplâncton reproduzem-se rapidamente e são em grande parte devorados para manter os níveis superiores da cadeia trófica. Assim, o momento capturado na pirâmide não reflete a quantidade de energia total que passa em cada nível trófico quando são avaliados intervalos de tempo mais longos. (Fig. 22.5)

Pirâmide de biomassa de uma comunidade aquática



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.5. Em uma comunidade aquática, os produtores podem apresentar, em determinado momento, relativamente menos biomassa que os consumidores, resultando no aspecto invertido da pirâmide de biomassa.

2. Ciclos biogeoquímicos

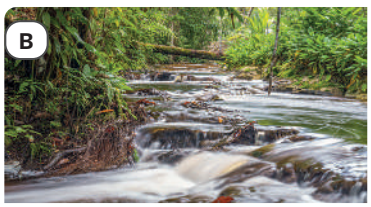
Os componentes químicos que constituem os corpos dos seres vivos retornam ao ambiente após sua morte. Esse retorno ocorre principalmente graças à atividade de seres que se alimentam de detritos, além da atividade de bactérias e fungos decompositores.

Os **agentes detritívoros**, também chamados de **necrófagos**, alimentam-se de cadáveres e de resíduos. Seus representantes são minhocas, larvas de certos insetos, urubus etc. A ação dos detritívoros facilita a atividade posterior dos agentes decompositores.

Os **agentes decompositores**, ao se nutrirem de cadáveres, fezes e outros resíduos de seres vivos, promovem a degradação da matéria orgânica desses restos, reduzindo-a a moléculas mais simples, que retornam à parte não viva do ambiente e podem ser reaproveitadas por outros seres vivos. A passagem de determinado elemento químico dos seres vivos para o ambiente, e deste novamente para seres vivos, constitui um **ciclo biogeoquímico** (do grego *bios*, vida, e *geo*, Terra).

A reciclagem da matéria orgânica que constituía os seres vivos devolve ao ambiente elementos químicos, que podem ser reutilizados. Por exemplo, a existência de uma floresta exuberante na região amazônica só é possível graças à rápida decomposição de folhas, galhos, frutos e animais mortos, que devolve ao solo elementos químicos essenciais às plantas, tais como nitrogênio, cálcio, enxofre, potássio, magnésio, sódio e fósforo. O desmatamento da floresta remove a cobertura vegetal e interrompe essa reciclagem, empobrecendo o solo. (Fig. 22.6)

MYIMAGES - MICHA/ SHUTTERSTOCK



MARCOS AMEND/ PULSAR IMAGENS

Figura 22.6. (A) Cadáver de animal em processo de decomposição pela ação conjunta de seres detritívoros e decompositores. (B) Área de floresta tropical cuja existência é garantida pela eficiente reciclagem de nutrientes (Presidente Figueiredo, Amazonas, 2024).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ciclo da água

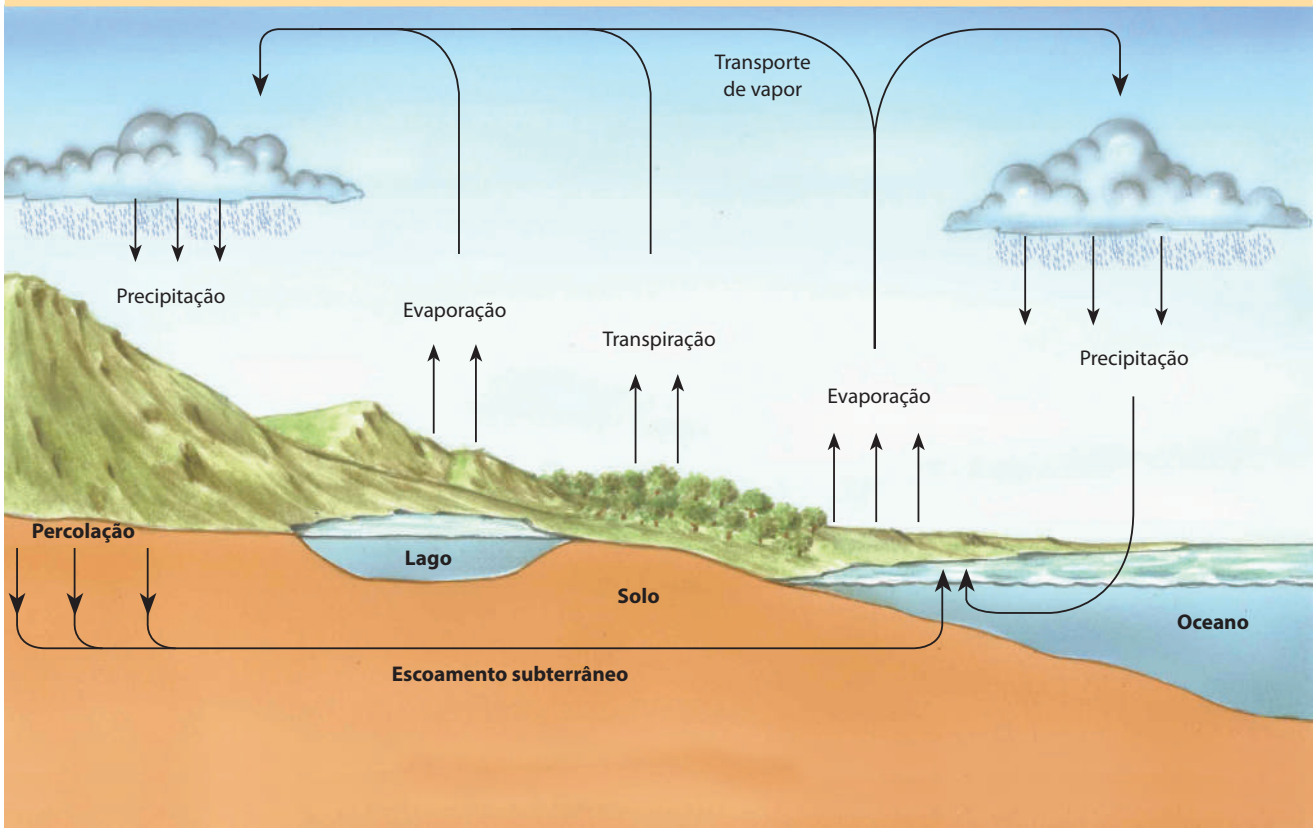
A **água** (H_2O) no estado líquido ocupa cerca de 75% da superfície terrestre, sem falar da água infiltrada no solo. Há também água no estado gasoso na atmosfera e no estado sólido, na forma de gelo, nas regiões próximas aos polos e no topo das altas montanhas.

A água de oceanos, lagos, rios, geleiras, além da infiltrada no solo, passa do estado líquido ao gasoso pela evaporação, acumulando-se na atmosfera. O **vapor d'água**, como se denomina a forma gasosa da água, se condensa em camadas elevadas da atmosfera, onde a temperatura é mais baixa, voltando ao estado líquido na forma das microgotículas que constituem as nuvens. A agregação das gotículas de água nas nuvens leva à sua precipitação em forma de chuva. O processo contínuo de evaporação e condensação é conhecido como **ciclo da água**, ou **ciclo hidrológico**, contribuindo para tornar o ambiente da Terra favorável à existência de seres vivos ao dispersar excesso de calor atmosférico.

O caminho da água na natureza também passa pelos seres vivos. Moléculas de água fazem parte do citoplasma das células e dos fluidos corporais dos seres vivos (sangue, seiva, urina etc.), participando de diversos processos vitais. A maioria das plantas absorve água do ambiente pelas raízes. Os animais obtêm água ingerindo-a na forma líquida ou comendo alimentos ricos em água.

A água presente em plantas e animais retorna ao ambiente de várias maneiras. Uma delas é por meio da **respiração celular**, processo que forma água como produto. Outra maneira pela qual a água retorna dos seres vivos ao ambiente é por meio da **transpiração**, processo em que a superfície corporal perde água na forma de vapor. A maioria dos animais também elimina água na urina e nas fezes. Finalmente, quando os organismos morrem, a água que fazia parte de seu corpo é devolvida ao ambiente, processo que conta com a participação de detritívoros e decompositores. (Fig. 22.7)

O ciclo da água



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.7. Representação esquemática do ciclo da água. O termo **percolação**, presente no esquema, refere-se à passagem da água do solo para **aquíferos**, que são reservatórios subterrâneos de água. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Água, um recurso cada vez mais precioso

MEIO AMBIENTE ODS 6

Como cidadãos, podemos participar do esforço mundial para economizar água potável, ajudando a garantir às gerações futuras um ambiente pelo menos igual ao que temos hoje. O objetivo desta atividade é elaborar uma campanha de divulgação sobre a necessidade de racionalizar o consumo de água. Leia o texto a seguir e, em seguida, as propostas para realizar a atividade.

Todo cidadão responsável precisa estar informado do valor da água como recurso natural. Atualmente há escassez de água potável em algumas regiões do Brasil, além de países da África e do Oriente Médio. Um relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que até 2050 cerca de 4 bilhões de pessoas conviverão com falta de água extrema. A essas más notícias soma-se a previsão de redução das chuvas em diversos locais, como consequência da mudança climática global, na qual muitos ainda relutam em acreditar.

Cerca de 97,5% da água presente em nosso planeta é salgada, constituindo mares e oceanos. O restante, cerca de 2,5%, é de água doce. A maior parte da água doce disponível na Terra está congelada ou no subsolo, e menos de 0,01% é acessível ao consumo humano. O Brasil concentra cerca de 12% da água potável disponível no mundo, entretanto, esse recurso distribui-se desigualmente pelo país. A região hidrográfica amazônica, por exemplo, concentra cerca de 80% do volume de água doce superficial de nosso país, enquanto a população amazônica representa cerca de 7% da população do Brasil. O restante da água doce, cerca de 20% do total, distribui-se de maneira desigual pelo território nacional. A Região Nordeste, por exemplo, conta com apenas 5% das reservas de água potável do país, embora nela vivam quase 28% da população brasileira.

Conhecer melhor o ciclo da água e racionalizar seu consumo são atitudes importantes para o futuro da humanidade. Os governos precisam investir em estudos sobre os recursos hídricos e todos os cidadãos devem aprender a usar racionalmente a água potável. Ainda há muito desperdício desse recurso na agricultura, na indústria e no uso doméstico. A ONU calcula que cada pessoa necessita de cerca de 110 L de água por dia para atender a suas necessidades de consumo e higiene. No Brasil, porém, o consumo de água por pessoa pode chegar a mais de 200 L/dia. A seguir, algumas maneiras simples para racionalizar o consumo de água no dia a dia.

- Lavando roupa: no tanque, com a torneira aberta por quinze minutos, o gasto de água pode chegar a 280 L. Para otimizar o uso de água nessa atividade, acumule uma quantidade razoável de roupas a ser lavada, encha o tanque com água e ensaboe as roupas, mantendo a torneira fechada, reutilize a água do ensaboamento e do enxágue das roupas, para lavar a calçada, por exemplo.
- Regando as plantas: com a mangueira aberta por dez minutos, o gasto de água pode chegar a 190 L. Durante o verão, faça a rega pela manhã ou à noite, o que reduz a perda de água por evaporação. No inverno, faça a rega em dias alternados, pela manhã.
- Lavando a calçada: com a mangueira aberta durante quinze minutos, o gasto de água pode chegar a 280 L. Para economizar, utilize vassoura e balde com a água do enxague das roupas.
- Lavando o carro: com a torneira não muito aberta durante trinta minutos, o gasto de água pode chegar a 210 L; com o balde, o gasto é reduzido para 40L.

Fonte: elaborado com base em JADE, L. Onde está a água no Brasil? **EBC**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/. Acesso em: 10 out. 2024.

Pesquisando e divulgando a economia de água

Nossa sugestão é que você forme um grupo de colegas para pesquisar, na internet ou em outras fontes, diferentes maneiras de economizar água, além das mencionadas no texto anterior. Com base nessas informações, o grupo pode elaborar uma campanha de divulgação sobre o uso racional da água no dia a dia. Os materiais utilizados na campanha podem ser cartazes, fotos, painéis, fôlderes ou materiais digitais a serem publicados em *sites* ou *blogs*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ciclo do carbono

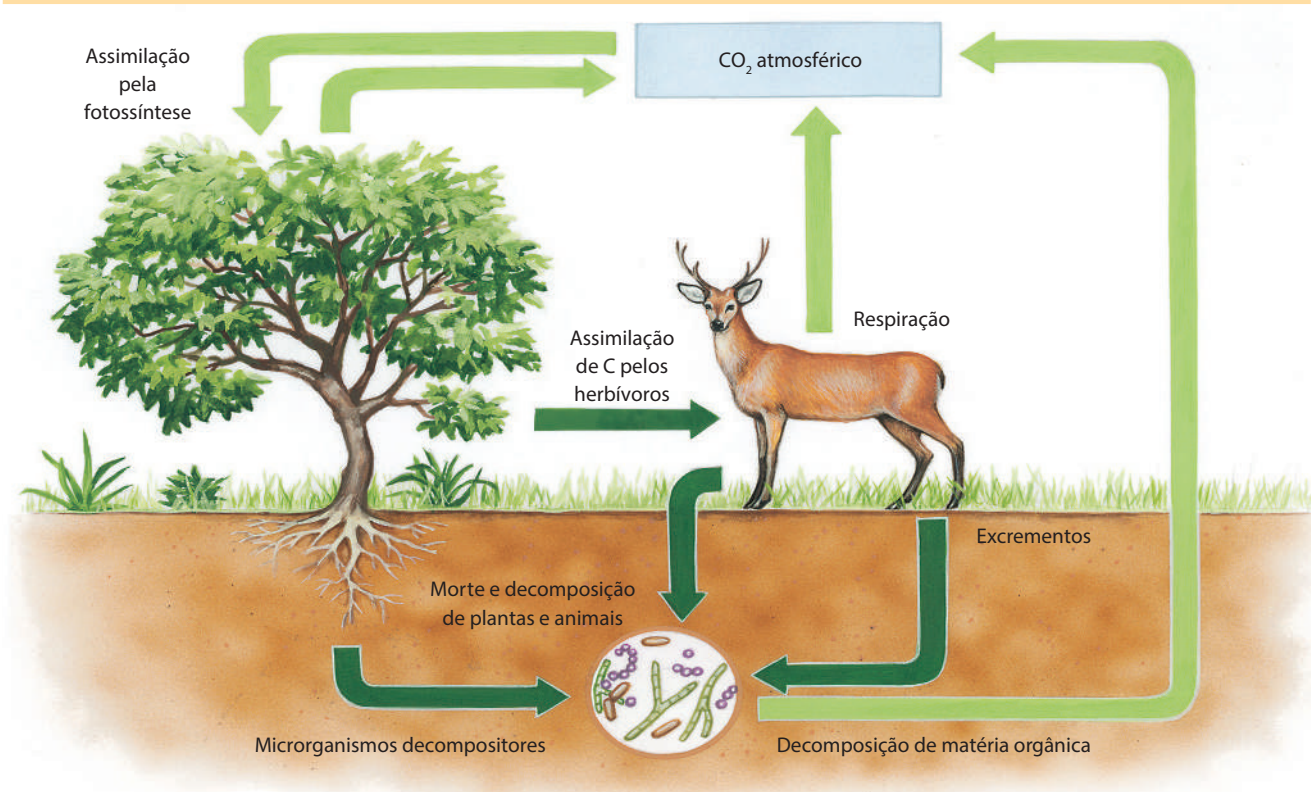
O **carbono** está presente na estrutura de todas as moléculas orgânicas. Os átomos desse elemento circulam entre o ambiente e os seres vivos, constituindo o **ciclo do carbono**. Parte das moléculas orgânicas produzidas na fotossíntese ou na quimiossíntese é degradada pelo próprio organismo autotrófico para a obtenção da energia necessária ao seu metabolismo. Dessa forma, o carbono que constituía essas moléculas é devolvido ao ambiente na forma de gás carbônico (CO_2).

O carbono presente na biomassa dos produtores pode seguir dois caminhos: ser restituído ao ambiente quando o organismo autotrófico morre e sua matéria orgânica é degradada pelos decompositores; ou ser transferido para os animais herbívoros quando eles se alimentam dos organismos produtores.

Como já foi comentado, parte significativa da energia presente nas substâncias orgânicas ingeridas por um animal herbívoro não é aproveitada, sendo eliminada nas fezes. As substâncias orgânicas das fezes sofrem a ação dos decompositores, que obtêm energia da matéria fecal. Outra parte das moléculas orgânicas ingeridas por um animal herbívoro é degradada na respiração celular, fornecendo energia para seu metabolismo. O carbono das moléculas degradadas é liberado para o ambiente na forma de CO_2.

O carbono originalmente captado pelos produtores na fotossíntese passa de um nível trófico para outro ao mesmo tempo que retorna aos poucos à atmosfera durante os processos metabólicos dos organismos, e pela ação dos decompositores, que atuam em todos os níveis tróficos. (Fig. 22.8)

O ciclo do carbono



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.8. Representação esquemática do ciclo do carbono. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Após a Revolução Industrial, a humanidade passou a interferir cada vez mais no ciclo do carbono. Ao queimar combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo, o carbono originalmente presente nas moléculas orgânicas que formaram esses combustíveis, há milhões de anos, é restituído rapidamente à atmosfera.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 7 ODS 13

Os combustíveis fósseis

O objetivo desta atividade é pesquisar sobre a origem do petróleo e do carvão mineral, dois importantes combustíveis fósseis utilizados pela humanidade. Forme um grupo com colegas para repartir as tarefas de pesquisa, que pode ser feita em livros e na internet. Aspectos importantes a serem levantados: a) Como e quando esses combustíveis se formaram e por que são chamados de combustíveis fósseis? b) Que tipos de seres os originaram? c) Como esses combustíveis são extraídos de suas jazidas? d) Quando teve início a utilização massiva de petróleo e carvão mineral? e) Quais têm sido as consequências para o ambiente da utilização massiva de combustíveis fósseis? f) Por que esses combustíveis são chamados de não renováveis? g) Quais são as estimativas de tempo para que o petróleo se esgote? h) Que alternativas energéticas poderão substituir os combustíveis fósseis, que contribuem decisivamente para o aquecimento global e a mudança do clima no mundo?

A sugestão é que os diferentes enfoques sobre o tema sejam repartidos entre os membros do grupo. Por exemplo, um estudante pode ficar encarregado de levantar dados sobre a origem dos combustíveis fósseis, enquanto outro pode levantar dados históricos e atuais sobre a utilização do carvão e do petróleo. Outro, ainda, pode pesquisar alternativas ao consumo de combustíveis fósseis, e assim por diante. Com base nas pesquisas, o grupo pode elaborar um material que reúna os aspectos mais importantes e interessantes das pesquisas de cada estudante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ciclo do nitrogênio

OBJETO DIGITAL Vídeo: O legado de Johanna Döbereiner

O **ciclo do nitrogênio** consiste na circulação de átomos do elemento nitrogênio entre os seres vivos e o ambiente. O nitrogênio faz parte de diversas moléculas orgânicas, entre elas as proteínas e os ácidos nucleicos.

O maior reservatório de nitrogênio do planeta é a atmosfera, onde esse elemento químico se encontra na forma de **nitrogênio molecular** (N_2), ou **gás nitrogênio**, perfazendo cerca de 79% do volume do ar. Algumas espécies de bactérias, genericamente chamadas **bactérias fixadoras de nitrogênio**, são capazes de incorporar diretamente os átomos de nitrogênio do N_2 em suas moléculas orgânicas, processo denominado **fixação do nitrogênio**.

A maioria das bactérias fixadoras de nitrogênio vive livre no solo. Quando morrem e se decompõem, as moléculas nitrogenadas dessas bactérias originam **amônia** (NH_3), que é liberada no solo.

A amônia é utilizada principalmente por bactérias do gênero *Nitrosomonas* para gerar energia por meio da quimiossíntese. Nesse processo, a amônia é utilizada para produzir **nitritos** (NO_2^-), que são eliminados para o solo.

Os nitritos, por sua vez, são utilizados por bactérias quimiossintetizantes do gênero *Nitrobacter*, que os transformam em **nitratos** (NO_3^-). Os nitratos são a principal fonte de nitrogênio para as plantas.

O processo que abrange a transformação da amônia em nitritos e de nitritos em nitratos é denominado **nitrificação**. Por isso, nitrosomonas e nitrobactérias são genericamente chamadas de **bactérias nitrificantes**.

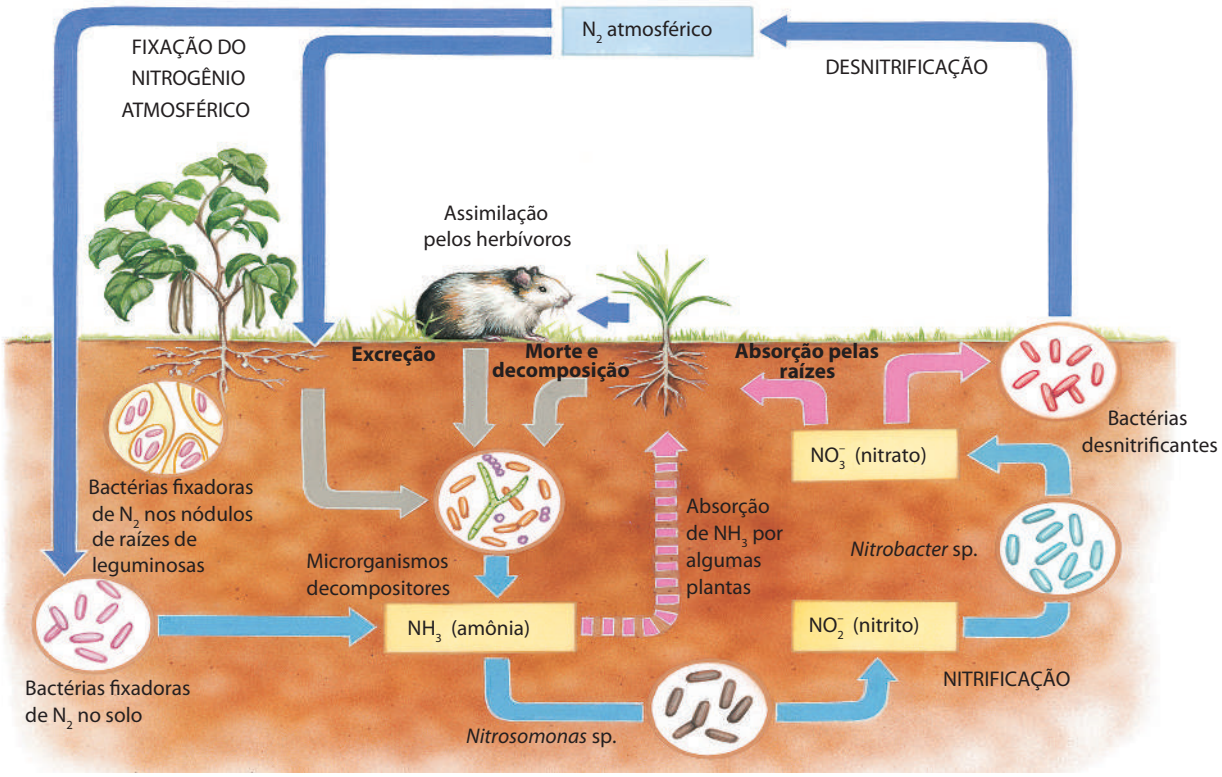
As plantas produzem suas moléculas nitrogenadas principalmente a partir de nitratos absorvidos do ambiente. As moléculas nitrogenadas das plantas, por sua vez, constituem a fonte de nitrogênio para os animais herbívoros que delas se alimentam. O mesmo ocorre nos níveis tróficos superiores da teia alimentar.

Proteínas e ácidos nucleicos são continuamente degradados no metabolismo animal, com formação de diversos tipos de compostos nitrogenados, genericamente denominados **excreções**, ou **excretas**, eliminados para o ambiente. Os principais produtos nitrogenados excretados pelos animais são a **amônia**, a **ureia** e o **ácido úrico**.

A ação dos decompositores sobre plantas, animais mortos, excreções e fezes permite que o nitrogênio constituinte de moléculas orgânicas retorne ao solo na forma de amônia, que pode novamente passar por processos de nitrificação e originar nitratos, utilizados pelas plantas.

Uma parte dos compostos nitrogenados do solo sofre **desnitrificação**, processo realizado por bactérias genericamente denominadas **bactérias desnitrificantes**. Essas bactérias degradam compostos nitrogenados, liberando gás nitrogênio (N_2) para a atmosfera. (Fig. 22.9)

O ciclo do nitrogênio



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.9. Representação esquemática do ciclo do nitrogênio. Bactérias de diversas espécies desempenham papel importante no ciclo do nitrogênio, tanto na entrada do nitrogênio na parte viva do ambiente como em sua restituição à atmosfera. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Adubação verde, plantas leguminosas e rizóbios

A **adubação verde**, técnica empregada por chineses, gregos e romanos há mais de 2 mil anos, consiste em utilizar o plantio de leguminosas, como a soja, a alfafa, o feijão e a ervilha, para aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo. As plantas leguminosas abrigam em suas raízes bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* (rizóbios), e seu plantio aumenta a quantidade de nitrogênio disponível para plantas não leguminosas. Pesquisas indicam que, em campos experimentais plantados com alfafa e soja, a quantidade de nitrogênio fixado aumentava até 100 vezes em relação a um sistema natural.

Umas das técnicas empregadas na adubação verde é a **rotação de culturas**, que consiste no plantio de plantas leguminosas e não leguminosas em períodos alternados. Outra técnica é a de **plantações consorciadas**, que consiste no cultivo de leguminosas juntamente com plantas não leguminosas. No Brasil é comum consórcios de milho e feijão, plantados em fileiras alternadas.

Pesquise na internet e em livros sobre o tipo de relação que se estabelece entre bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* e as plantas leguminosas. Redija um texto sobre o assunto.

3. Características das populações biológicas

População biológica é definida como um conjunto de indivíduos de mesma espécie que convivem em determinada área e que podem cruzar entre si de forma natural. Suponhamos duas espécies, uma de pássaros e outra de ratos, que vivam em diversas ilhas de um arquipélago. Os pássaros voam livremente entre as ilhas, o que permite o encontro e eventual cruzamento entre indivíduos de diferentes ilhas. Por isso, os biólogos consideram os pássaros dessas ilhas como uma única população. Os ratos, por sua vez, não conseguem nadar de uma ilha a outra e, consequentemente, os indivíduos de uma ilha não têm oportunidade de cruzar com indivíduos de ilhas vizinhas. Cada ilha, portanto, tem sua própria população de ratos.

Aplicando o mesmo critério à espécie humana, pode-se dizer que a humanidade atual constitui uma única população biológica distribuída pelos diversos continentes. As migrações, facilitadas principalmente pela evolução dos meios de transporte e das comunicações, transformaram a população humana em uma única aldeia global, termo criado pelo filósofo canadense Herbert Marshall McLuhan (1911-1980) nos anos 1960. O globalismo da população humana tornou-se evidente na pandemia da covid-19, que teria se originado em uma pequena cidade na China e se espalhado em poucos meses por quase 200 países, em todos os continentes. Na linguagem cotidiana, é comum se referir às populações de um município, de um estado, de um país etc. Entretanto, o mais correto é utilizar o termo subpopulação para cada um desses conjuntos.

Densidade populacional

O estudo da dinâmica das populações humanas constitui a **demografia** (do grego *demos*, povo, e *graphe*, descrição). Uma informação importante a respeito de qualquer população é sua **densidade populacional**, definida como a relação entre o número de indivíduos da espécie e a área ou o volume (no caso de ambientes aquáticos) que eles ocupam. Essa definição está representada a seguir:

$$\text{Densidade populacional} = \frac{\text{Número de indivíduos}}{\text{Área ou volume}}$$

A densidade de uma população humana é denominada **densidade demográfica** e calculada com base em levantamentos periódicos, conhecidos como censos demográficos. O censo demográfico realizado no Brasil em 1990, por exemplo, estimou a população brasileira em aproximadamente 150 milhões de pessoas. Dividindo esse número de pessoas pelos 8,5 milhões de quilômetros quadrados de superfície do território nacional, obtém-se a densidade demográfica de aproximadamente 17,6 hab/km^2 (habitantes por quilômetro quadrado). Em 2024, a população brasileira foi estimada em 210,9 milhões de pessoas, o que elevou a densidade demográfica para 24,8 hab/km^2, um aumento de quase 41% em relação a 1990. (Fig. 22.10)

Figura 22.10. No Brasil há desde centros urbanos superpovoados até áreas rurais pouco ocupadas. (A) Rua de comércio popular em centro urbano (São Paulo, SP, 2022). (B) Moradias em área rural (Pedralva, MG, 2023).

Taxas de natalidade e de mortalidade

O crescimento de uma população é determinado basicamente por dois fatores de efeitos opostos: a **natalidade**, que é o número de indivíduos que nascem em uma população, e a **mortalidade**, que é o número de indivíduos que morrem. Outros fatores que afetam o tamanho populacional são a **imigração**, que é a chegada de novos indivíduos à população, e a **emigração**, que é a saída de indivíduos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **taxa de natalidade** nas populações humanas é definida como o número de crianças nascidas no período de um ano para cada 1.000 habitantes da população. Analogamente, a **taxa de mortalidade** é o número de óbitos (mortes) ocorridos no período de um ano para cada 1.000 habitantes da população. Por que expressar o número de nascimentos para cada 1.000 habitantes, isto é, dividir o número de nascimentos por 1.000? O motivo é o mesmo utilizado para dividir um número por 100 quando expressamos porcentagens. O que estamos fazendo, nos dois casos, é relativizar os números brutos, o que facilita compará-los aos de outras populações. Por exemplo, se ocorrerem dois nascimentos em uma população de 1.000 habitantes em determinado ano, a taxa de natalidade é 0,002, número obtido dividindo-se 2 por 1.000. Em outra população que tenha 4.000 habitantes, se nascerem quatro pessoas nesse mesmo ano, a taxa de natalidade será de 0,001 (4 ÷ 4.000), metade da taxa de natalidade da primeira população.

As taxas de mortalidade podem também ser detalhadas por faixa de idade. Quando se fala em taxas de mortalidade infantil, pode-se dividir o número de óbitos de crianças de determinada idade, digamos, entre 0 e 5 anos, por grupo de 1.000 crianças nascidas vivas no período de um ano.

$$\text{Taxa de natalidade} = \frac{\text{Número de nascimentos no ano}}{\text{1.000 pessoas}}$$

$$\text{Taxa de mortalidade} = \frac{\text{Número de mortes no ano}}{\text{1.000 pessoas}}$$

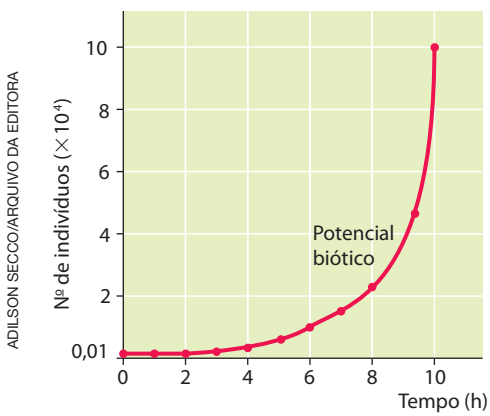
Índice de fertilidade

Uma informação importante sobre a população é seu **índice de fertilidade**, ou **taxa de fertilidade**, que é o número médio de descendentes gerados por uma fêmea durante seu período reprodutivo. No caso da espécie humana, se um país tiver índice de fertilidade igual a 2, isso significa que o número médio de filhos por mulher é 2. Nesse caso, espera-se que os filhos de cada geração substituam seus pais, tendendo a manter estável o tamanho da população. Se o índice de fertilidade for superior a 2, a tendência é que ocorra crescimento populacional. Por outro lado, se o índice de fertilidade for inferior a 2, a tendência é que ocorra diminuição do tamanho da população, ou seja, crescimento negativo.

Crescimento populacional

A maioria das populações de seres vivos tem grande potencial para crescer. Por exemplo, uma única bactéria que se duplica a cada 20 minutos produziria uma descendência capaz de cobrir a superfície da Terra em apenas 36 horas, considerando mortalidade zero. Um único paramécio poderia gerar, em alguns dias, uma massa de indivíduos correspondente a 10 mil vezes a massa da Terra. Um único casal de pássaros e seus descendentes, chocando de cinco a seis ovos por ano, produziria 10 milhões de descendentes em 15 anos. Essa capacidade teórica de crescimento de uma população biológica é denominada **taxa de crescimento intrínseco**, ou **potencial biótico**. Se representarmos em um gráfico o número de indivíduos de uma população em função do tempo, a curva resultante corresponde ao crescimento intrínseco. Esse tipo de curva é característico de um crescimento em progressão geométrica, ou crescimento exponencial, em que, a intervalos regulares de tempo, o número de indivíduos da população dobra. (Fig. 22.11)

Curva de crescimento intrínseco



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Tempo (h)	Nº de indivíduos
0	100
1	200
2	400
3	800
4	1.600
5	3.200
6	6.400
7	12.800
8	25.600
9	51.200
10	102.400

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

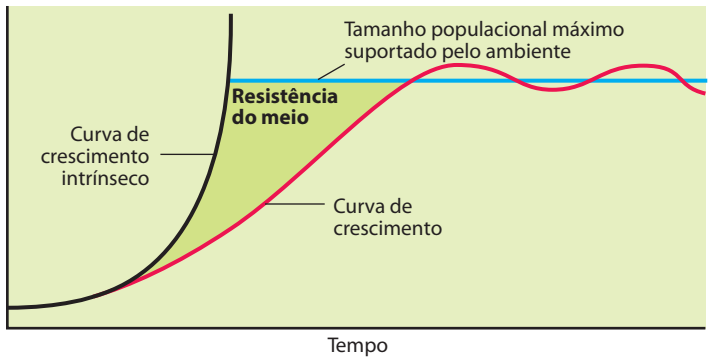
Figura 22.11. Curva de crescimento intrínseco, ou potencial biótico, de uma população de bactérias que duplica a cada hora e tem índice de mortalidade zero no período considerado. Gráficos com curvas semelhantes são esperados para qualquer população biológica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em condições naturais, o potencial de crescimento de uma população é limitado pela disponibilidade de recursos do meio, tais como a disponibilidade de alimento, de espaço e de abrigo, entre outros fatores, e pela ação de predadores, parasitas e populações competidoras. A ação desses fatores em conjunto constitui o que se denomina **resistência do meio**. Para cada população, há um limite máximo de indivíduos que o ambiente consegue suportar. Esse limite é chamado de **capacidade de suporte**, ou **carga biótica máxima**, do meio.

O crescimento de uma população considerando alguns poucos indivíduos, se for representado em um gráfico que relaciona o número de indivíduos em função do tempo, resulta em uma curva ascendente em forma da letra S. O tamanho da população tende a se estabilizar quando é atingida a capacidade de suporte do meio. O aspecto apresentado pela **curva de crescimento populacional** resulta da interação entre o potencial biótico e a resistência do meio, constituída pelos fatores ambientais que limitam o crescimento. (Fig. 22.12)

Curva de crescimento populacional



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 22.12. Em vermelho, curva de crescimento de uma população considerando um número pequeno de indivíduos. Em preto, curva esperada de crescimento intrínseco, que ocorreria se não houvesse resistência do meio.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Dinâmica populacional

Forme um grupo com três ou quatro colegas para compartilhar as tarefas desta atividade, apresentadas mais adiante.

A tabela a seguir refere-se a uma população experimental constituída inicialmente por 100 indivíduos, metade deles machos e metade fêmeas. A população foi estudada por um período de seis anos. Utilize os dados da tabela para responder às questões.

Variação do número de indivíduos causada por	Tempo (em anos)					
	1	2	3	4	5	6
Nascimento	48	65	102	149	128	110
Imigração	4	19	21	10	2	1
Morte	10	12	20	35	65	75
Emigração	2	1	2	3	45	40

1) Em cada ano, qual seria o tamanho da população, considerando os dados de nascimento, morte, imigração e emigração? A população inicial era de 100 indivíduos. O grupo pode reescrever a tabela no caderno, que pode ter uma quinta linha acrescentada, na qual será feita a totalização do número de indivíduos em cada ano. Com base nesses dados, o grupo pode elaborar um gráfico que represente o crescimento da população, com o número de indivíduos representado no eixo das ordenadas e o tempo decorrido representado no eixo das abscissas.

2) Se a população ocupasse a área de 1 km^2 em uma floresta, quais seriam as densidades populacionais em cada ano? Pode-se acrescentar mais uma linha à tabela, com as densidades populacionais. Com base nesses dados, o grupo pode elaborar um gráfico de barras verticais, em que o comprimento de cada barra represente o valor da densidade populacional.

3) Com base na análise dos dados e dos gráficos elaborados, o grupo pode produzir um texto curto que descreva a dinâmica dessa população em termos dos fatores analisados (natalidade, mortalidade, imigração, emigração, crescimento populacional e densidade).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

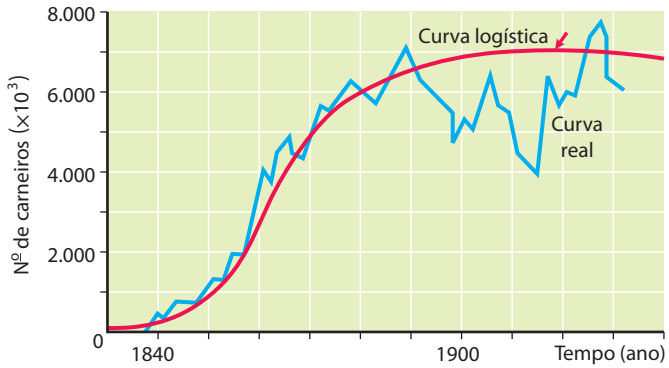
4. Fatores que regulam o tamanho populacional

O crescimento de uma população biológica é limitado por diversos fatores, entre eles a competição entre os indivíduos quando há alta densidade populacional, a disponibilidade de alimento, a competição com indivíduos de outras espécies, a predação e o parasitismo.

O estudo de certas populações mostrou que, quando a densidade populacional aumenta além de certo limite, a taxa de natalidade tende a diminuir em consequência do aumento da competição por alimento e por locais de procriação. Em experimentos com ratos, verificou-se que a taxa de natalidade caía a zero quando as gaiolas de criação se tornavam superpovoadas, mesmo que houvesse alimento em abundância. Muitos filhotes chegavam a morrer ainda no útero materno, o que levou à conclusão de que essas mortes estariam relacionadas ao estresse e à tensão emocional decorrentes do superpovoamento.

Quanto mais intensos são os fatores que limitam o crescimento, menor será o aumento da população. Em contrapartida, o abrandamento de um ou mais fatores limitantes pode levar ao aumento da taxa de crescimento populacional. Como a intensidade dos fatores limitantes geralmente varia ao longo do tempo, o tamanho das populações apresenta flutuações periódicas. (Fig. 22.13)

Flutuação populacional de carneiros na Austrália



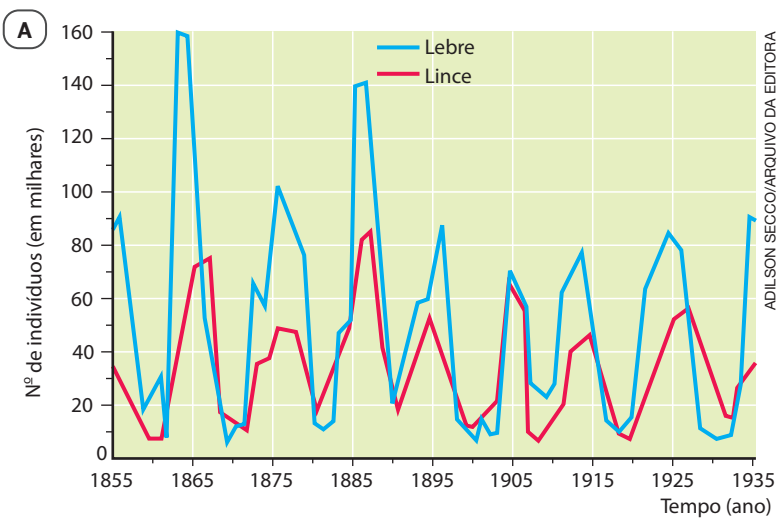
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de DAJOZ, R. **Ecologia geral**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 1978.

Figura 22.13. A curva de crescimento apresentada refere-se à população de carneiros na Austrália, elaborada com base em dados coletados entre as décadas de 1830 e 1930. A linha azul representa a população real (**curva real**), que oscila em decorrência das variações dos fatores ambientais que regulam o crescimento. A linha vermelha é denominada **curva logística** e mostra a estabilização do tamanho da população ao ser atingida a capacidade de suporte do meio (seta).

Um exemplo clássico da regulação do tamanho populacional pela predação é a flutuação dos tamanhos de populações de linces (predadores) e de lebres (presas) da região ártica do Canadá. Os dados foram coletados durante 80 anos, de 1855 a 1935, pela Companhia da Baía de Hudson, que registrava o número de peles comercializadas pelos caçadores da região. Como o número de caçadores era conhecido e mudava pouco de um ano para o outro, as variações na quantidade de peles comercializadas supostamente refletem as variações nos tamanhos das populações das duas espécies. (Fig. 22.14)

Flutuação nos tamanhos populacionais de lebres e linces



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

ED CESAR/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Fonte: adaptado de DAJOZ, R. **Ecologia geral**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 1978.

Figura 22.14. (A) Gráfico que mostra as flutuações no tamanho das populações de lebres (em azul) e de linces (em vermelho) no Canadá, entre 1855 e 1935. (B) Um lince (*Lynx* sp.) persegue uma presa, a lebre branca (*Lepus* sp.). O lince e a lebre medem, respectivamente, cerca de 1 m e 50 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As curvas de densidade populacional de lebres e de linces, representadas em um mesmo gráfico, evidenciam que a população de linces geralmente alcança seu maior tamanho um a dois anos depois de a população de lebres atingir seu máximo. Uma interpretação plausível para isso é que o tamanho das populações de lebres e de linces depende fortemente da relação presas e predadores existente entre essas duas espécies.

Quando a população de lebres aumenta, a população de linces também aumenta, já que há maior oferta de alimento para o predador. O aumento do número de linces intensifica a predação, o que leva à diminuição da população de lebres. Com menos lebres para caçar, a população de linces volta a diminuir, o que permite a retomada do crescimento da população de lebres, e assim sucessivamente.

Além da explicação anterior, outras hipóteses poderiam ser aventadas para explicar a correlação entre as flutuações das populações de lebres e de linces. Por exemplo, o aumento da população de lebres poderia aumentar a transmissão de doenças infecciosas.

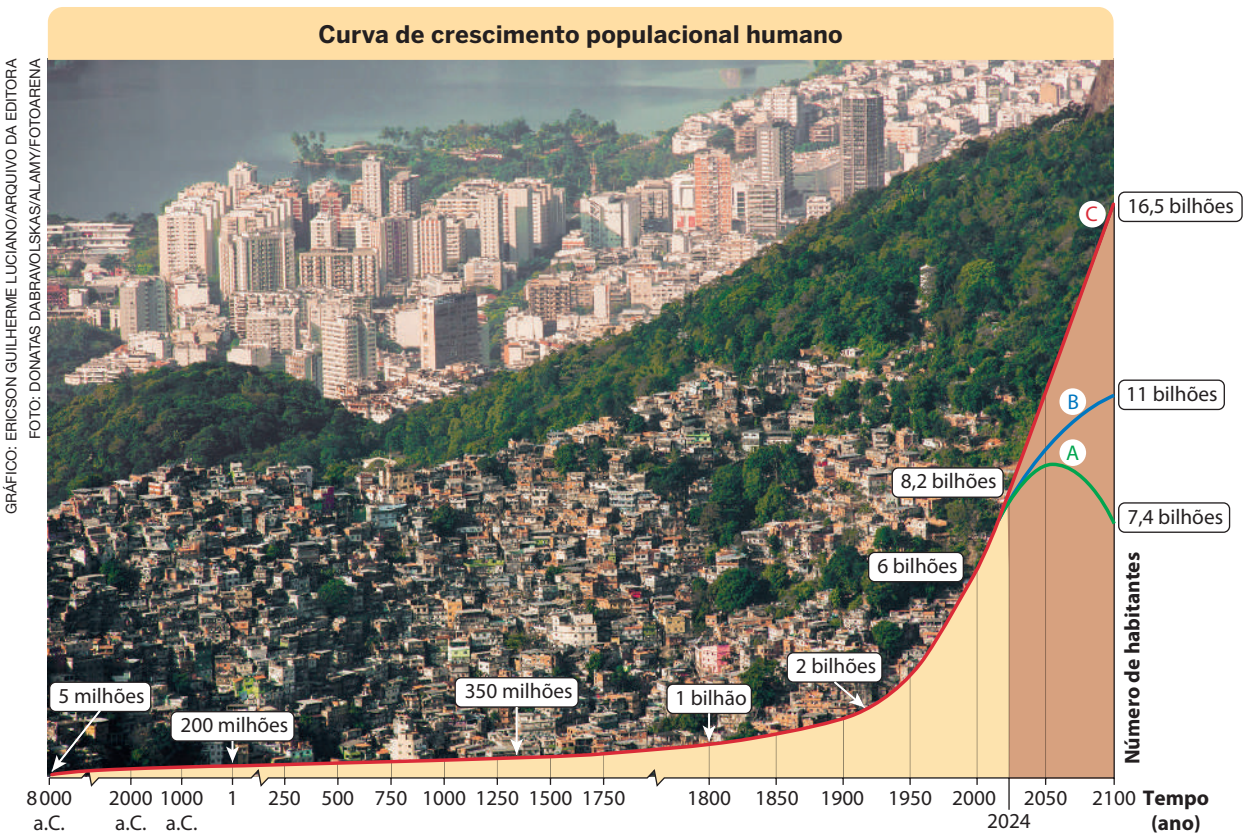
A explosão populacional humana

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Dimensões do lazer nas metrópoles

A população humana está sujeita aos mesmos fatores gerais que regulam e limitam o crescimento de outras populações biológicas. Entretanto, a humanidade tem conseguido controlar certos fatores ambientais, o que permitiu um formidável ritmo de crescimento. O crescimento acelerado das populações humanas pode ser atribuído principalmente à diminuição da taxa de mortalidade, decorrente tanto dos avanços agrícolas e tecnológicos, como dos progressos médicos e sanitários, que têm prolongado a expectativa de vida das pessoas. (Fig. 22.15)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

GRÁFICO: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
FOTO: DONATAS DABRAVOLSKAS/ALAMY/FOTOARENA



Fonte: elaborado com base em: UNITED NATIONS POPULATION FUND. *World population trends*. **UNPF**, [s. *l.*], 2022. Disponível em: https://www.unfpa.org/world-population-trends#summery105943. Acesso em: 5 set. 2024; THE NEW ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. 15. ed. Chicago: Encyclopaedia Britannica, v. 25, p. 1041, 1993.

Figura 22.15. Curva de crescimento da população humana até o ano 2024 e três projeções para o ano de 2100 (A, B ou C, exibidas no gráfico). Na fotografia, a comunidade da Rocinha no morro e o bairro Leblon à frente (Rio de Janeiro, RJ, 2020).

A expansão demográfica humana leva à necessidade de produzir cada vez mais alimentos para nutrir o número crescente de pessoas. Entretanto, não é possível ampliar indefinidamente as áreas de terra cultivada. Na prática, a maioria das terras férteis já está sendo utilizada e muitas delas tiveram seus recursos esgotados. Certas áreas, por outro lado, demandariam tanto empenho para se tornarem produtivas que, ao menos por enquanto, não é vantajoso explorá-las. Além disso, os sistemas naturais que ainda restam na Amazônia, nos Cerrados e no Pantanal Mato-Grossense, por exemplo, não deveriam ser explorados de forma predatória.

É necessário manter áreas preservadas para que a diversidade biológica, ou **biodiversidade**, produzida ao longo de milhões de anos de evolução, não seja perdida. A Floresta Amazônica e o Cerrado têm forte influência na dinâmica de chuvas e na manutenção dos rios que abastecem grande parte do continente. A devastação desses ambientes poderia acarretar consequências catastróficas para a biosfera da Terra.

Até a década de 1970, certos países consideravam o controle da natalidade uma iniciativa racista, reacionária ou imperialista. Atualmente, entretanto, os cidadãos da maioria das nações consideram importante realizar algum tipo de controle da natalidade e de **planejamento familiar** para manter a qualidade de vida de suas populações.

A maioria dos países desenvolvidos já conseguiu reduzir o crescimento populacional, o que também tem ocorrido em países em desenvolvimento, como a Tailândia, a Colômbia e a Costa Rica, que já alcançaram reduções significativas de suas taxas de natalidade. Embora os problemas da humanidade sejam decorrentes de vários fatores, imagina-se que se o crescimento da população humana for reduzido será possível ganhar tempo para resolver problemas agravados pela superpopulação, como a fome, as desigualdades econômicas, a degradação ambiental e vários tipos de doenças.

Paradoxalmente, o aumento demográfico também está ligado ao grau de desenvolvimento da saúde pública. A população cresce não apenas porque há mais nascimentos, mas também porque a duração média da vida humana tem aumentado. A expectativa de vida em 1650 era de 30 anos. Atualmente, a média da expectativa de vida mundial é de mais de 65 anos e, em países desenvolvidos, ultrapassa os 80 anos. De acordo com dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a expectativa de vida média no Brasil já ultrapassava, em 2022, os 75,5 anos.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

O vigésimo nono dia

O escritor Lester R. Brown iniciou um de seus livros, *O vigésimo nono dia*, de 1980 (Editora FGV), com uma pequena história: "Para ensinar às crianças a noção de crescimento exponencial, os professores franceses se valem de uma charada. Em uma lagoa flutua uma folha de árvore. A cada dia que passa, o número de folhas dobra: duas folhas no segundo dia, quatro no terceiro, oito no quarto, e assim por diante. Se a lagoa ficar totalmente coberta de folhas no trigésimo dia, quando ela ficou coberta pela metade? Resposta: No vigésimo nono dia".

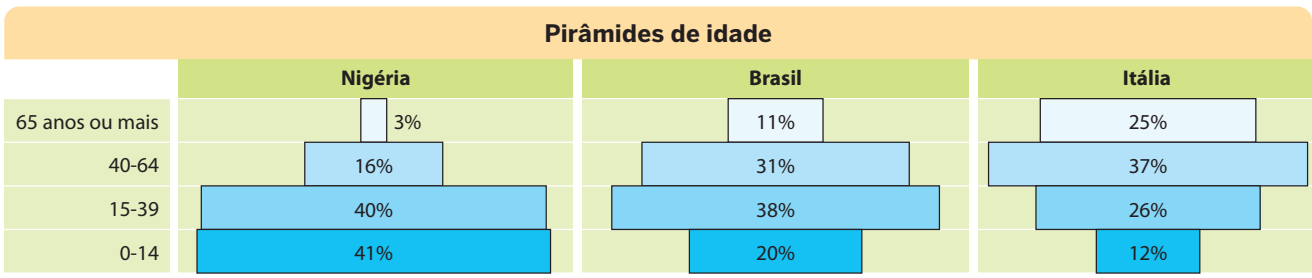
Nessa metáfora, a lagoa corresponderia ao planeta Terra, e as folhas, às pessoas da população. Talvez o planeta já esteja coberto pela metade e logo se tornará repleto de gente. O risco maior é ignorar os sinais da iminente saturação ou interpretá-los de modo errôneo. Como o trigésimo dia pode não oferecer possibilidades de sobrevivência, é importante não atingi-lo. O que poderia ser feito para isso? Reflita a respeito e elabore um pequeno texto sobre o tema.

Pirâmides de idade

Um aspecto importante da população humana é sua composição quanto à idade das pessoas, ou seja, o número de pessoas que há em cada faixa etária. As faixas de idade geralmente utilizadas são as situadas entre 0 e 14 anos, entre 15 e 39, entre 40 e 64 e acima de 65 anos. A distribuição dos indivíduos de uma população por faixas de idade é expressa em gráficos conhecidos como **pirâmides de idade**, ou **pirâmides etárias**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Populações jovens e com alta taxa de crescimento apresentam pirâmides de idade com a base mais larga que o ápice, o que indica alta taxa de natalidade. Em populações que controlam a natalidade, o gráfico pode perder a forma típica de pirâmide, em certos casos apresentando as faixas de menor idade mais estreitas que as faixas superiores. A análise das pirâmides de idade pode revelar tendências do crescimento apresentado pela população. Por exemplo, uma população com muitas pessoas na faixa etária entre 0 e 14 anos apresenta uma pirâmide com base larga, indicativo de que haverá, nos anos seguintes, grande número de pessoas em idade reprodutiva. A tendência é que essa população venha a crescer em um futuro próximo. (Fig. 22.16)



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaboradas com base em UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024**. Disponível em: https://population.un.org/wpp/DataSources/. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 22.16. Comparação entre as pirâmides de idade da Nigéria, do Brasil e da Itália para dados de 2024. A base larga e o ápice estreito da pirâmide da Nigéria indicam, respectivamente, alta taxa de natalidade e alta taxa de mortalidade em idades mais avançadas, o que dá um aspecto bem triangular ao gráfico. Na pirâmide da Itália, típica de países desenvolvidos, o gráfico tem base mais estreita e ápice mais largo, indicando que há controle da natalidade e expectativa de vida elevada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Construindo gráficos e pirâmides de idade

Forme um grupo com 3 ou 4 colegas para pesquisar e selecionar dados disponíveis no *site* do IBGE. A partir dessas tabelas, podem-se elaborar os gráficos. Visitem o *site* do IBGE (https://www.ibge.gov.br) e encontrem as tabelas dos censos demográficos de 2010 e de 2022, referentes à "População residente, por situação de domicílio e sexo, segundo os grupos de idade". Com base nas tabelas, elaborem gráficos em forma de *pizza*, referentes ao tamanho da população brasileira por faixa etária no ano 2010 e em 2022.

O grupo também pode elaborar duas pirâmides etárias para a população brasileira, uma relativa aos dados censitários de 2010 e outra relativa aos dados de 2022. Sugerimos utilizar as faixas etárias apresentadas na tabela (0 a 4 anos, 5 a 9 anos, 10 a 14, anos e assim por diante) para homens e mulheres.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo a seguir que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 3.

a. biomassa

b. cadeia alimentar

c. pirâmide ecológica

d. teia alimentar

1. A quantidade de matéria orgânica presente em um organismo ou em um nível trófico constitui a (■). 1.a

2. (■) refere-se à rede de interações alimentares em uma comunidade biológica. 2.d

3. Uma sequência linear de organismos, isolada de seu conjunto por questões didáticas, e que tem em sua base os produtores é uma (■). 3.b

Questões de vestibulares e do Enem

4. **(UFSCar-SP)** No aparelho digestório de um boi, o estômago é dividido em 4 compartimentos. Os dois primeiros, rúmen e barrete (ou retículo), contêm rica quantidade de bactérias e protozoários que secretam enzimas que decompõem a celulose do material vegetal ingerido pelo animal. O alimento semidigerido volta à boca onde é remastigado (ruminação) e novamente deglutido. Os dois outros compartimentos, ômaso e abômaso, recebem o alimento ruminado e secretam enzimas que quebram as proteínas das bactérias e dos protozoários que chegam continuamente dos compartimentos anteriores. Considerando apenas o aproveitamento das proteínas bacterianas na nutrição do boi, é correto afirmar que o boi e os microrganismos são, respectivamente,

4.e

a. consumidor primário e decompositores.
b. consumidor secundário e decompositores.
c. consumidor primário e produtores.
d. consumidor primário e consumidores secundários.
e. consumidor secundário e consumidores primários.

5. **(Enem-MEC)** A falta de água doce no planeta será, possivelmente, um dos mais graves problemas deste século. Prevê-se que, nos próximos vinte anos, a quantidade de água doce disponível para cada habitante será drasticamente reduzida. Por meio de seus diferentes usos e consumos, as atividades humanas interferem no ciclo da água, alterando

5.b

a. a quantidade total, mas não a qualidade da água disponível no planeta.
b. a qualidade da água e sua quantidade disponível para o consumo das populações.
c. a qualidade da água disponível, apenas no subsolo terrestre.
d. apenas a disponibilidade de água superficial existente nos rios e lagos.
e. o regime de chuvas, mas não a quantidade de água disponível no planeta.

6. **(Fuvest-SP)** Nas margens de um rio, verificava-se a seguinte cadeia trófica: o capim ali presente servia de alimento para gafanhotos, que, por sua vez, eram predados por passarinhos, cuja espécie só ocorria naquele ambiente e tinha exclusivamente os gafanhotos como alimento; tais passarinhos eram predados por gaviões da região. A lama tóxica que vazou de uma empresa mineradora matou quase totalmente o capim ali existente. É correto afirmar que, em seguida, o consumidor secundário

6.b

a. teve sua população reduzida como consequência direta do aumento da biomassa no primeiro nível trófico da cadeia.
b. teve sua população reduzida como consequência indireta da diminuição da biomassa no primeiro nível trófico da cadeia.
c. não teve sua população afetada, pois o efeito da lama tóxica se deu sobre o primeiro nível trófico da cadeia e não sobre o segundo.
d. não teve sua população afetada, pois a lama tóxica não teve efeito direto sobre ele, mas sim sobre um nível trófico inferior.
e. teve sua população aumentada como consequência direta do aumento da biomassa no segundo nível trófico da cadeia.

7. **(Enem-MEC)**

7.e

Recentemente um estudo feito em campos de trigo mostrou que níveis elevados de dióxido de carbono na atmosfera prejudicam a absorção de nitrato pelas plantas. Consequentemente, a qualidade nutricional desses alimentos pode diminuir à medida que os níveis de dióxido de carbono na atmosfera atingirem as estimativas para as próximas décadas.

(Fonte: BLOOM, A. J. *et al*. Nitrate assimilation is inhibited by elevated CO_2 in field-grown wheat. **Nature climate change**, n. 4, abr. 2014. Adaptado.)

Nesse contexto, a qualidade nutricional do grão de trigo será modificada primariamente pela redução de

a. amido.
b. frutose.
c. lipídios.
d. celulose.
e. proteínas.

8. **(UFPA)** As populações tendem a crescer indefinidamente, mas, em condições naturais, são limitadas por um conjunto de fatores denominado resistência do meio. Sobre esse assunto, é correto afirmar

8.e

a. As taxas de imigração e emigração de indivíduos são fatores bióticos que garantem o crescimento exponencial de uma população.
b. A resistência do meio só atua nas populações que não possuem os inimigos naturais.
c. O potencial biótico de uma população limita a resistência do meio.
d. A densidade populacional não afeta as taxas de crescimento de uma população natural.
e. À medida que a população cresce, a resistência do meio tende a aumentar.

9. **(Fuvest-SP)** Resultados de uma pesquisa publicada na revista *Nature*, em 29 de julho de 2010, mostram que a quantidade média de fitoplâncton dos oceanos diminuiu cerca de 1% ao ano, nos últimos 100 anos. Explique como a redução do fitoplâncton afeta:

a. os níveis de carbono na atmosfera.
b. a biomassa de decompositores do ecossistema marinho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 23

Relações ecológicas, sucessão e biomas

FLORENCE GOISNARD/AFP/GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em primeiro plano, área desmatada de Cerrado. Nos últimos anos o Cerrado tem perdido muitos hectares de vegetação nativa para dar lugar a áreas para agricultura. A recuperação dessas áreas é possível através de práticas que buscam retomar as condições necessárias para que espécies nativas se desenvolvam, restaurando as relações ecológicas e a biodiversidade local. (São Desidério, Bahia, 2023.)

A importância do assunto

Uma das grandes contribuições da Ecologia para a compreensão da natureza foi a constatação de que as espécies biológicas fazem parte de uma teia intrincada, na qual as comunidades de seres vivos se relacionam de diversas maneiras, desde a competição até a cooperação entre espécies. O equilíbrio dos ecossistemas resulta exatamente da multiplicidade dessas relações ecológicas. Conhecer as relações que as populações de seres vivos mantêm entre si e com o ambiente é importante para a preservação das espécies, em benefício do planeta e da humanidade.

Além das relações ecológicas entre as espécies, este capítulo trata da sucessão ecológica, processo pelo qual populações e comunidades se sucedem e evoluem durante a colonização de uma área. O estudo da sucessão ecológica abre caminho para conhecer os diferentes tipos de comunidades que atingem seu clímax em cada local do planeta, tais como cerrados, savanas, florestas, desertos etc. Reconhecer as características de cada ambiente é, além da cultura, um exercício de cidadania. A valorização e a preservação dos ambientes naturais são desafios atuais e futuros para a humanidade.

1. Relações ecológicas intraespecíficas

Os seres vivos mantêm relações tanto com indivíduos de sua própria espécie, o que se denomina **relações intraespecíficas**, como com indivíduos de outras espécies, as chamadas **relações interespecíficas**. Essas relações ecológicas acontecem nos hábitats das espécies e envolvem seus nichos ecológicos.

O local onde vive determinada espécie ou comunidade biológica, incluindo as condições ambientais, constitui o **hábitat** dessa espécie ou comunidade. Por exemplo, quando dizemos que certa espécie de peixe vive em riachos de água fria e bem oxigenada, ou que uma espécie de macaco vive na copa das árvores de uma floresta tropical, estamos nos referindo aos hábitats dessas espécies.

Cada espécie de ser vivo apresenta um modo de vida único e peculiar em seu hábitat. O modo de vida inclui atividades que vão desde os tipos de alimento que a espécie utiliza até as condições de reprodução, moradia, hábitos, inimigos naturais, estratégias de sobrevivência etc. O conjunto de atividades realizada no hábitat constitui o **nicho ecológico** da espécie. (Fig. 23.1)

Organismos de mesma espécie têm as mesmas necessidades fundamentais e quase sempre disputam os mesmos recursos do ambiente. Há situações, entretanto, em que os membros da população se auxiliam mutuamente trocando benefícios. A seguir são apresentados alguns tipos de relações ecológicas em que há disputa ou cooperação entre os organismos envolvidos.

Componentes do nicho ecológico do mono-carvoeiro

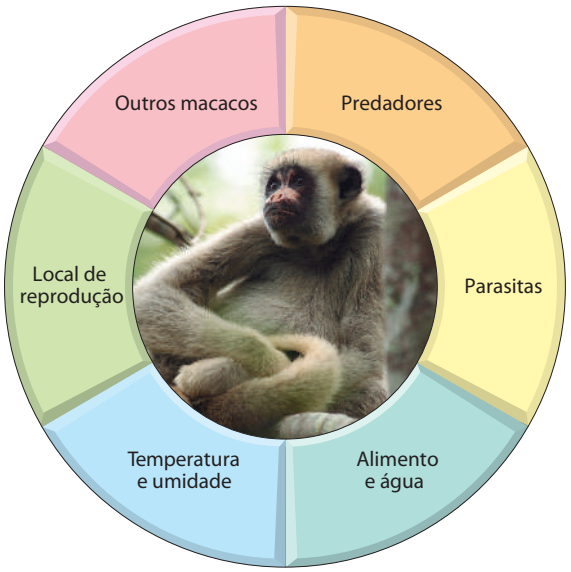


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA.
FOTO: FÁBIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 23.1. A fotografia no centro do círculo é de um mono-carvoeiro (*Brachyteles hypoxanthus*), que chega a 132 cm de comprimento, ao redor do qual são mostrados componentes do nicho ecológico dessa espécie.

Competição intraespecífica

Competição intraespecífica é a disputa entre indivíduos de mesma espécie por um ou mais recursos do ambiente. Dependendo da espécie, a competição pode ser por água, alimento, luz, locais para a construção de ninhos, parceiros para acasalamento etc. Além da luta física por alimento ou por parceiros de acasalamento, a competição também pode se manifestar de outras maneiras. Por exemplo, se um indivíduo da espécie for muito ativo e eficiente na obtenção de alimento, ele tende a levar vantagem competitiva sobre outro menos ativo, sobretudo se o alimento for escasso. Plantas com sistemas radiculares bem desenvolvidos e eficientes podem levar vantagem sobre plantas menos dotadas na competição por água e por nutrientes. (Fig. 23.2)

ZANE LEWIS/SHUTTERSTOCK

Figura 23.2. A distribuição relativamente espaçada entre plantas do deserto deve-se à intensa competição por água entre elas. (Arizona, Estados Unidos, 2024.)

Cooperação intraespecífica

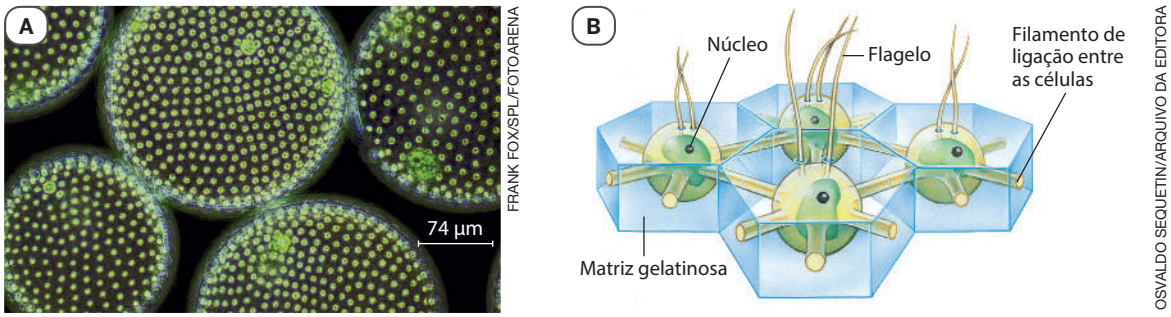
Cooperação intraespecífica é a relação ecológica em que os indivíduos de mesma espécie trocam benefícios entre si. A cooperação desempenha papel importante no sucesso evolutivo de muitas espécies. Entre as relações cooperativas intraespecíficas destacam-se o cuidado com a prole e a formação de grupos sociais. Colônias e sociedades são exemplos de grupos sociais em que ocorre cooperação intraespecífica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Colônias

Colônias são grupos de indivíduos de mesma espécie fisicamente unidos que interagem de forma mutuamente vantajosa, dividindo funções ou tarefas de sobrevivência e reprodução. As colônias podem variar em níveis de complexidade e no grau de divisão de tarefas entre os indivíduos. Se uma colônia é constituída por indivíduos morfológica e funcionalmente semelhantes ela é denominada **colônia isomorfa** (do grego *isos*, igual, semelhante, e *morpho*, forma). Um exemplo de colônia isomorfa é a formada por algas de água doce do gênero *Volvox*, que pode reunir mais de 50 mil indivíduos dispostos lado a lado. (Fig. 23.3)

Colônias da alga *Volvox* sp.

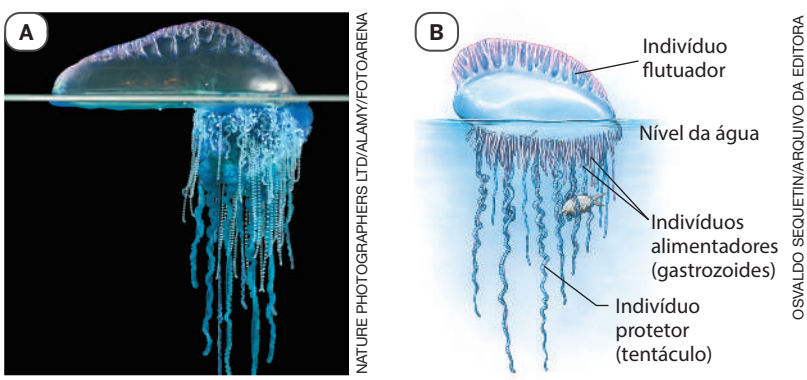


Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 23.3. (A) Colônia de algas do gênero *Volvox*. Dentro de colônias-mães podem existir diversas colônias-filhas. (Microscópio fotônico; aumento ~ 137×.) (B) Representação esquemática dos indivíduos biflagelados que formam a porção periférica das colônias. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Se os indivíduos de uma colônia são morfológica e fisiologicamente diferentes, fala-se em **colônia heteromorfa** (do grego *heteros*, diferente). Um exemplo de colônia heteromorfa é o cnidário marinho do gênero *Physalia*, popularmente conhecido como caravela-portuguesa. Um dos indivíduos da colônia é uma bolsa cheia de gás, responsável pela flutuação do conjunto de indivíduos. Outros componentes da caravela têm boca e cavidade digestiva, sendo responsáveis pela alimentação da colônia. Há indivíduos na colônia portadores de células urticantes, que formam longos tentáculos atuantes na captura de presas e na defesa contra predadores. Há também indivíduos responsáveis exclusivamente pela reprodução. Na caravela-portuguesa, a especialização de funções leva os membros da colônia a se comportarem praticamente como órgãos de um único organismo. (Fig. 23.4)

Colônia do cnidário *Physalia* sp.



Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 23.4. (A) Fotografia do cnidário colonial *Physalia* sp., constituído por indivíduos diferenciados, porém altamente integrados. O indivíduo flutuador é uma bolsa de gás que pode atingir 30 cm de comprimento. (B) Representação esquemática que mostra os indivíduos componentes da caravela-portuguesa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sociedades

Sociedades são agrupamentos de organismos de mesma espécie em que os indivíduos manifestam algum grau de cooperação, de comunicação e de divisão de trabalho, conservando, entretanto, relativa independência e mobilidade. Esses aspectos distinguem as sociedades das colônias. Nestas últimas, como foi visto no exemplo da caravela-portuguesa, os indivíduos estão fisicamente unidos, enquanto nas sociedades os indivíduos são independentes. Exemplos de animais que vivem em sociedades são as formigas, as abelhas e os seres humanos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Relações ecológicas interespecíficas

As relações ecológicas entre espécies diferentes costumam ser classificadas em harmônicas e desarmônicas. **Relações harmônicas** são aquelas em que as espécies participantes se beneficiam com a associação, como ocorre no mutualismo, no comensalismo e no inquilinismo. **Relações desarmônicas** são aquelas em que há prejuízo para pelo menos uma das partes envolvidas na associação, como ocorre na competição interespecífica, na herbivoria, na predação e no parasitismo.

Competição interespecífica

Pode ocorrer **competição interespecífica** quando duas espécies de uma comunidade apresentam semelhanças em seus nichos ecológicos, disputando assim os mesmos recursos. Quanto maior for a semelhança entre os nichos ecológicos das espécies competidoras, mais acirrada será a competição entre elas. A competição interespecífica pode até mesmo levar à extinção de uma espécie competidora, ou forçá-la a migrar em busca de uma área com menos competição.

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Animais frugívoros e ecologia de comunidades

Interações tróficas

Relações ecológicas relacionadas à alimentação são chamadas genericamente de **interações tróficas**, ou **interações alimentares**. A seguir são apresentados os principais tipos dessas interações.

Herbivoria é a relação ecológica entre plantas e animais que delas se alimentam. Isso ocorre em certos animais que se alimentam de grama, em larvas de certos insetos que comem folhas e em animais que se alimentam de sementes. Nessas situações, do ponto de vista individual, há prejuízo para as plantas e benefício para os animais que as consomem. A herbivoria é uma das mais importantes relações ecológicas da natureza. Ao se alimentarem de plantas, os animais herbívoros ingerem substâncias ricas em energia sintetizadas originalmente na fotossíntese. A herbivoria é o passo inicial na transferência de energia da luz solar para os animais.

Predação é a relação ecológica em que espécies **predadoras** matam e comem indivíduos de outras espécies, que são suas **presas**. Do ponto de vista individual, a espécie predadora se beneficia, enquanto as presas são prejudicadas. Do ponto de vista ecológico, entretanto, a predação é um mecanismo regulador importante para a manutenção das populações de predadores e de presas. A estreita correlação entre as flutuações no tamanho das populações de predadores e presas é importante para a sobrevivência de ambas (relembre o exemplo das flutuações populacionais de lebres e linces do Ártico, na figura 22.14).

Parasitismo é a relação ecológica em que uma espécie parasita vive às custas de uma espécie hospedeira, causando-lhe prejuízos. Geralmente as espécies parasitas e hospedeiras estão bem adaptadas umas às outras, de modo que a relação pode não causar prejuízos extremos ao hospedeiro do parasita. A tendência evolutiva é que parasitas e hospedeiros se adaptem mutuamente, fenômeno denominado **coadaptação**.

Certos parasitas vivem na superfície externa do hospedeiro, sendo por isso chamados de **ectoparasitas** (do grego *ectos*, fora). Outros parasitas vivem dentro do corpo do hospedeiro, sendo denominados **endoparasitas** (do grego *endos*, dentro). Exemplos de ectoparasitas são piolhos e carrapatos, e exemplos de endoparasitas são lombrigas, solitárias, certas bactérias e vírus.

Um caso particular de parasitismo é o **parasitoidismo**, termo utilizado para designar a relação em que um organismo vive parte de sua vida dentro de um hospedeiro, parasitando-o, até que em determinado momento o hospedeiro é morto e consumido pelo parasita, como ocorre na predação.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

No topo das cadeias alimentares

Livros e filmes muitas vezes retratam animais carnívoros, que ocupam o topo das cadeias alimentares, como cruéis ou perversos. Nossa sugestão, nesta atividade, é que você forme um grupo com três ou quatro colegas para refletir sobre o seguinte assunto: os superpredadores deveriam ser eliminados das cadeias alimentares?

Nessa linha, um filme emblemático é *Tubarão*, baseado em um livro de Peter Benchley (1940-2006) e dirigido por Steven Spielberg (1946-). Mesmo que você já tenha assistido ao filme ou lido o livro, valeria a pena revê-los para executar esta atividade. Filmes ficcionais como esse geralmente passam a mensagem de que os superpredadores são cruéis e traiçoeiros. Por outro lado, há filmes feitos por produtoras especializadas sobre a importância dos predadores nas teias alimentares da natureza. Com base nessas informações, eventualmente complementadas pela visita a *sites* especializados, o grupo pode elaborar um texto curto, em estilo jornalístico, em forma de crônica, poesia etc., sobre o assunto. Sugerimos que o grupo escolha um título de impacto para o texto, reforçando assim seu conteúdo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplos de parasitoides são certas vespas que põem ovos dentro de hospedeiros como aranhas e larvas de insetos. Após a eclosão dos ovos, as larvas das vespas passam a se alimentar dos tecidos corporais do hospedeiro, até consumi-lo totalmente. Ao final do processo, as larvas que se alimentaram do hospedeiro transformam-se em pupas, que se transformam em vespas adultas. (Fig. 23.5)

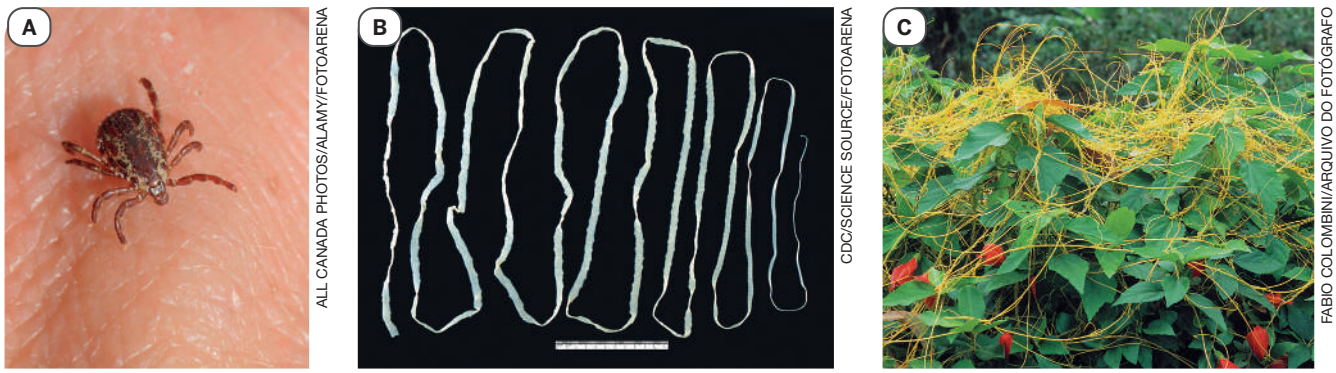
Certas plantas podem parasitar outras plantas. Um exemplo de planta parasita é o cipó-chumbo, de coloração amarela e com aparência do doce português conhecido como fios de ovos. O cipó-chumbo não apresenta folhas nem clorofila e se desenvolve sobre outras plantas, parasitando-as. A planta parasita apresenta raízes especializadas denominadas **haustórios**, que penetram no floema da planta hospedeira e absorvem seiva orgânica.

Outro exemplo de parasitismo em plantas é a erva-de-passarinho, que apresenta folhas clorofiladas e produz moléculas orgânicas por fotossíntese, retirando da planta hospedeira apenas água e sais minerais. Por extrair da hospedeira apenas substâncias inorgânicas, a erva-de-passarinho é considerada uma **hemiparasita** (do grego *hemi*, metade). (Fig. 23.6)

SCOTT CAMAZINE/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 23.5. Larvas de vespas da família Braconidae alimentam-se da lagarta da mariposa da família Sphingidae, que tem cerca de 12 cm de comprimento. Após se desenvolverem no interior do corpo da lagarta, alimentando-se de seus tecidos, as larvas do parasita perfuram o revestimento corporal da lagarta e emergem de seu corpo, onde constroem casulos e se transformam em pupas, que irão originar vespas adultas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ALL CANADA PHOTOS/ALAMY/FOTOARENA

CDC/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

FABIO COLOMBINI/ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 23.6. (A) O carrapato da espécie *Dermacentor variabilis* é um ectoparasita de animais. Seu comprimento é de aproximadamente 4 mm. (B) A solitária, ou tênia (*Taenia* sp.), é um verme endoparasita da espécie humana que chega a atingir mais de 1 m de comprimento. (C) O cipó-chumbo (*Cuscuta* sp.) parasita outras plantas, das quais extrai seiva orgânica por meio de raízes sugadoras, os haustórios. Essa planta pode formar caules com mais de 1 m de comprimento.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Parasitismo e seleção natural

Reflita sobre a afirmação: "No parasitismo, se o parasita matar seu hospedeiro, ele também morrerá. A seleção natural, portanto, tende a favorecer relações de parasitismo mais brandas". Se esse raciocínio fosse levado ao extremo, em que tipo de relação o parasitismo tenderia a se transformar? Escreva um texto com suas reflexões depois de ler sobre as relações interespecíficas apresentadas a seguir.

Mutualismo

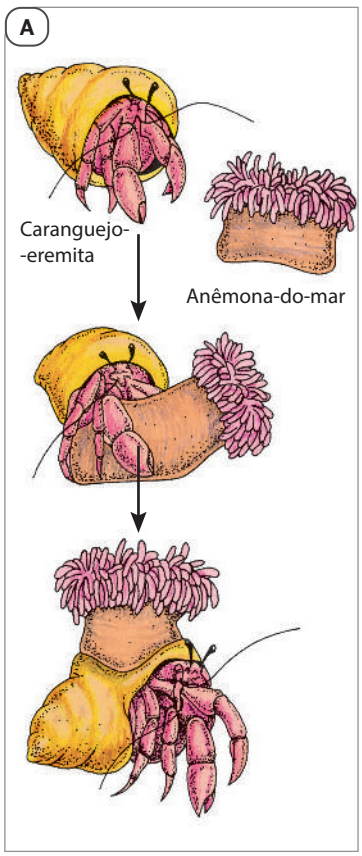
Mutualismo é uma relação ecológica em que ambas as espécies em interação obtêm benefícios. Os biólogos distinguem dois tipos de mutualismo: o facultativo e o obrigatório.

O **mutualismo facultativo**, também chamado de **protocooperação**, é a relação ecológica em que as espécies associadas trocam benefícios, mas podem também viver sozinhas. Um exemplo ocorre entre crustáceos popularmente chamados de caranguejos-eremitas (gênero *Pagurus*) e certas espécies de anêmona-do-mar (cnidários). Esses animais não vivem necessariamente juntos, mas é frequente encontrá-los em associação, que é vantajosa para ambos.

O caranguejo-eremita vive em conchas vazias de caramujos, onde protege seu abdômen delicado. Diferentemente de outros caranguejos, o eremita não apresenta carapaça rígida nessa região do corpo. Uma vez instalado na concha que serve de moradia, o caranguejo-eremita a arrasta consigo para onde for, abandonando-a apenas ao trocá-la por outra maior. É frequente encontrar uma ou mais anêmonas-do-mar aderidas às conchas ocupadas por caranguejos-eremitas. Esses cnidários beneficiam-se da associação com o eremita por ganhar mobilidade e aproveitar eventuais sobras de alimento do crustáceo. Este, por sua vez, se beneficia da capacidade defensiva das anêmonas-do-mar, cujos tentáculos têm células urticantes capazes de provocar queimaduras em eventuais predadores.

Outro exemplo de protocooperação é a relação entre mamíferos como capivaras, búfalos, rinocerontes etc. com as aves que comem os carrapatos que os infestam. Essa associação traz vantagens para o mamífero, que se livra dos ectoparasitas, e para o pássaro, que obtém alimento com relativa facilidade. Crocodilos também convivem cooperativamente com certas aves, abrindo a boca para que elas entrem e removam detritos e sanguessugas de suas gengivas. Nesse mutualismo, as aves se beneficiam por obter alimentos com relativa facilidade, enquanto os crocodilos se livram das sanguessugas e de resíduos presos a seus dentes. (Fig. 23.7)

Exemplos de protocooperação



PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

HELMUT CORNELI/ALAMY/FOTOARENA

WARREN PHOTOGRAPHIC

MCDONALD WILDLIFE PHOTOGRAPHY/GETTY IMAGES

Fonte: adaptada de KARPLUS, I. The partnerships between hermit crabs and sea anemones: an overview. **Symbiosis**, v. 93, n. 1, p. 1-15, abr. 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-024-00991-7. Acesso em: 10 out. 2024.

Figura 23.7. (A) Representação esquemática de um caranguejo-eremita colocando uma anêmona-do-mar sobre a concha onde vive. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Os caranguejo-eremita (*Dardanus calidus*) dentro da concha que lhe serve de abrigo. Sobre a concha há anêmonas-do-mar da espécie *Calliactis parasitica*. O caranguejo mede cerca de 12 cm. (C) A capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), que chega a mais de 1,30 m de comprimento, com um suiriri-cavaleiro (*Machetornis roxisus*, com cerca de 18 cm de comprimento) sobre sua cabeça. A ave se alimenta dos carrapatos que parasitam a capivara, beneficiada por se livrar dos parasitas. (D) O pássaro *Pluvianus aegyptius*, com aproximadamente 20 cm de comprimento, entra na boca do crocodilo (*Crocodylus niloticus*) e se alimenta de detritos e eventuais parasitas ali presentes. Essa espécie de crocodilo pode atingir 4 m de comprimento.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Relação entre formigas e pulgões

Pulgões são insetos que eliminam pelo ânus excessos da seiva orgânica ingerida ao sugar plantas. Certas espécies de formigas são capazes de estimular os pulgões a eliminar essas gotículas açucaradas, em uma atitude comparável à ordenha de vacas por seres humanos. As formigas protegem os pulgões, combatendo seus predadores naturais. Alguns cientistas denominam essa relação de **esclavagismo**, devido às formigas praticamente transformarem os pulgões em seres escravizados. Analisando essa relação pelo aspecto da reciprocidade, como ela poderia ser classificada? Haveria alguma vantagem para os pulgões nessa relação? Pesquise o assunto e escreva suas considerações no caderno.

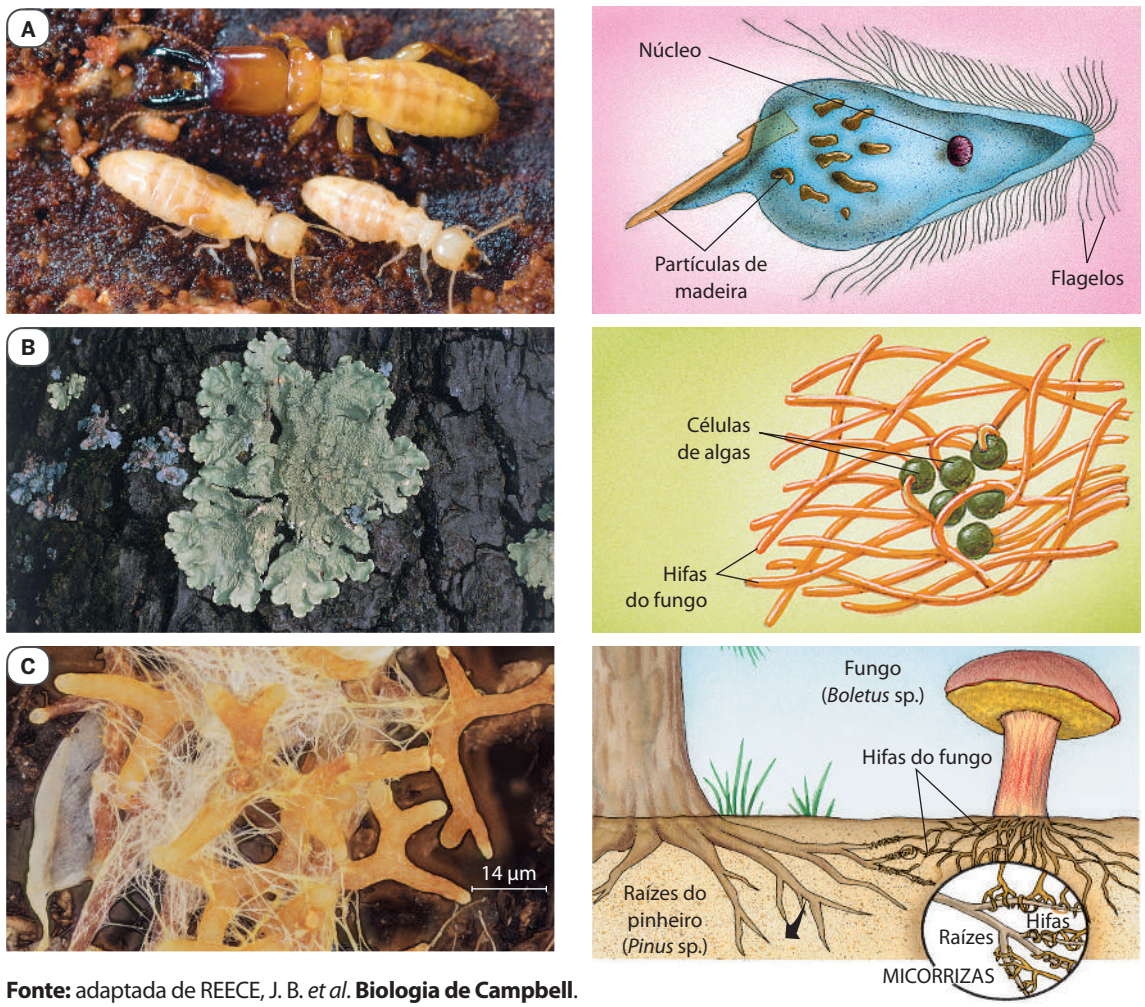
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mutualismo obrigatório é um tipo de relação ecológica permanente e indispensável à sobrevivência dos indivíduos associados. Um exemplo desse tipo de mutualismo é a interação entre certas espécies de cupim e microrganismos como bactérias e protozoários que habitam seu intestino. Apesar de se alimentarem de madeira, os cupins são incapazes de digerir seu principal componente, a celulose. A digestão da celulose é realizada pelos microrganismos que vivem exclusivamente no tubo digestivo dos cupins.

Outro exemplo de mutualismo obrigatório é o **líquen**, formado pela associação de certas espécies de algas verdes, ou de bactérias fotossintetizantes, com determinadas espécies de fungos. Por meio da fotossíntese, as algas ou as bactérias produzem a matéria orgânica que alimenta o fungo. Este, por sua vez, é capaz de absorver água e nutrientes do ambiente, que seus parceiros fotossintetizantes utilizam. Essa associação mutualística possibilita ao líquen sobreviver em locais onde nem a alga nem o fungo sobreviveriam isoladamente.

Outro exemplo de mutualismo obrigatório são as **micorrizas** (do grego, *mycos*, fungo, e *rhizos*, raiz), associação entre certos fungos e raízes de certas plantas. As hifas dos fungos penetram nas raízes e alimentam-se de carboidratos que a planta produz em sua atividade fotossintética. A planta, por sua vez, beneficia-se da capacidade do fungo em absorver água e nutrientes minerais do solo, que ela utiliza. (Fig. 23.8)

Exemplos de mutualismo



STUART WILSON/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

DEA/M. GIOVANOLI/GETTY IMAGES

STUART WILSON/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 23.8. (A) Os cupins-de-madeira (*Zootermopsis angusticollis*) abrigam em seu tubo digestivo bactérias e protozoários flagelados, responsáveis pela digestão da celulose. À direita da foto, representação esquemática do protozoário do gênero *Trichonympha*, que vive no intestino do cupim-de-madeira, cujos adultos medem cerca de 1 cm de comprimento. (B) Líquen da espécie *Lobaria scrobiculata* sobre o tronco de uma árvore. Esse líquen pode medir mais que 10 cm de diâmetro. À direita da foto, representação esquemática da relação entre a alga verde e o fungo que constituem o líquen. (C) Fotomicrografia de raízes de soja (*Glycine max*) envoltas por fungos constituindo micorrizas. (Microscópio óptico; aumento ~ 730×; cores meramente ilustrativas.) À direita da foto, representação esquemática da associação do fungo com as raízes da planta. (Ilustrações à direita fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Comensalismo e inquilinismo

Comensalismo é a relação ecológica em que uma das espécies associadas é beneficiada, enquanto a outra não tem prejuízos nem benefícios. O principal recurso buscado pelo comensal, como o nome sugere, é alimento. Um exemplo de comensalismo é a associação entre a rêmora, ou peixe-piloto, e o tubarão. A rêmora apresenta uma estrutura dorsal aderente, com a qual se prende ao corpo do tubarão. Este proporciona transporte e restos de alimento para a rêmora e parece não se importar com sua presença.

A relação entre abutres e animais carnívoros é também um tipo de comensalismo. Os abutres acompanham os carnívoros à distância, servindo-se dos restos da presa deixados por eles. (Fig. 23.9)

DESIGN PICS/ALAMY / FOTOARENA

SAVERIO GATTO/ALAMY/FOTOARENA

Figura 23.9. (A) Rêmoras (*Remora remora*) aderidas a um tubarão-limão (*Negaprion brevirostris*). O tubarão-limão pode chegar a 3 m de comprimento, e as rêmoras, a 90 cm. (B) Abutres-de-costas-brancas (*Gyps africanus*) são comensais habituais de felinos como os guepardos (*Acinonyx jubatus*). Os abutres e os guepardos medem, respectivamente, cerca de 80 cm e 1,3 m de comprimento.

Inquilinismo é a relação ecológica em que uma espécie inquilina vive sobre ou mesmo dentro de uma espécie hospedeira sem prejudicá-la. O principal recurso buscado pelo inquilino, como o nome sugere, é abrigo e moradia. Várias espécies de orquídeas, bromélias e samambaias vivem sobre plantas maiores que lhes fornecem suporte. Essas plantas inquilinas são denominadas **epífitas** (do grego *epi*, sobre, e *phytos*, planta). A vantagem das epífitas em crescer sobre plantas de maior porte é obter maior suprimento de luz para a fotossíntese, principalmente no ambiente pouco iluminado do interior das florestas. (Fig. 23.10)

Os biólogos procuram utilizar determinados critérios lógicos para caracterizar as relações entre os seres vivos mas nem sempre esses critérios se adequam à diversidade da natureza. Em certos casos, é difícil estabelecer a diferença entre inquilinismo e comensalismo, como ocorre na relação entre espécies de peixe-palhaço e anêmonas-do-mar. Os peixes-palhaço vivem entre os tentáculos das anêmonas, onde encontram abrigo e proteção. Essa relação seria caracterizada, em princípio, como inquilinismo. Entretanto, se os peixes-palhaço se aproveitarem de restos da alimentação da anêmona, além de utilizá-la como abrigo, a relação poderia ser classificada como comensalismo.

RICARDO DE PAULA FERREIRA/SHUTTERSTOCK

Figura 23.10. Bromélias (*Tillandsia geminiflora*), com cerca de 25 cm de altura sobre árvore da Mata Atlântica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

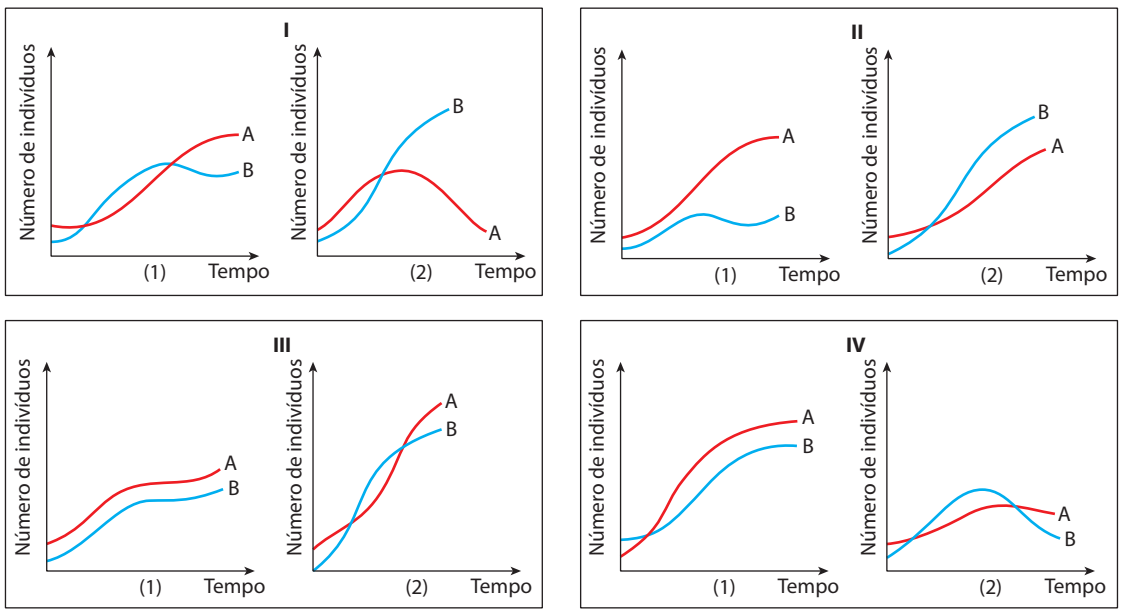
Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Identificando relações interespecíficas por meio de gráficos

Em cada quadro identificado por um algarismo romano de I a IV, há dois gráficos: o da esquerda (1) representa as curvas de crescimento de duas espécies quando estão separadas, e o da direita (2), quando elas estão juntas. Em todos os casos, as condições do meio são altamente favoráveis ao desenvolvimento das espécies.

Número de indivíduos × tempo



A DILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: dados fictícios elaborados com fins didáticos.

Questão

Qual quadro corresponderia à relação ecológica mencionada a seguir? Justifique as escolhas em frases curtas.

a) Comensalismo. **b)** Predação. **c)** Competição. **d)** Protocooperação.

Resposta

a) Comensalismo — Quadro II. Quando as espécies são colocadas juntas, os tamanhos populacionais indicam que a espécie B é beneficiada, enquanto a espécie A não é afetada.

b) Predação — Quadro I. Quando as espécies são colocadas juntas, o tamanho populacional da espécie B aumenta, em detrimento da espécie A. B seria a espécie predadora, e A, da presa.

c) Competição — Quadro IV. Quando as duas espécies vivem no mesmo ambiente, elas competem pelos mesmos recursos, o que pode levar ao declínio de ambas as espécies.

d) Protocooperação — Quadro III. Quando as duas espécies vivem no mesmo ambiente, os tamanhos populacionais de A e B aumentam, indicando tratar-se de uma relação benéfica para ambas as espécies.

O conceito de simbiose

Em 1879, o biólogo alemão Heinrich Anton de Bary (1831-1888) criou o termo **simbiose** (do grego *syn*, juntos, e *bios*, vida) para designar as associações entre indivíduos de espécies diferentes, com consequências vantajosas ou desvantajosas para pelo menos uma das partes.

Segundo a definição original, relações como o inquilinismo, o comensalismo, o mutualismo e o parasitismo são casos de simbiose. No entanto, o termo simbiose é utilizado frequentemente como sinônimo de mutualismo. Além disso, alguns autores definem simbiose como uma associação entre indivíduos de espécies diferentes em que um vive dentro ou sobre o outro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Sucessão ecológica

Sucessão ecológica é o processo ordenado de mudanças que ocorrem nas comunidades durante a colonização de um ambiente. As espécies que compõem a comunidade biológica alteram-se gradualmente, de forma ordenada e progressiva, no decorrer da sucessão ecológica.

A sucessão que ocorre em ambientes antes desprovidos de vida, onde as condições de clima e de solo são pouco favoráveis ao estabelecimento de seres vivos, como superfícies de lavas vulcânicas solidificadas, superfícies de rochas ou dunas de areia, é denominada **sucessão ecológica primária**. Nesses casos, a sucessão tem início quando certas espécies de organismos, genericamente chamadas de **espécies pioneiras**, conseguem se instalar no ambiente e abrir caminho para a chegada de outras espécies. Na colonização de dunas, por exemplo, as espécies pioneiras geralmente são certas espécies de gramíneas, cujas sementes chegaram às dunas transportadas pelo vento. As gramíneas pioneiras conseguem suportar o calor, a escassez de água e o solo pouco estável e se estabelecem na duna. À medida que as gerações de gramíneas se sucedem e são decompostas, matéria orgânica se acumula no solo, favorecendo o estabelecimento de outras espécies.

Superfícies de rochas nuas são geralmente colonizadas por liquens, que se fixam sobre as rochas e originam uma camada orgânica que pode favorecer o estabelecimento de musgos e gramíneas, iniciando a sucessão. (Fig. 23.11)

ADRIANO KIRIHARA/PULSAR IMAGENS

TARCÍSIO SCHNAIDER/PULSAR IMAGENS

Figura 23.11. (A) Plantas rasteiras sobre dunas (Santo Amaro do Maranhão, MA, 2021.) (B) Liquens, musgos, bromélias e cactáceas crescendo sobre rochas (Águia Branca, ES, 2024).

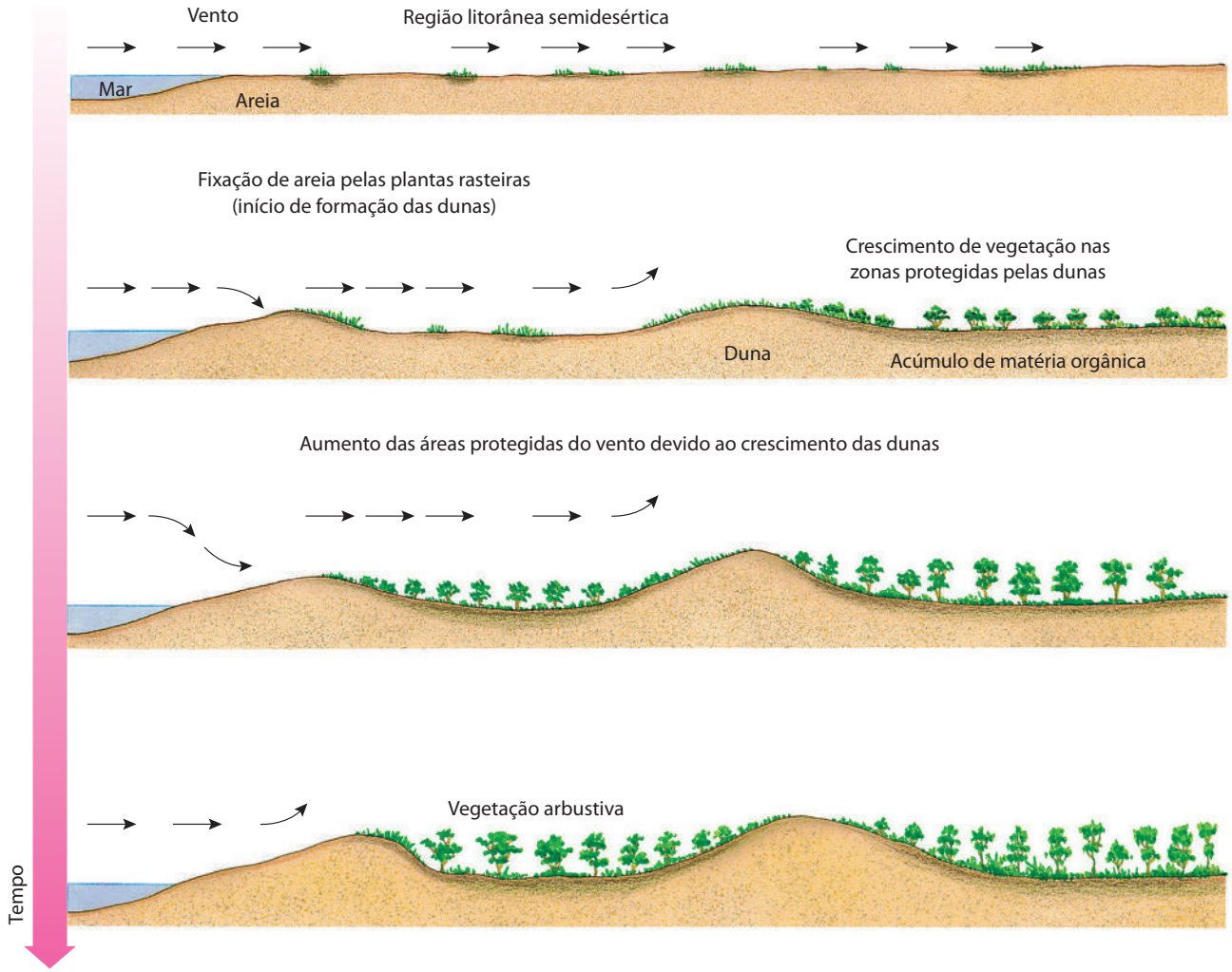
Sucessão ecológica secundária é a que ocorre em locais anteriormente ocupados por comunidades biológicas. Exemplos desse tipo de sucessão ocorrem na colonização de campos de cultivo abandonados, em regiões desflorestadas, em áreas destruídas por queimadas, em áreas anteriormente alagadas etc. Nesses casos, as mudanças geralmente ocorrem com maior rapidez do que na sucessão primária, uma vez que as condições iniciais para a colonização são geralmente mais favoráveis ao estabelecimento de seres vivos.

Tanto na sucessão ecológica primária quanto na secundária, à medida que o ambiente é colonizado ele vai gradualmente se modificando. Tendem a ocorrer variações menos bruscas na temperatura do solo, além do aumento do grau de umidade. Material orgânico resultante da decomposição dos cadáveres das espécies pioneiras acumula-se no solo, disponibilizando nutrientes e favorecendo a retenção de água. No caso da colonização de dunas, por exemplo, as raízes das plantas pioneiras contribuem para estabilizar o solo, dificultando que as partículas arenosas sejam carregadas pelo vento. As novas condições criadas pelas espécies pioneiras favorecem a chegada de outras plantas e de animais, que podem se estabelecer no local. As espécies recém-chegadas tendem a competir com as pioneiras e a eliminá-las.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As sucessivas gerações de plantas, animais e outros organismos que nascem, crescem, morrem e se decompõem no local da sucessão tornam o solo cada vez mais rico em matéria orgânica e umidade. Uma área antes desabitada passa a abrigar uma comunidade biológica que se torna cada vez mais estável e complexa. A complexidade da comunidade depende de vários fatores, entre eles o tempo que se passou desde o início da colonização, as condições climáticas do ambiente no local da sucessão e as espécies que se estabeleceram no processo. (Fig. 23.12)

Sucessão ecológica em dunas de areia



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptado de SELEÇÕES do Readers Digest. **Ao encontro da natureza**: como explorar e apreciar o mundo fascinante que o rodeia. Rio de Janeiro: Seleções Readers Digest, 1978.
Figura 23.12. Nas dunas, a vegetação pioneira contribui para a fixação da areia, o que modifica a atuação dos ventos e leva à alterações climáticas regionais. O microclima que surge é mais propício ao estabelecimento de seres vivos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As comunidades que se desenvolvem durante a sucessão contribuem para alterar a estrutura do ambiente e as condições climáticas locais. Surge assim um clima particular, denominado **microclima**, influenciado pela comunidade em sucessão e que oferece possibilidades de colonização por outras espécies. Ao longo da sucessão, as comunidades aumentam em biodiversidade e em biomassa, além de ocorrer maior estabilidade nas relações ecológicas.

O processo de sucessão ecológica leva ao estabelecimento de uma comunidade relativamente estável e adaptada às condições locais. A estabilidade da comunidade depende da rede de interações construídas ao longo da sucessão. A comunidade que se estabelece nos estágios finais da sucessão é denominada **comunidade clímax**.

Durante a sucessão ecológica rumo ao clímax ocorrem aumento na biomassa das comunidades que se sucedem, maior diversidade em espécies e diversificação de nichos ecológicos.

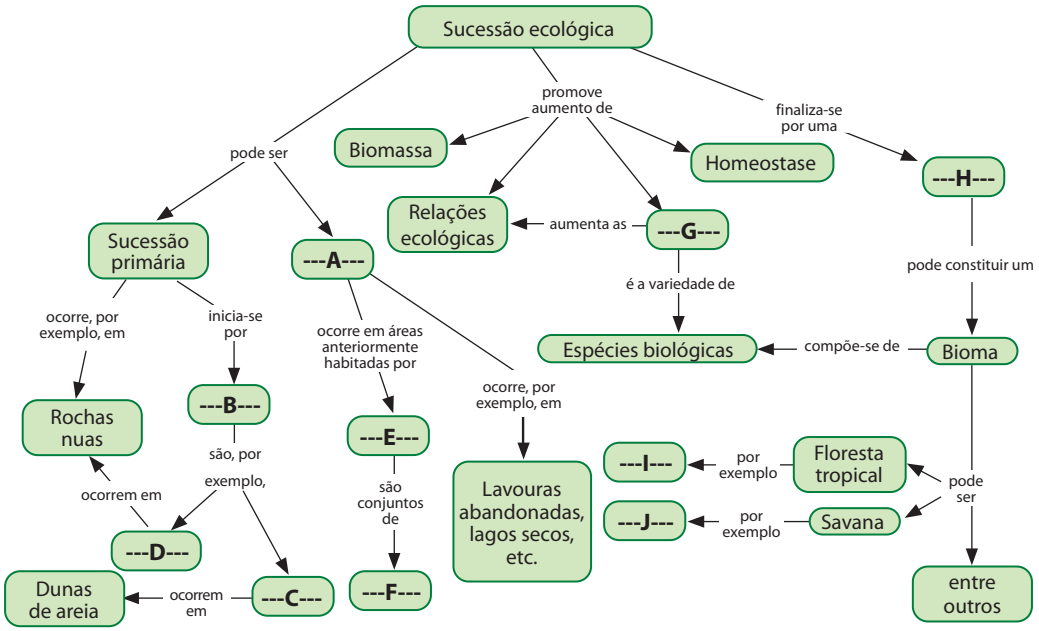
Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Mapa de conceitos sobre sucessão ecológica

O diagrama a seguir apresenta um mapa de conceitos em que 10 conceitos foram substituídos por letras de A a J. Com base na relação entre os conceitos apresentados e os conceitos omitidos, substitua as letras pelos conceitos corretos apresentados na lista.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Lista dos conceitos a serem substituídos pelas letras de A a J:

- biodiversidade
- Cerrado
- comunidades biológicas
- comunidade clímax
- espécies pioneiras
- Floresta Amazônica
- gramíneas
- liquens
- populações biológicas
- sucessão secundária

Respostas

A = sucessão secundária
B = espécies pioneiras
C = gramíneas
D = liquens
E = comunidades biológicas
F = populações biológicas
G = biodiversidade
H = comunidade clímax
I = floresta Amazônica
J = cerrado

Resolução

A letra A deve ser substituída por "sucessão secundária", que forma a proposição válida: "Sucessão ecológica pode ser **sucessão secundária**".

A letra B deve ser substituída por "espécies pioneiras", que forma a proposição válida: "Sucessão primária inicia-se por **espécies pioneiras**".

A letra C deve ser substituída por "gramíneas', que forma a proposição válida: "**Gramíneas** ocorrem em dunas de areia".

A letra D deve ser substituída por "liquens", que forma a proposição válida: "**Liquens** ocorrem em rochas nuas".

A letra E deve ser substituída por "**comunidades biológicas**", que forma a proposição válida: "Comunidades biológicas são conjuntos de F (populações biológicas)".

A letra F deve ser substituída por "populações biológicas", que forma a proposição válida: "Comunidades biológicas são conjuntos de **populações biológicas**".

A letra G deve ser substituída por "biodiversidade", que forma a proposição válida: "**Biodiversidade** é a variedade de espécies biológicas".

A letra H deve ser substituída por "comunidade clímax", que forma a proposição válida: "Sucessão ecológica finaliza-se com uma **comunidade clímax**".

A letra I deve ser substituída por "Floresta Amazônica", que forma a proposição válida: "pode ser Floresta tropical, por exemplo **Floresta Amazônica**".

A letra J deve ser substituída por "Cerrado", que forma a proposição válida: "pode ser Savana, por exemplo **Cerrado**".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Biomas e domínios morfoclimáticos do Brasil

OBJETO DIGITAL Mapa clicável: Parques nacionais brasileiros

Bioma (do grego *bio*, vida, e *oma*, grupo, ou massa) é um espaço geográfico ocupado por um ecossistema relativamente uniforme, caracterizado pelo clima, pelo solo e pela fisionomia de sua vegetação. Regiões da Terra com latitudes semelhantes, em que prevalecem condições climáticas parecidas, geralmente apresentam formações vegetais com aparências semelhantes, ou seja, biomas semelhantes.

Por exemplo, o bioma denominado Floresta Tropical predomina na faixa equatorial do planeta, tanto na América do Sul quanto na África, no sudeste da Ásia e na Oceania, embora em cada um desses locais as espécies vegetais e de animais sejam distintas. O Cerrado brasileiro é um tipo de savana, bioma presente em latitudes coincidentes na América do Sul, na África e na Austrália.

Os grandes biomas da Terra

Os grandes biomas da Terra são as tundras, as taigas, ou florestas de coníferas, as florestas temperadas, as savanas, as pradarias, as florestas tropicais e os desertos. (Fig. 23.13)

Principais biomas do mundo

ZDENĚK MAČÁT/ALAMY/FOTOARENA

Nas regiões de tundra, a neve cobre o solo durante quase todo o ano, exceto nos três meses de verão, quando uma fina camada superficial do solo descongela-se. (Finlândia, 2024.)

LAZYBEAR CO/GETTY IMAGES

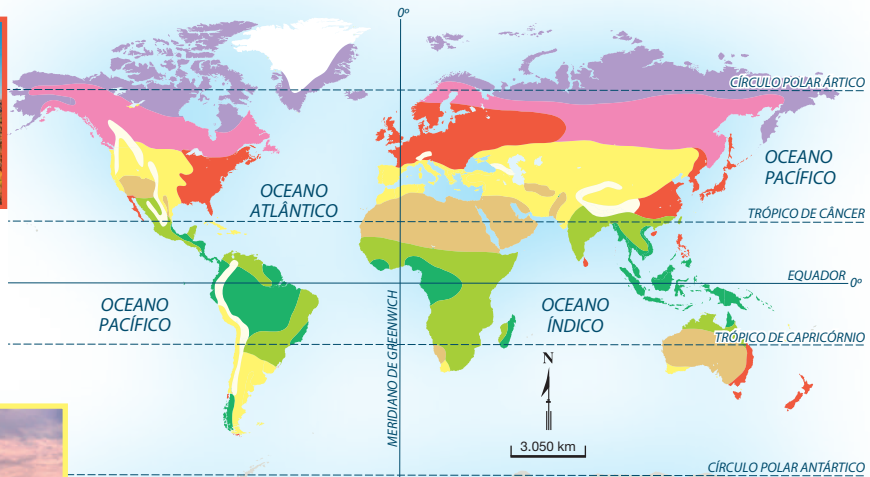
As savanas são biomas que se caracterizam pela presença de arbustos e de árvores de pequeno porte, além de gramíneas. (Uganda, 2018.)

VIKTOR KARASEV/ALAMY/FOTOARENA

Nas regiões de taiga, o clima é frio, com invernos rigorosos. Também é chamada de floresta de coníferas, por ser constituída basicamente por árvores como pinheiros e abetos. (Rússia, 2024.)

KEITH HOMAN/ALAMY/FOTOARENA

A floresta temperada é um bioma típico de regiões em que as quatro estações do ano são bem definidas. Nelas predominam árvores que perdem as folhas no fim do outono e as readquirem na primavera. (Estados Unidos, 2022.)

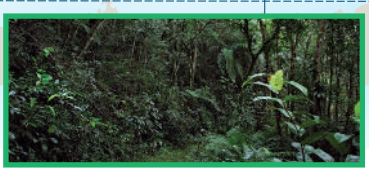


ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

BRENT COULTER/ALAMY/FOTOARENA

As pradarias são biomas cuja vegetação é constituída predominantemente por gramíneas. Esse bioma é encontrado em regiões em que há períodos de seca intensos. (Estados Unidos, 2019.)

JOAO PAULO BURINI/GETTY IMAGES



As florestas tropicais ocorrem em regiões de clima quente e com alto índice de chuvas, sem estações do ano bem definidas. A vegetação é exuberante, com árvores de grande porte e folhas que perduram ao longo das estações do ano. (São Paulo, SP, 2019.)

EMANUELE CAPOFERRI/DEPOSITPHOTOS/FOTOARENA

Os desertos são biomas localizados em regiões de baixa umidade. Animais e plantas do deserto apresentam adaptações marcantes à escassez de água. (Tunísia, 2024.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 23.13. Mapa que apresenta a distribuição dos principais biomas do mundo, cujas fisionomias são representadas nas fotografias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Domínios morfoclimáticos do Brasil

Com base em características climáticas, botânicas, hidrológicas, fitogeográficas e edáficas (relativas ao solo), o geógrafo brasileiro Aziz Ab'Sáber (1924-2012) propôs classificar as regiões naturais do Brasil em seis grandes **domínios morfoclimáticos**. Cada um desses domínios é caracterizado por um bioma principal, embora possa apresentar outros tipos de biomas inseridos em determinadas áreas.

Os seis domínios morfoclimáticos propostos por Aziz Ab'Sáber são:

- **Domínio Amazônico**, no qual predomina o bioma de florestas tropicais de terra firme, bem como os biomas de floresta de igapó inundáveis e das caatingas presentes na região do rio Negro.
- **Domínio dos Mares de Morros** (ou **Domínio Atlântico**), cujo bioma típico é a floresta pluvial costeira, embora possa incluir também áreas de restingas e de manguezais;
- **Domínio dos Cerrados**, em que predomina uma vegetação típica conhecida como cerrado;
- **Domínio das Caatingas**, em que predomina um bioma de savana semiárido, incluindo também biomas em que predomina a palmeira carnaúba (*Copernicia prunifera*);
- **Domínio das Araucárias**, em que predominam as florestas de araucárias (pinheiros-do-paraná), gimnospermas que podem atingir grande porte;
- **Domínio das Pradarias**, em que predominam os campos sulinos, conhecidos como pampas.

Além desses seis domínios há **áreas de transição**, cujos biomas apresentam características intermediárias entre os domínios propostos por Ab'Sáber, ou que não se enquadram em nenhum deles. Esse é o caso do Pantanal Mato-Grossense, constituído por um conjunto. Outros exemplos de biomas localizados em áreas de transição são as matas de cocais e os manguezais. (Fig. 23.14 A e B)

Domínios morfoclimáticos brasileiros

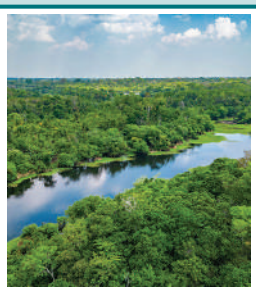
ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**. 8. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2021.

Figura 23.14A. Distribuição dos domínios morfoclimáticos brasileiros e das faixas de transição segundo o geógrafo brasileiro Aziz Ab'Sáber.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

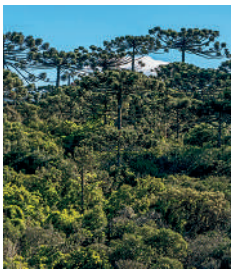
FIGURA 23.14B PRINCIPAIS DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL ODS 14 ODS 15

Domínio Amazônico			A **Floresta Amazônica**, também conhecida por **hileia amazônica**, é o principal bioma do Domínio Amazônico. A hileia se localiza na região Norte do Brasil, nos estados de Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Tocantins, Amapá e Roraima, além da parte norte de Mato Grosso e da parte oeste do Maranhão. Amazonas, 2023.
Domínio dos Mares de Morros			A **Floresta Pluvial Costeira**, ou **Floresta Atlântica**, ou **Mata Atlântica**, é o principal bioma dentro do Domínio dos Mares de Morros (Domínio Atlântico). Esse domínio está situado nas montanhas e planícies costeiras que se estendem desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. A região sul do Espírito Santo e de Cabo Frio, no Rio de Janeiro, são as únicas áreas onde esse bioma não se desenvolveu originalmente. Ubatuba (SP), 2022.

FOTOS DE CIMA PARA BAIXO: PHOTOSPIRIT/ALAMY/FOTOARENA; CESAR DINIZ/PULSAR IMAGENS. ILUSTRAÇÕES: ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

FIGURA 23.14B PRINCIPAIS DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL

Domínio das Araucárias



A **Floresta de Araucárias**, ou **Mata de Araucárias**, é o principal bioma do Domínio das Araucárias, situado principalmente nos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, em regiões com índices pluviométricos em torno de 1.400 mm anuais e temperaturas moderadas, com baixas significativas no inverno. Alguns autores referem-se a esse bioma como Floresta Subtropical Mista.

Cambará do Sul (RS), 2022.

Domínio dos Cerrados

O **Cerrado** é o principal bioma dentro do que se denomina Domínio dos Cerrados, localizado nos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Piauí, Maranhão, São Paulo e Paraná. Há também algumas "ilhas" dessa formação na região amazônica.

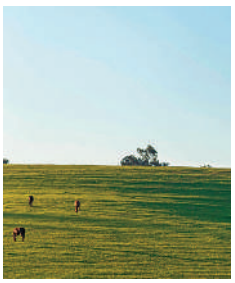
São Roque de Minas (MG), 2024.

Domínio das Caatingas

A **Caatinga** é o principal bioma do Domínio das Caatingas e ocupa cerca de 10% do território brasileiro, estendendo-se pelos estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Bahia e pelo norte de Minas Gerais.

Paraíba, 2023.

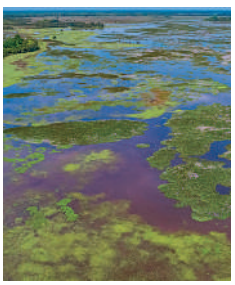
Domínio das Pradarias



Os **Campos brasileiros**, ou **Pampas**, compõem o Domínio das Pradarias. Os Pampas ocupam áreas de planície e localizam-se principalmente no sul do Rio Grande do Sul, caracterizando-se pela predominância de gramíneas.

Rio Grande do Sul, 2022.

Pantanal Mato-Grossense



Em território brasileiro, o **Pantanal** ocupa a parte oeste dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, estendendo-se pelo Paraguai, pela Bolívia e pela Argentina. O Pantanal Mato-Grossense, ou Complexo do Pantanal, é um mosaico de diferentes biomas, sendo considerado uma das principais áreas de transição entre os domínios morfoclimáticos brasileiros. É uma grande planície com partes mais elevadas, denominadas informalmente de cordilheiras. As partes mais baixas são inundadas durante as cheias periódicas dos rios que cortam a região.

Mato Grosso, 2023.

Matas de Cocais

A **Mata de Cocais**, ou **Floresta de Cocais**, ou **babaçuais**, localiza-se principalmente em certas áreas dos estados de Maranhão e Piauí. Sua espécie vegetal típica é a palmeira *Orbignya martiana*, o **babaçu**, importante economicamente para as populações locais. Das sementes da palmeira extrai-se óleo, e as folhas são utilizadas para a cobertura de casas e para a fabricação de utensílios domésticos.

Pedro do Rosário (MA), 2024.

FOTOS DE CIMA PARA BAIXO: ZÉ PAIVA/PULSAR IMAGENS; ADRIANO KIRIHARA/PULSAR IMAGENS; CACIO DE VASCONCELOS/ALAMY/FOTOARENA; ALEX RODRIGO BRONDANI/SHUTTERSTOCK; ZOONAR GMBH/ALAMY/FOTOARENA; RUBENS CHAVES/PULSAR IMAGENS. ILUSTRAÇÕES: ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

FIGURA 23.14B PRINCIPAIS DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL

Manguezais			O **Manguezal**, ou **Mangue**, é um bioma litorâneo presente em regiões de solo lodoso e salgado. É encontrado nas desembocaduras de rios e em áreas protegidas da ação direta do mar, como baías de águas paradas ou litorais guarnecidos por diques de areia. Durante a maré cheia, o solo do mangue fica coberto por água salobra. Os manguezais estendem-se por toda a costa brasileira, exceto nas regiões de litoral rochoso. Há mangues bem desenvolvidos no Pará, no Amazonas, no Maranhão, na Bahia, no Rio de Janeiro, em São Paulo e no Paraná. Santo Amaro do Maranhão (MA), 2024.

FOTO: CADU DE CASTRO/PULSAR IMAGENS.
ILUSTRAÇÃO: ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

Fonte: adaptados de AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. 8. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2021; INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

Figura 23.14B. Localização e principais características dos Domínios Morfoclimáticos do Brasil e dos principais biomas de transição.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Caracterizando o bioma do manguezal MEIO AMBIENTE

Forme um grupo de colegas para realizar esta atividade. Os objetivos desta atividade são identificar algumas características dos manguezais, ou mangues, e descobrir alguns animais desse bioma. De posse desses dados, a sugestão é que o grupo elabore uma teia alimentar de um manguezal.

Para organizar uma pesquisa na internet, o grupo pode se orientar pelas seguintes questões:

- Onde se localizam os manguezais?
- Quais as características principais desses biomas?
- Quais são os principais organismos produtores e consumidores nos manguezais?
- Qual é a importância dos manguezais para populações nativas litorâneas?

Um aspecto importante a ser pesquisado é sobre o grau de preservação dos manguezais e as principais ameaças a esses biomas litorâneos.

Com base nessas informações, o grupo pode produzir um infográfico em tamanho grande representando uma teia alimentar do manguezal. Os infográficos podem reunir imagens informativas e textos curtos que resumam os principais aspectos do assunto tratado.

5. Ecossistemas aquáticos

ODS 14

Ecossistemas marinhos

Os mares e oceanos cobrem mais de 75% da superfície do planeta Terra, com profundidades que variam de alguns metros, nas regiões litorâneas, a mais de 11 km, nas zonas mais profundas. Um dos aspectos mais marcantes do ambiente marinho é sua estabilidade e homogeneidade no que se refere à composição química e temperatura. A salinidade dos mares é de cerca de 3,5 g/L de sais, com predominância de cloreto de sódio (NaCl).

A luz consegue penetrar na água do mar até a profundidade de aproximadamente 200 m, o limite entre a **zona fótica** (do grego *photos*, luz), onde a luz solar penetra, e a **zona afótica**, onde não há luz. Na metade superior da zona fótica predominam algas e bactérias fotossintetizantes, que produzem praticamente todo o alimento necessário à manutenção da vida nos mares.

A região que se estende dos 200 m aos 2.000 m de profundidade é denominada **região batial**. Suas águas são frias e pobres em fauna. Peixes, moluscos e outros animais que vivem nessa região são sustentados por matéria orgânica proveniente da superfície.

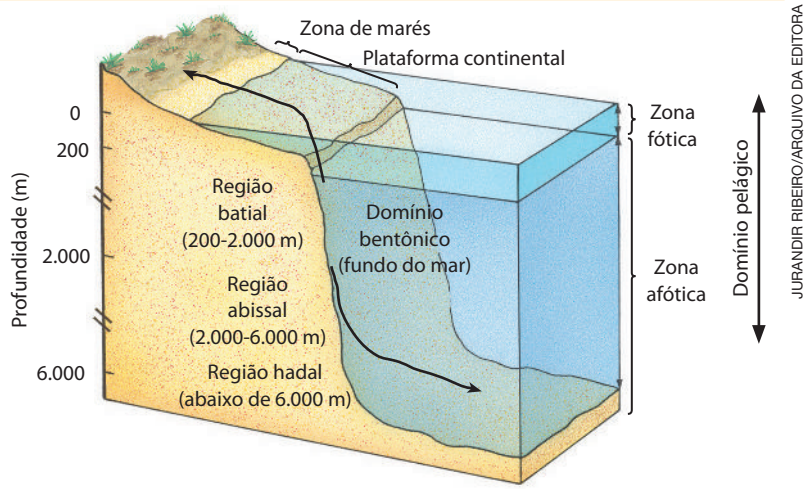
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Abaixo da região batial encontra-se a **região abissal**, que se estende dos 2.000 m aos 6.000 m de profundidade. Nela são conhecidas poucas espécies de organismos que chamam a atenção por suas características exóticas, tais como peixes bioluminescentes e lulas-gigantes.

A região mais profunda dos oceanos, abaixo de 6.000 m, é denominada **região hadal**. Sua fauna ainda é pouco conhecida, mas, pelo que se sabe, é constituída principalmente por esponjas e moluscos. (Fig. 23.15)

Os organismos que habitam os mares podem ser classificados em três grandes grupos: plâncton, bentos e nécton. O **plâncton** (do grego *plankton*, errante) é constituído por seres que são conduzidos pelas correntezas. Embora haja organismos planctônicos capazes de executar movimentos próprios, nadando ativamente, eles não conseguem superar a força das correntes, sendo arrastados por elas. O plâncton é subdividido em **fitoplâncton** (plâncton fotossintetizante) e em **zooplâncton** (plâncton não fotossintetizante). O fitoplâncton é constituído principalmente por algas microscópicas, em sua maioria diatomáceas e dinoflagelados, e por bactérias fotossintetizantes. O zooplâncton é constituído por organismos consumidores, tais como protozoários, crustáceos e cnidários, além de larvas de moluscos, de equinodermos, de anelídeos e de peixes.

Principais regiões marinhas



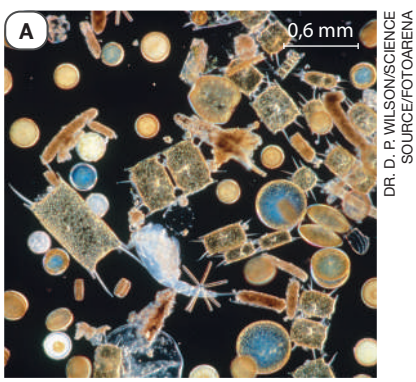
JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

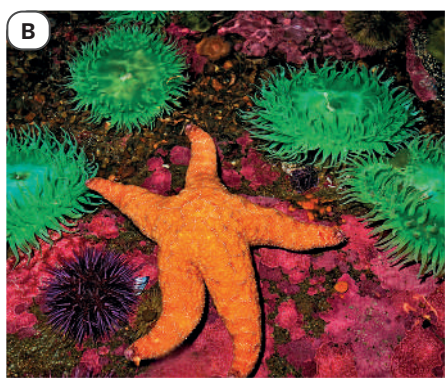
Figura 23.15. Representação esquemática das principais regiões marinhas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O termo **bentos** (do grego *benthos*, fundo do mar) designa a comunidade de organismos relacionados ao fundo marinho. Os organismos bentônicos podem ser **sésseis**, denominação que se aplica aos seres que vivem fixados ao fundo, ou **errantes**, seres bentônicos que se deslocam sobre o fundo. Os organismos bentônicos sésseis são algas de grande tamanho e animais como esponjas, cnidários e certos anelídeos. Os organismos errantes são principalmente crustáceos (camarões, caranguejos e lagostas), equinodermos (ouriços-do-mar, holotúrias e estrelas-do-mar) e também moluscos (caramujos e polvos). Os animais bentônicos geralmente se alimentam de cadáveres e detritos orgânicos, embora haja também animais carnívoros, que caçam ativamente suas presas.

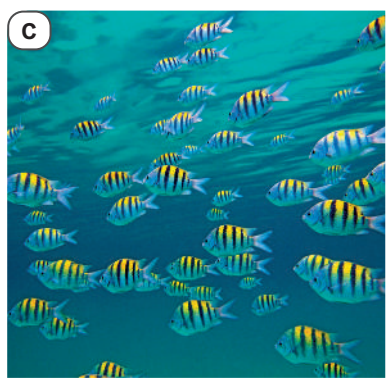
O **nécton** (do grego *nektos*, capaz de nadar) é constituído por organismos que se deslocam ativamente na água, sendo capazes de nadar contra as correntezas, diferentemente dos organismos planctônicos. O nécton é constituído por peixes, baleias, golfinhos, crustáceos, moluscos nadadores, como lulas e sépias etc. (Fig. 23.16)



DR. D. P. WILSON/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA



MARK CONLIN/ALAMY/FOTOARENA



DAMSEA/SHUTTERSTOCK

Figura 23.16. (A) Fotomicrografia de componentes do fitoplâncton, o plâncton fotossintetizante. (Microscópio fotônico; aumento ~ 40×.) (B) As estrelas-do-mar do gênero *Pisaster* e as anêmonas da espécie *Anthopleura xanthogrammica* são exemplos de animais bentônicos. *Pisaster* sp. pode atingir 70 cm de um braço a outro, e *Anthopleura xanthogrammica* pode atingir 25 cm de diâmetro. (C) Cardume de peixes-sargentos (*Abudefduf saxatilis*), animais do nécton que medem entre 8 cm e 15 cm de comprimento.

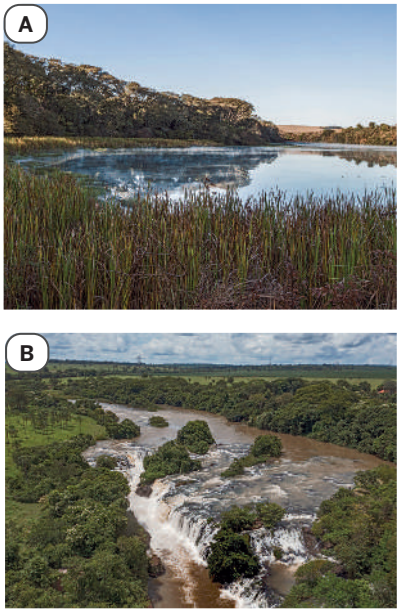
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ecossistemas de água doce

Uma característica importante dos ecossistemas de água doce é se eles apresentam águas paradas, como ocorre em lagos, lagoas e charcos, ou se a água está em movimento, como em rios, riachos e corredeiras. Lagos, lagoas e charcos geralmente apresentam maior biodiversidade do que os ecossistemas de águas em movimento.

Os produtores nas águas paradas são organismos fotossintetizantes representados por plantas que vivem parcial ou totalmente submersas e pelo fitoplâncton. Os organismos de maior porte nos ecossistemas de águas paradas são os peixes. Os maiores ecossistemas lacustres do mundo são o lago Baikal, localizado na Sibéria, e o lago Tanganica, na África.

Ecossistemas de águas em movimento apresentam pouco plâncton. Seus habitantes são algas fixadas a rochas e moluscos, insetos e peixes que dependem de alimento proveniente das margens. (Fig. 23.17)



ERNESTO REGHRAN/PULSAR IMAGENS

RICARDO TELES/PULSAR IMAGENS

Figura 23.17. (A) Vista aérea de lago (Santa Mariana, PR, 2021). (B) Rio Claro (São Simão, SP, 2024).

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Nicho ecológico é
1.b
a. a parte da comunidade biológica representada por seres vivos.
b. o conjunto de relações de uma espécie no hábitat.
c. o local do biótopo em que vive a espécie.
d. o mesmo que biocenose.
e. o mesmo que hábitat.

2. "Um pequeno pássaro, conhecido por paliteiro, entra sem medo na boca do crocodilo do rio Ganges, removendo sanguessugas e detritos das gengivas do réptil. O crocodilo não come o pássaro e parece abrir a boca propositalmente para a atuação da ave." De acordo com a descrição, a relação ecológica entre o pássaro e o crocodilo pode ser classificada como
2.d
a. comensalismo.
b. competição interespecífica.
c. inquilinismo.
d. mutualismo facultativo (protocooperação).
e. mutualismo obrigatório.

3. Térmitas são organismos que vivem em grandes cidadelas construídas de barro, chamadas popularmente de "cupinzeiros". Os indivíduos de um cupinzeiro repartem funções e todos cooperam para o bem-estar do grupo. Qual das relações ecológicas melhor se aplica à associação que ocorre entre as térmitas?
3.e
a. Colônia.
b. Nicho ecológico.
c. Protocooperação.
d. Mutualismo.
e. Sociedade.

4. Certos insetos, entre os quais se destacam abelhas e vespas, visitam flores coletando pólen e néctar, utilizados como alimento para as colmeias. Ao visitar diversas flores durante seu trabalho, os insetos transportam pólen de uma flor para outra, atuando como agentes polinizadores que auxiliam na reprodução das plantas. Certas espécies de planta são altamente adaptadas a determinadas espécies de inseto polinizador e dependem exclusivamente delas para se reproduzir. Em outras plantas, a polinização pode ser feita por diversas espécies de inseto e até mesmo pelo vento. Como você classificaria o tipo de interação entre os insetos polinizadores e as plantas por eles polinizadas? Considere, em sua análise, tanto os casos em que o agente polinizador é altamente específico para a espécie vegetal, com alta interdependência, como os casos em que não há essa especificidade.

5. As aves conhecidas como pica-paus têm a língua alongada com um gancho na ponta. Para se alimentar, eles introduzem esse órgão nas cavidades de troncos de árvores (essas cavidades são causadas por larvas de insetos brocas), retirando dali larvas que lhes servem de alimento. Sabendo que as brocas são extremamente prejudiciais à saúde das plantas, classifique o tipo de relação que existe entre:
a. as brocas e as árvores onde elas vivem;
b. os pica-paus e as brocas;
c. os pica-paus e as árvores.

6. A sucessão ecológica caracteriza-se
6.b
a. pela introdução, em uma comunidade, de uma espécie bem-sucedida em outro ecossistema.
b. pela colonização de um ambiente com sucessivas

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

mudanças nas comunidades biológicas.

c. pelo fim do processo evolutivo da comunidade biológica, com extinção da maioria das espécies, incluindo as pioneiras.

d. pelo grande sucesso ecológico de uma espécie na comunidade.

7. Uma comunidade estável que se estabelece em uma região após um processo de sucessão é
7.c

a. sempre uma floresta.

b. sempre uma savana.

c. sempre uma comunidade clímax.

d. uma sucessão primária.

e. uma sucessão secundária.

8. Uma diferença entre sucessão primária e sucessão secundária é
8.a

a. o tipo de ambiente existente no início da sucessão.

b. o tipo de comunidade clímax que se estabelece em cada caso.

c. o tempo de duração da sucessão, mais rápido na sucessão primária.

d. o fato de a sucessão secundária levar a menor biodiversidade.

9. Zebras pastavam gramíneas quando foram atacadas por um bando de leões. Em que bioma isso deve ter ocorrido?
9.d

a. Deserto.

b. Floresta tropical.

c. Floresta temperada.

d. Savana.

e. Tundra.

10. Um bioma brasileiro do tipo savana tem aspecto ressecado e pequenas árvores e arbustos retorcidos. Essas características são mais influenciadas pela composição do solo do que pela falta de chuvas. Está-se falando de
10.b

a. caatinga.

b. cerrado.

c. floresta amazônica.

d. mata atlântica.

e. mata de cocais.

Associe cada uma das alternativas a seguir às questões de 11 a 13.

a. bentos

b. nécton

c. fitoplâncton

d. zooplâncton

11. Diatomáceas, dinoflagelados e algas verdes pertencem a (■).
11.c

12. Estrelas-do-mar e vermes poliquetos pertencem a (■).
12.a

13. O tubarão é um representante de (■).
13.b

Questões de vestibulares

14. (UFC-CE) Uma espécie de anfíbio apresenta fase larval aquática e onívora e fase adulta terrestre e carnívora. Nessa frase, encontramos os conceitos de
14.e

a. teia alimentar e hábitat.

b. biocenose e pirâmide de energia

c. teia alimentar e nicho ecológico.

d. ecossistema e biocenose.

e. hábitat e nicho ecológico.

15. (Unifesp) A raflésia é uma planta asiática que não possui clorofila e apresenta a maior flor conhecida, chegando a 1,5 metro de diâmetro. O caule e a raiz, no entanto, são muito pequenos e ficam ocultos no interior de outra planta em que a raflésia se instala, absorvendo a água e os nutrientes de que necessita. Quando suas flores se abrem, exalam um forte odor de carne em decomposição, que atrai muitas moscas em busca de alimento. As moscas, ao detectarem o engano, saem da flor, mas logo pousam em outra, transportando e depositando no estigma desta os grãos de pólen trazidos da primeira flor. O texto descreve duas interações biológicas e um processo, que podem ser identificados, respectivamente, como
15.e

a. inquilinismo, mutualismo e polinização.

b. inquilinismo, comensalismo e fecundação.

c. parasitismo, mutualismo e polinização.

d. parasitismo, comensalismo e fecundação.

e. parasitismo, comensalismo e polinização.

16. (UFSCar-SP) A substituição ordenada e gradual de uma comunidade por outra, até que se chegue a uma comunidade estável, é chamada sucessão ecológica. Nesse processo, pode-se dizer que o que ocorre é
16.e

a. a constância de biomassa e de espécies.

b. a redução de biomassa e maior diversificação de espécies.

c. a redução de biomassa e menor diversificação de espécies.

d. o aumento de biomassa e menor diversificação de espécies.

e. o aumento de biomassa e maior diversificação de espécies.

17. (Fuvest-SP)

a. Apesar de o predatismo ser descrito como uma interação positiva para o predador e negativa para a presa, pode-se afirmar que os predadores têm um efeito positivo sobre a população de presas. Explique como uma população de presas pode ser beneficiada por seus predadores.

b. Alguns ecologistas consideram os herbívoros comedores de sementes como predadores das populações de plantas que lhes fornecem alimento. Já os herbívoros que se alimentam apenas de folhas são considerados parasitas das plantas que comem. Justifique essas classificações.

18. (UFC-CE) O processo de sucessão ecológica compreende uma série de estágios do desenvolvimento de uma comunidade. Com relação a esse fenômeno:

a. estabeleça a diferença entre a sucessão primária e a sucessão secundária;

b. explique o significado do termo "comunidade clímax".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 24

Humanidade e ambiente

COSTFOTO/NURPHOTO/GETTY IMAGES

Os "ecotelhados" em prédios na província de Zhejiang, na China, representam uma ação pela sustentabilidade (foto de 2024).

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 24 de Física desta coleção.

A importância do assunto

O desenvolvimento da sociedade industrial e o grande crescimento da população humana nos dois últimos séculos têm causado impactos ambientais sem precedentes: poluição do ar, da água e do solo; aumento da temperatura global; destruição da camada de ozônio que protege a Terra da radiação ultravioleta; esgotamento das fontes de energia e de outros recursos naturais; extinção de espécies etc.

Esses problemas se relacionam à explosão demográfica e aos modelos vigentes de desenvolvimento industrial e tecnológico. Por outro lado, a espécie humana, como as outras espécies animais, necessita explorar os recursos do ambiente para sobreviver. Seres humanos têm que comer outros seres vivos para obter energia e matéria-prima essenciais à vida. Além disso, é preciso combater as espécies que podem causar doenças, tais como vírus, bactérias, fungos, vermes, insetos etc., e aquelas que disputam conosco o alimento, tais como espécies parasitas e pragas que atingem as lavouras.

O grande desafio do século XXI é descobrir qual é a capacidade de suporte ambiental para a espécie humana e não ultrapassar esse limite. Para isso devemos utilizar conscientemente os recursos disponíveis e encontrar modos eficientes de descartar com segurança os resíduos que produzimos. Só assim será possível racionalizar e reduzir o impacto humano sobre o ambiente, garantindo um mundo habitável para as próximas gerações. Esse é o princípio básico da **sustentabilidade ambiental**. É importante, também, refletir sobre a conservação ambiental, o que pode contribuir para uma sociedade futura mais equilibrada.

A proteção e a restauração dos ecossistemas naturais devem ser prioridade de todos os povos da Terra. Nesse contexto, a Ecologia torna-se indispensável, pois para desenvolver estratégias globais de utilização dos recursos naturais é fundamental conhecer a composição e o funcionamento dos ecossistemas. Cuidar do planeta é, hoje, uma responsabilidade de todos os cidadãos do mundo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. O conceito de sustentabilidade

ODS 7 ODS 11 ODS 12 ODS 13

Danos ambientais resultantes do crescimento populacional e do conceito vigente de desenvolvimento econômico têm levado pessoas de diversos países a repensar seu modo de vida. Uma comissão de estudos ambientais apresentou, em 1987, uma ideia que foi amadurecida ao longo da década de 1970: o conceito de **sustentabilidade ambiental**, inicialmente denominado **desenvolvimento sustentável**. A ideia central da sustentabilidade ambiental é atender às necessidades essenciais da humanidade sem comprometer a capacidade das futuras gerações de obter o necessário a uma vida digna. Em outras palavras, cada geração teria o compromisso de deixar para as gerações seguintes um ambiente equivalente, ou melhor, do que aquele que foi deixado por seus antecessores. Esse deveria ser o princípio norteador das ações e das atividades humanas em relação ao ambiente.

Os princípios da sustentabilidade ambiental podem e devem ser aplicados a diversos aspectos da relação da humanidade com o ambiente. Por exemplo, ao explorar os recursos de florestas e de outros ambientes naturais, é preciso replantar espécies nativas para permitir sua perpetuação. Outra ação importante para o desenvolvimento sustentável é investir no estudo e no desenvolvimento de fontes de energia renováveis, tais como biocombustíveis, energia eólica, energia solar e energia hidrelétrica, substituindo gradativamente a matriz energética atual, que prioriza combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral. Economizar água em casa também é coerente com os princípios da sustentabilidade, uma vez que ajuda a garantir a disponibilidade desse precioso recurso natural às gerações que virão depois de nós.

Embora a ideia central da sustentabilidade ambiental pareça simples, sua implementação é complexa e requer a parceria ativa de diversos setores da sociedade: governos, iniciativa privada, instituições de ensino e de pesquisa, mídia (TV, internet, imprensa), educadores e estudantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

MEIO AMBIENTE ODS 7 ODS 11 ODS 12 ODS 13 ODS 17

Princípios para uma sociedade sustentável

Forme um grupo de colegas para refletir e aprofundar a discussão sobre princípios do desenvolvimento sustentável, apresentados a seguir.

O grupo pode discutir os princípios e pensar em seus aspectos práticos. Que ações positivas os membros do grupo, da escola e da comunidade poderiam realizar em favor da sustentabilidade? Por exemplo, atitudes em prol da sustentabilidade são racionalizar o consumo de água na escola ou em casa e separar os diferentes tipos de resíduos, a fim de facilitar sua reciclagem. Em muitos casos, as ações individuais se integram para solucionar problemas. Um conhecido jargão ambientalista propõe: "Pensar globalmente, agir localmente". O grupo pode elaborar murais e painéis de divulgação que apresentem metas e objetivos de desenvolvimento sustentável, ressaltando sua importância para o futuro da humanidade.

A seguir, alguns princípios para uma sociedade sustentável que constam do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). Foram feitas algumas pequenas adaptações ao texto, para torná-lo o mais claro possível.

- **Cuidar da comunidade dos seres vivos e respeitá-la**. Trata-se de um princípio ético que reflete o dever de nos preocuparmos com as outras pessoas e com outros seres vivos, agora e no futuro.
- **Melhorar a qualidade da vida humana**. Esse deveria ser o verdadeiro objetivo do desenvolvimento, ao qual o crescimento econômico deve estar atrelado: possibilitar aos seres humanos perceber seu potencial, obter autoconfiança e ter uma vida plena de dignidade e satisfação.
- **Conservar a vitalidade e a diversidade da vida no planeta Terra**. O desenvolvimento deve garantir proteção da estrutura, das funções e da diversidade dos sistemas naturais do planeta, dos quais a humanidade tem absoluta dependência.
- **Minimizar o esgotamento de recursos não renováveis como minérios, petróleo, gás e carvão mineral**. Tais recursos não podem ser usados de maneira sustentável porque não são renováveis, pelo menos na escala de tempo humana. Mas esses recursos podem ser gradativamente substituídos por formas mais limpas de energia, o que pode minimizar o impacto ambiental. Recursos não renováveis devem ser utilizados de modo que suas reservas sejam prolongadas por meio de reciclagem, de sua

CONTINUA

utilização em quantidades menores e decrescentes ou pela sua substituição por recursos renováveis, quando possível.

- **Permanecer nos limites de capacidade de suporte do planeta Terra**. Infelizmente, ainda não se conhecem exatamente os limites da capacidade de suporte do ambiente terrestre para a população humana. Mas, sem dúvida, há limites já visíveis para o impacto que os ecossistemas e a biosfera podem suportar. Poucas pessoas consumindo muito podem causar o mesmo efeito ambiental que muitas pessoas consumindo pouco. É importante adotar políticas que equilibrem as necessidades das pessoas à capacidade de suporte da natureza.
- **Modificar atitudes e práticas pessoais**. Para adotar a ética de viver sustentavelmente as pessoas precisam reexaminar seus valores e alterar seu comportamento. A sociedade deve promover atitudes que apoiem uma nova ética de consumo e que desfavoreçam as que não se adequam ao modo de vida sustentável.
- **Permitir que as comunidades cuidem de seu próprio ambiente**. É nas comunidades que as pessoas desenvolvem a maioria das atividades produtivas e criativas. A gestão de recursos e de pessoas no nível comunitário constitui a forma mais acessível de dar voz às opiniões e à tomada de decisões sobre iniciativas e situações que afetam a comunidade.
- **Gerar uma estrutura nacional para integrar desenvolvimento e conservação**. Essa estrutura deve garantir uma base de informação e de conhecimento, leis e instituições, políticas econômicas e sociais coerentes. A estrutura de integração deve ser flexível e racionalizável. Deve considerar as particularidades de cada região e compreendê-las de modo integrado, centrado nas pessoas e nos fatores sociais, econômicos, técnicos e políticos que influem na sustentabilidade, principalmente na geração e distribuição de riqueza e bem-estar.
- **Constituir uma aliança global**. Hoje, mais do que nunca, a sustentabilidade do planeta depende da confluência das ações de todos os países. As desigualdades gritantes entre ricos e pobres são prejudiciais a todos. A ética do cuidado com a Terra se aplica a todos os níveis: internacional, nacional e individual. As nações só têm a ganhar com a sustentabilidade mundial e todas estarão ameaçadas caso não consigamos alcançar esse objetivo.

Breve histórico do movimento ambientalista

OBJETO DIGITAL
Podcast:
Leis ambientais

Na década de 1960, surgiram ações governamentais em diversos países visando proteger e conservar os ambientes e os recursos naturais. A primeira lei ambiental para o controle da poluição foi promulgada em 1967, no Japão. O desenvolvimento econômico japonês no período pós-guerra fez a poluição atingir níveis nunca atingidos, obrigando o governo japonês a punir empresas poluidoras.

Em 1970, os Estados Unidos criaram sua Agência de Proteção Ambiental (EPA, do *inglês Environmental Protection Agency*). Em 1972, ocorreu a Conferência das Nações Unidas para o Ambiente Humano, em Estocolmo (Suécia). O ponto alto desse encontro, que teve a participação de 113 países, foi o reconhecimento da natureza global dos problemas ambientais e da necessidade de todos os países buscarem uma solução conjunta para eles.

Em 1973, ocorreu uma crise internacional envolvendo países exportadores de petróleo e grandes empresas petrolíferas (OPEP, Organização dos Países Exportadores de Petróleo), crise que voltou a se repetir em 1979. Isso fez o mundo perceber o possível esgotamento das reservas de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral. Um dos resultados positivos das crises do petróleo foi chamar a atenção para a racionalização do consumo de combustíveis e a busca por fontes alternativas de energia.

Na década de 1980, as observações e análises científicas mostraram que a camada de ozônio atmosférica, que filtra a radiação ultravioleta proveniente do Sol, estava sendo destruída pela liberação industrial de certos gases, principalmente os clorofluorocarbonos (CFCs). Em resposta a esse novo desafio, realizou-se, em 1985, em Viena (Áustria), um fórum no qual foi criada a Convenção de Proteção à Camada de Ozônio. Segundo dados da Nasa (do inglês *National Aeronautics and Space Administration*), a destruição da camada de ozônio foi atualmente contida. Outro avanço ocorrido em 1987 foi a publicação de um relatório pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Comissão Brundtland), em que se apresentou o conceito de desenvolvimento sustentável, depois chamado de sustentabilidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em 1992, após dois anos de preparação, ocorreu no Rio de Janeiro uma nova Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, ou Rio-92. Esse encontro ampliou ideias e resoluções da Conferência de Estocolmo, realizada vinte anos antes. A ECO-92 lançou a chamada Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, que entrou em vigor em 1994 e foi ratificada por 165 países. O objetivo da convenção era estabilizar as emissões de gases causadores do aumento do efeito estufa para minimizar as alterações causadas no sistema climático planetário. Segundo o compromisso acertado, que ficou conhecido como Agenda 21, os países desenvolvidos teriam de reduzir, até o ano 2000, suas emissões de gases de efeito estufa aos níveis de 1990.

Em 1997, foi assinado o Protocolo de Kyoto, segundo o qual, até o período entre 2008 e 2012, os países industrializados se comprometeriam a reduzir pelo menos 5% as emissões de gases do efeito estufa em relação aos níveis de 1990. Em 2001 e 2002, foram adicionados complementos ao Protocolo de Kyoto, que foi ratificado por muitos países. Os Estados Unidos, um dos países que mais emitem gases do efeito estufa do mundo, no entanto, não assinaram o protocolo.

Em 2012, ocorreu a Conferência da ONU sobre o Desenvolvimento Sustentável na cidade do Rio de Janeiro, denominada Rio+20. O encontro reuniu 193 representantes de diversos países e teve acompanhamento mundial. O encontro avaliou políticas ambientais adotadas e produziu um documento intitulado *O futuro que queremos*, com diversos compromissos para a sustentabilidade. As críticas ao encontro foram quanto à falta de clareza e de objetividade. Tampouco foram estabelecidas metas realistas para os países reduzirem a emissão de poluentes e preservarem ou recuperarem suas áreas naturais.

Em 2015, a ONU propôs aos seus países membros uma nova agenda de desenvolvimento sustentável para os próximos 15 anos, a Agenda 2030, composta de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Ao longo deste livro há selos relacionando os conteúdos trabalhados a alguns dos ODS.

Em novembro e dezembro de 2022, foi realizada em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, a COP 28 (28ª Conferência das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima). Uma das polêmicas envolvendo a COP 28 foi a escolha do local da conferência, os Emirados Árabes, um dos maiores exportadores de petróleo, combustível cuja queima contribui muito para a crise climática. Um fato positivo, entretanto, foi que, pela primeira vez em três décadas, cerca de 200 países concordaram em eliminar gradualmente os combustíveis fósseis de suas matrizes energéticas.

OBJETO DIGITAL Mapa clicável: Ameaças ambientais

2. Poluição e desequilíbrios ambientais

ODS 6 ODS 11 ODS 13

Poluição (do latim *poluere*, manchar, sujar) é a presença concentrada no ambiente de determinadas substâncias ou agentes físicos, genericamente denominados **poluentes**, produzidos direta ou indiretamente pela ação humana e que podem afetar a vida de uma ou mais espécies das comunidades biológicas. As atividades humanas, principalmente nas sociedades industrializadas, geram diversos tipos de poluentes: resíduos dos mais diversos tipos, fumaça, resíduos industriais e gases, liberados pelo escapamento de veículos motorizados, além da grande quantidade de resíduos orgânicos, como excrementos e urina.

A poluição ambiental decorrente do desenvolvimento industrial já provocou grandes tragédias. Em Londres, por exemplo, no inverno de 1952, as condições climáticas impediram a dispersão dos poluentes liberados pelos automóveis, pelas fábricas e pelos sistemas de aquecimento das residências. Mais de 4 mil pessoas morreram em poucos dias por problemas respiratórios causados pelos poluentes concentrados na baixa atmosfera. Nos dois meses seguintes, mais de 8 mil pessoas morreram de enfermidades motivadas ou agravadas por aquela onda de poluição.

O esclarecimento e a educação da população podem contribuir para o controle da poluição. Somente uma sociedade civil amplamente organizada e informada será capaz de manter atitudes sustentáveis e de exercer fiscalização ambiental rigorosa e sistemática, exigindo das autoridades a criação de leis ecológicas eficientes e, principalmente, o seu cumprimento.

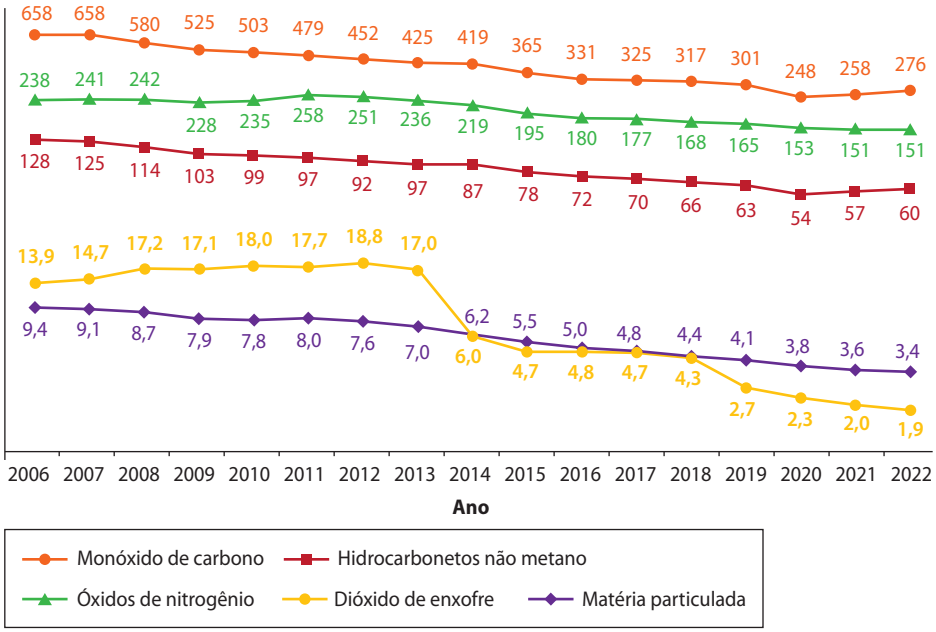
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Poluição atmosférica

As principais fontes de **poluição atmosférica** são as emissões de gases provenientes dos motores de veículos, as emissões de gases tóxicos pelas indústrias (siderúrgicas, fábricas de cimento e de papel, refinarias etc.), a incineração do resíduo doméstico e as queimadas de campos e florestas.

As atividades humanas, chamadas de **atividades antrópicas** (do grego *antropos*, ser humano), são responsáveis pela liberação na atmosfera de milhões de toneladas anuais de gases, entre eles o gás carbônico (CO_2), o monóxido de carbono (CO), o ozônio (O_3), o dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e diversos tipos de hidrocarbonetos, além de material particulado constituído por poeira, fumaça e micropartículas de materiais sólidos e líquidos em suspensão no ar. (Fig. 24.1)

Emissões de poluentes atmosféricos no estado de São Paulo (2006 - 2022)



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade do ar no estado de São Paulo**, 2023. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2024/08/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 24.1. Gráfico das emissões dos principais poluentes atmosféricos no estado de São Paulo entre 2006 e 2022.

Um dos poluentes mais nocivos à saúde dos habitantes das grandes metrópoles é o **monóxido de carbono** (**CO**), gás incolor, inodoro, extremamente tóxico aos seres humanos e a outros animais. O CO é produzido na queima incompleta de moléculas orgânicas e suas principais fontes emissoras são os motores a combustão de veículos como automóveis, motocicletas, ônibus e caminhões. O CO combina-se de maneira irreversível com a hemoglobina do sangue, inutilizando-a para o transporte de gás oxigênio. A exposição prolongada de uma pessoa ao monóxido de carbono pode levar à perda de consciência e à morte. Os principais sintomas da intoxicação por esse gás são asfixia e aumento dos ritmos respiratório e cardíaco.

O **ozônio** (O_3) é um gás normalmente presente na atmosfera da Terra. Cerca de 10% do O_3 atmosférico estão na troposfera, a camada atmosférica mais próxima da superfície terrestre, cuja espessura varia entre 6 km, nos polos, a 20 km, nas latitudes médias. Os 90% restantes do ozônio estão na camada atmosférica seguinte, a estratosfera, que chega a 50 km de altitude.

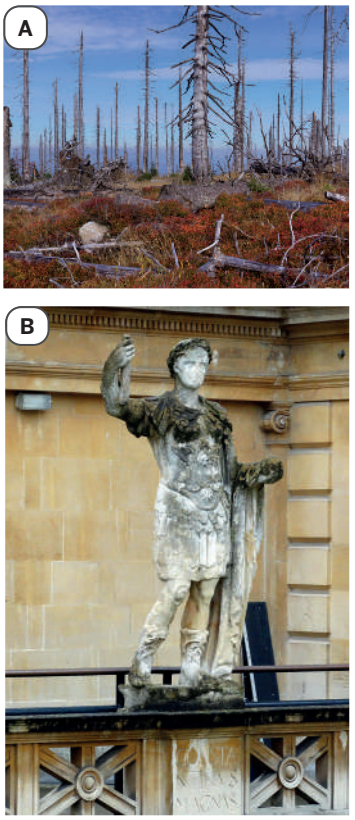
O ozônio constitui uma camada na atmosfera capaz de filtrar parte das radiações ultravioletas solares prejudiciais aos seres vivos. Entretanto, quando próximo ao solo, o O_3 é um gás poluente, que provoca irritação nos olhos e problemas respiratórios, além de danos à vegetação. Poluentes liberados pelos veículos motorizados nas grandes cidades potencializam a reação de formação de O_3 na baixa atmosfera, situação agravada nos meses de inverno por conta de inversões térmicas (estudadas a seguir).

Outro poluente atmosférico potencialmente perigoso é o **dióxido de enxofre** (**SO_2**), gás proveniente da queima industrial de combustíveis como o carvão mineral e o óleo diesel, que contêm enxofre como impureza. O SO_2, juntamente com o **dióxido de nitrogênio** (**NO_2**), pode causar bronquite, asma e enfisema pulmonar. Ao reagir com o vapor de água da atmosfera, esses óxidos podem levar

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

à formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e de ácido nítrico (HNO_3), que se dissolvem nas nuvens e se precipitam na forma de **chuvas ácidas**. Em países da Europa Oriental, em que a produção de energia é baseada na queima de carvão mineral e óleo diesel, as chuvas ácidas têm provocado grandes danos à vegetação, além de corroer construções e monumentos. (Fig. 24.2)

A **matéria particulada** suspensa no ar é produzida principalmente pelo desgaste de pneus e de freios de automóveis e pela combustão de óleo diesel. Outras fontes de partículas poluidoras da atmosfera são usinas siderúrgicas e fábricas de cimento, estas últimas também responsáveis pela liberação de sílica (SiO_2) para o ar. A sílica e o amianto, quando se encontram na forma de micropartículas em suspensão no ar, podem causar doenças pulmonares graves como fibroses e enfisemas.



DAITOZEN/GETTY IMAGES

WORLD HISTORY ARCHIVE/ALAMY/FOTOARENA

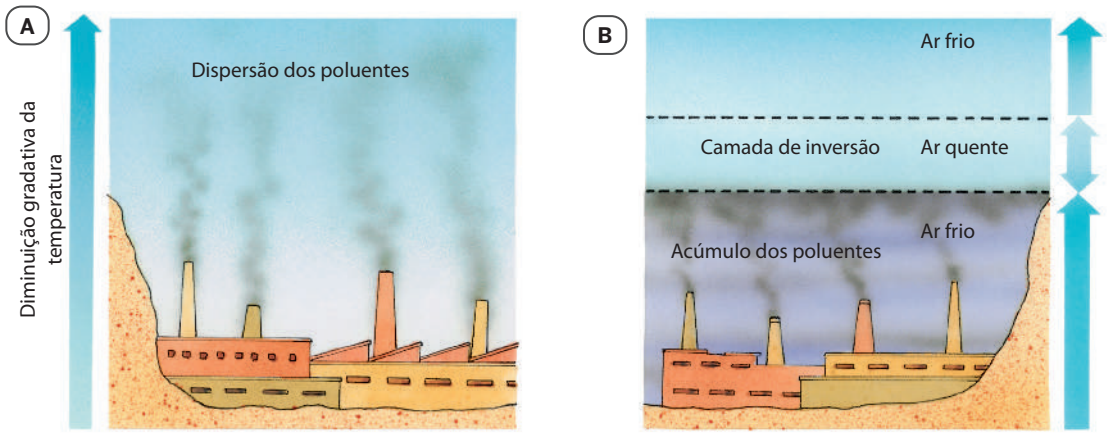
Figura 24.2. (A) Floresta degradada por chuvas ácidas (Alemanha, 2017). (B) Escultura danificada pela chuva ácida (Reino Unido, 2015).

Inversão térmica

Em condições normais, as camadas mais baixas da atmosfera são mais quentes porque recebem o calor irradiado pela superfície terrestre. O ar aquecido na superfície tende a subir, carregando poluentes eventualmente presentes em suspensão. O ar quente que sobe é substituído por ar mais frio, que desce, este é aquecido e torna a subir. Os movimentos ascendentes e descendentes do ar são denominados **correntes de convecção**, ou **correntes convectivas**, sendo responsáveis pela dispersão contínua dos poluentes para a alta atmosfera.

Nos meses de inverno, o solo pode esfriar a ponto de causar resfriamento significativo da camada mais baixa de ar atmosférico, fenômeno denominado **inversão térmica**. Essa camada de ar mais frio, aprisionada entre o solo e uma camada de ar mais quente, interrompe os movimentos de convecção, levando os poluentes a se concentrarem na camada junto ao solo. As inversões térmicas em grandes centros urbanos podem causar irritação nas mucosas das vias aéreas e diversos problemas respiratórios. (Fig. 24.3)

Dispersão de poluentes do ar e inversão térmica



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. **Temperature inversion**. Disponível em: https://scied.ucar.edu/image/temperature-inversion. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 24.3. Representação esquemática da dispersão de poluentes do ar em situação normal (A) e em situação de inversão térmica (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

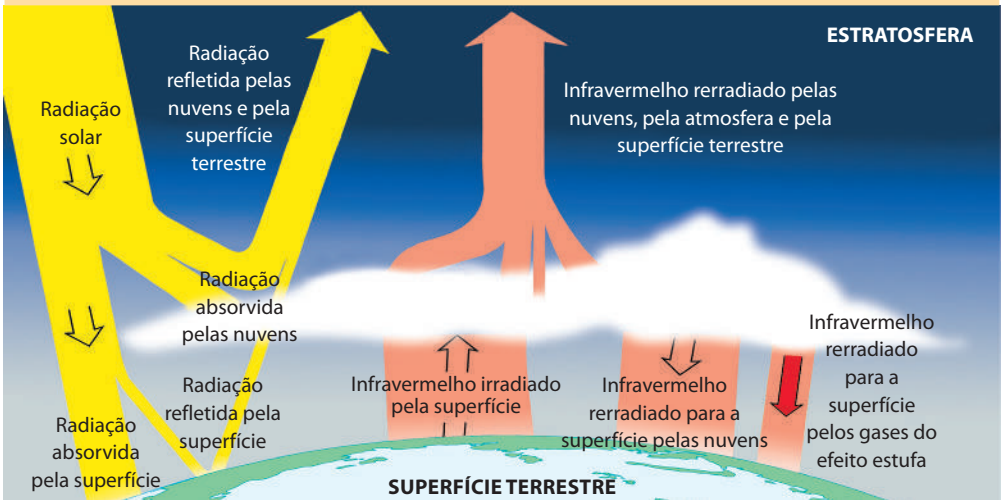
Intensificação do efeito estufa

Parte da radiação solar que chega à Terra é refletida pelas nuvens e pela superfície terrestre. Outra parte da radiação é absorvida principalmente pelo solo e rerradiada para a atmosfera na forma de radiação infravermelha (calor). Parte desse calor é rerradiado pelas nuvens e por gases atmosféricos de volta

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

para o solo, aquecendo-o. Esse fenômeno atmosférico natural é denominado **efeito estufa** e contribui para manter aquecida a superfície terrestre, diminuindo a perda de calor para o espaço. É graças ao efeito estufa que a Terra mantém uma temperatura média favorável à existência de vida. (Fig. 24.4)

Representação esquemática do efeito estufa



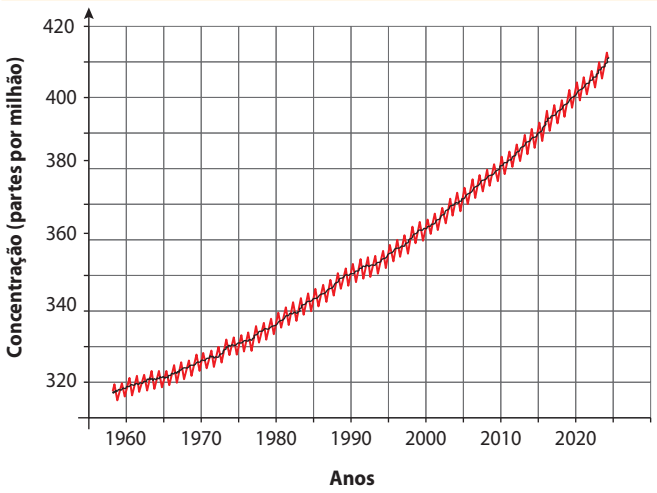
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptada de NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **The greenhouse effect**. Disponível em: https://spaceplace.nasa.gov/greenhouse/en/. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 24.4. Interações atmosféricas no efeito-estufa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O efeito estufa resulta principalmente da presença, na atmosfera, de vapor-d'água, de gás carbônico, de gás metano (CH_4) e de dióxido de nitrogênio (NO_2). As moléculas dessas substâncias têm grande capacidade de absorver calor. O aumento na concentração desses gases na atmosfera, principalmente em razão de atividades humanas, vem intensificando significativamente o efeito estufa. Por exemplo, a concentração de CO_2 na atmosfera vem aumentando progressivamente desde a Revolução Industrial, quando a queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo) começou a ser empregada em larga escala para produzir energia. Hoje, a concentração de CO_2 no ar já ultrapassou 0,04% da composição atmosférica (400 partes por milhão, ou ppm), um aumento superior a 40% em relação ao período pré-industrial. (Fig. 24.5)

Concentração de CO_2 na atmosfera entre 1960 e 2024



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: adaptado de NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (CO_2)**. Disponível em: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 24.5. Gráfico da concentração de CO_2 na atmosfera segundo o Observatório de Mauna Loa, no Havaí, que faz monitoramento atmosférico desde a década de 1950.

Estima-se que a concentração de gás metano na atmosfera também tenha aumentado mais de 150% após a Revolução Industrial. O CH_4 resulta principalmente da decomposição de matéria orgânica. O aumento da população humana gera maior produção de resíduos e de esgotos, cuja decomposição leva à produção de CH_4.

O aumento de áreas alagadas para o cultivo de arroz também tem elevado a concentração de CH_4 atmosférico. Outras fontes importantes emissoras de CH_4 são os rebanhos mundiais de gado bovino e caprino. No tubo digestivo desses animais, vivem grandes quantidades de microrganismos produtores de CH_4, que é eliminado para o ambiente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Segundo informações da Organização das Nações Unidas (ONU), o ano de 2016 havia sido o mais quente da história. Porém, 2023 foi confirmado como o ano mais quente já registrado desde 1850. A temperatura média da Terra foi de 14,98 °C, cerca 0,17 °C acima do valor registrado em 2016. Em 2023, a temperatura global da superfície terrestre aumentou cerca de 1,5 °C em relação às temperaturas da era pré-industrial.

Havia estimativas de que o planeta poderia ficar 2 °C mais quente até o ano de 2100, mas alguns cientistas consideram as estimativas da ONU conservadoras. Segundo eles, se os gases responsáveis pelo efeito estufa continuarem a se acumular no ritmo atual, pode-se esperar a elevação de até 4 °C na temperatura média mundial nos próximos 50 anos. Esse aumento certamente ocasionaria grandes mudanças no clima da Terra, algumas presumivelmente de efeitos catastróficos. Isso parece já estar ocorrendo, como se pode observar pelo aumento da seca em determinadas regiões e de chuvas abundantes em outras, entre outros eventos climáticos que estão se tornando mais frequentes. (Fig. 24.6)

OSAZE CUOMO/SHUTTERSTOCK

Figura 24.6. As mudanças climáticas têm causado derretimento de gelo nas regiões polares, o que pode elevar o nível dos mares, com inundação de planícies e de cidades litorâneas. Entre as muitas cidades que supostamente ficariam submersas está a cidade portuária de Kobe, no Japão (retratada na foto, em 2023).

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

O escudo de ozônio que protege a Terra

A Terra é protegida por uma camada de gás ozônio (O_3), que bloqueia a penetração de grande parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol. Esta atividade propõe uma pesquisa, em livros e na internet, sobre a camada de O_3 que envolve a Terra. Questões a serem respondidas são: a) como se forma a camada de O_3, qual é sua espessura média e a que altitude se localiza? b) qual é o benefício da camada de O_3 para os seres vivos? c) que tipos de agentes podem causar a destruição da camada de O_3? Conclua o trabalho de pesquisa com um texto objetivo, ilustrado por um infográfico, que responda às questões. Se julgar que há outras informações importantes ou interessantes sobre o assunto, acrescente-as ao seu trabalho.

Poluição das águas e do solo

A forma mais comum, e talvez a mais antiga, de poluir as águas é o descarte de dejetos humanos e de animais domésticos (fezes e urina) em rios, lagos e mares. Os dejetos aumentam a quantidade de nitratos e de fosfatos na água, assim como de outros nutrientes, fenômeno denominado **eutrofização**, ou **eutroficação** (do grego *eu*, bem, bom, e *trofos*, nutrição).

A eutrofização geralmente leva à multiplicação rápida e intensa de bactérias aeróbicas, o que causa diminuição expressiva na concentração de O_2 na água. A falta de O_2 pode levar à morte muitas formas de vida aquáticas, incluindo as próprias bactérias aeróbicas.

A eutrofização por esgotos humanos tem causado destruição da fauna e da flora de muitos rios que banham grandes cidades pelo mundo, transformando-os em esgotos a céu aberto. Além da morte das formas de vida que habitam o rio, o lançamento de esgotos sem tratamento prévio pode propagar doenças infecciosas, como hepatite A, amebíase e cólera.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A melhor solução para o problema dos esgotos é seu tratamento e aproveitamento. Atualmente já há tecnologias para purificar a água dos esgotos, para utilizar os resíduos semissólidos na produção de fertilizantes e para empregar o metano gerado no processo como combustível.

A água utilizada nas residências e o descarte de resíduos industriais também podem ocasionar problemas ambientais. Poluentes como detergentes, ácido sulfúrico, amônia e outras substâncias tóxicas presentes em produtos de limpeza envenenam os rios e causam a morte de muitas espécies da comunidade aquática.

O desenvolvimento acentuado da agricultura também tem contribuído para a poluição do solo e das águas. Fertilizantes sintéticos e agrotóxicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas), utilizados muitas vezes em quantidades excessivas nas lavouras, poluem o solo e as águas dos rios, eventualmente intoxicando o próprio agricultor e sua família e matando seres vivos dos ecossistemas atingidos. (Fig. 24.7)

Contaminação de rios por esgoto doméstico

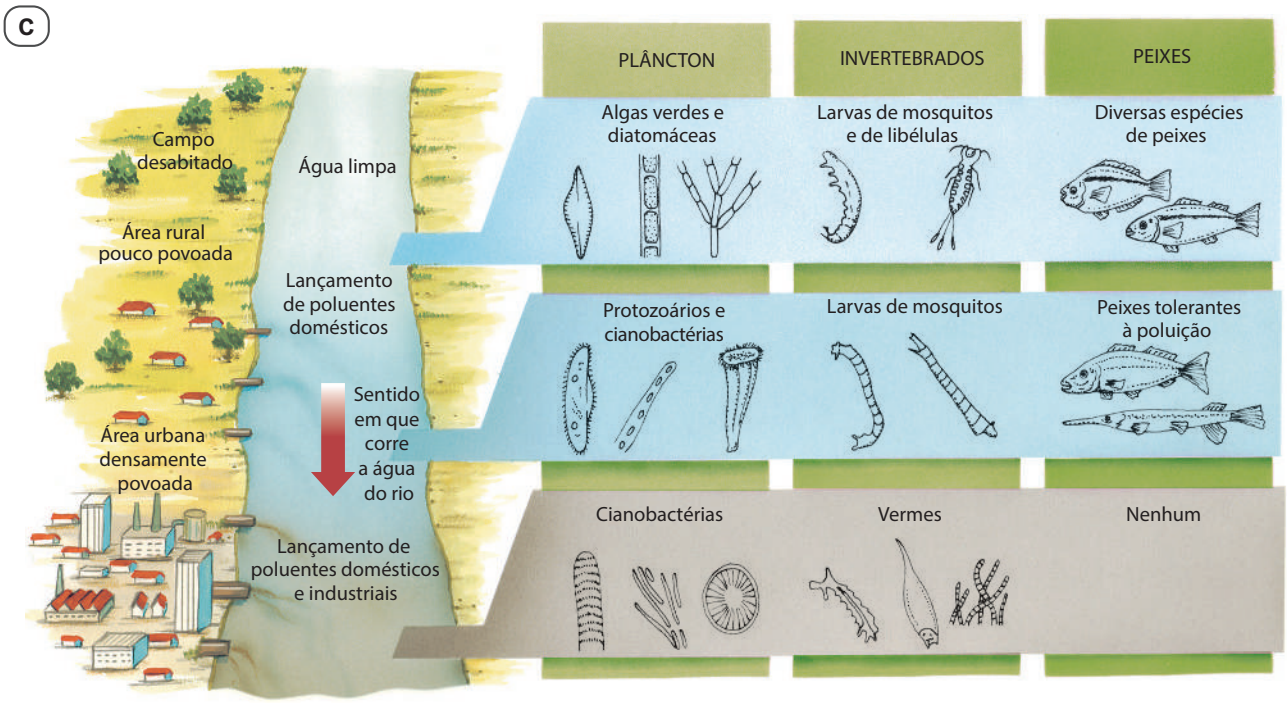
A

MAURÍCIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

B

JOÃO PRUDENTE/PULSAR IMAGENS

C



JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: adaptado de OSPAR. **Eutrophication**. Disponível em: https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/pressures-human-activities/eutrophication/third-comp-summary-eutrophication/. Acesso em: 26 set. 2024.

Figura 24.7. (A) Esgoto doméstico lançado em um córrego (São Paulo, SP, 2021). (B) Espuma sobre as águas do rio Tietê, evidenciando a poluição (Itu, SP, 2021). (C) Representação esquemática da poluição de um rio ao longo de seu curso. O lançamento de esgotos e de resíduos industriais nos rios é uma das principais formas de poluição. O aumento da concentração de poluentes causa a alteração da comunidade biológica que habita o rio, podendo levar à sua eliminação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Escolhas profissionais em prol do ambiente

MEIO AMBIENTE ODS 13

A adolescência é uma fase marcante da vida, repleta de desafios, mas também com oportunidades únicas de crescimento e desenvolvimento pessoal. É uma época de descoberta e autodescoberta em que os jovens têm a oportunidade de explorar seus interesses, desenvolver habilidades e estabelecer relações que moldarão suas vidas futuras.

LIV OEIAN/SHUTTERSTOCK

Greta Thunberg (de casaco cinza e cachecol branco e preto) em protesto contra as mudanças climáticas em Estocolmo, Suécia, em 2024.

Uma jovem sueca que alcançou destaque internacional é Greta Thunberg (n. 2003), que motivou jovens de todo o mundo a exigir da classe política ações urgentes contra a crise climática.

Atualmente muitos jovens optam por carreiras em áreas como ciências biológicas, engenharia ambiental, gestão ambiental e engenharia florestal, buscando contribuir ativamente para a proteção do ambiente em suas trajetórias profissionais.

Você considera importante levar em conta a preservação do ambiente em suas escolhas profissionais? Lembre-se de que diversos tipos de atuações profissionais possibilitam incluir como meta a sustentabilidade ambiental. Escreva suas reflexões em um texto que relate suas escolhas e opiniões.

Concentração de poluentes ao longo das cadeias alimentares

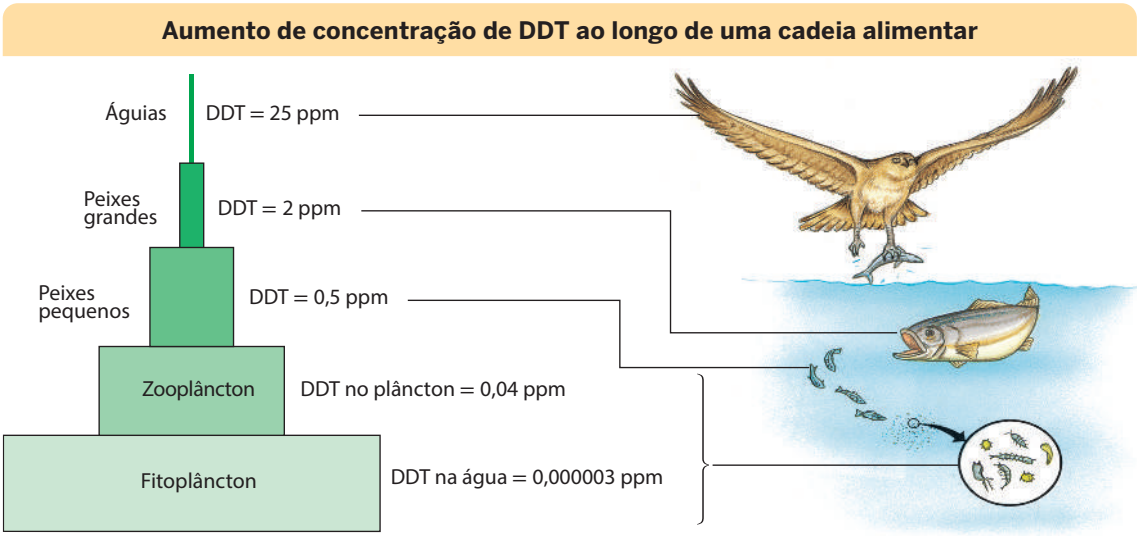
Desde a década de 1940, o diclorodifeniltricloroetano (DDT) e outros inseticidas do grupo dos organoclorados vêm sendo utilizados nas lavouras por sua alta eficiência contra diversos insetos. Entretanto, esses compostos também apresentam toxicidade aos seres humanos e aos animais. O DDT, por exemplo, se for absorvido pela pele ou contaminar alimentos, pode causar doenças. O emprego desse produto está proibido em diversos países, inclusive no Brasil.

O banimento do uso do DDT foi facilitado pela publicação do livro *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*, em português), escrito pela bióloga e escritora estadunidense Rachel Louise Carson (1907-1964), publicado em setembro de 1962. Esse livro é considerado uma das principais fontes de inspiração para a preocupação pública mundial com os pesticidas e com a poluição ambiental, tendo ajudado no lançamento do movimento ambientalista em diversos países e na criação, em 1970, da *Enviromental Protection Agency* (EPA) (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em português).

O DDT e outros inseticidas e poluentes têm capacidade de se concentrar no corpo dos organismos que o absorvem. Animais como os moluscos bivalves, que obtêm alimento filtrando a água circundante, podem acumular grande quantidade de inseticidas no corpo, em concentração até 70 mil vezes maior que na da água contaminada onde vivem. Se consumidos como alimento por pessoas ou por animais, os moluscos contaminados podem provocar graves intoxicações e diversas doenças.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Poluentes como o DDT são absorvidos pelos produtores das cadeias alimentares e transferidos sucessivamente para consumidores primários, consumidores secundários e assim por diante. Como cada organismo de um nível trófico superior alimenta-se de substâncias provenientes do nível inferior, esses poluentes tendem a se concentrar em níveis tróficos superiores. (Fig. 24.8)



Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 24.8. Representação esquemática das etapas de aumento de concentração do inseticida DDT, em partes por milhão (ppm), nos diversos níveis de uma cadeia alimentar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

JURANDIR RIBEIRO/ARQUIVO DA EDITORA

Para minimizar a poluição provocada por resíduos industriais e agrícolas é preciso recorrer simultaneamente a várias ações, entre elas o maior controle governamental sobre as indústrias de fertilizantes e agrotóxicos, a realização de campanhas educativas junto aos agricultores sobre o emprego correto de defensivos agrícolas e fertilizantes, a proibição de produtos comprovadamente tóxicos e perigosos, e a redução drástica do uso de agrotóxicos na agricultura.

A biotecnologia pode contribuir para a redução do emprego de agrotóxicos ao desenvolver variedades de plantas resistentes a pragas. Uma solução alternativa aos inseticidas é o **controle biológico**, que consiste em utilizar certas espécies de seres vivos para combater as pragas das lavouras. Por exemplo, os pulgões de plantas (afídeos) são parasitas que sugam seiva das plantas e causam prejuízos em determinadas lavouras. O controle biológico dos pulgões pode ser feito pela introdução controlada de joaninhas, que se alimentam de pulgões e de outros insetos sem provocar desequilíbrios na teia alimentar. (Fig. 24.9)

HARRY ROGERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 24.9. Joaninha da espécie *Hippodamia convergens* comendo um pulgão. Relações ecológicas como essa têm sido utilizadas para enfrentar as pragas por meio do controle biológico. A joaninha mede cerca de 8,5 mm de comprimento e o pulgão cerca de 2 mm.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O problema dos resíduos sólidos urbanos

Nos países desenvolvidos, uma pessoa produz, em média, 2,5 kg de resíduos por dia. Se o crescimento das cidades continuar no ritmo atual, em breve não haverá mais lugar para colocar os resíduos produzidos. Enterrá-lo não é solução, uma vez que seus componentes podem contaminar reservatórios de água potável subterrânea. A incineração do lixo, por sua vez, contribuiria para agravar ainda mais a poluição atmosférica, além de representar um desperdício de recursos, tendo em vista que grande parte do material incinerado poderia ser reaproveitada.

Soluções para o problema dos resíduos sólidos envolvem a redução do desperdício de materiais e a reciclagem, com reaproveitamento de diversos tipos de resíduos. Latas de alumínio, por exemplo, podem ter o metal totalmente reaproveitado. O Brasil é um dos maiores recicladores de latas de alumínio do mundo. Plásticos e papel também podem ser reciclados. Calcula-se que se os Estados Unidos reciclassem 50% do papel que utilizam, em vez dos 20% que reciclam atualmente, poderiam deixar de cortar cerca de 100 milhões de árvores por ano. Para que a reciclagem funcione com eficiência, é fundamental separar os diversos componentes do lixo, processo conhecido como **triagem**.

Após a triagem, a parte orgânica do resíduo sólido pode ser degradada por microrganismos em tanques **biodigestores**. O gás metano gerado na biodigestão de resíduos orgânicos pode ser utilizado como combustível residencial, industrial ou em veículos motorizados. Os resíduos sólidos da biodigestão podem ser utilizados na fertilização do solo.

A reciclagem ainda é um processo complexo e dispendioso, sendo mais fácil e barato utilizar matéria-prima natural do que matéria reciclada. Esse cálculo, porém, não leva em conta a degradação ambiental, que poderá representar um custo alto para as gerações futuras. Com o progressivo esgotamento dos recursos naturais e o avanço das tecnologias de reciclagem dos resíduos, o reaproveitamento poderá em breve ultrapassar os 50% dos materiais descartados.

É urgente que a população se conscientize sobre o problema representado pelos resíduos sólidos. Cedo ou tarde, o poder público e a população terão de conjugar esforços para tratar dessa questão, não apenas por reciclagem, mas também pela intensificação de ações educativas e de campanhas de conscientização, incentivando as pessoas a desperdiçar menos materiais e a produzir menos lixo. (Fig. 24.10)

CESAR DINIZ/PULSAR IMAGENS

Figura 24.10. Triagem de resíduos sólidos urbanos para reciclagem. A reciclagem dos materiais descartados, além de ajudar a minimizar o problema da poluição ambiental, pode ser fonte de renda para muitas famílias. Na foto trabalhadores fazendo a triagem de materiais recicláveis (Ubatuba, SP, 2024).

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

MEIO AMBIENTE ODS 12

Pesquisando sobre o resíduo sólido urbano

Forme um grupo de colegas para dividir as tarefas de pesquisa sobre o resíduo sólido produzido em uma cidade. As pesquisas envolvem aspectos como coleta seletiva, triagem e reciclagem. O objetivo da atividade é utilizar os dados das pesquisas para elaborar um infográfico em tamanho grande, que pode ser exibido no mural da escola ou divulgado em mídias sociais para alcançar a comunidade escolar. Se sua escola ainda não implementou a separação do resíduo sólido, com lixeiras específicas para metais, vidros, material orgânico etc., você e seus colegas podem sugerir à escola a melhor maneira de organizar o descarte seletivo. Além disso, os grupos podem pesquisar a existência de centros de reciclagem de resíduos no município onde se situa a escola, para possíveis visitas dos estudantes.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

MEIO AMBIENTE ODS 12 ODS 14

O mar não está para peixe #3: Afogando em plásticos

[...]

Em abril de 2019, o explorador norte-americano Victor Vescovo desceu até o ponto mais fundo do oceano, 11 mil metros abaixo da superfície, na Fossa das Marianas, e encontrou algo muito mais assustador do que qualquer monstro marinho que você possa imaginar: lixo plástico.

Era um sinal dos tempos. A poluição plástica é um dos maiores problemas ambientais da atualidade, e o oceano não está imune aos seus efeitos. Especialistas estimam que haja algo entre 75 milhões e 199 milhões de toneladas de plástico espalhados pelo oceano atualmente, segundo um relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). Grande parte desses resíduos está fragmentada na forma de microplásticos, que hoje permeiam praticamente todos os ecossistemas e toda a cadeia alimentar marinha.

A tendência é que o problema só aumente de tamanho daqui pra frente. Todas as indústrias do mundo produzem hoje, juntas, cerca de 450 milhões de toneladas de plástico por ano, e a previsão é que essa produção ultrapasse 1 [bilhão] de toneladas por ano até 2050. A pergunta que fica boiando no mar é a seguinte: o que vamos fazer com todo esse plástico?

[...]

Fonte: ESCOBAR, H. O mar não está para peixe #3: Afogando em plásticos. **Jornal da USP**, 1º ago. 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/podcast/o-mar-nao-esta-pra-peixe-3-afogando-em-plasticos/. Acesso em: 25 set. 2024. (Título adaptado.)

Como os microplásticos encontrados nos oceanos podem impactar a cadeia alimentar marinha? Para responder a esta atividade, você pode ouvir o episódio 3 do *podcast O mar não está para peixe*, produzido pelo Jornal da USP (disponível em: https://jornal.usp.br/podcast/o-mar-nao-esta-pra-peixe-3-afogando-em-plasticos/; acesso em: 25 set. 2024).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Desmatamento, introdução de espécies exóticas e extinção de espécies

Além de interferir nos ambientes naturais e de produzir resíduos e poluentes, a humanidade também altera o equilíbrio de ecossistemas pela extinção de espécies nativas e pela introdução de **espécies exóticas**, estranhas ao ecossistema. Esse tipo de interferência em comunidades naturais pode colocar em risco uma intrincada trama de relações que levou milhares ou milhões de anos para se estabelecer.

A expansão das terras cultivadas e o crescimento das cidades têm causado a destruição de muitos ambientes naturais. Florestas são derrubadas ou queimadas, com prejuízos ao solo e poluição da atmosfera. O **desmatamento**, que é a remoção da vegetação nativa, leva à erosão e ao empobrecimento do solo, causados principalmente pelas chuvas e pelo vento que atingem a área desmatada. Sem a proteção da cobertura vegetal, o solo perde rapidamente suas camadas superficiais férteis e muitos de seus componentes são levados pelas chuvas, tornando o solo pobre e acidentado. (Fig. 24.11)

A introdução de espécies exóticas tem causado desequilíbrios ambientais em diversas regiões da Terra, afetando os ecossistemas nativos. Em seus deslocamentos, os viajantes humanos transportam, deliberadamente ou não, espécies biológicas de um local para outro. Dessa forma, espécies nativas de uma região são introduzidas em locais onde não existiam anteriormente. (Fig. 24.12)

A extinção de espécies pode causar sérios distúrbios ao equilíbrio de um ecossistema. Muitas espécies estão atualmente ameaçadas de extinção por conta da destruição de seus hábitats, principalmente em razão da expansão das fronteiras agrícolas, sem falar da caça e da pesca excessivas ou predatórias. Além disso, o comércio ilegal de espécies silvestres causa a morte de muitos animais, reduzindo suas populações.

JOSE DE RIBAMAR CARVALHO DOS SANTOS/FOTOARENA

Figura 24.11. Voçoroca causada por desmatamento. A foto mostra o solo erodido, com formação de grandes buracos denominados voçorocas (Buriticupu, MA, 2023).

BLICKWINKEL/ALAMY/FOTOARENA

Figura 24.12. O aguapé (gênero *Eichhornia*, com flores de cor lilás) é utilizado como planta ornamental em lagos e lagoas. O aguapé pode eventualmente proliferar descontroladamente e se tornar uma ameaça ao ecossistema do lago (Pantanal, 2022).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Alternativas para o futuro

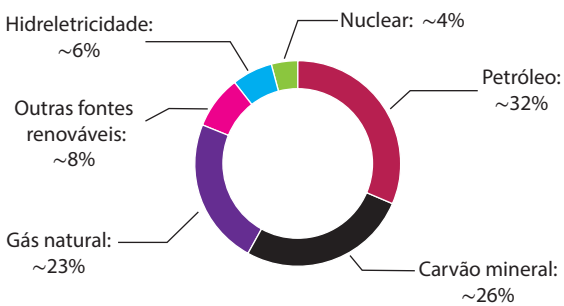
ODS 7 ODS 13

O desenvolvimento e a aplicação da ideia de sustentabilidade ambiental são importantes para uma visão moderna, comprometida e atuante da Ecologia. A sobrevivência e o bem-estar da humanidade dependem do ambiente natural, que deve ser preservado. Cada geração tem que garantir às gerações futuras um ambiente que atenda às necessidades humanas básicas. A aceitação e a implementação desse princípio pelos países poderá impedir que interesses econômicos imediatistas se sobreponham às expectativas sociais de um mundo melhor para as gerações vindouras.

Alternativas energéticas

A civilização contemporânea consome energia nas indústrias, nos transportes, nos eletrodomésticos e nas telecomunicações. Atualmente, a maior parte da energia utilizada ainda é proveniente de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. (Fig. 24.13)

Percentuais de diversas fontes de energia mundiais em 2023



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ENERGY INSTITUTE. Statistical overview of world energy. Disponível em: https://www.energyinst.org/statistical-review. Acesso em: 25 set. 2024.

Figura 24.13. Gráfico que mostra os percentuais de diversas fontes de energia utilizadas no mundo em 2023.

Os combustíveis fósseis são recursos não renováveis e que se esgotarão em um futuro relativamente próximo. O tempo de duração das jazidas desses combustíveis depende do uso que se fizer deles. A utilização de combustíveis fósseis causa diversos problemas ambientais, devidos principalmente às emissões de gases CO e CO_2 produzidos durante sua queima. Por isso, é importante a pesquisa de formas alternativas de produção de energia, como a hidreletricidade, a energia eólica, a energia nuclear e a energia solar.

A **hidreletricidade** é produzida pela passagem de água por turbinas que convertem a energia cinética da água em energia elétrica. Trata-se, portanto, de uma forma renovável de obtenção de energia. As usinas hidrelétricas não deixam de exercer impactos sobre o ambiente, pois sua construção requer o desvio de cursos de rios e o alagamento de extensas regiões, o que pode provocar alterações no clima e acarretar o desaparecimento de comunidades biológicas na área alagada.

A **energia eólica**, em que há aproveitamento da energia dos ventos em grandes turbinas, vem sendo cada vez mais empregada no Brasil. Essa fonte energética já é amplamente utilizada em países como Estados Unidos, Alemanha e Dinamarca, seguidos por Índia e Espanha. A energia eólica é uma perspectiva promissora para substituir fontes de energia que impactam negativamente o ambiente.

A **energia nuclear** é obtida pelo emprego de combustíveis nucleares, cujos núcleos atômicos são desintegrados no interior dos reatores de fissão nuclear. Essa tecnologia não é isenta de riscos e não há destinação segura para o resíduo radioativo produzido pelas usinas nucleares. Os altos riscos envolvendo a energia nuclear têm levado vários países a desistir dessa alternativa energética.

A **energia solar** é obtida pela captação da energia luminosa em painéis solares, aquecendo água e permitindo a geração de energia elétrica, que pode ser acumulada em baterias ou utilizada diretamente.

Alternativas energéticas que podem suprir parte da demanda brasileira são o álcool etílico (etanol), o biodiesel e o gás natural, este último produzido por biodigestão de resíduos orgânicos. O Brasil foi o primeiro país do mundo a utilizar em larga escala o etanol obtido da fermentação da cana-de-açúcar como combustível de automóveis. Atualmente há um aumento na utilização do biodiesel, produzido principalmente a partir do óleo de certas sementes e substituto do diesel obtido do petróleo. (Fig. 24.14)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

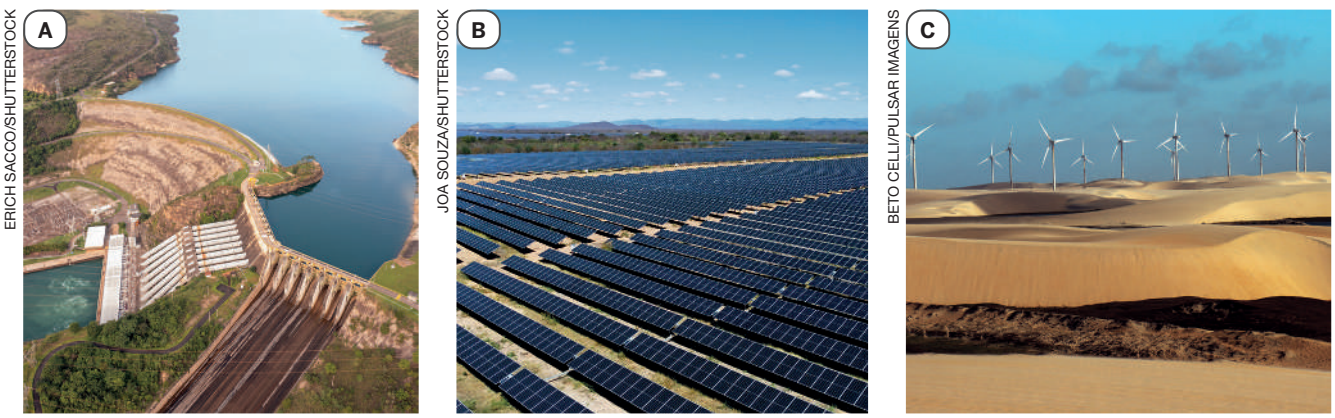


Figura 24.14. Alternativas energéticas aos combustíveis fósseis. (A) Usina hidrelétrica de Furnas (São José da Barra, MG, 2022); (B) Painéis que captam a energia do Sol e a convertem em energia elétrica (Oliveira dos Brejinhos, BA, 2023); (C) Conjunto de geradores em que a energia dos ventos é transformada em energia elétrica (Paracuru, CE, 2023).

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

ODS 2

Sistemas agroflorestais e a agricultura familiar

Duas maneiras de ocupar e utilizar a terra baseando-se nos princípios da sustentabilidade são os **sistemas agroflorestais** e a **agricultura familiar**. Esta atividade propõe uma pesquisa para compreender como surgiram essas duas formas de trabalhar a terra, há tempos utilizadas pelos povos originários do Brasil. Faça uma pesquisa utilizando a internet e/ou livros e revistas e produza um material digital para divulgar suas descobertas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. A noção de desenvolvimento sustentável, ou sustentabilidade, refere-se
1.b
a. à capacidade inesgotável dos recursos que sustentam a humanidade.
b. à utilização dos recursos do ambiente tendo em mente sua preservação para gerações futuras.
c. à reivindicação dos países em desenvolvimento de serem sustentados pelos países ricos.
d. à ideia de que países ricos vêm sendo sustentados pelos recursos obtidos dos países pobres.

2. Lançar no ambiente substâncias ou agentes físicos perigosos à saúde humana e de outros organismos é o que se denomina
2.d
a. efeito estufa.
b. eutrofização.
c. inversão térmica.
d. poluição.

3. Um dos principais poluentes atmosféricos nas metrópoles, que afeta a hemoglobina do sangue e cuja principal fonte emissora são os automóveis, é o
3.d
a. dióxido de carbono (CO_2).
b. dióxido de enxofre (SO_2).
c. metano (CH_4).
d. monóxido de carbono (CO).

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 4 e 5.
a. Construção de usinas hidrelétricas.
b. Construção de usinas nucleares.
c. Liberação de clorofluorcarbonetos (CFCs).
d. Queima de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão.

4. Qual das atividades humanas mais tem contribuído para o agravamento do efeito estufa?
4.d

5. Qual dessas atividades mais tem contribuído para a destruição da camada de ozônio na estratosfera?
5.c

6. Das alternativas a seguir, apenas uma não é consequência direta do desmatamento. Qual é ela?
6.a
a. Chuva ácida.
b. Diminuição da biodiversidade.
c. Empobrecimento do solo em minerais.
d. Erosão.

7. Um lago com uma cadeia alimentar constituída de plâncton, plantas aquáticas, caramujos, pequenos peixes e aves aquáticas carnívoras teve suas águas contaminadas pelo inseticida DDT, que tem a característica de se acumular no corpo dos seres vivos. Em qual dos constituintes da cadeia alimentar espera-se encontrar a maior concentração desse inseticida?
7.a
a. Aves aquáticas.
b. Caramujos.
c. Peixes.
d. Plâncton.

8. A emissão de poluentes por automóveis e indústrias é mais ou menos constante ao longo do ano; entretanto, nos grandes centros industriais brasileiros, têm-se verificado níveis alarmantes de poluentes atmosféricos junto ao solo, principalmente nos meses mais frios. Explique detalhadamente a razão disso.

9. Suponha que um lago receba grande volume de esgotos domésticos, constituídos basicamente por resíduos orgânicos. Que efeito positivo teria um grande motor de pás que movimentasse a água, causando sua oxigenação?

Questões de vestibulares e do Enem

10. (Enem)
10. c

A atmosfera terrestre é composta pelos gases nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), que somam cerca de 99%, e por gases traços, entre eles o gás carbônico (CO_2), vapor de água (H_2O), metano (CH_4), ozônio (O_3) e o óxido nitroso (N_2O), que compõem o restante 1% do ar que respiramos. Os gases traços, por serem constituídos por pelo menos três átomos, conseguem absorver o calor irradiado pela Terra, aquecendo o planeta. Esse fenômeno, que acontece há bilhões de anos, é chamado de efeito estufa. A partir da Revolução Industrial (século XIX), a concentração de gases traços na atmosfera, em particular o CO_2, tem aumentado significativamente, o que resultou no aumento da temperatura em escala global. Mais recentemente, outro fator tornou-se diretamente envolvido no aumento da concentração de CO_2 na atmosfera: o desmatamento.

(**Fonte:** BROWN, I. F.; ALECHANDRE, A. S. Conceitos básicos sobre clima, carbono, florestas e comunidades. *In*: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. *As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros*. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000)

Considerando o texto, uma alternativa viável para combater o efeito estufa é
a. reduzir o calor irradiado pela Terra mediante a substituição da produção primária pela industrialização refrigerada.
b. promover a queima da biomassa vegetal, responsável pelo aumento do efeito estufa devido à produção de CH_4.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c. reduzir o desmatamento, mantendo-se, assim, o potencial da vegetação em absorver o CO_2 da atmosfera.

d. aumentar a concentração atmosférica de H_2O, molécula capaz de absorver grande quantidade de calor.

e. remover moléculas orgânicas polares da atmosfera, diminuindo a capacidade delas de reter calor.

11. (UFRGS-RS) A Ecobarreira instalada no arroio Dilúvio, em Porto Alegre, já retirou 33 toneladas de lixo que descem pelas águas até o Guaíba. A cada dia, centenas de garrafas PET, sacos de lixo, pneus e frutas deterioradas são içados em uma gaiola e removidos do local pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU). 11.d

Considere as seguintes afirmações sobre a poluição das águas.

I. A matéria orgânica lançada nos rios aumenta a quantidade de nutrientes, causando a eutrofização.

II. A remoção do sedimento acumulado nos cursos d'água urbanos facilita o escoamento das águas das chuvas, evitando transbordamento e alagamentos.

III. A remoção dos objetos lançados nos cursos d'água urbanos impede a proliferação de larvas de mosquitos.

Quais estão corretas?

a. Apenas I.
b. Apenas II.
c. Apenas III.
d. Apenas I e II.
e. I, II e III.

12. (Unicamp-SP) 12.d

O acidente radioativo na usina de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986, exigiu a evacuação de mais de 100 mil pessoas em um raio de 30 km. Até hoje, a região é isolada e o acesso público, restrito. Pouco tempo após o acidente, muitos estudos indicaram que vários organismos, entre os quais aranhas e insetos, haviam sofrido efeitos negativos da radiação. Porém, estudos recentes, utilizando armadilhas fotográficas e imagens aéreas, mostraram que a cidade-fantasma foi ocupada por diversas espécies de plantas e animais, cuja abundância tem aumentado na região.

Fonte: Holand Oliphant, 30 years after Chernobyl disaster, wildlife is flourishing in radio-active wasteland, *The Telegraph*, 24/04/2016.

Escolha a alternativa que fornece uma explicação correta para o fenômeno descrito no texto anterior.

a. A radiação diminui a taxa fotossintética de plantas, porém a ação de descontaminação do ambiente pelo homem permite o retorno de populações de plantas e, portanto, dos organismos que delas se alimentam.

b. A radiação aumenta a taxa de mutação e acelera o metabolismo de plantas, favorecendo sua taxa reprodutiva, o que leva a aumento de suas populações e, consequentemente, das populações de herbívoros.

c. A radiação reduz os tumores de animais e plantas, aumentando a taxa de sobrevivência desses seres vivos e, consequentemente, o tamanho de suas populações e das de seus consumidores.

d. A radiação tem impactos negativos sobre animais e plantas, porém a ausência de atividade humana no ambiente contaminado por radiação favorece o crescimento das populações desses organismos.

13. (Fuvest-SP) Considere as seguintes atividades humanas: 13. c

I. Uso de equipamento ligado à rede de energia gerada em usinas hidrelétricas.

II. Preparação de alimentos em fogões a gás combustível.

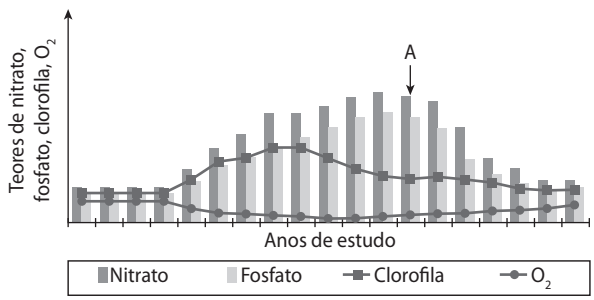
III. Uso de equipamento rural movido por tração animal.

IV. Transporte urbano movido a álcool combustível.

As transformações de energia solar, por ação direta ou indireta de organismos fotossintetizantes, ocorrem exclusivamente em

a. I.
b. II.
c. II, III e IV.
d. III e IV.
e. IV.

14. (Unicamp-SP) Desde o início do crescimento habitacional desordenado às margens de uma represa, suas águas vêm sendo analisadas periodicamente em relação aos teores de nitrato, fosfato, clorofila e oxigênio dissolvido, em virtude do crescente despejo de esgotos sem tratamento. Após a ocorrência da morte de um grande número de peixes, a comunidade ribeirinha pediu às autoridades que fossem instaladas tanto a rede de esgotos quanto uma estação de tratamento dos resíduos. Os resultados obtidos em relação aos fatores citados, antes e após a instalação da rede e estação de tratamento de esgotos, estão representados na figura abaixo. A instalação da estação de tratamento ocorreu em A.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Que relação existe entre as análises realizadas e a poluição das águas por esgotos domésticos? De que forma os fatores analisados (mostrados na figura) estão relacionados com a mortalidade de peixes?

b. As autoridades garantiram à população ribeirinha que a instalação da estação de tratamento de esgotos permitiria que as águas da represa voltassem a ser consideradas de boa qualidade. Com base nos resultados mostrados na figura, justifique a afirmação das autoridades.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RESPOSTAS DAS ATIVIDADES FINAIS

Capítulo 1

Biologia: ciência e vida

1. a
2. e
3. c
4. d
5. b
6. a
7. d
8. a

9. A Astrologia não é considerada uma ciência porque não está embasada em teorias científicas válidas e suas hipóteses não podem ser testadas de forma confiável e verificável.

10. Resposta pessoal. Segundo o texto, algumas pessoas tendem a adotar ideias e crenças sem questionar a sua validade. Medicamentos caseiros não têm comprovação científica.

Questões de vestibulares

11. b
12. e
13. d
14. b
15. a. Comunidade.
b. Ecossistema.

Capítulo 2

A origem da vida na Terra

1. e
2. a
3. c
4. b
5. f
6. d
7. d
8. c
9. a

10. a. Deve-se relacionar o termo "estéril" com a ausência de microrganismos. O processo UHT livra o alimento de microrganismos, tanto dos patogênicos e dos que causam a deterioração do alimento.
b. A refrigeração, após a abertura da embalagem, reduz a proliferação dos microrganismos que eventualmente penetrem na embalagem aberta.
c. A pasteurização consiste no aquecimento brando do alimento, que elimina certos microrganismos patogênicos, enquanto o processo UHT consiste no aquecimento em altas temperaturas por curtos intervalos de tempo, o que esteriliza o leite.

Questões de vestibulares

11. d
12. d
13. e
14. e

15. A bactéria seria autótrofa quimiossintetizante, que utilizaria a energia proveniente de uma reação química inorgânica, cujos reagentes estariam presentes em fendas vulcânicas oceânicas.

16. a. Os cientistas testaram a hipótese de que os supostos gases da atmosfera primitiva poderiam formar, nas condições da Terra primitiva, os compostos orgânicos que originaram os primeiros seres vivos no planeta Terra.
b. Aminoácidos.
c. O gás oxigênio da Terra é um produto da fotossíntese e o aumento de sua concentração deveu-se ao aparecimento dos organismos fotossintetizantes, que teriam surgido bem depois da origem das primeiras formas de vida.

Capítulo 3

As bases moleculares da vida

1. d
2. a
3. b
4. d

5. A denominação se deve ao fato de a enzima e o substrato se encaixarem com grande especificidade, comparável ao que ocorre entre uma chave e sua fechadura com sua respectiva chave.

Questões de vestibulares

6. d
7. d
8. b

9. a. Pela ingestão de vegetais ricos em β-caroteno que origina a vitamina A, a partir da qual é produzido o pigmento rodopsina, necessário para a visão.
b. Constituição das membranas celulares e controle hormonal. Esteroides: colesterol, progesterona, testosterona.
c. Animais: tecido adiposo. Vegetais: sementes e frutos.

Capítulo 4

A célula viva: membrana e citoplasma

1. d
2. b
3. e
4. d
5. b, a
6. c
7. e
8. c
9. b
10. a, b
11. d

12. As concentrações das soluções dos tubos e do frasco tenderão a se igualar. Assim, após algum tempo, no tubo 1, o nível de líquido deverá subir (maior quantidade de solvente tende a atravessar a membrana no sentido frasco → tubo); no tubo 2, não ocorrerá variação no nível de líquido (mesma quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana em ambos os sentidos); no tubo 3, o nível de líquido deverá abaixar (maior quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana no sentido tubo → frasco).

Questões de vestibulares

13. d
14. c
15. c
16. c

17. Os lisossomos são bolsas membranosas repletas de enzimas digestivas. Essas enzimas são produzidas no retículo endoplasmático granuloso e empacotadas no complexo golgiense, dando origem aos lisossomos primários. O alimento obtido pelo processo de fagocitose será digerido pelas enzimas presentes no lisossomo. Nesse processo, os lisossomos fundem-se ao fagossomo formando o vacúolo digestivo, também denominado lisossomo secundário. Com a digestão, as substâncias úteis são liberadas no citosol, e os resíduos são, posteriormente, eliminados por clasmocitose.

Capítulo 5

Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

1. c
2. c
3. e
4. d
5. a
6. d
7. c
8. b
9. e
10. b
11. c

Questões de vestibulares e do Enem

12. a
13. a
14. d
15. a
16. a
17. d

18. Teria as características da espécie A, porque as características hereditárias são determinadas pelos genes presentes no núcleo das células, proveniente da espécie A.

Capítulo 6

O metabolismo energético das células vivas

1. a
2. c
3. b
4. a
5. e
6. c
7. b
8. d
9. a
10. g
11. f
12. d
13. a
14. b
15. c
16. d

Questões de vestibulares

17. b
18. c
19. b

20. a. As células que ficam na superfície da massa realizam a respiração aeróbica, e as que ficam no seu interior, devido à indisponibilidade de gás oxigênio, realizam fermentação.
b. Ambas as reações produzem CO_2, que fica aprisionado na massa. Com o aquecimento, o CO_2 se dilata e faz a massa aumentar de volume.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

21. a. A glicólise ocorre no citosol.

b. Nessa fase, são gastos 2 ATP para ativar cada molécula de glicose a reagir, transformando-se em 2 ácidos pirúvicos. Nessa reação são produzidos 4 ATP. Assim, o saldo energético líquido da glicólise é de 2 ATP.

22. a. O açúcar representa a fonte de energia para o levedo.

b. Na presença de gás oxigênio, o levedo utiliza o processo de respiração aeróbica, obtendo, a partir da glicose, quantidade maior de energia do que na fermentação, realizada em condições anaeróbicas. A maior eficiência na obtenção de energia pela respiração aeróbica favorece crescimento dos levedos.

Capítulo 7

Tipos de reprodução, meiose e embriologia animal

1. c
2. d
3. a
4. d
5. b
6. c
7. c
8. b
9. d
10. b
11. c
12. d
13. b
14. b
15. b
16. c

Questões de vestibulares

17. b **18.** e **19.** a **20.** d **21.** d **22.** b **23.** a

24. a. São o ectoderma, o mesoderma e o endoderma.

b. Os ossos originam-se do mesoderma; o encéfalo origina-se do ectoderma; os pulmões originam-se do endoderma.

25. a. O âmnio protege o embrião contra a dessecação e eventuais choques mecânicos.

b. O âmnio está presente em répteis, aves e mamíferos.

Capítulo 8

Reprodução humana

1. d
2. c
3. b
4. a
5. d
6. d
7. e
8. d
9. c
10. a; e
11. b
12. c

Questões de vestibulares

13. c **14.** b

15. A nutrição é feita por meio da placenta, responsável pela passagem de nutrientes e de gás oxigênio (O_2) da mãe para o feto e das excreções e de gás carbônico (CO_2) do feto para a mãe pelo cordão umbilical.

Capítulo 9

Classificação biológica, vírus e bactérias

1. d
2. a
3. c
4. d
5. b
6. a
7. e
8. c

9. Os níveis taxonômicos são hierárquicos, dos mais abrangentes aos mais específicos: domínio, reino, filo, classe, ordem, família, gênero e espécie. Espera-se que haja maior grau de semelhança entre A e B, pois compartilham características comuns de família.

10. O quadrado azul representa o ancestral apenas da espécie C. O quadrado verde representa o ancestral comum das espécies B e C. O quadrado marrom representa o ancestral comum das espécies A, B, e C.

Questões de vestibulares

11. c **12.** a **13.** b

14. a. É um sistema criado por Lineu e utilizado até hoje para denominar as espécies de seres vivos. Nesse sistema, cada espécie é denominada por duas palavras (epítetos), a primeira referente ao gênero, e a segunda, à espécie.

b. O principal motivo é que regras bem estabelecidas e aceitas por todos facilitam a comunicação entre os cientistas e entre os não cientistas. Os nomes populares dos seres vivos variam nos diferentes idiomas e até em diferentes regiões de um mesmo país, enquanto o nome científico é um só: ele designa apenas uma espécie catalogada e descrita detalhadamente pelos estudiosos, o que evita confusões.

15. a. Deve-se escrever "*Cebus apella*", o nome científico da espécie.

b. A utilização de qualquer outra categoria taxonômica poderia incluir informações sobre outras espécies, além daquela escolhida.

Capítulo 10

Algas, protozoários e fungos

1. b
2. c
3. a
4. e
5. d
6. d
7. a
8. c
9. c
10. a
11. c
12. b
13. b
14. a

Questões de vestibulares e do Enem

15. b **16.** a **17.** d **18.** d **19.** d

Capítulo 11

A diversidade das plantas

1. b
2. d
3. a
4. d
5. b
6. c
7. b
8. d
9. c
10. a
11. f
12. e
13. c
14. c
15. b
16. d

Questões de vestibulares

17. d **18.** b **19.** e

Capítulo 12

Reprodução, desenvolvimento e fisiologia das angiospermas

1. c
2. b
3. d
4. a
5. c
6. d
7. d
8. a
9. d
10. b
11. c
12. a

Questões de vestibulares e do Enem

13. e **14.** c

15. a. I – tecido vascular, constituído por vasos condutores do xilema e do floema; II – semente; III – fruto ou flor e fruto. O xilema transporta a seiva mineral e o floema, a seiva orgânica.

b. A dupla fecundação é a união de um dos dois gametas masculinos (núcleos espermáticos) com os dois núcleos polares, e do outro com a oosfera. A fusão com os núcleos polares origina o endosperma *3n*, e a fusão do outro gameta masculino com a oosfera resulta no zigoto *2n*.

16. a. Flores com coloração vistosa são atraentes para animais polinizadores, como aves e insetos.

b. No caso dessas plantas, o vento costuma ser o principal agente polinizador.

Capítulo 13

Tendências evolutivas nos animais

1. b
2. c
3. d
4. a
5. a
6. c
7. b
8. e
9. d
10. c

11. A impossibilidade de encontrar poríferos terrestres deve-se ao fato desses animais dependerem do movimento da água pelo interior do corpo para obter nutrientes e gás oxigênio, e também para eliminar gás carbônico e excreções.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

12. Resposta pessoal. Algumas sugestões de *sites* com informações sobre o uso de animais como cobaias:

- PAZ, E. Animais na pesquisa: princípios éticos para o avanço científico. **Revista Arco**, 18 mai. 2022. Disponível em: https://www.ufsm.br/midias/arco/animais-na-pesquisa-principios-eticos-para-o-avanco-cientifico.
- VESSONI, A. Especialistas avaliam resolução que restringe uso de animais em experimentos nas áreas de cosméticos, perfumes e produtos de higiene pessoal. **Jornal da Unesp**, 03 abr. 2023. Disponível em: https://jornal.unesp.br/2023/04/03/especialistas-avaliam-resolucao-que-restringe-uso-de-animais-em-experimentos-nas-areas-de-cosmeticos-perfumes-e-produtos-de-higiene-pessoal/.

Acessos em: 30 ago. 2024.

Questões de vestibulares

13. e **14.** a **15.** a

16. O animal A pode ser uma planária (platelminto). O animal B pode ser uma água-viva (cnidário). O animal C pode ser uma mosca (inseto). O animal D pode ser uma minhoca (anelídeo).

Capítulo 14

Principais grupos de animais

1. a
2. e
3. b
4. c
5. a
6. c
7. d
8. a
9. e
10. c
11. c
12. d
13. b
14. c
15. a
16. b
17. b
18. a
19. d

20. Se forem liberadas cerca de 8 proglótides por dia, temos:

- Ovos liberados em um dia: 8×100 mil $= 800$ mil ovos.
- Ovos liberados em uma semana: 800 mil $\times 7 = 5.600.000$ ovos (5 milhões e 600 mil ovos).
- Ovos liberados em um mês: $800.000 \times 30 = 24.000.000$ ovos (24 milhões de ovos).
- Ovos liberados em um ano: $800.000 \times 365 = 292.000.000$ ovos (292 milhões de ovos).

21. Peixes que vivem nas profundezas oceânicas são adaptados à pressão exercida pela água sobre eles. Quando são trazidos rapidamente para a superfície, a pressão interna de seus corpos supera a pressão externa, levando esses peixes eventualmente a explodir.

Questões de vestibulares

22. b
23. d
24. e
25. a
26. d
27. e
28. a
29. c
30. c

31. Trata-se de corais, cnidários que secretam estruturas esqueléticas de calcário que formam as rochas coralíneas, constituintes dos recifes.

32. As minhocas ingerem terra, na qual estão misturados detritos orgânicos constituídos principalmente por matéria vegetal. Nessa atividade, elas cavam galerias, que facilitam a aeração do solo e a respiração das raízes das plantas. Os excrementos das minhocas são ricos em compostos nitrogenados, constituindo o húmus, que fertiliza o solo e retém umidade.

Capítulo 15

Nutrição, respiração, circulação e excreção na espécie humana

1. c
2. a
3. b
4. d
5. b
6. d
7. a
8. c
9. c
10. d
11. a
12. b
13. b
14. c
15. c
16. d

17. a. A: estômago; B: boca; C: intestino delgado. É possível chegar a essas conclusões já que os pHs ótimos para a digestão em cada uma dessas regiões são, respectivamente, pH 2 (ácido), pH 6,7 (neutro – levemente ácido) e pH 8 (alcalino).

b.

Região	Enzima	Substâncias digeridas	Produtos da digestão
A	Pepsina	Proteínas	Peptonas
B	Amilase	Polissacarídios (amido)	Maltose e glicose
C	Tripsina	Proteínas e peptonas	Oligopeptídios

Pode-se ainda comentar que no intestino delgado atuam diversas outras enzimas: quimiotripsina, amilopepsina, ribonuclease, desoxirribonuclease, lipase, carboxipeptidase, aminopeptidase, dipeptidase, maltase, sacarase, lactase e glicoamilase.

Questões de vestibulares

18. a **19.** a **20.** c **21.** e

22. A respiração pulmonar refere-se à entrada e saída de ar dos pulmões, que supre o sangue de gás oxigênio (O_2) e elimina dele gás carbônico (CO_2). O O_2, captado na respiração pulmonar, é levado até as células onde participa da respiração celular. Nesse processo é gerado CO_2, que é transportado pelo sangue e exalado na respiração pulmonar.

Capítulo 16

Integração nervosa e hormonal, revestimento e movimentação do corpo humano

1. c
2. b
3. d
4. c
5. d
6. b
7. a
8. b
9. b

Questões de vestibulares

10. c **11.** e **12.** a

13. O suor, ao evaporar, absorve grande quantidade de calor do corpo, resfriando-o. Quando a temperatura do corpo sobe, impulsos nervosos provocam dilatações dos vasos sanguíneos dérmicos, fazendo com que maior quantidade de sangue passe a circular na pele. Com isso, aumenta a irradiação de calor para o meio, e o corpo esfria.

Capítulo 17

A herança genética

1. c
2. a
3. c
4. d
5. a
6. a
7. d
8. b
9. c
10. a
11. d
12. c
13. d
14. b

15. a. Os casais 1×2 e 6×7 tiveram filhos homozigóticos recessivos, sendo portanto heterozigóticos. O indivíduo 8 é também heterozigótico, pois sua mãe (3) é homozigótica recessiva.

b. O indivíduo 4, filho do casal de heterozigóticos (1×2), pode ser homozigótico dominante ou heterozigótico. A probabilidade de ser homozigótico é $\frac{1}{3}$ e de ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$.

c. Se o indivíduo 4 for homozigótico dominante, a chance de ele vir a ter um filho homozigótico recessivo com a mulher 3 será zero. No entanto, a chance de ele ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$ e, nesse caso, a chance de ele vir a ter um filho homozigótico recessivo com a mulher 3 será de 50% ou $\frac{1}{2}$.

A resposta final à questão é obtida multiplicando a probabilidade de ele ser heterozigótico pela probabilidade de vir a ter um filho homozigótico recessivo é de $\left(\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}\right)$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões de vestibulares e do Enem

16. c **18.** e **20.** b
17. e **19.** b

21. a. Poderiam ser utilizados os tipos A e O. Sangue do tipo O é considerado doador universal, uma vez que suas hemácias não apresentam nenhum dos dois aglutinogênios, A e B.

b. A probabilidade é de $\frac{1}{4}$ ou 25%:
Pais: mulher I^Ai X homem I^Bi
Geração possível: $\frac{1}{4}\ I^AI^B : \frac{1}{4}\ I^Ai : \frac{1}{4}\ I^B i : \frac{1}{4}\ ii$
$P(I^AI^B) = \frac{1}{4}$, ou 25%

Capítulo 18

As bases cromossômicas da herança

1. d **3.** d **5.** c
2. b **4.** c

6. a. Fenótipos e genótipos: $\frac{3}{8}$ vermelhas ($\frac{1}{8}$ *AACc* + $\frac{2}{8}$ *AaCc*) : $\frac{3}{8}$ cremes ($\frac{1}{8}$ *AAcc* + $\frac{2}{8}$ *Aacc*) : $\frac{2}{8}$ brancas ($\frac{1}{8}$ *aaCc* + $\frac{1}{8}$ *aacc*)

b. O provável genótipo da planta parental de cor creme é *Aacc*, e o da planta de cor vermelha é *AaCC*.

7. a. 1 = *CcVv*; 2 = *Ccvv*; 3 = *C_Vv*; 4 = *C_vv*; 5 = *ccVv*; 6 = *C_vv*; 7 = *C_Vv*.

b. Cruzamento: *CcVv* x *ccVv*. Descendência: $\frac{3}{8}$ com crista e penas pretas ($\frac{1}{8}$ *CcVV* + $\frac{2}{8}$ *CcVv*); $\frac{1}{8}$ com crista e penas vermelhas (*Ccvv*); $\frac{3}{8}$ sem crista e com penas pretas ($\frac{1}{8}$ *ccVV* + $\frac{2}{8}$ *ccVv*) e $\frac{1}{8}$ sem crista e com penas vermelhas (*ccvv*).

Questões de vestibulares

8. c **9.** d **10.** b

11. a. Macho: *DdMm*; fêmea: *ddMm*.

b. O filho preto e branco apresenta o genótipo *Ddmm*. Se ele cruzar com uma fêmea com o mesmo fenótipo da mãe (*ddMm*), a chance de terem um descendente com o genótipo *Ddmm* é de $\frac{1}{4}\left(\frac{1}{2} x \frac{1}{2}\right)$.

12. a. Alelos: *A* (longo), *a* (curto); *B* (redondo), *b* (oval). Ao cruzar as linhagens homozigotas, será obtida a geração F_1 que, intercruzada, produzirá, na geração F_2, plantas com caule curto e frutos ovais.

Cruzamentos:
- P: *AAbb* x *aaBB*
- F_1: *AaBb* x *AaBb*
- F_2: 9 *A_B_* : 3 *A_bb* : 3 *aaB_* : 1 *aabb*

b. A proporção esperada para plantas com caule curto e frutos ovais (aabb) é de $\frac{1}{16}$.

13. A segunda lei de Mendel aplica-se apenas à segregação independente, que ocorre quando se consideram genes localizados em cromossomos diferentes. Nesse caso, os genes estão em um mesmo cromossomo e por isso se diz que eles estão ligados (em ligação, ou *linkage*).

14. a. Tipos de gametas: *AbD*, *Abd*, *aBD* e *aBd*.

b. Pares de alelos com segregação independente: *Aa* e *Dd*; *Bb* e *Dd*.

Capítulo 19

Genética e biotecnologia na atualidade

1. c **4.** d
2. a **5.** a
3. c **6.** d

Questões de vestibulares

7. d **9.** c **11.** a
8. c **10.** c

12. a. Endonucleases de restrição são enzimas que cortam o DNA em locais específicos. Ligases são enzimas que permitem a união dos trechos cortados a um segmento de DNA que será utilizado como vetor.

b. A tecnologia do DNA recombinante permite o isolamento de fragmentos de DNA (genes) de interesse, sua multiplicação em bactérias e sua inserção em organismos de diferentes espécies. Os organismos que recebem o DNA de outra espécie são chamados de transgênicos.

c. Insulina, somatostatina e hormônio de crescimento são exemplos de substâncias humanas produzidas em bactérias pela tecnologia do DNA recombinante. A soja transgênica resistente a herbicidas e o milho Bt resistente a insetos-praga são outros exemplos.

Capítulo 20

Os fundamentos da evolução biológica

1. d **6.** d
2. d **7.** b
3. a **8.** d
4. c **9.** b
5. d

10. As populações originais de cactos seriam plantas rasteiras, com flores próximas ao solo. Plantas arborescentes com flores elevadas do chão teriam eventualmente surgido por meio da variabilidade inerente aos organismos. Nas ilhas em que existiam iguanas, as flores rasteiras eram comidas por esses animais, enquanto as plantas com flores altas não eram afetadas e tenderiam a produzir mais descendentes. Com o tempo, nessas ilhas teriam permanecido apenas os cactos altos. Nas ilhas em que não existiam iguanas não houve esse tipo de seleção, mantendo a população original, com predominância de indivíduos rasteiros.

11. Após a primeira aplicação do inseticida, os insetos sobreviventes foram preferencialmente os portadores de alelos que conferem resistência à droga. Com isso, a frequência desses alelos aumentou na população e a geração seguinte teve maior quantidade de indivíduos resistentes.

Questões de vestibulares e do Enem

12. c **15.** a
13. c **16.** b
14. a

17. A adição do antibiótico causou a morte de grande parte da população inicial de bactérias. Entretanto, graças à variabilidade existente entre os organismos, algumas bactérias resistentes ao antibiótico sobreviveram e se multiplicaram, gerando uma população composta de bactérias resistentes. Novas aplicações do mesmo antibiótico serão menos eficientes para reduzir essa população, que tende a crescer de acordo com os recursos disponíveis no meio.

Capítulo 21

A evolução da vida e da espécie humana

1. d **4.** a
2. c **5.** d
3. d **6.** e

Questões de vestibulares e do Enem

7. c **12.** c
8. b **13.** e
9. d **14.** b
10. c **15.** d
11. b

Capítulo 22

Energia e matéria na natureza e dinâmica das populações

1. a **2.** d **3.** b

Questões de vestibulares e do Enem

4. e **7.** e
5. b **8.** e
6. b

9. a. A redução do fitoplâncton deverá resultar em aumento da concentração de gás carbônico (CO_2) no ambiente. Isso ocorre porque o fitoplâncton é um dos responsáveis pela absorção do gás carbônico, no processo da fotossíntese.

b. A redução do fitoplâncton deve acarretar a diminuição da biomassa total, afetando também a biomassa dos decompositores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 23

Relações ecológicas, sucessão e biomas

1. b **2.** d **3.** e

4. A relação entre os insetos e as flores é um exemplo de mutualismo, pois ambas as espécies envolvidas têm benefícios mútuos. Quando o agente polinizador é altamente específico para a espécie vegetal, a associação entre as espécies torna-se essencial para a sobrevivência de ambas, podendo ser classificada como mutualismo obrigatório (simbiose). Quando ambas as partes se beneficiam da associação, embora ela não seja obrigatória, a relação é classificada como protocooperação (mutualismo facultativo).

5. a. Parasitismo, pois a broca (parasita) causa danos às árvores (hospedeiras).

b. Predação, pois os pica-paus (predadores) alimentam-se das brocas (presas).

c. A associação poderia ser classificada como protocooperação, pois os pica-paus beneficiam as árvores ao comer as brocas. As árvores, por sua vez, beneficiam os pica-paus porque lhes fornecem alimento (as brocas).

6. b **10.** b
7. c **11.** c
8. a **12.** a
9. d **13.** b

Questões de vestibulares

14. e **15.** e **16.** e

17. a. Os predadores contribuem para a manutenção do equilíbrio populacional das presas, evitando o esgotamento dos recursos ambientais, além de selecionar os indivíduos mais aptos.

b. Os herbívoros que devoram sementes podem ser considerados predadores, pois causam a morte precoce dos embriões do vegetal. Os comedores de folhas se utilizam de parte do vegetal, sem causar necessariamente a morte deste, e, nesse caso, poderiam ser considerados parasitas dos vegetais.

18. a. Sucessão ecológica primária é o estabelecimento de uma comunidade em um ambiente antes desabitado. São exemplos a formação de vegetação sobre rochas nuas ou sobre lavas solidificadas de vulcões. Sucessão secundária é aquela que ocorre em áreas que já foram ocupadas por uma comunidade biológica e que foram devastadas naturalmente ou por atividade humana. Esse tipo de sucessão ocorre em lavouras abandonadas, florestas derrubadas ou em áreas cuja vegetação foi queimada.

b. Comunidade clímax é o nome dado ao estágio final de sucessão ecológica. Esse estágio é condicionado pelas condições físicas e climáticas do local.

Capítulo 24

Humanidade e ambiente

1. b **4.** d
2. d **5.** c
3. d **6.** a

7. a

8. Deve-se relacionar o aumento da poluição nos meses de inverno ao fenômeno da inversão térmica, que impede a dispersão dos poluentes.

9. A oxigenação da água poderia compensar a falta de gás oxigênio (O_2) dissolvido, causada pela atividade dos microrganismos que degradam a matéria orgânica.

Questões de vestibulares e do Enem

10. c **12.** d
11. d **13.** c

14. a. Como os nitratos e fosfatos estão presentes nos dejetos orgânicos do esgoto doméstico, o crescimento de sua concentração tem relação direta com o aumento do lançamento de resíduos de origem orgânica, que constituem a maior parte dos esgotos domésticos. Os teores de clorofila indicam a presença de organismos fotossintetizantes (ou algas), que se desenvolvem com o aumento de nutrientes. O aumento da concentração de oxigênio dissolvido possibilita a proliferação de organismos aeróbios, que provocam a desoxigenação da água. Como resultado final do processo, os peixes morrem devido à falta de oxigênio dissolvido.

b. Com a instalação da estação de tratamento, os teores de fosfatos e nitratos começaram a diminuir, os da clorofila se estabilizaram e os de O_2 dissolvido voltaram a aumentar. Os valores se aproximaram das medidas iniciais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS

Unidade 1

Capítulo 1

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CENTROS E MUSEUS DE CIÊNCIA **(ABCMC)**. Disponível em: http://abcmc.org.br. Acesso em: 11 set. 2024.
No *site* da associação, é possível buscar os centros e os museus de ciência da sua região.

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. São Paulo: Moderna, 2004.
O livro aborda o conhecimento humano desde a descoberta e o uso do fogo até algumas das conquistas da ciência e da tecnologia do início do século XXI.

GRAGNANI, J. Para mandar no grupo da família: um guia de como checar se uma notícia é falsa. **BBC News Brasil**. Londres, 14 set. 2018. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45043716. Acesso em: 9 set. 2024.
Guia com instruções de como identificar *fake news*, assunto importante para evitar a disseminação de notícias falsas como se fossem conhecimento científico.

MEIS, L. **O método científico**: como o saber mudou a vida do homem. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.
O livro, escrito na forma de peça com um ato e vinte cenas, conta de que modo surgiu a ciência. Descreve fatos importantes, mostrando de que forma as descobertas e os avanços da ciência interferiram no curso da vida do ser humano.

OLIVA, A. **Filosofia da ciência**. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
A obra descreve algumas peculiaridades da ciência e discute quais são os fundamentos de suas técnicas, seus procedimentos de pesquisa e, consequentemente, seus resultados.

Capítulo 2

AS 100 MAIORES descobertas da História. (Temporada 2, ep. 5). As dez mais [documentário]. Estados Unidos: Thinkfilm, 2005. (46 min). Publicado por Discovery Science. Disponível em: https://www.dailymotion.com/video/x12w9cs. Acesso em: 10 set. 2024.
Nesse documentário, transmitido originalmente no canal Discovery Science, são listadas dez dentre as cem mais importantes descobertas científicas que abrangem as áreas da Biologia, da Química e da Física.

SILVA, A. **Biogênese**: a experiência de Louis Pasteur. [*S. l.*], 2023 (14 min). Publicado pelo canal Armando Silva. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=XFP9IXCwiTc. Acesso em: 9 set. 2024.
Nesse vídeo, o professor Silva recria o célebre experimento de Louis Pasteur, de 1864, que desmistificou de forma conclusiva a teoria da geração espontânea da vida.

BRANCO, S. M. **Água**: origem, uso e preservação. São Paulo: Moderna, 2003.
Esse livro ajuda a conhecer algumas características da água e aponta atitudes e técnicas ao alcance das pessoas para a conservação desse recurso natural.

MAIA, H. L. S.; DIAS, I. V. R. **Origem da vida**. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
O que exatamente caracteriza a vida? Há quanto tempo existe vida na Terra? Perguntas sem resposta unânime ou simplesmente sem resposta, entre as muitas outras formuladas e discutidas nesse livro, acompanham diferentes épocas do pensamento filosófico e são apresentadas à luz das fronteiras atuais da pesquisa científica.

Capítulo 3

ATKINS, P. W. **Moléculas**. São Paulo: Edusp, 2006.
Livro de divulgação científica em que o autor descreve muitas substâncias, suas aplicações, propriedades, ocorrência e importância no cotidiano.

COSTA, M. Estamos vivendo uma obsessão pelas proteínas? **O Joio e o Trigo**. [*S. l.*], 20 maio 2024. Disponível em: https://ojoioeotrigo.com.br/2024/05/proteinas-obsessao/. Acesso em: 9 set. 2024.
O artigo realiza uma análise do papel da proteína na sociedade contemporânea, desvendando os fatores que impulsionam a crescente demanda por esse macronutriente.

Capítulo 4

BREZEZINSKI, M. A. **Teoria celular**: de Hooke a Schwann. São Paulo: Scipione, 1997.
Esse livro mostra o processo histórico-científico que resultou na proposição da teoria celular, finalizando com os desdobramentos dessa teoria.

ZORZETTO, R. Fronteiras fluidas: propriedades elásticas das membranas variam segundo o tipo e a função das células. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, nov. 2013. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/fronteiras-fluidas/. Acesso em: 10 set. 2024.
Nesse texto de divulgação científica, são apresentados alguns aspectos da biofísica das membranas de diferentes tipos de células humanas.

Capítulo 5

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **ABC do câncer: abordagens básicas para o controle do câncer**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document/livro_abc_6ed_0.pdf. Acesso em: 30 ago. 2024.
Nesse material produzido pelo Ministério da Saúde, é possível entender a relação entre as divisões celulares e a doença câncer.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 6

INTRIERI, L. **Cientistas criam sistema de fotossíntese artificial dez vezes mais eficiente do que os existentes**. Portal *Terra*. [*s. l.*], 11 nov. 2022. Disponível em: https://www.terra.com.br/byte/cientistas-criam-sistema-de-fotossintese-artificial-dez-vezes-mais-eficiente-do-que-os-existentes,50ea1c6979a14b810c1d5f9b9fab365ebmv5cb0o.html. Acesso em: 30 ago. 2024.
O artigo relata uma descoberta no campo da energia renovável: cientistas da Universidade de Chicago desenvolveram um sistema de fotossíntese artificial.

Capítulo 7

PEREIRA, L. V. **Células-tronco**: promessas e realidades. São Paulo: Moderna, 2013.
Nesse livro são apresentados os diferentes tipos de células-tronco, suas possíveis vantagens e limitações no uso terapêutico, bem como o que já é realidade e o que ainda são promessas das terapias com células-tronco.

INSTITUTO DE PESQUISA COM CÉLULAS-TRONCO. Disponível em: https://celulastroncors.org.br/. Acesso em: 11 set. 2020.
O *site* do Instituto de Pesquisa com Células-tronco reúne diversas informações sobre essa área, podendo ser consultado por quem quiser se manter atualizado sobre o assunto. Também ajuda a ter uma visão sobre avanços da ciência brasileira nesse tema.

Capítulo 8

AZEVEDO, G. **Adolescência**. São Paulo: Scipione, 2004.
O livro aborda assuntos de interesse dos adolescentes, como namorar ou ficar, a escolha da profissão, o problema das drogas e a violência, entre outros.

BORGES, J. C. **Para que serve o sexo?** [*s. l.*], 12 jan. 2007. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/para-que-serve-o-sexo/. Acesso em: 11 set. 2024.
O artigo discute as vantagens e as desvantagens das formas sexuada e assexuada de reprodução.

BORGES, J. C. Uma casa com três senhores. **Ciência Hoje**. [*s. l.*], [20-?]. Disponível em: https://www.cienciahoje.org.br/coluna/uma-casa-com-tres-senhores/. Acesso em: 23 out. 2024.
Esse texto aborda a formação de embriões humanos com 69 cromossomos e relata que pesquisadores têm procurado esclarecer como podem se formar e se desenvolver, pelo menos durante algum tempo, embriões e fetos humanos com conjuntos extras de cromossomos.

ORDEM DOS PSICÓLOGOS. Sexualidade e afetos na adolescência. [*S. l.: s.n.*]. **Escola Saudável Mente**. Disponível em: https://escolasaudavelmente.pt/alunos/adolescentes/amor/sexualidade-afetos. Acesso em: 24 out. 2024.
O texto discute as mudanças físicas, emocionais e sociais que os adolescentes experimentam durante essa fase da vida. Também fornece informações sobre como conversar com os responsáveis sobre sexo, destacando que esse assunto deve ser tratado de forma natural e que há recursos disponíveis para ajudar.

Unidade 2

Capítulo 9

AMORIM, D. S. **Fundamentos de Sistemática filogenética**. São Paulo: Holos, 2002.
O livro traz diversos conteúdos sobre Sistemática e diversidade biológica, com informações sobre construção de cladogramas e exercícios com respostas.

BARONE, A. A. **Aids**: informação e prevenção. São Paulo: Ática, 2004.
A informação e o conhecimento são armas poderosas para combater a aids, síndrome que ainda não tem cura.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Departamento de HIV, aids, tuberculose, hepatites virais e infecções sexualmente transmissíveis.** Brasília, [20--?]. Disponível em: https://www.gov.br/aids/pt-br. Acesso em: 30 ago. 2024.
Portal do Ministério da Saúde com informações sobre HIV, aids, tuberculose, hepatites virais e ISTs, incluindo transmissão, diagnóstico, tratamento e prevenção.

PARKER, S. **Pasteur e os microrganismos**. São Paulo: Scipione, 2005.
O livro conta um pouco da história de Louis Pasteur, químico francês que fundou a microbiologia. Seu trabalho possibilitou inúmeros avanços em medicina, saúde pública e higiene.

Capítulo 10

MOURA, S. Algas arribadas mostram potencial para medicamentos contra leucemia e HIV. **Jornal da USP**. São Paulo, 6 jan. 2022. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/algas-arribadas-mostram-potencial-para-medicamentos-contra-leucemia-e-hiv/. Acesso em: 11 set. 2024.
Artigo aborda uma pesquisa que mostra que algumas espécies de algas arribadas, que são levadas para a costa pelo oceano, têm potencial para uso em alimentos, cosméticos e medicamentos. Em particular, algumas que poderiam ser usadas para desenvolver novos medicamentos para tratar o HIV/aids.

PALEARI, L. M.; TERÇARIOLI, G. R.; BAGAGLI, E. **O incrível mundo dos fungos**. São Paulo: Ed. Unesp, 2010.
O livro, ilustrado com imagens e esquemas, traz informações sobre a micologia, ramo da ciência dedicado a estudar os fungos.

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS. **Planeta algas.** E-aulas: Portal de videoaulas. Universidade de São Paulo. São Paulo: [20--]. Disponível em: https://eaulas.usp.br/portal/course.action;jsessionid=EEF473F6183AA318ABC2626E4C8D5AC1?course=29714. Acesso em: 10 set. 2024.
O portal disponibiliza 23 vídeos abordando diversos aspectos das algas, entre importância ecológica, econômica e curiosidades.

Capítulo 11

INSTITUTO INHOTIM. Brumadinho, MG. Disponível em: https://www.inhotim.org.br/. Acesso em: 11 set. 2024.
Museu de arte e jardim botânico, onde são exibidas ao ar livre diversas espécies de plantas. Disponibiliza visitas mediadas e exposição *on-line*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

KELLNER, A. Uma flor de 125 milhões de anos. **Ciência Hoje**. [*s. l.*], 4 fev. 2005. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/uma-flor-de-125-milhoes-de-anos/. Acesso em 30 ago. 2024.
O artigo trata das possíveis primeiras angiospermas que surgiram na Terra, quando o planeta ainda era dominado pelos grandes répteis, e permite conhecer as espécies chinesas que podem estar na origem das plantas angiospermas atuais.

Capítulo 12

FELIPPE, G. **Árvores frutíferas brasileiras**. São Paulo: Sarandi, 2010.
O livro traz o conhecimento acumulado sobre a flora brasileira por pesquisadores que, desde o século XVI, estudam os frutos, as formas, as cores e os aromas das árvores frutíferas brasileiras.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. Viçosa: Editora UFV, 2011.
O livro conecta a teoria à prática, explorando como os processos fisiológicos das plantas influenciam diretamente a produtividade agrícola.

Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, PA. Disponível em: https://www.gov.br/museugoeldi/pt-br. Acesso em: 11 set. 2024.
Esse museu tem grande importância histórica. Conta com variadas coleções biológicas, um parque zoobotânico e uma base de pesquisas científicas.

Capítulo 13

ANELLI, L. E. **Evolução dos bichos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
O livro aborda como a vida evoluiu desde a simplicidade de uma célula até os sofisticados e complexos seres multicelulares.

Capítulo 14

ALEJANDRO, D. Primeira vacina contra um verme está a um passo de virar realidade. **Veja**. São Paulo, 19 jun. 2023. Disponível em: https://veja.abril.com.br/saude/primeira-vacina-contra-um-verme-esta-mais-perto-de-virar-realidade/. Acesso em: 10 set. 2024.
Artigo trata da produção da vacina contra esquistossomose pela Fundação Oswaldo Cruz.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Museu de Zoologia da USP**. São Paulo. Disponível em: https://mz.usp.br/pt/pagina-inicial/. Acesso em: 9 set. 2024.
O museu trabalha com a diversidade de animais no Brasil e disponibiliza visitas, cursos e materiais que mostram relações entre seres vivos.

Capítulo 15

BRYSON, B. **Corpo**: um guia para usuários. São Paulo: Companhia das Letras, 2020.
O livro aborda, de maneira divertida, o funcionamento do nosso organismo explorando desde os processos mais simples até as complexidades da saúde e da doença.

FRAGA, O. Quais os tipos de cirurgia de redução do estômago. **Mundo Estranho**. São Paulo, 27 maio 2013. Disponível em: https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quais-os-tipos-de-cirurgia-de-reducao-de-estomago/. Acesso em: 10 set. 2024.
Infográfico sobre as técnicas de redução gástrica.

Museu de Anatomia Humana Professor Alfonso Bovero. São Paulo, SP. Disponível em: https://museu.icb.usp.br/. Acesso em: 23 out. 2024.
O museu conta com peças anatômicas de diferentes partes do corpo humano, preservadas por meio de variadas técnicas.

Capítulo 16

DUNHAM, W. Cientistas identificam ligação mente-corpo no cérebro humano. **Folha de S.Paulo**. São Paulo, 21 abr. 2023. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2023/04/cientistas-identificam-ligacao-mente-corpo-no-cerebro-humano.shtml. Acesso em: 30 ago. 2024.
O artigo trata da pesquisa que identificou uma nova rede neural no cérebro humano, que conecta áreas responsáveis pelo movimento com regiões ligadas ao pensamento, planejamento e controle de funções corporais básicas.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Saúde mental**. Secretaria da Saúde, [20--]. Disponível em: https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/Saude-Mental. Acesso em: ago. 2024.
Página com várias informações sobre saúde mental e como mantê-la.

Unidade 3

Capítulo 17

O ERRO que fez Mendel ser esquecido. [*S. l.*], 12 fev. 2020. 1 vídeo (18 min). Publicado pelo canal Ponto em Comum. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ythMvY1WKVw. Acesso em: 10 set. 2024.
O vídeo conta a história de Gregor Mendel e pontua alguns fatores pelos quais o trabalho de Mendel não foi reconhecido na sua época.

Capítulo 18

ALMEIDA, D. F. História de um sucesso e duas tragédias. **Ciência Hoje**. [*S. l.*], abril 2013. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/acervo/historia-de-um-sucesso-e-duas-tragedias/. Acesso em: 10 set. 2024.
O artigo resgata o papel de cientistas "esquecidos" na descoberta da estrutura do DNA.

FERREIRA, R. **Watson & Crick**: a história da descoberta da estrutura do DNA. São Paulo: Odysseus, 2003.
O livro traz uma exposição acadêmica fundamentada e apresenta a importância, na cultura moderna, do trabalho inovador de Watson e Crick.

Capítulo 19

PEREIRA, L. V. **Clonagem**: da ovelha Dolly às células-tronco. São Paulo: Moderna, 2005.
O livro procura explicar o que é clonagem e também como e com quais objetivos é feita. Além disso, levanta uma série de questões científicas e éticas sobre as novas tecnologias, diferenciando a clonagem reprodutiva da clonagem terapêutica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 20

ALMEIDA, G. **Darwin no Brasil**. São Paulo: Vieira & Lent, 2009.
História em quadrinhos que descreve os principais fatos da viagem de Darwin ao Brasil, em 1832.

KELLNER, A. Descobertas de dinossauros ao acaso. **Ciência Hoje**. [*s. l.*], [20--]. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/descobertas-de-dinossauros-ao-acaso/. Acesso em: 10 set. 2024.
O autor do artigo afirma que nem todos os achados paleontológicos são feitos por cientistas.

Capítulo 21

BRANCO, S. M.; BRANCO, F. C. **A deriva dos continentes**. São Paulo: Moderna, 2004.
Nesse livro, são abordados assuntos desde as visões clássicas sobre a estrutura da Terra até as modernas teorias que relacionam a chamada tectônica de placas com a configuração atual dos continentes, oceanos e ecossistemas abissais.

Fundação Museu do Homem Americano. São Raimundo Nonato, PI. Disponível em: https://fumdham.org.br/. Acesso em: 2 fev. 2024.
Nessa página, é possível visualizar imagens dos registros rupestres encontrados nos sítios arqueológicos do Parque Nacional Serra da Capivara.

RAMIFICAÇÕES ancestrais nos macacos-prego. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, 21 ago. 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/ramifica%C3%A7%C3%B5es-ancestrais-dos-macacos-prego/. Acesso em: 10 set. 2024.
Criando e manipulando ferramentas que os ajudam a quebrar cascas, cutucar lagartos e aranhas e até a paquerar, os macacos-prego mostram como tradições culturais podem evoluir e ser criadas entre animais.

SANTOS, F. R. A grande árvore genealógica humana. **Rev. UFMG**, Belo Horizonte, v. 21, n. 1 e 2, p. 88-113, jan./dez. 2014. Disponível em: https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/21/05_pag88a113_fabriciosantos_agrandearvore.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.
Artigo que aborda diversos aspectos sobre evolução humana e suas ramificações.

Capítulo 22

PANTANO, G. *et al*. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, v. 39, n. 6, 732-740, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/YLbwv37mZWK7qJLr4SxGnFP/. Acesso em: 10 set. 2024.
Artigo que relata observações sobre interferências no ciclo do fósforo, outro ciclo biogeoquímico.

Capítulo 23

BIZERRIL, M. **Vivendo no cerrado e aprendendo com ele**. São Paulo: Saraiva, 2004.
Nessa obra, o autor revela que os vegetais do cerrado têm grande potencial alimentício, medicinal e madeireiro. O livro aborda também os grupos indígenas que habitam a região e traz informações arqueológicas sobre a presença da espécie humana no local, há cerca de 11 mil anos.

MARGULIS, L. **Planeta simbiótico**. Rio de Janeiro: Dantes. 2022.
No livro, a autora traça uma jornada pela história da evolução, desde as bactérias até a formação dos organismos mais complexos, argumentando como a simbiose desempenhou um papel crucial em cada etapa.

SANTANA, F. O que aconteceria se a Amazônia fosse totalmente destruída? **Vocativo**. Manaus, 26 mar. 2023. Disponível em: https://vocativo.com/2023/03/26/o-que-aconteceria-se-a-amazonia-fosse-totalmente-destruida/. Acesso em: 10 set. 2024.
O artigo explora as graves consequências da destruição completa da Floresta Amazônica. A pesquisa científica demonstra a interconexão entre a Amazônia e outros ecossistemas globais, destacando a importância da preservação da floresta para a manutenção da vida na Terra.

ZORZETTO, R. Pioneira centenária. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, dez. 2010. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/pioneira-centenária/. Acesso em: 10 set. 2024.
O artigo trata da recuperação das araucárias em áreas desmatadas e da importância dessa espécie para o ecossistema local.

Capítulo 24

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atual, 2004.
Esse livro foi organizado a partir de três eixos centrais – a constituição das sociedades modernas; a relação entre os processos de modernização econômica e a emergência de impactos ambientais; e a possibilidade de combinar desenvolvimento com uso e gestão racional dos recursos naturais.

HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E.; OJIMA, R. **População e ambiente**: desafios à sustentabilidade. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
Esse livro analisa o que pode ser feito para reduzir a poluição e os impactos ambientais em geral, aumentar a produção de alimentos sem destruir as florestas e evitar a exaustão dos recursos naturais por meio do uso de fontes alternativas de energia e de outros produtos renováveis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. 8. ed. Cotia: Ateliê, 2021.
O livro é uma referência para o estudo dos domínios morfoclimáticos brasileiros.

ALBERTS, B.; DENNIS, B.; LEWIS, V. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
Livro com diversas informações sobre citologia, referência para diversos assuntos da área.

ALVES, R. **Filosofia da ciência**: introdução ao jogo e suas regras. 19. ed. São Paulo: Brasiliense, 2000.
Nesse livro, Rubem Alves compara o senso comum à ciência, mostrando como esta última refina e disciplina o conhecimento do dia a dia. Através de exemplos práticos, o autor demonstra como a ciência busca estabelecer uma ordem no mundo, superando os obstáculos do pensamento cotidiano.

ASIMOV, I. **Asimov's biographical encyclopedia of science and technology**. Garden City: Doubleday, 1982.
O livro mostra a evolução do pensamento científico ao longo do tempo e as relações entre cientistas e estudiosos, fazendo uma exposição completa de ciência e tecnologia em meados do século XX.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology**: from individuals to ecosystems. 5th. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2021.
Livro usado como fonte para aspectos de ecologia.

CARLSON, E. A. **The gene**: a critical history. Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1966.
A obra aborda aspectos históricos e filosóficos da evolução do conceito de gene.

COOPER, G. M. **The cell**: a molecular approach. 8th. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2018.
Livro que aborda diversos temas de citologia, como a organização do núcleo celular e das organelas citoplasmáticas.

COPLEY, J. Proof of Life. **New scientist**. [*S. l.*]. v. 177, n. 2.383, p. 28-31, 2004.
Artigo que explora argumentos que envolvem a definição de vida.

CURI, R.; ARAÚJO FILHO, J. P. **Fisiologia básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
Livro que aborda variados aspectos da fisiologia.

CURTIS, H.; BARNES, N. S. **Biology**. 5th. ed. Nova York: Worth Publishers, 1989.
O livro aborda aspectos gerais da Biologia, entre elas as características de microrganismos, animais e plantas.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. São Paulo: Edipro, 2018.
Livro com as ideias originais de Charles Darwin.

DAVIS, B. D. **The genetic revolution.** Baltimore: The John Hopkins University Press, 1991.
O livro contém diversas informações sobre o desenvolvimento da Genética.

DEFENSORIA PÚBLICA DO ESTADO DA BAHIA. **Entendendo a diversidade sexual.** Salvador: ESDEP, 2018. Disponível em: https://www.defensoria.ba.def.br/wp-content/uploads/2019/01/cartilha_diversidade-sexual.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.
Cartilha sobre as formas de vivência e expressões da sexualidade.

DOBZHANSKY, T. **Genética do processo evolutivo**. São Paulo: Polígono: Edusp, 1973.
Essa obra mostra relações entre seleção natural e Genética.

EHRLICH, A. H. The human population: size and dynamics. **American Zoologist**. [*S. l.*]. v. 25, p. 395-406, 1985.
O artigo contém tópicos sobre impactos do crescimento da população humana.

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (org.). **O que é vida?**: para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2000.
Livro com capítulos escritos por diversos autores, que analisam o conceito de vida.

FUTUYAMA, D. J. **Biologia evolutiva**. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec-Editora, 2009.
Esse material traz diversos dados sobre análises evolutivas.

GAMLIN, L.; VINES, G. (ed.). **The evolution of life**. Nova York: Oxford University Press, 1991.
O livro aborda aspectos da Biologia em uma perspectiva evolutiva.

GARCIA. S. M. L.; FERNÁNDEZ, C. G. **Embriologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
Livro que contém informações e referências sobre embriologia.

GILBERT, S. F. **Developmental Biology**. 11th. ed. Nova York: Oxford University Press, 2017.
Livro que trata de Biologia do desenvolvimento, mostrando aspectos do desenvolvimento embrionário humano.

GORE, A. **A Terra em balanço**: ecologia e o espírito humano. 2. ed. São Paulo: Global, 2008.
O livro aborda as mudanças necessárias para enfrentar ameaças como o aquecimento global, a destruição do solo e das reservas de água, a devastação vegetal e a extinção de espécies animais.

GRIFFITHS, A. J. F.; GELBART, W. M.; MILLER, J. H.; LEWONTIN, R. C. **Modern genetics analysis**. Nova York: W. H. Freeman, 1998.
O livro traz importantes considerações e referências sobre Genética.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. **Introdução à genética**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
A obra traz importantes considerações e referências sobre Genética.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.
O livro é uma importante referência no estudo de fisiologia humana.

HARRIS, H. **The birth of the cell**. Londres: Yale University Press, 1999.
O livro narra a história da descoberta da célula, apresentando uma perspectiva original sobre os cientistas que revolucionaram nosso entendimento da vida, incluindo figuras menos conhecidas da Europa Central e Oriental.

HAUSMANN, R. **História da Biologia molecular**. Ribeirão Preto: Funpec-Editora, 2002.
Esse material traz diversos aspectos históricos do desenvolvimento da Genética.

HECHT, J. People and chimps belong together on the family tree. **New Scientist**, n. 2.396, p. 15, 2003.
Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

HERSHEY, D. R. **Plant biology science projects**. Nova York: John Wiley & Sons, 1995.
O livro traz um estudo dos grupos vegetais por meio de projetos científicos.

HICKMAN JR., C. P. *et al*. **Princípios integrados de zoologia**. 18. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2024.
O livro aborda aspectos de zoologia e analisa diversas relações evolutivas entre os seres vivos.

HOUILLON, C. **Embriologia**. São Paulo: Edgard Blücher: Edusp, 1972.
O livro traz importantes referências para discutir reprodução sexuada e embriologia.

KOEPPEN, B. M.; STANTON, B. A. **Berne e Levy**: fisiologia. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
A obra aborda considerações e referências sobre fisiologia dos seres vivos.

LEAKEY, M.; WALKER, A. Os primeiros fósseis hominídeos da África. **Scientific American Brasil**, edição especial: Novo olhar sobre a evolução humana. [*s. l.*]. n. 2, p. 16-21, 2003.
Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LODISH, H. *et al.* **Biologia celular e molecular**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
Livro com diversas informações sobre citologia, como a estrutura da membrana plasmática e comunicação celular.

MADER, S. S. **Biology**. 14th. ed. Boston: McGraw-Hill, 2021.
O livro trata de aspectos gerais de Biologia, passando desde áreas como citologia até conservação da biodiversidade.

MADIGAN, M. T. *et al*. **Brock Biology of microorganisms**. 15th. ed. Harlow: Pearson, 2019.
Obra com informações a respeito de procariontes, importante fonte para processos metabólicos de oxirredução.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. **Five kingdoms**: an illustrated guide to the phyla of life on Earth. 3rd ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 1988.
O livro detalha aspectos da classificação dos seres vivos em 5 reinos.

MAYNARD SMITH, J. **The problems of Biology**. Oxford: Oxford University Press, 1986.
Livro que aborda aspectos fundamentais da Biologia, como evolução e cognição.

MELLO AIRES, M. **Fisiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.
O livro contém informações sobre fisiologia animal.

MENNUCCI, L.; KRASILCHIK, M. **A Biologia e o homem.** São Paulo: Edusp, 2001.
O livro explora a dinâmica da pesquisa científica em Biologia, desmistificando termos complexos e demonstrando a importância da ciência para a vida cotidiana.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E. **Living in the environment**. 19th. ed. Boston: Cengage, 2018.
O livro traz informações sobre poluentes e seus efeitos nos diferentes componentes ambientais

MILLER, K. R.; LEVINE, J. S. **Biology**. Nova Jersey: Prentice Hall, 2012.
Livro que aborda diversas áreas da Biologia.

MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**. *[s. l.]*, maio 2001. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.
Artigo que traz referências para o estudo de ciclos biogeoquímicos.

NEVES, W. A.; HUBBE, M. Luzia e a saga dos primeiros americanos. **Scientific American Brasil**, edição especial: Novo olhar sobre a evolução humana. [*s. l.*], n. 2, p. 64-71, 2003.
Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

OLBY, R. **Origins of mendelism**. 2nd. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1985.
Livro que aborda aspectos históricos do surgimento da Genética.

OREL, V. **Gregor Mendel**: the first geneticist. Oxford: Oxford University Press, 1996.
A obra trata de aspectos relacionados a Mendel e suas pesquisas.

ORGEL, L. O. The Origin of Life on the Earth. **Scientific American.** [*s. l.*], v. 271, n. 4, p. 53-61, 1994.
Artigo que relata dados e hipóteses sobre a origem da vida na Terra.

PARACER, S.; AHMADJIAN, V. **Symbiosis**: an introduction to biological associations. 2nd. ed. Nova York: Oxford University Press, 2000.
O livro aborda diversos aspectos da simbiose.

POSTGATE, J. **Microbes and man**. 4th. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
O livro aborda aspectos da relação entre seres humanos e microrganismos.

RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. **Eckert**: fisiologia animal: mecanismos e adaptações. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
Livro com diversas informações sobre fisiologia animal.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
O livro é uma tradicional referência para o estudo dos vegetais.

REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
O livro aborda diversos aspectos de Biologia, como citologia, botânica, evolução e classificação biológica.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
Livro com informações sobre aspectos de ecologia, entre eles o fluxo de energia na natureza.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
O livro aborda importantes conteúdos sobre evolução.

ROSENBERG, E.; DELONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (ed.). **The prokaryotes**: prokaryotic physiology and biochemistry. 4th. ed. Nova York: 2013.
O livro aborda processos de oxirredução no metabolismo de seres unicelulares.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.
O livro é uma importante referência sobre animais invertebrados.

SALISBURY, F.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4th. ed. Califórnia: Bel- mont Wedsworth, 1991.
Livro traz informações sobre fisiologia vegetal.

SANTOS, D. Y. A. C.; CHOW, F.; FURLAN, C. M. (org.). **A Botânica no cotidiano**. Ribeirão Preto: Holos, 2012.
O livro traz diversas contextualizações e aplicações de conhecimentos de botânica em situações cotidianas.

SENDER, R.; FUCHS, S; MILO, R. Are we really vastly outnumbered? Revisiting the ratio of bacterial to host cells in humans. **Cell**. [*s. l.*], 164: 337-340, 2016.
Artigo usado como referência sobre a microbiota do corpo humano.

SHEPHERD, G. J. Plantas terrestres. *In*: LEWINSOHN, T. M. (org.). **Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira.** v. 2. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Aval_Conhec_Cap7.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.
Capítulo que aborda diversos aspectos das plantas.

SMITH, D.; MARGOLSKEE, R. F. Making Sense of Taste. **Scientific American**. [*S. l.*], n. 284, p. 26-33, 2000.
Artigo usado como referência para o estudo dos sentidos.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ANATOMIA. **Terminologia anatômica**: terminologia anatômica internacional. São Paulo: Manole, 2001. 2 v.
O livro é uma referência para informações sobre nomenclatura anatômica.

STANDRING, S. (org.). **Gray's Anatomy**: the anatomical basis for clinical practice. 42nd. ed. Nova York: Elsevier Churchill Levingstone, 2020.
O livro traz importantes informações e considerações sobre anatomia e fisiologia humanas.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Connecticut: Sinauer Associates, 2002.
O livro é fonte de informações para o estudo de fisiologia vegetal.

TORTORA, G. J; DERRICKSON, B. **Corpo humano**: fundamentos de Anatomia e Fisiologia. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
Esse livro apresenta em detalhes os fundamentos de anatomia e de fisiologia do corpo humano.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
Livro com diversas informações sobre microrganismos e microbiologia.

VOLGELSTEIN, B.; KINZLER, K. W. The multistep nature of cancer. **Trends in Genetics**. [*S. l.*]. n. 9, p. 138-141, 1993.
Artigo que aborda o surgimento de câncer, mostrando algumas possibilidades de mutações relacionadas ao surgimento dessa doença.

WHITFIELD, P. **From so simple a beginning**: the book of evolution. Nova York: Macmillan, 1993.
Livro com diversas informações sobre evolução.

WILLIAMS, R. J. P.; da SILVA, J. J. R. **The Chemistry of evolution**: the development of our ecosystem. Amsterdam: Elsevier, 2006.
Obra que inclui aspectos sobre a abundância dos elementos químicos, sua origem e importância para a vida.

WOLPERT, L. *et al*. **Princípios de Biologia do desenvolvimento**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
Livro com diversas informações sobre embriologia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUPLEMENTO PARA O PROFESSOR

Prezado professor,

Neste *Suplemento para o professor* apresentamos esta coleção, estruturada em três volumes, correspondente aos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, destinada ao Ensino Médio. A amplitude dos assuntos tratados na obra procura contemplar os conteúdos tradicionalmente trabalhados pelos professores, relacionando-os às competências e às habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

O objetivo é que as escolas e os professores possam utilizar os volumes de cada um dos componentes curriculares de acordo com seu projeto pedagógico, carga horária disponível e recursos da escola, de forma a atender às exigências da BNCC. Os temas tratados procuram envolver os estudantes na aventura do conhecimento e capacitá-los a entender e a discutir os alcances e as limitações do empreendimento científico. Nosso projeto visa desenvolver competências e habilidades relacionadas às Ciências da Natureza que os estudantes possam aplicar, analisar e reconhecer no papel de cidadãos.

Esperamos que esta coleção possa ajudar os docentes no grande desafio da aprendizagem.

Os Autores.

SUMÁRIO

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO MP003
Pressupostos teórico-metodológicos MP003
O ensino por competências e habilidades MP003
Culturas juvenis e a sala de aula MP007
Cuidados com estudantes com deficiência MP007
Possibilidades no ensino de Ciências da Natureza MP007
Atividades práticas MP007
Estratégias de estudo MP008
Organização de sala de aula MP008
Juventude e mundo do trabalho MP009
Educação midiática MP009
Argumentação e leitura inferencial MP009
Pensamento computacional MP009
Avaliações MP010
Sugestões para uso da obra MP011
Possíveis cronogramas MP011
Seções e boxes MP012
ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DESTE VOLUME MP013
Componente curricular Biologia MP013
UNIDADE 1 Biologia das células MP015
Capítulo 1 Biologia: ciência e vida MP015
Capítulo 2 A origem da vida na Terra MP017
Capítulo 3 As bases moleculares da vida MP020
Capítulo 4 A célula viva: membrana e citoplasma MP022
Capítulo 5 Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas MP024
Capítulo 6 O metabolismo energético das células vivas MP027
Capítulo 7 Tipos de reprodução, meiose e embriologia animal MP030
Capítulo 8 Reprodução humana MP033
UNIDADE 2 Biologia dos organismos MP037
Capítulo 9 Classificação biológica, vírus e bactérias MP037
Capítulo 10 Algas, protozoários e fungos MP039
Capítulo 11 A diversidade das plantas MP042
Capítulo 12 Reprodução, desenvolvimento e fisiologia das angiospermas MP045
Capítulo 13 Tendências evolutivas nos animais MP048
Capítulo 14 Principais grupos de animais MP051
Capítulo 15 Nutrição, respiração, circulação e excreção na espécie humana MP054
Capítulo 16 Integração nervosa e hormonal, revestimento e movimentação do corpo humano MP058
UNIDADE 3 Biologia das populações MP061
Capítulo 17 A herança genética MP061
Capítulo 18 As bases cromossômicas da herança MP064
Capítulo 19 Genética e biotecnologia na atualidade MP067
Capítulo 20 Os fundamentos da evolução biológica MP071
Capítulo 21 A evolução da vida e da espécie humana MP074
Capítulo 22 Energia e matéria na natureza e a dinâmica das populações MP078
Capítulo 23 Relações ecológicas, sucessão e biomas MP081
Capítulo 24 Humanidade e ambiente MP084
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS MP090
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES COMENTADAS MP092

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO

Os livros que compõem esta coleção, idealizados como instrumentos de apoio didático a professores e estudantes, têm por objetivo trazer informações e princípios relevantes sobre diversos temas relativos aos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A obra é composta de 3 volumes destinados aos componentes de Ciências da Natureza do Ensino Médio: Biologia, Física e Química. Cada volume é composto de 24 capítulos, divididos em 3 unidades com 8 capítulos cada. Em seu conjunto, os volumes mobilizam todas as competências gerais, as competências específicas e as habilidades da área presentes na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Nosso projeto visa desenvolver competências e habilidades relacionadas às Ciências da Natureza e explorar articulações entre os componentes curriculares desta área do conhecimento, de modo a proporcionar uma formação integral e crítica aos estudantes preparando-os para o exercício da cidadania com autonomia. Esperamos que esta coleção possa ajudá-lo nesse grande desafio.

Pressupostos teórico-metodológicos

Em consonância com a proposta da BNCC, a coleção adotou abordagens e estratégias variadas, tornando-as mais significativas e aproximando o ensino de Ciências da Natureza das realidades e experiências dos estudantes. Para tornar esse ensino mais atrativo para as diferentes culturas juvenis é preciso superar a ideia de que os conteúdos se resumem a nomes, fórmulas e processos desvinculados da realidade cotidiana. É importante ressignificar o papel da Ciência na vida das pessoas, destacar as evidências de como ela pode ajudar a explicar situações da vida prática e levar os estudantes a perceberem que o conhecimento científico auxilia a tomar decisões que impactam a sociedade e a desenharem cenários futuros.

A contribuição para o letramento científico deve ser um compromisso assumido desde os anos iniciais do ensino de Ciências, permitindo a compreensão de conceitos científicos e capacitando os estudantes a aplicar esses conceitos e pensar sob uma perspectiva científica. Isso é feito abordando temas que se destacam no cotidiano dos estudantes, como mudanças climáticas, combate a *fake news*, desconstrução de argumentos pseudocientíficos, aplicação de conhecimentos e procedimentos científicos no mundo do trabalho, entre outros. Diversos temas abordados se enquadram em temas contemporâneos transversais (TCT), abordagem que se justifica pela necessidade de que os estudantes, além de compreender e aplicar os conhecimentos científicos entendam como tais conhecimentos são construídos, o que contribui para a desmistificação da Ciência e sua aproximação com a sociedade.

O letramento científico envolve o ensino por investigação, mobilizando algumas competências gerais da BNCC. Esse letramento envolve acesso a diferentes mídias, trabalhando diferentes aspectos da educação midiática e da competência leitora, associada à compreensão de inferências e linguagens, para interpretar informações e elaborar argumentos sob uma perspectiva científica.

Ao favorecer o letramento em Ciências, esta coleção também se dispõe a promover e a valorizar o conhecimento científico, já enraizado na cultura contemporânea, associando-o ao respeito aos direitos humanos e ao ambiente, à diversidade cultural, à aprendizagem multidisciplinar e interdisciplinar e ao domínio de novas tecnologias.

O ensino por competências e habilidades

De acordo com a BNCC:

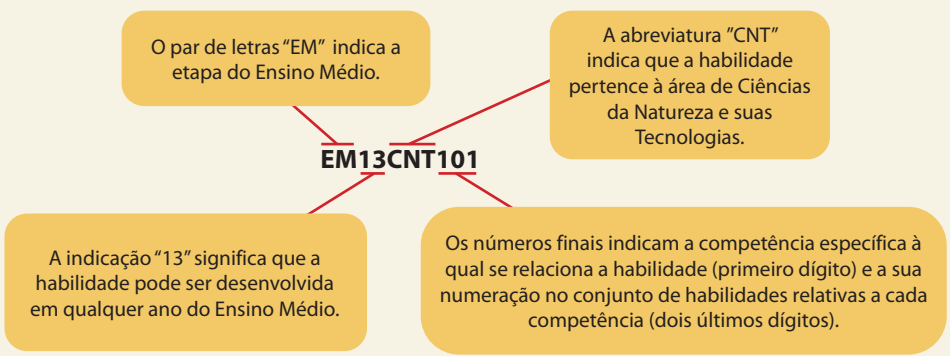
> Ao longo da Educação Básica, as aprendizagens essenciais definidas na BNCC devem concorrer para assegurar aos estudantes o desenvolvimento de dez competências gerais, que consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento.
>
> Na BNCC, competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho.
>
> **Fonte**: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 8.

Competências gerais da BNCC

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.
4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.
6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.
7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 10.

Além das competências gerais, a BNCC também define competências específicas para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Elas visam integrar os componentes curriculares Biologia, Física e Química e visões teórico-metodológicas na abordagem da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). A cada uma das três competências específicas da área para o Ensino Médio estão associadas habilidades, que permitem identificar melhor os conhecimentos dos componentes curriculares e a integração proposta para a área, possibilitando diferentes arranjos. A seleção dos assuntos tratados na obra procura contemplar os conteúdos tradicionalmente trabalhados pelos professores, relacionando-os às competências e às habilidades. As habilidades estão codificadas da seguinte forma:



Competência específica 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidades da competência específica 1:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.

Competência específica 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Habilidades da competência específica 2:

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Competência específica 3: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da competência específica 3:

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

(EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 553-560.

É importante destacar que a mobilização de competências e habilidades é um dos objetivos da BNCC, que pode ser alcançado de diversas formas. A obra fornece sugestões e metodologias para isso, mas ela também pode ser utilizada como base para atividades planejadas pelo corpo docente da escola, envolvendo elementos diversos do currículo escolar para, por exemplo, envolver aspectos de territorialidade ou diferentes culturas juvenis. Essa escolha fica a cargo do corpo pedagógico da escola.

Outros aspectos interessantes já presentes nas competências do Ensino Fundamental e reforçados na etapa do Ensino Médio referem-se às possibilidades de interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento.

A integração entre Ciências da Natureza e outras áreas do conhecimento aparece em diversificadas atividades, como interpretação de gráficos e tabelas, interpretação e inferência de textos, análise de impactos sociais de alterações ambientais e do desenvolvimento de novas tecnologias. Organizar reuniões temáticas periódicas com professores de outros componentes curriculares pode ajudar a ressaltar essas interações e explorá-las de maneira mais eficiente em sala de aula. Em todos os volumes há temas relevantes que permitem essas interações.

Culturas juvenis e a sala de aula

Considerando as diversidades regionais e locais, bem como a pluralidade de interesses dos jovens, é importante conhecer os variados interesses dos jovens que convivem na escola. Isso envolve preferências sobre modalidades esportivas; estilos musicais, artísticos e culturais e eventos frequentados pelos estudantes, entre outros aspectos. Verificar essas preferências dos estudantes permite contextualizar diferentes temas, bem como relacioná-los à realidade local, o que facilita o engajamento estudantil e tende a melhorar o aproveitamento dos estudantes em sala de aula.

É possível definir as culturas juvenis como modos de vida específicos e práticas habituais dos jovens, que expressam certos significados e valores tanto no âmbito das instituições quanto no âmbito da vida cotidiana. Entender, por exemplo, como os jovens locais veem os efeitos das mudanças climáticas ajuda a desenvolver temas de Ciências da Natureza, bem como a solicitar apresentações ou propor atividades práticas que permitam conhecer diferentes pontos de vista, integrando competências e habilidades da BNCC, o currículo escolar e o projeto de vida dos estudantes.

Uma possível forma de relacionar culturas juvenis e Ciências da Natureza é incentivar os estudantes a incorporarem temas e debates da área em suas formas de expressão, seja por fanzines, músicas, esculturas etc. Temas como a participação de mulheres no desenvolvimento científico ou a valorização de pesquisadoras e pesquisadores afrodescendentes podem ser trabalhados de diversas formas, dando vazão às expressões culturais dos estudantes. Dessa forma, valoriza-se um tema central, permitindo que ele seja explorado de diferentes formas.

Cuidados com estudantes com deficiência

De acordo com a lei 13.146/2015:

> Art. 2º Considera-se pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.

Fonte: BRASIL. Senado Federal. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 3. ed. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Considerando princípios éticos, a noção de cidadania e a Constituição, é importante e necessário propiciar a pessoas com deficiência pleno acesso ao estudo.

É importante levantar aspectos individuais dos estudantes para selecionar estratégias adequadas, cuidando que sejam inclusivas e integrem um estudante em particular ao restante da turma, que também pode aprender com isso.

Considerando estudantes com deficiências visuais, por exemplo, podem ser utilizadas estratégias que mobilizem a maior quantidade possível das distintas modalidades perceptivas, como a estimulação tátil, auditiva e verbal, que auxiliam na formação de imagens mentais.

Estudantes com deficiências auditivas podem ser auxiliados pelo uso de intérpretes da Língua Brasileira de Sinais (Libras), que atende a diversos critérios linguísticos necessários, seja no léxico ou na sintaxe, e é capaz de gerar grande diversidade de sentenças. Entretanto, há cuidados a serem tomados: de forma geral, a educação científica dos tradutores e intérpretes de Libras é generalista, o que pode levar a dificuldades na construção de sinais-termos. Assim, a relação construtiva entre docentes de Ciências da Natureza e tradutores/intérpretes é importante para criar estratégias de tradução e interpretação adequadas.

Além de deficiências físicas, sensoriais e intelectuais visíveis também é importante considerar deficiências não visíveis, como Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), dislexia e Transtorno do Espectro Autista (TEA). Essas condições podem afetar a aprendizagem e/ou a participação em sala de aula e nem sempre são percebidas de imediato. Estudantes com TDAH, por exemplo, podem ter dificuldades em manter o foco por longos períodos e requerem estratégias que incluam pausas, estímulos visuais e auditivos, além de atividades que permitam sua movimentação e engajamento ativo. Por sua vez, a dislexia pode comprometer o desenvolvimento da leitura e da escrita, necessitando que o professor ofereça materiais acessíveis, como textos com tipografias adequadas, e o uso de recursos multimodais, como vídeos e áudios.

É importante que o ambiente em sala de aula seja acolhedor e respeitoso, para que todos aprendam não apenas conteúdos específicos de Ciências da Natureza, mas formas de expressão, linguagens e a utilização de materiais que mobilizem competências gerais da BNCC, especialmente a 9 e a 10.

Possibilidades no ensino de Ciências da Natureza

Atividades práticas

A educação formal é essencial para que os estudantes tenham acesso às múltiplas leituras possíveis do que se convenciona denominar "realidade" e para que eles possam explicar os fenômenos naturais com base nos princípios norteadores do saber científico, analisando-os de maneira crítica. De acordo com o relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) de 2017, para que uma pessoa consiga discutir criticamente questões científicas e tecnológicas,

ela precisa desenvolver três competências básicas, utilizadas no documento como base do letramento científico:

> A primeira é a capacidade de fornecer explicações para fenômenos naturais, artefatos técnicos e tecnologias e suas implicações para a sociedade. Tal capacidade requer um conhecimento das principais ideias explicativas da Ciência e das questões que emolduram a prática e os objetivos da Ciência. A segunda é a competência para usar um conhecimento e compreender a investigação científica para: identificar questões que podem ser respondidas por investigação científica; identificar se os procedimentos adequados foram utilizados e propor maneiras de eventualmente abordar tais questões. A terceira é a competência para interpretar e avaliar dados e evidências cientificamente e avaliar se as conclusões são justificadas.

Fonte: OECD. Education at a Glance 2017: OECD Indicators. **OECD Publishing**, Paris, 12 set. 2017. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2017_eag-2017-en. Acesso em: 13 set. 2024. (Tradução dos autores).

A coleção mostra que o conhecimento científico é estabelecido, entre outros aspectos, com base em experimentos e observações, estando permanentemente sujeito a revisões e aprimoramentos. No tocante à realização de atividades práticas, é importante considerar princípios de segurança e alertar os estudantes para evitar que corram riscos ou que realizem procedimentos perigosos ou inadequados (como o descarte de materiais perigosos em uma pia comum, por exemplo). Esses cuidados envolvem, além de estudantes e professores, outros colaboradores da escola. As atividades em que há esse tipo de risco apresentam alertas para os cuidados a serem tomados.

Estratégias de estudo

Estratégias de estudo compreendem técnicas ou processos que ajudam a aprender de forma eficiente, permitindo a compreensão e a aplicação de conhecimentos em novos contextos. Elas envolvem desde procedimentos simples até outros mais complexos. Entre as estratégias que podem ser indicadas aos estudantes, é possível citar:

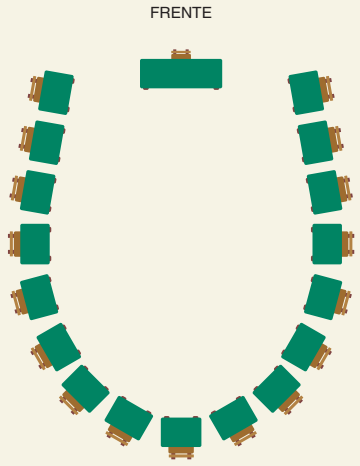
- Elaboração: explicar e descrever ideias detalhadamente;
- Prática de elaboração: escrever e/ou desenhar para relembrar o que aprendeu;
- Prática distribuída: distribuir o estudo no tempo;
- Dupla codificação: combinar palavras e imagens.

É importante oferecer diversas estratégias aos estudantes, de forma que eles possam escolher aquelas que mais se adequem a seus perfis ou utilizem várias, que podem ser intercaladas conforme a conveniência.

Organização de sala de aula

Existem diversas práticas pedagógicas, algumas delas voltadas para favorecer o protagonismo dos estudantes em atividades específicas. A organização tradicional da sala de aula, com as carteiras enfileiradas em linhas, pode ser alterada para a realização de atividades que envolvem debates e trocas de informações. Sendo assim, pode-se organizar a sala de aula de diferentes formas.

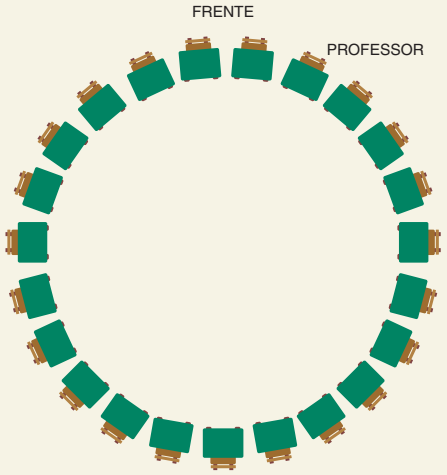
A disposição das cadeiras em U, por exemplo, facilita a interação dos estudantes com o professor:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

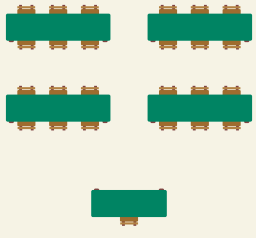
A organização em círculo facilita a interação entre os estudantes, mantendo o professor como mediador da aprendizagem:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

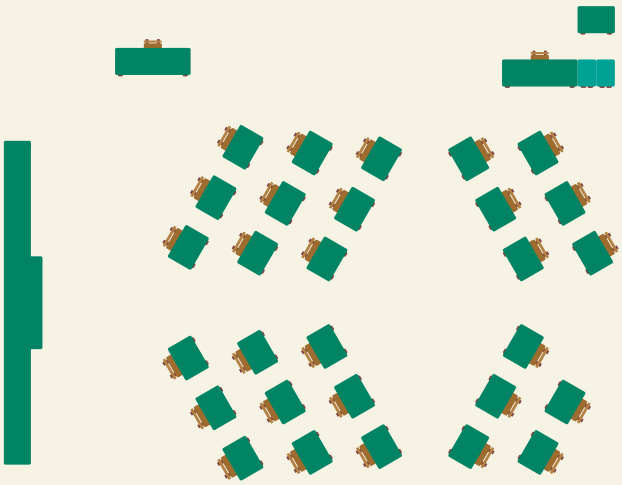
A organização em grupos possibilita que o professor mantenha um olhar pleno da sala enquanto os estudantes interagem. Além disso, permite que ele caminhe entre os grupos, atendendo cada um de forma particular:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

As carteiras voltadas para o centro da sala possibilitam ao professor acompanhar a atividade com menos interferência:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula**. **Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

Juventude e mundo do trabalho

Uma questão geralmente presente no projeto de vida dos estudantes é a atuação profissional. Embora a formação estudantil não se volte exclusivamente à atuação a ação profissional, as relações entre temas estudados e o mundo do trabalho traz questões éticas envolvidas nas Ciências da Natureza.

Uma forma de mostrar a importância dos estudos básicos é realizar visitas a indústrias, estações de tratamento de água, universidades etc. Essa também é uma forma de estimular o interesse dos estudantes em relação a contextos locais, contribuindo com a diminuição da evasão escolar.

Educação midiática

Os estudantes da faixa etária do Ensino Médio geralmente participam de redes sociais não apenas por lazer, mas também como forma de expressão pessoal. Pesquisa realizada em 2023 pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação indica que, entre pessoas de 9 a 17 anos, 95% são usuários de internet, utilizando principalmente o celular como forma de acesso. Há diferenças na quantidade e na qualidade desse acesso, mas, de forma geral, o jovem brasileiro tem acesso às diferentes mídias disponíveis na internet, bem como oportunidade de produzi-las.

Mídias são veículos para debates e obtenção de informações sobre diversos temas atuais, como mudanças climáticas, eficiência de vacinas, segurança no trânsito, desenvolvimento científico e diversos outros.

O desenvolvimento da educação midiática, que pode ser entendido como um conjunto de habilidades para acessar, analisar, criar e participar de maneira crítica do ambiente informacional e midiático em todos os seus formatos (dos impressos aos digitais), ajudando os estudantes tanto a utilizarem e ressignificarem o que foi estudado como a desenvolverem competências gerais da BNCC, especialmente a competência geral 5.

Argumentação e leitura inferencial

Estratégias diversificadas são essenciais no ensino de Ciências. Uma dessas estratégias é o ensino por investigação, com a utilização de processos comuns ao fazer científico. Atividades de investigação proporcionam aos estudantes a aquisição de novos conhecimentos, levando-os a pensar de maneira lógica sobre os fatos cotidianos e resolução de problemas práticos; em muitos casos, essas atividades envolvem a leitura e a interpretação de textos. Além de aproximar os estudantes do pensamento científico, tais atividades trazem diversos benefícios ao processo de ensino-aprendizagem, tais como a valorização da experiência cotidiana, o estímulo à análise e à interpretação de textos, além do desenvolvimento de competências de investigação e compreensão.

Os processos que envolvem análise, avaliação e construção de argumentos estão vinculados à linguagem científica. De acordo com Kelly (2008), além de permitir avaliar os processos de construção do conhecimento, a argumentação está vinculada à própria linguagem científica. A argumentação está presente no debate de pontos de vista distintos, desde a compreensão de enunciados, a avaliação de problemas e a comunicação de ideias, entre outras atividades que integram o processo de ensino e aprendizagem em Ciências.

Esta coleção inclui diversas atividades compatíveis com a proposta da BNCC de desenvolver a capacidade inferencial, que associa conhecimentos prévios às novas informações apresentadas. A interpretação de textos e a leitura inferencial são necessárias para a formulação de argumentos que embasam diferentes pontos de vista sobre temas científicos. Entre as atividades que atendem a tal perspectiva estão a análise de textos, o debate de pontos de vista distintos, a compreensão de enunciados, a avaliação de problemas, a pesquisa por informações de variados temas e a comunicação de ideias.

As propostas baseadas nessas abordagens favorecem o desenvolvimento da habilidade de estabelecer associações apropriadas, possibilitando identificar em um texto incoerências entre ideias previamente construídas, generalizações indevidas, desvios do assunto principal ou a utilização de argumentos evasivos, que permitem inferir a falta de consenso entre as ideias ou a fragilidade argumentativa. Esses aspectos possibilitam pontos de integração entre a área de Ciências da Natureza e a de Linguagens.

Pensamento computacional

O pensamento computacional pode ser entendido como um conjunto de técnicas que utiliza conceitos oriundos de ciência da computação para solucionar problemas. Essas técnicas não requerem necessariamente a utilização de computadores. O pensamento computacional refere-se a um processo cognitivo, a uma forma de analisar e resolver problemas – com capacidade crítica, criativa e estratégica – e que pode ser empregada nas mais diversas áreas de conhecimento com a finalidade de solucionar situações propostas, de maneira individual ou colaborativa. Nas últimas décadas o pensamento computacional vem sendo objeto de ampla atenção em várias partes do mundo. Em certos países, habilidades relacionadas a esse tipo de prática passaram a ser consideradas essenciais.

A implementação de estratégias de pensamento computacional no currículo escolar permite estimular a criatividade e a capacidade de definir e resolver problemas que envolvam o reconhe-

cimento de padrões, a divisão do todo em partes de solução mais simples, a automação de rotinas e a tomada de decisões dentro de cenários possíveis. Essa necessidade de implementação levou ao surgimento de projetos destinados a aplicar atividades de pensamento computacional nas escolas de Ensino Fundamental e Médio. Recentemente, o ensino do pensamento computacional foi incluído na BNCC.

No pensamento computacional, a maneira de abordar uma situação-problema envolve algumas ideias básicas. Uma delas, a decomposição, caracteriza-se pela partição de um problema complexo em partes menores e mais simples de resolver, ideia vinculada à capacidade de análise. Outra ideia é o reconhecimento de padrões, que consiste na identificação de similaridades em diferentes processos para solucioná-los de maneira mais eficiente e rápida, permitindo a comparação de problemas novos com problemas já resolvidos, realizando generalizações e viabilizando, quando possível, a aplicação de soluções prévias a novas situações. A abstração, outro princípio estruturante do pensamento computacional, refere-se à capacidade de selecionar os elementos mais relevantes de um problema e considerá-los na sua modelagem, enquanto aspectos irrelevantes ou de pequena importância são minorizados. A abstração também envolve a escolha de representações adequadas a serem usadas. Uma outra ideia fundamental no pensamento computacional é a criação de algoritmos, conjuntos de procedimentos, regras e decisões para a resolução de um problema. O raciocínio algorítmico envolve a definição das etapas de resolução e inclui a explicitação de rotinas e de etapas a serem repetidas, ambas relacionadas à ideia de automação. O pensamento computacional é, assim, uma estratégia para avaliar problemas e modelar soluções de forma eficiente que pode ser vivenciado de forma integrada às Ciências da Natureza. Ao longo dos volumes desta coleção, o desenvolvimento de situações-problema envolvendo Biologia, Física e Química contempla esses diversos aspectos de pensamento computacional.

Avaliações

A avaliação pode ser analisada sob diferentes pontos de vista, mas aspetos em comum nas diversas perspectivas é que a avaliação é um elemento fundamental na prática educativa. Para Luckesi (2003), o objetivo primordial da avaliação é servir para que o docente possa analisar e refletir acerca da eficiência do seu trabalho. Visando obter os melhores resultados possíveis, o docente pode utilizar diversos instrumentos técnicos.

Nesse sentido, a BNCC menciona a necessidade de os instrumentos de avaliação serem definidos levando em conta "os contextos e as condições de aprendizagem" e que os resultados obtidos sirvam como subsídios para planejar ações visando melhorias no desempenho não somente dos estudantes, mas também dos professores e da escola. Portanto, avaliar vai muito além de mensurar a compreensão pelos estudantes dos objetos de conhecimento em si – essa deve ser uma das tarefas da avaliação, mas não a única – e não existe um instrumento único que dê conta de tudo que faz sentido ser avaliado.

Há diferentes modelos de avaliação da aprendizagem correntes que, por fornecerem informações distintas, ao serem aplicados em conjunto, oferecem uma visão mais ampla do processo educacional. A discussão apresentada reforça a importância de o docente definir durante o planejamento quais serão os modelos avaliativos escolhidos – como e quando serão aplicados –, pois eles interferem na construção da estrutura das aulas e da organização das sequências didáticas.

Para Luckesi (2004), a distinção primordial entre o ato de avaliar e o ato de examinar é que, enquanto o segundo modo classifica e seleciona, o primeiro diagnostica e inclui. Todos os modelos avaliativos comentados a seguir de alguma forma devem ser capazes de oferecer diagnósticos. Contudo, a chamada **avaliação diagnóstica** é aquela que possibilita o mapeamento das competências dos estudantes no momento inicial de uma etapa de ensino. A avaliação diagnóstica tem por objetivo disponibilizar ao docente subsídios para a adequação das atividades subsequentes às características e aos conhecimentos prévios dos estudantes. Com isso, o processo de avaliação diagnóstica permite uma personalização do ensino com base nos dados obtidos.

A **avaliação formativa** é aquela que permite redirecionar e potencializar aprendizagens em progresso, ou seja, ela permeia todas as etapas de ensino sendo muitas vezes denominada também avaliação processual. Seu objetivo é servir como um indicativo para o docente sobre os resultados de sua ação pedagógica e para sinalizar ao estudante quais são suas principais dificuldades. Assim, as defasagens verificadas ao longo das atividades que compõem a avaliação formativa não devem ser consideradas como falhas, mas como guias.

A **avaliação somativa** é pontual, individual e ocorre como fechamento de uma etapa de ensino. Geralmente é feita na forma de atividades fechadas que fornecem resultados quantitativos visando à classificação, à seleção ou à certificação, com base em critérios iguais para todos os estudantes. Essa avaliação dirige-se geralmente à equipe gestora da escola, aos pais e a administradores governamentais de ensino. A avaliação somativa tem por objetivo fazer uma síntese do que o estudante é capaz de fazer ou não no momento final de uma etapa de ensino e, como tal, em geral, ela não conta com o estudante enquanto corresponsável pelo processo avaliativo. Tal ação ficaria totalmente a cargo do docente, quando se trata de uma avaliação somativa interna, como costuma ser o caso na maior parte do percurso escolar.

Na **avaliação comparativa**, o desempenho do estudante é contrastado com o desempenho de outras turmas, escolas, países ou membros da mesma classe. Trata-se de uma avaliação que possibilita levantamentos estatísticos sobre ele, embora não permita obter informações sobre a aprendizagem de um estudante especificamente, uma vez que a referência é externa a ele e às condições de aprendizagem sendo fortemente influenciada pelas características do grupo tomado como padrão. Assim, o principal instrumento empregado para compor a avaliação comparativa são as provas padronizadas, que consistem em avaliações externas de larga escala como o Saeb, o Enem, o Pisa e os vestibulares, além de simulados aplicados na escola.

Na **avaliação ipsativa**, a aprendizagem do estudante é analisada tomando como referência a progressão do próprio estudante. Em outras palavras, comparando o estudante consigo mesmo em momento anterior do processo educativo. Dessa maneira, mesmo aqueles com maiores dificuldades não estariam em desvantagem. Ela procura valorizar a progressão do estudante em relação aos seus próprios objetivos de aprendizagem, assumindo um caráter de avaliação formativa ou avaliação para aprendizagem.

Sugestões para uso da obra

Esta obra tem como objetivo auxiliar o professor a aplicar o currículo escolar e desenvolver as competências e habilidades preconizadas na BNCC. Sendo assim, sua utilização pode ser adaptada da forma que for mais adequada ao planejamento de aulas e às particularidades de cada turma. A obra tem diferentes tipos de seções com finalidades específicas e que podem ser complementadas de acordo com a experiência do docente em sala de aula.

Possíveis cronogramas

O planejamento de aulas vai depender da carga horária de cada componente, bem como da forma de organização pedagógica da escola e dos docentes de Ciências da Natureza. É recomendado que o material seja utilizado na ordem sequencial dos capítulos e que se reserve tempo equivalente para cada componente curricular.

Considerando uma escola em que a formação geral básica se dê nos três anos do Ensino Médio, recomendamos que em cada ano seja desenvolvida uma unidade do volume único de cada componente curricular. Ainda assim, é possível organizar a estruturação do curso de outra forma. O quadro a seguir mostra sugestões de cronogramas para o uso da obra.

Sugestões por componente curricular

<table>
<tr><th>Unidades</th><th>Capítulos</th><th>Planejamento bimestral</th><th>Planejamento trimestral</th><th>Planejamento semestral</th></tr>
<tr><td rowspan="8">1</td><td>1</td><td rowspan="2">1º</td><td rowspan="3">1º</td><td rowspan="4">1º</td></tr>
<tr><td>2</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="2">2º</td></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="4">2º</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="2">3º</td><td rowspan="4">2º</td></tr>
<tr><td>6</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="2">4º</td><td>3º</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="8">2</td><td>9</td><td rowspan="2">5º</td><td rowspan="3">4º</td><td rowspan="4">3º</td></tr>
<tr><td>10</td></tr>
<tr><td>11</td><td rowspan="2">6º</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="4">5º</td></tr>
<tr><td>13</td><td rowspan="2">7º</td><td rowspan="4">4º</td></tr>
<tr><td>14</td></tr>
<tr><td>15</td><td rowspan="2">8º</td><td>6º</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="8">3</td><td>17</td><td rowspan="2">9º</td><td rowspan="3">7º</td><td rowspan="4">5º</td></tr>
<tr><td>18</td></tr>
<tr><td>19</td><td rowspan="2">10º</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="4">8º</td></tr>
<tr><td>21</td><td rowspan="2">11º</td><td rowspan="4">6º</td></tr>
<tr><td>22</td></tr>
<tr><td>23</td><td rowspan="2">12º</td><td>9º</td></tr>
<tr><td>24</td></tr>
</table>

Seções e boxes

Cada um dos volumes dos componentes curriculares de Ciências da Natureza: Biologia, Física e Química, está dividido em 3 unidades, subdivididas em 8 capítulos estruturados de maneira similar. Ao longo do capítulo são sugeridas propostas de pesquisas complementares, atividades que possibilitam a construção de conhecimentos e a aplicação de conceitos desenvolvidos no decorrer do trabalho pedagógico. A linguagem empregada procura aliar a precisão conceitual científica à clareza didática. Em diversas situações foram feitas exemplificações por meio de assuntos do cotidiano, o que torna conceitos e fenômenos científicos mais concretos para os estudantes.

A cada unidade, temos uma tarja indicando seu início. Elas indicam um agrupamento possível de temas a serem abordados pelo professor.

A abertura do capítulo introduz e contextualiza assuntos, possibilitando que, a critério do docente, possam ser exploradas as concepções alternativas que estudantes da educação básica costumam manifestar e as diversas experiências socioculturais que os jovens vivenciam. As aberturas dos capítulos também podem evidenciar a articulação entre ciência, tecnologia e cotidiano e a importância do assunto a ser trabalhado no capítulo.

Os capítulos contêm textos e seções de atividades que visam motivar os estudantes, ampliar seus conhecimentos, relacionar o conhecimento científico à vida prática, além de promover a experimentação, o trabalho individual e em grupo e a aplicação dos conhecimentos na solução de problemas e em atividades práticas.

Os boxes *Atividade em grupo* favorecem diversos processos cognitivos, como: observação, visualização, compreensão, organização, análise, síntese, comunicação de ideias científicas, dentre outros, contribuindo para a participação em debates. Também são criadas oportunidades de desenvolvimento de competências como a escrita e a divulgação e/ou publicação de resultados.

A seção *Dialogando com o texto* é diversificada e procura expandir e contextualizar os conteúdos trabalhados no capítulo. Ao promover maior diálogo entre o estudante e o livro didático, essa seção estimula o desenvolvimento de diversas habilidades essenciais, como a análise crítica, a compreensão de conceitos, a capacidade de definição, a modelagem de problemas, a resolução de questões, a comparação de informações, a capacidade de tomar decisões fundamentadas e a comunicação eficaz.

A seção *Atividade prática* propõe, de forma diversificada, arranjos experimentais ou experimentos didáticos realizáveis em ambientes escolares típicos, experimentos investigativos ou comprobatórios que podem ser feitos individualmente ou em grupo, proporcionando uma experiência ativa e colaborativa. Essas atividades estimulam o desenvolvimento de habilidades essenciais ao trabalho científico, como a observação crítica, a formulação de hipóteses, o planejamento de experimentos, a coleta e a análise de dados, a solução de problemas e a comunicação de resultados, promovendo o pensamento investigativo e o aprendizado por meio da experimentação.

A seção *Em destaque* apresenta textos de diversas fontes relacionados ao assunto apresentado, que pretendem abordar diferentes aspectos sobre a importância da Ciência e auxiliam no desenvolvimento da capacidade de intelecção de textos, da leitura inferencial e do pensamento crítico.

A seção *Aplicando conhecimentos* traz questões diretamente relacionadas ao assunto em estudo, verificando a compreensão dos conceitos principais do capítulo.

Todos os capítulos se encerram com a seção *Atividades finais*, que apresenta questões de sistematização de conhecimentos, problemas contextualizados e questões de vestibulares e do Enem. Desse modo, podem ser desenvolvidas estratégias de resolução diversificadas, aprimoramento da capacidade de fazer inferências a partir da leitura de enunciados e consolidação do aprendizado que ocorreu ao longo do estudo do capítulo.

A seção *Mundo do trabalho* apresenta aspectos da vida profissional em que são aplicados conhecimentos e procedimentos estudados nos capítulos, reforçando a conexão entre os conteúdos do livro e o mundo do trabalho.

A seção *Educação midiática* aborda o uso responsável de diferentes mídias para desenvolver habilidades de coleta de dados, de análise e de interpretação de informações, promovendo também diversas formas de comunicar argumentos e conhecimentos no campo das Ciências da Natureza. Além disso, contribui para a avaliação crítica das tecnologias digitais de informação e de comunicação, contribuindo para apresentação de textos com formas específicas de linguagem científica e tecnológica, em diferentes mídias.

Em alguns capítulos, são apresentadas variadas estratégias de estudo, tanto em forma de atividades como de procedimentos ou metodologias voltadas a consolidar o que foi estudado.

Ao longo dos capítulos também são apresentadas possibilidades de contribuições pedagógicas por meio de objetos digitais oferecidos no livro digital, nos formatos: *podcast*, vídeo, carrossel de imagens, infográfico clicável e mapa clicável.

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DESTE VOLUME

Componente curricular Biologia

O ensino de Biologia oferece aos estudantes ferramentas para construir suas próprias compreensões sobre os processos vitais e sobre as interações entre os seres vivos e o ambiente. Promove também oportunidades para que os estudantes desenvolvam habilidades de pensamento crítico, essenciais para que se tornem cidadãos ativos e capazes de enfrentar os desafios do século XXI. A Biologia não apenas facilita o entendimento dos conceitos científicos, mas também prepara os jovens para enfrentar e resolver problemas sociais e individuais que envolvem conceitos biológicos (Krasilchik, 2008). Ao estudar temas como evolução, genética e ecologia, os estudantes são confrontados com evidências científicas que desafiam crenças pré-concebidas e pseudociências. Ao aprender a interpretar dados, construir modelos e testar hipóteses, os estudantes desenvolvem as ferramentas necessárias para avaliar criticamente as informações que recebem e tomar decisões embasadas em evidências. Isso é importante para tomar decisões informadas e responsáveis, tanto na vida pessoal quanto em relação a futuras carreiras.

O conhecimento biológico é essencial para compreender questões de saúde pública, como doenças infecciosas, nutrição e reprodução humana (Krasilchik, 2008). Assim, o ensino de Biologia contribui para a formação de pessoas capazes de adotar hábitos de vida saudáveis e de participar ativamente de campanhas de prevenção e promoção da saúde.

Em um contexto em que informações falsas sobre saúde, meio ambiente e outros temas relacionados à Biologia circulam amplamente, a formação de cidadãos críticos é mais urgente do que nunca. A capacidade de identificar e refutar informações falsas sobre vacinas, mudanças climáticas e outros temas relevantes para a saúde pública e a conservação ambiental é fundamental para a construção de uma sociedade mais saudável e sustentável.

A legislação brasileira tem acompanhado movimentos educacionais de outros países, onde a formação básica, além de preparar para a universidade e para o mercado de trabalho, visa também preparar a juventude para o exercício pleno da cidadania, em uma sociedade democrática. A homologação da BNCC também favoreceu processos que estimulam o protagonismo estudantil.

As orientações contidas nos documentos oficiais enfatizam a importância para a compreensão do mundo natural e a formação da cidadania. O grande desafio dos professores de Biologia é utilizar conteúdos básicos da disciplina como meios para levar o estudante a conhecer os fundamentos e a natureza dos métodos de investigação empregados pela ciência, de maneira a desenvolver uma visão científica do mundo.

A BNCC estimula a adoção de novas posturas e metodologias de ensino, além da revisão e da adequação de práticas consolidadas. Um desses desafios é o trabalho pedagógico por meio de áreas de conhecimento. A formação disciplinar tradicional dos professores pode dificultar a aplicação prática desse modelo nas escolas. Nesse contexto, o planejamento conjunto e reuniões periódicas com docentes de outras disciplinas são fundamentais para criar um ambiente de ensino mais integrado e significativo, tanto para os estudantes quanto para a comunidade.

Diversas abordagens e metodologias podem ser utilizadas no ensino de Biologia como facilitadoras do processo de aprendizado. Essas abordagens incluem atividades investigativas, a utilização de tecnologias digitais, pesquisas, debates, entrevistas etc. A contextualização com a realidade dos estudantes, de preferência a realidade próxima, é compreendida nesta obra como uma aliada à aprendizagem de conceitos biológicos.

O diálogo e a contextualização com as culturas juvenis podem ser desenvolvidos por meio de trabalhos em grupos ou debates entre os estudantes, o que permite que eles socializem suas ideias, compartilhem dúvidas e manifestem experiências vividas.

Atividades investigativas, debates e projetos interdisciplinares podem mostrar que a Biologia está intrinsecamente ligada às questões sociais, como o direito à saúde, à igualdade e ao respeito às diferenças.

Discordâncias de opinião em debates e apresentações fazem parte da diversidade de ideias, opiniões e interpretações faz em parte da construção científica do conhecimento. As eventuais discordâncias devem ser debatidas com base em argumentos científicos.

Metodologias ativas, como estudos de caso e pesquisas de campo, e a utilização de ferramentas digitais podem ajudar a analisar criticamente questões relacionadas à diversidade e aos direitos humanos. Por exemplo,

discutir a diversidade genética e cultural da espécie humana no contexto da evolução pode ajudar a desconstruir preconceitos e estereótipos, além de promover o respeito às diferentes identidades.

A **abertura do capítulo** destaca a importância do assunto que será estudado, buscando aproximar os estudantes dos conceitos que serão apresentados.

Aplicando conhecimentos é uma seção que traz questões ou sugestões para reflexão sobre assuntos tratados no texto. A seção **Dialogando com o texto** contextualiza, amplia, detalha ou aprofunda algum aspecto relacionado ao assunto tratado no texto. Geralmente essas seções propõem a elaboração de diferentes estilos de textos e relatórios, incluindo imagens, favorecendo o desenvolvimento de diferentes formas de comunicação.

A seção **Em destaque** traz textos autorais ou de terceiros para ampliar temas, em alguns casos propondo análises interdisciplinares, possibilitando o trabalho com competência leitora e leitura inferencial.

Ao longo do capítulo, são oferecidas atividades experimentais e investigativas na seção **Atividade prática**, que mobiliza diversas competências e habilidades típicas da área científica, como investigação, elaboração e teste de hipóteses, construção de modelos etc.

A seção **Atividade em grupo** abre oportunidade para o desenvolvimento de atividades colaborativas, que favorecem um ambiente de troca de ideias, debates e produções coletivas.

As seções **Educação midiática** e **Mundo do trabalho** trazem discussões sobre temáticas relevantes aos jovens. Muitas vezes, são sugeridas pesquisas e debates.

A seção **Exercício resolvido** traz um passo a passo da resolução de atividades, destacando a sequência de etapas a serem realizadas. As **Atividades finais** apresentam questões que auxiliam os estudantes a revisar conceitos, fatos e processos, a exercitar sua aplicação em novas situações e a se familiarizar com questões de vestibulares e do ENEM.

A presença de selos de identificação ao longo dos capítulos e das unidades assinalam conteúdos relacionados aos **Temas Contemporâneos Transversais** (TCT) e aos **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** (ODS).

Na parte específica deste manual são apresentadas sugestões de trabalho para algumas atividades.

UNIDADE 1 BIOLOGIA DAS CÉLULAS

Capítulo 1 Biologia: ciência e vida

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Entender que a ciência é um método rigoroso de investigação da natureza, cujo objetivo é fornecer explicações para fenômenos naturais.
- Reconhecer os papéis da observação, da formulação de hipóteses e da experimentação na produção do conhecimento científico.
- Distinguir fato, hipótese e teoria em ciência.
- Reconhecer a possibilidade de aplicação de conceitos e procedimentos científicos em situações do cotidiano.
- Compreender a importância da comunicação em ciência.
- Identificar as principais características dos seres vivos.
- Conhecer os diferentes níveis hierárquicos de organização biológica.

O capítulo apresenta as bases do pensamento científico e os procedimentos utilizados pelos cientistas em seu trabalho, aspectos fundamentais para entender e discutir a importância da ciência e seu papel social, de modo a favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da **competência específica 3** e aspectos das **competências gerais 1** e **2**.

Um desafio importante é levar os estudantes a compreender a natureza do conhecimento científico, seus alcances e suas limitações, o que pode ajudar a formar consciência socioambiental, a refletir sobre acontecimentos atuais e a tomar decisões de interesse pessoal e público. Neste capítulo há oportunidades de refletir sobre a ciência e seu papel na sociedade, mobilizando a **competência geral 7** e a habilidade **EM13CNT303** da **competência específica 3** da BNCC.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo apresenta um diálogo entre duas pessoas, encontrado em um *blog*, sobre a importância e o papel da ciência no mundo contemporâneo. Esse diálogo exemplifica uma das muitas maneiras de discutir questões importantes debatidas pela sociedade.

Uma conversa com os estudantes sobre o que eles entendem por ciência e sobre a carreira de cientista favorece o desenvolvimento da **competência geral 1**.

A ilustração é uma ferramenta importante no desenvolvimento do conhecimento científico, complementando a utilização de fotografias, vídeos e outros recursos atuais auxiliando na comunicação de informações complexas de forma acessível. A análise de imagens ilustrativas favorece o desenvolvimento da **competência geral 3** da BNCC, que se refere à valorização de manifestações artísticas.

É importante levar os estudantes a reconhecer que fazer ciência e proceder de forma científica está ao alcance de todos. Isso favorece o desenvolvimento da **competência geral 2** e do **TCT Ciência e Tecnologia**.

Uma possibilidade interessante de trabalhar com textos é a produção de um pequeno jornal científico bimestral ou semestral. Isso é viável atualmente graças à popularização dos programas de editoração eletrônica, que muitos estudantes sabem utilizar. A elaboração de um jornal científico possibilita desenvolver a interdisciplinaridade com o componente curricular Língua Portuguesa, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 4**.

Atividade complementar

É interessante estimular os estudantes a criar suas próprias ilustrações científicas de organismos como plantas, animais ou estruturas microscópicas, utilizando diferentes técnicas, desde o desenho à mão livre até ferramentas digitais de ilustração. A ilustração científica contribui para o desenvolvimento das **competências gerais 4** e **5**, que envolvem o pensamento criativo e a utilização de tecnologias digitais. Essa abordagem proporciona também a conexão entre arte e ciência.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Stephen Gould e a natureza da ciência

Stephen J. Gould, ao dizer que "as maçãs não ficaram suspensas no ar aguardando o resultado", quis destacar que os fatos da natureza independem das teorias científicas que os explicam. A frase ironiza a ideia de que, ao mudar da teoria de Newton para a de Einstein, os fatos da natureza se alterariam. Teorias são tentativas de explicar como os fatos ocorrem.

Os conteúdos estudados nesta seção estimulam o debate, a leitura e a elaboração de textos científicos, contribuindo para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT303** da BNCC.

Aplicando conhecimentos

Procedimentos científicos

1. Os estudantes podem imaginar possibilidades de agir "cientificamente" no dia a dia. Por exemplo, ao tentar ligar o aparelho de televisão, ele não funciona. O primeiro palpite, ou hipótese, seria que a televisão estivesse desligada da tomada. Para testar essa hipótese, basta verificar se o cabo de alimentação de energia está corretamente conectado à tomada; se estiver, essa hipótese será rejeitada e será necessário formular outra, como a falta de energia elétrica. Para testar essa nova hipótese é possível, por exemplo, acender uma lâmpada ou ligar outro aparelho elétrico. Se a hipótese estiver errada e houver energia elétrica na casa, pode-se levantar a hipótese de que apenas a tomada na qual está conectada a televisão esteja com defeito. Como testar essa nova hipótese? Basta ligar outro aparelho elétrico naquela tomada e verificar se ele funciona, e assim por diante. A atividade mobiliza as **competências gerais 2** e **4**, e a habilidade **EM13CNT301**.
2. **a)** A hipótese testada pelos cientistas é que a falta de determinados aminoácidos na dieta das larvas pode afetar o seu desenvolvimento.
   b) O grupo controle é aquele que recebeu a dieta completa, contendo todos os aminoácidos. O grupo controle é importante pois permite a comparação dos resultados nesse grupo com os dos grupos experimentais.
   c) A variável testada nos grupos foi a influência da ausência de um tipo de aminoácido na dieta no desenvolvimento das larvas.
   d) O experimento possibilita concluir que a ausência de valina, leucina e isoleucina na dieta das larvas afeta o seu desenvolvimento, levando-as à morte; portanto, esses aminoácidos são essenciais para as larvas da mosca. Já a ausência de glicina e de glutamina não afetou o desenvolvimento das larvas, uma vez que o número de larvas mortas nesses grupos foi semelhante ao do grupo controle.

Educação midiática

Divulgação científica e profissões

Em relação aos desafios dos divulgadores científicos ao utilizarem mídias sociais, os estudantes podem citar: explicar os conhecimentos científicos de forma acessível, sem perder a precisão das informações, e combater a proliferação de informações falsas ou distorcidas, entre outros aspectos. Quanto às responsabilidades, os estudantes poderiam citar a necessidade de divulgar informações precisas (baseadas em evidências científicas) e éticas. Além disso, há a necessidade de levar as pessoas a questionar, refletir e avaliar criticamente as informações. O conteúdo desse boxe favorece o desenvolvimento da **competência geral 6** da BNCC.

Em destaque

A ciência é masculina?

A predominância masculina na ciência pode ser explicada por uma combinação de fatores históricos, sociais e culturais. Entre eles, podem-se destacar: a desigualdade no acesso à educação (historicamente, as mulheres foram excluídas de muitas instituições educacionais e campos de estudo); normas e estereótipos de gênero (a ciência foi historicamente vista como atividade masculina, desencorajando a participação feminina); a perpetuação da ideia de que homens são mais adequados para áreas técnicas e científicas, enquanto as mulheres são colocadas em funções que priorizam cuidados e responsabilidades familiares; falta de políticas inclusivas, que tenham como objetivo promover a igualdade de gênero. As perspectivas de mudança desse quadro são positivas, com aumento crescente de iniciativas que promovam a equidade de gêneros na ciência.

Esse conteúdo dialoga com o **TCT Educação em direitos humanos**, da macroárea **Cidadania e civismo**, pois promove a reflexão sobre as desigualdades de gênero e seu impacto na construção da sociedade.

O texto amplia a discussão para além do campo científico, permitindo conexões com o mercado de trabalho e possibilitando reflexões sobre a importância da igualdade de gênero. Esse conteúdo relaciona-se com o **ODS 5** Igualdade de gênero, que objetiva acabar com todas as formas de discriminação contra as mulheres.

Aplicando conhecimentos

Integração de conhecimentos nas Ciências Naturais

Os estudantes podem identificar trechos do texto que tratam da interdependência entre os diferentes níveis de organização biológica, destacando como a compreensão desses conceitos é essencial para pensar em estratégias de preservação e recuperação dos ambientes naturais. A resposta pode refletir uma abordagem interdisciplinar, que envolve Biologia, Física e Química.

Em destaque

O que é etnociência?

A utilização de medicamentos caseiros ou de procedimentos embasados em conhecimentos de povos tradicionais é parte da Etnociência, pois valoriza as práticas de diferentes culturas em relação à saúde e à natureza.

O conteúdo possibilita o desenvolvimento da **competência geral 3** da BNCC, que visa ao exercício da valorização e do respeito à diversidade cultural, étnica e social, favorecendo a ideia de que a ciência é um processo plural e colaborativo, reconhecendo a importância de integrar conhecimentos tradicionais e modernos.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa A. Ao testar uma hipótese por meio da experimentação, no caso a eficácia da vacina, é necessário comparar os resultados obtidos no grupo experimental, aquele em que se provoca a alteração, com os obtidos no grupo de controle, no qual não há nenhuma intervenção (o lote de vacas não vacinado).
2. Alternativa E. É por meio da reprodução que a vida vem se perpetuando ininterruptamente desde que surgiu, há mais de 3,5 bilhões de anos.
3. Alternativa C. Especificamente, o cianureto interfere nas reações químicas envolvidas na respiração celular, que é um processo vital para a produção de energia nas células.
4. Alternativa D. Uma população biológica é um conjunto de indivíduos da mesma espécie que habita determinada região geográfica.
5. Alternativa B. Ecossistema é o grande conjunto formado pela interação da comunidade biológica e do biótopo.
6. Alternativa A. Comunidade biológica é o conjunto de populações diferentes que coexistem em determinada região, interagindo direta ou indiretamente.
7. Alternativa D. Teoria é uma ideia ampla, uma espécie de modelo que explica coerentemente um conjunto de observações e fatos abrangentes da natureza.
8. Alternativa A. A partir da hipótese, o cientista faz deduções, prevendo o que ocorrerá em determinada situação imaginada se a hipótese for verdadeira.
9. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que a Astrologia não é considerada uma ciência porque não está embasada em teorias científicas válidas e suas hipóteses não podem ser testadas. Uma pseudociência é um conjunto de crenças, práticas ou afirmações que se apresentam como científicas, mas que não seguem os métodos rigorosos e sistemáticos da ciência.
10. Espera-se que os estudantes respondam que não é seguro seguir determinados conselhos de saúde pelas mídias sociais somente porque eles parecem convincentes e que, nesses casos, para nos precavermos, é necessário verificar a credibilidade da informação, consultando se a informação é de uma fonte confiável, procurar por referências científicas que respaldem a informação divulgada, desconfiar de soluções rápidas (tratamentos de saúde requerem tempo) consultar profissionais da saúde etc.
11. Alternativa B. Ao criar uma hipótese científica, o cientista busca formular uma explicação para um fenômeno observado e, a partir dessa explicação, prever outros fenômenos ou resultados que podem ser testados.
12. Alternativa E. O experimento correto para testar a hipótese do estudante (as folhas amareladas aparecem quando há deficiência de sais de magnésio no solo) é comparar os resultados obtidos no grupo experimental (o lote de plantas em que foi fornecida a mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio) com os obtidos no grupo de controle (o lote de plantas em que foi fornecida a mistura com os mesmos sais, menos os de magnésio).
13. Alternativa D. Em uma experiência controlada, os resultados obtidos no grupo experimental são comparados com os resultados obtidos no grupo controle.
14. Alternativa B. Na questão, os níveis de organização biológica são: célula, tecido, órgão, organismo, população, comunidade, ecossistema e biosfera.
15. **a)** Comunidade.
    b) Ecossistema.

Referências suplementares

O QUE É ciência e por que confiar nela? | Natalia Pasternak.[*S. l.*: *s. n.*], 2019. 1 vídeo (6 min). Publicado pelo canal Casa do Saber. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=1aQRJQRHQvg. Acesso em: 3 set. 2024.

Vídeo em que a bióloga Natalia Pasternak explica o que é ciência e os motivos para confiar nela.

CIÊNCIA SUJA. *Podcast*. Disponível em: https://www.cienciasuja.com.br/. Acesso em: 5 set. 2024.

Os episódios desse *podcast* apresentam casos em que os passos do método científico foram modificados ou alterados, causando fraudes.

Capítulo 2 A origem da vida na Terra

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer, em linhas gerais, ideias científicas recentes sobre as origens do Universo, do Sistema Solar e da Terra.
- Conhecer ideias científicas sobre as condições supostamente reinantes na Terra primitiva antes do surgimento da vida.
- Conhecer e compreender os principais passos que teriam levado à origem dos primeiros seres vivos: formação de substâncias orgânicas precursoras, organização dessas substâncias em sistemas isolados e surgimento da reprodução.
- Comparar as hipóteses heterotrófica e autotrófica para a origem da vida e justificar a tendência atual de aceitar a hipótese autotrófica.

Esses objetivos estão relacionados às **competências gerais 2** e **4** da BNCC, ao estimularem a curiosidade científica, apresentando uma proposta que integra saberes de várias disciplinas, incentiva o conhecimento histórico e propõe a expressão do conhecimento adquirido de diferentes formas.

Além disso, a apresentação de ideias científicas recentes sobre as origens do Universo, do Sistema Solar e da Terra relaciona-se com as habilidades **EM13CNT201** e **EM13CNT209** da **competência específica 2**.

A habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2** é mobilizada quando o estudante avalia as condições supostamente reinantes na Terra primitiva antes do surgimento da vida e os principais passos que teriam levado à origem dos primeiros seres vivos.

As atividades propostas permitem que o estudante comunique e divulgue suas pesquisas, produções e conclusões em diferentes mídias, relacionando-se com a habilidade **EM13CNT302** da **competência específica 3**.

Sugestões didáticas e comentários

Pode-se utilizar a abertura do capítulo para iniciar uma discussão crítica com os estudantes sobre a coexistência de perspectivas religiosas e científicas sobre a origem da vida. O texto também destaca a importância da Cosmologia e dos avanços nas explicações de fenômenos que ocorreram há bilhões de anos. Além disso, a comparação entre as visões religiosas e científicas sobre a origem do Universo oferece uma oportunidade de abordagem interdisciplinar relacionada à filosofia e à história da ciência.

Pode ser interessante conversar com os estudantes sobre escalas de tempo da ordem de bilhões e milhões de anos, distantes da escala temporal da vida humana e mesmo difíceis de imaginar.

As origens do Universo e do Sistema Solar, apresentadas brevemente no capítulo, podem ser desenvolvidas em conjunto com a Física e com a Química, possibilitando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT209**, que trata da origem e da distribuição dos elementos químicos no Universo.

O tema sobre origem da vida na Terra possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT201**, ao ser abordado sob uma perspectiva histórica, e da **EM13CNT202**, ao analisar as condições ambientais favoráveis ao surgimento da vida.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Entrevista: Como surgiu a vida na Terra?

A atividade permite constatar que cada indivíduo tem sua própria perspectiva, influenciada por fatores culturais, sociais, educacionais e religiosos e que devem ser respeitados. A atividade pode promover um diálogo respeitoso sobre diferentes visões de mundo, favorecendo o trabalho com o **TCT Diversidade cultural**, da macroárea **Multiculturalismo**.

Aplicando conhecimentos

Integrando áreas do conhecimento

Os fenômenos que explicam a formação do Universo, da matéria e as condições para o surgimento da vida estão interligados. A Física ajuda a compreender as leis que explicam os fenômenos do Cosmos, a Química estuda a formação dos elementos e das reações que permitiram o surgimento de moléculas complexas, enquanto a Biologia investiga a evolução dos seres vivos a partir dessas moléculas.

Dialogando com o texto

Integrando conhecimentos

A inspiração de Francesco Redi na *Ilíada* exemplifica como o progresso intelectual é enriquecido quando se estabelecem conexões entre diversos tipos de saberes. A atividade, ao relacionar a ciência com uma obra literária, favorece o desenvolvimento da **competência geral 3**.

Em destaque

Um olhar histórico sobre a conservação de alimentos

As polêmicas sobre a origem dos microrganismos levaram a tecnologias de preservação dos alimentos. Essas aplicações tecnológicas da ciência favorecem o trabalho com o **TCT Ciência e tecnologia**.

É importante destacar que, antes da descoberta dos microrganismos e de sua relação com a deterioração dos alimentos, a humanidade sofria perdas consideráveis de alimentos por conta da decomposição.

A refrigeração cria um ambiente desfavorável para o crescimento da maioria dos microrganismos, retardando assim o processo de decomposição. A invenção das geladeiras domésticas no século XX democratizou o acesso à refrigeração, transformando a forma de armazenar alimentos.

Atividade em grupo

Construindo uma escala de tempo geológico

O objetivo deste exercício é familiarizar o estudante com a sequência temporal dos acontecimentos, desde a formação do Universo até o surgimento dos primeiros seres vivos na Terra. Algumas referências que constam no capítulo são:

a) grande explosão: cerca de 13,7 bilhões de anos atrás;
b) origem do elemento hidrogênio: algumas centenas de milhares de anos após o *big bang* (cerca de 400 mil anos após a grande explosão);
c) origem das primeiras estrelas: algumas centenas de milhões de anos após a grande explosão;
d) origem do Sistema Solar: cerca de 4,6 bilhões de anos atrás;
e) origem da Terra: entre 4,6 e 4,5 bilhões de anos atrás;
f) surgimento dos primeiros oceanos: quando a Terra tinha cerca de 500 milhões de anos de idade;
g) surgimento dos primeiros seres vivos: após a formação dos primeiros oceanos.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa E. Organismos quimiolitoautotróficos utilizam compostos inorgânicos para gerar energia, um processo que pode ter sido fundamental na vida primitiva da Terra.

2. Alternativa A. Todas as formas de vida conhecidas são baseadas em células, que realizam processos fundamentais para a manutenção da vida.

3. Alternativa C. Esta hipótese sugere que a vida, ou pelo menos seus blocos construtivos, pode ter chegado à Terra do espaço, por meteoritos ou poeira cósmica.

4. Alternativa B. A hipótese autotrófica sugere que os primeiros organismos vivos poderiam ter sido autótrofos, obtendo energia de fontes inorgânicas, como minerais, em vez de dependerem de matéria orgânica preexistente.

5. Alternativa F. A teoria da evolução molecular descreve o processo de formação de moléculas orgânicas complexas a partir de compostos simples, culminando na origem da vida.

6. Alternativa D. A hipótese heterotrófica sugere que os primeiros organismos obtinham nutrientes do ambiente ao seu redor, utilizando substâncias orgânicas formadas espontaneamente na Terra primitiva.

7. Alternativa D. Os estudos mais atuais indicam que a vida surgiu há cerca de 3,5 bilhões de anos.

8. Alternativa C. Os estudos de Stanley Lloyd Miller estabeleceram as bases experimentais da teoria da evolução molecular para a origem da vida.

9. Alternativa A. A existência de microrganismos quimiolitoautotróficos vivendo ao redor de fendas vulcânicas em condições extremas apoia a hipótese autotrófica.

10. a) Espera-se que o estudante relacione o termo "estéril" com a ausência de microrganismos. Esclareça que o processo UHT elimina microrganismos patogênicos e decompositores do alimento.
b) A refrigeração visa manter a qualidade do alimento, evitando a deterioração pela proliferação dos microrganismos que contaminaram o produto ao abrir a embalagem.
c) A pasteurização consiste no aquecimento brando do alimento, que elimina apenas certos microrganismos patogênicos, enquanto o processo UHT consiste no aquecimento em altas temperaturas por curtos intervalos de tempo, o que esteriliza o leite.

11. Alternativa D. Os eventos listados compreendem a evolução gradual e complexa da vida na Terra.

12. Alternativa D. A atmosfera primitiva da Terra caracterizava-se pela ausência de oxigênio.

13. Alternativa E. A questão relaciona informações a respeito da hipótese autotrófica, panspermia e biogênese.

14. Alternativa E. A teoria da panspermia sugere que a vida na Terra pode ter tido origem extraterrestre.

15. A bactéria seria autótrofa quimiossintetizante e utilizaria a energia proveniente de reações químicas inorgânicas, cujos reagentes estariam presentes em fendas vulcânicas oceânicas.

16. a) Os cientistas testaram a hipótese de que os supostos gases da atmosfera primitiva poderiam formar, espontaneamente, os compostos orgânicos que originaram os primeiros seres vivos no planeta Terra.
b) Aminoácidos.
c) O gás oxigênio da Terra é um produto da fotossíntese e só pode ter surgido após o aparecimento dos organismos fotossintetizantes, que, dada a sua complexidade, supõe-se que surgiram bem após a origem das primeiras formas de vida.

Referências suplementares

CRIAR para Aprender. [*S. l.*: *s. n.*], 2020. 1 vídeo (44 min). Publicado pelo canal EducaMidia. Disponível em: https://www.youtube.com/live/I9h4GorouSg?si=FrglaTe1ZDKmO_OK. Acesso em: 12 set. 2024.

No vídeo, duas educadoras discutem o papel do professor e as práticas para a criação de mídias como estratégia eficaz e engajadora no aprendizado dos estudantes.

COSMOS: uma odisseia no espaço-tempo. Direção: Brannon Braga, Bill Pope, Ann Druyan. Estados Unidos: Cosmos Studios, Fuzzy Door Productions, 2014. 13 episódios (44 min).

A série é um documentário científico apresentado pelo astrônomo estadunidense Neil de Grasse Tyson (1958-). É uma regravação da série Cosmos apresentada pelo astrônomo estadunidente Carl Sagan (1934-1996) em 1980, sobre astronomia e a origem do Universo.

Capítulo 3 As bases moleculares da vida

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Identificar os principais elementos químicos que compõem os seres vivos.
- Reconhecer a importância da água e dos sais minerais para a manutenção das funções do organismo.
- Analisar a estrutura e função dos glicídios no metabolismo celular.
- Compreender as características e funções dos lipídios para os seres vivos.
- Avaliar a importância das proteínas e vitaminas para a manutenção das funções fisiológicas.
- Justificar a importância das avaliações dos profissionais da saúde ao ingerir suplementos alimentares, vitaminas e outros produtos.

O estudo de carboidratos, lipídios e proteínas, importantes moléculas do metabolismo celular, possibilita reflexões sobre o cotidiano, como a alimentação e suas consequências para o corpo humano, favorecendo o trabalho com a habilidade **EM13CNT101** da **competência específica 1** da BNCC.

Ao discutir a importância da água e dos sais minerais na manutenção das funções fisiológicas, os estudantes poderão avaliar a relevância desses componentes no corpo humano, compreendendo a importância do equilíbrio homeostático para a saúde e a prevenção de doenças, possibilitando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205** da **competência específica 2**.

Ao trabalhar com informações sobre a dieta, os estudantes podem desenvolver a capacidade de tomar decisões informadas sobre o próprio corpo e avaliar conhecimentos científicos relacionados às práticas de saúde e bem-estar, relacionadas à habilidade **EM13CNT301** da **competência específica 3**.

Sugestões didáticas e comentários

Na abertura deste capítulo são exploradas as relações entre Química e Biologia no contexto da cultura e da alimentação, destacando como os avanços no campo da Química têm proporcionado uma compreensão mais profunda de processos biológicos.

Este capítulo oferece uma oportunidade para o desenvolvimento de atividades interdisciplinares com Física e Química. Essa integração pode ser promovida ao abordar temas como a termodinâmica, no contexto da obtenção de energia no metabolismo energético, ou ao discutir reações químicas relacionadas à nutrição e ao metabolismo celular.

Reconhecer que os seres vivos são compostos de átomos e moléculas estabelece as bases para entender a complexidade da vida e seus diferentes níveis de organização, como enfatizado pela BNCC.

Atividade complementar

Para trabalhar a função das enzimas e o efeito da temperatura, pode-se desenvolver atividades práticas como a ação da amilase sobre o amido. Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e tem o objetivo de demonstrar, de forma prática, o efeito da temperatura na atividade enzimática.

Oriente os estudantes a preparar três tubos de ensaio, contendo: **1)** e **2)** uma solução de amido e saliva (fonte de amilase); **3)** somente uma solução de amido. Coloque os tubos **1)** e **3)** em água morna (37 °C) e o tubo **2)** em recipiente com gelo. Após 5 minutos, adicione solução alcoólica a 10% de iodo aos três tubos de ensaio. O iodo reage com o amido, resultando em uma coloração azul-escuro. No tubo **1)**, mantido em água morna, a amilase deve ter decomposto o amido e a solução não apresentará cor azul. No tubo **2)**, a amilase não terá atuado devido à baixa temperatura e a solução permanecerá azul, assim como no tubo **3)**, que não tinha saliva.

Resoluções e comentários

Em destaque

Colesterol e placas ateroscleróticas

Esta atividade possibilita trabalhar o **TCT Saúde**, a habilidade **EM13CNT205**, bem como o **ODS 3** Saúde e bem-estar, ao promover atitudes que favorecem a prevenção de doenças não transmissíveis.

1. Espera-se que os estudantes respondam que não existem dois tipos de moléculas de colesterol diferentes, mas sim complexos moleculares diferentes que atuam no transporte do colesterol pela corrente sanguínea. O complexo do colesterol com lipoproteínas de baixa densidade (LDL), chamado de "colesterol ruim", transporta o colesterol do fígado para as células; em excesso, o LDL pode se acumular nas paredes das artérias. Já o complexo do colesterol com lipoproteínas de alta densidade (HDL), conhecido como "colesterol bom", atua no transporte do colesterol das células para o fígado, responsável por sua eliminação do corpo. Portanto, a diferença está na forma como o colesterol é transportado, e não no tipo de colesterol em si.
2. O colesterol desempenha um papel fundamental na formação das membranas celulares e na produção de hormônios esteroides, como os hormônios sexuais e o cortisol. Além disso, o colesterol é importante para a produção de vitamina D e para a síntese de ácidos biliares, que ajudam na digestão das gorduras.
3. O LDL em excesso no sangue pode se acumular nas paredes das artérias, formando as chamadas placas ateroscleróticas. Essas placas podem obstruir as artérias, dificultando o fluxo sanguíneo e eventualmente causar

infarto do miocárdio (caso o bloqueio ocorra nas artérias coronárias) ou acidente vascular cerebral (AVC) (caso o bloqueio ocorra nas artérias que irrigam o cérebro).

4. Espera-se que os estudantes respondam afirmativamente à questão. Os exames que medem os níveis de LDL e HDL fornecem informações mais detalhadas sobre o metabolismo do que o exame que mede apenas o colesterol total. Esse exame não distingue entre o "colesterol bom" (HDL) e o "colesterol ruim" (LDL), enquanto exames individualizados permitem avaliar se os níveis de LDL estão altos (o que aumenta o risco de aterosclerose) e se os níveis de HDL estão adequados (o que ajuda a proteger contra doenças cardiovasculares). Assim, exames individualizados de LDL e HDL oferecem uma visão mais precisa e detalhada da saúde cardiovascular da pessoa.

Aplicando conhecimentos

Enzimas e catalisadores

A atividade pode ajudar os estudantes a compreender a natureza dos catalisadores, definidos como substâncias que aumentam a velocidade das reações químicas sem serem alteradas ou consumidas no processo. Os catalisadores são amplamente utilizados na indústria, como nas refinarias de petróleo, bem como na produção de plásticos. As enzimas se encaixam na categoria de catalisadores biológicos porque aceleram as reações metabólicas. Ao comparar processos químicos e biológicos, a atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

Mundo do trabalho

Suplementos nutricionais

Suplementos alimentares são produtos que contêm nutrientes como proteínas, aminoácidos, vitaminas e sais minerais. Em geral, os suplementos prometem melhorar o desempenho físico e a saúde das pessoas. A publicidade muitas vezes focaliza aumento de massa muscular e redução de gordura corporal. No entanto, nem sempre essas propagandas destacam eventuais riscos associados ao uso indevido desses produtos.

A pesquisa pode enfatizar que o uso de suplementos alimentares sem orientação profissional pode ser prejudicial, com possíveis danos ao fígado, aos rins e ao coração, especialmente em casos de excessos.

Embora os suplementos alimentares possam ser benéficos em algumas situações, seu uso deve sempre ser realizado sob orientação de profissionais da saúde, com base em necessidades nutricionais reais e avaliações individuais. Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, bem como o trabalho com as **competências gerais 1**, **2**, **4** e **8** da Educação Básica. A seção também aborda o **TCT Saúde**, ao promover a análise crítica de propagandas de suplementos. O **ODS 3** Saúde e bem-estar é mobilizado, por promover a prevenção pela conscientização sobre o uso correto de suplementos.

Aplicando conhecimentos

Alimentos do dia a dia

Espera-se que os estudantes respondam que alimentos ricos em glicídios (carboidratos) são pão, arroz e massas, entre outros. Esses alimentos são fontes de energia para o organismo humano. Já azeite de oliva, os óleos vegetais, as sementes oleaginosas, a margarina ou a manteiga são ricos em lipídios, importantes para a produção de hormônios e para a absorção de vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K). Carnes, grão-de-bico, soja, ovos, feijão, lentilha, entre outros alimentos, são fontes de proteínas, essenciais para a construção e a reparação dos tecidos, além de serem fundamentais para a produção de enzimas e hormônios. O consumo de frutas ricas em vitaminas, como a laranja e a banana, favorece o sistema imunológico e é importante para o metabolismo energético. Esta atividade favorece o desenvolvimento da **competência geral 8**, bem como a habilidade **EM13CNT301**.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. As proteínas são as substâncias orgânicas mais comuns na constituição dos seres vivos.
2. Alternativa A. Para a degradação de proteínas em aminoácidos, deve-se quebrar as ligações peptídicas, reação química que consome água.
3. Alternativa B. A desnaturação de uma proteína consiste na modificação de sua estrutura espacial.
4. Alternativa D. Ao separar as cadeias polipeptídicas, modifica-se essa estrutura quaternária, mas não se altera a estrutura primária (sequência de aminoácidos), secundária (enrolamento helicoidal) ou terciária (a forma tridimensional de uma única cadeia polipeptídica).
5. A denominação se deve ao fato de a enzima e o substrato se encaixarem com grande especificidade, de modo similar ao que ocorre em uma chave com uma fechadura.
6. Alternativa D. Os aminoácidos são constituintes das proteínas, e, sem eles, as células não podem sintetizar novas proteínas necessárias para sua sobrevivência.
7. Alternativa D. As enzimas são proteínas que atuam como catalisadores biológicos, acelerando as reações químicas nos organismos vivos.
8. Alternativa B. As enzimas biocatalisadoras reconhecem seus substratos por meio da forma tridimensional das moléculas. Esse processo é frequentemente descrito pelo modelo de "chave-fechadura".

9. **a)** Pela ingestão de vegetais. Porque o β-caroteno origina a vitamina A, a partir da qual é produzido o pigmento (rodopsina) necessário para a visão.
   b) Estrutura de membranas celulares e controle hormonal. Exemplos de esteroides: colesterol, progesterona, testosterona.
   c) Animais: tecido adiposo. Vegetais: sementes e frutos.

Referência suplementar

GONÇALVES, T. M. Um laboratório de biologia em casa: simulando a ação da enzima catalase na batata. **Educação Pública**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 27, 20 jul. 2021. Disponível em: https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/21/27/um-laboratorio-de-biologia-em-casa-simulando-a-acao-da-enzima-catalase-na-batata. Acesso em: 4 set. 2024.

Essa atividade prática propõe o uso da batata e do peróxido de hidrogênio para demonstrar a ação da enzima catalase, que decompõe a água oxigenada em água e oxigênio, evidenciado pela formação de bolhas.

Capítulo 4 A célula viva: membrana e citoplasma

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer aspectos históricos do estudo das células.
- Diferenciar células eucarióticas de células procarióticas.
- Comparar a estrutura das células eucarióticas animais e vegetais.
- Analisar o impacto dos avanços tecnológicos na microscopia para a compreensão da biologia celular.
- Compreender a função da membrana plasmática no intercâmbio de substâncias entre a célula e o meio externo.
- Relacionar os processos de osmose e de difusão à sobrevivência das células em diferentes ambientes.
- Reconhecer o funcionamento das organelas citoplasmáticas para a manutenção da vida das células.

Este capítulo tem por objetivo proporcionar a compreensão de conceitos biológicos relacionados às células. A partir dessa perspectiva, os objetivos de aprendizagem estão relacionados às competências gerais e habilidades da BNCC, especialmente no que diz respeito à valorização da construção histórica dos conhecimentos científicos e à análise das diversas formas de manifestação da vida, em seus diferentes níveis de organização, neste caso o nível celular, conforme o que apresentam a **competência geral 1** e a habilidade **EM13CT202** da **competência específica 2**.

Sugestões didáticas e comentários

É interessante discutir com os estudantes que a concepção da célula como unidade da vida foi construída passo a passo graças a contribuições de muitos cientistas, ao longo de quase dois séculos. Essa abordagem favorece reconhecer o valor histórico da contribuição coletiva na produção de conhecimento, trabalhando assim a **competência geral 1**.

É importante discutir com os estudantes que o aparecimento da membrana celular deve ter sido fundamental na origem da vida.

Ao abordar o tópico de fagocitose e pinocitose, estimule os estudantes a comparar fagossomos e pinossomos, destacando características em comum entre eles.

É interessante que a célula seja entendida como um microambiente tridimensional no qual se localizam o núcleo e as organelas. Esse aspecto pode ser trabalhado de modo interdisciplinar com o componente curricular Arte, por meio da representação tridimensional das estruturas celulares com a utilização de diferentes materiais, como massa de modelar, isopor, plástico etc. A representação de modelos explicativos da célula e a interpretação das ilustrações apresentadas no capítulo favorecem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da BNCC.

Atividade complementar

Os estudantes podem se familiarizar com unidades utilizadas na microscopia, trabalhando de modo interdisciplinar com Matemática, produzindo gráficos em cartolina. Em uma linha horizontal traçada na cartolina, podem ser representadas as unidades de comprimento, onde "m" na extrema esquerda da linha representa o metro. A próxima unidade a ser representada na linha será o decímetro, equivalente à décima parte do metro (1 dm = 10^{-1} m). Deve-se deixar um espaço razoável entre as duas unidades. A linha de unidades deve conter todos os submúltiplos do metro (centímetro, milímetro, micrômetro e nanômetro).

O desafio é localizar, na linha de unidades, as ordens de grandeza de componentes dos seres vivos, tais como: a) diâmetro médio de uma célula humana = 0,00001 m; converter de metros para micrômetros e marcar onde se situa a célula na linha de unidades; b) espessura da membrana plasmática que envolve a célula = = 0,0000005 m; converter de metros para nanômetros e marcar onde se situa a espessura da membrana na linha de unidades; c) diâmetro aproximado de um átomo de hidrogênio = 0,0000000001 m; converter de metros para nanômetros e assinalar onde se situa o átomo de hidrogênio na linha de unidades.

Proponha aos estudantes que compartilhem com os colegas, de modo a favorecer o desenvolvimento da **competência geral 4**.

Resoluções e comentários

Em destaque

Os microscópios

1. É importante que os textos dos estudantes relacionem as descobertas científicas decorrentes da utilização de microscópios no avanço da ciência. Essa atividade incentiva o estudante a explorar a interdisciplinaridade entre Física (óptica) e Biologia (descobertas microscópicas).
2. Algumas aplicações da microscopia eletrônica são: no diagnóstico de doenças como o câncer (empregada na análise de tecidos e células), no estudo de vírus (empregada na visualização dos vírus e suas interações com células hospedeiras) e no estudo detalhado de estruturas celulares. Esta atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**, ao propor a investigação sobre as aplicações da microscopia eletrônica. O conteúdo da seção tem relação com o **TCT Ciência e Tecnologia**.

Dialogando com o texto

Integrando conhecimentos

O modelo de Singer e Nicolson para a membrana plasmática, denominado modelo do mosaico fluido, exemplifica como conhecimentos químicos e físicos são fundamentais para compreender a estrutura e a função das membranas celulares. A atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, ao propor a interpretação de um modelo explicativo sob uma perspectiva científica.

Em destaque

Um pioneiro no estudo das membranas celulares

A atividade traz uma oportunidade para promover discussões sobre a importância da representatividade e da diversidade no campo científico, reforçando a **competência geral 9**, que trata da empatia e da valorização da diversidade. A proposta incentiva o desenvolvimento do pensamento crítico ao refletir sobre o impacto de figuras históricas na ciência e na atração de novos talentos para áreas científicas.

Atividade prática

Utilizando ovos de codorna para observar a osmose

A atividade permite exercitar a interdisciplinaridade com o componente curricular Química. Solicite aos estudantes que registrem o que foi observado por meio de fotografias ou que produzam um vídeo que mostre os passos do experimento e os resultados obtidos. Atividades como essa podem ser apresentadas em uma feira de ciências.

1. Os ovos que estiveram mergulhados na solução hipertônica são os da esquerda, pois, mergulhados na solução concentrada de açúcar, eles perdem água e ficam menores (os ovos mergulhados em água filtrada ficam maiores/incham). Sob o ponto de vista da osmose, os ovos mergulhados na solução de água com açúcar murcham em razão da saída de água por osmose, o que indica que a solução do copo é hipertônica em relação à solução interna do ovo.
2. Ao transferir um dos ovos mostrados à esquerda (que estavam na solução concentrada de açúcar) para um recipiente com água pura, espera-se que eles inchem devido à absorção de água.

Dialogando com o texto

Mitocôndrias, lisossomos e doenças

A atividade pede aos estudantes para relacionar disfunções nas mitocôndrias com doenças metabólicas, como certas doenças mitocondriais que afetam a produção de energia celular. Também podem ser abordadas doenças dos lisossomos, como as resultantes de defeitos em enzimas lisossômicas, que levam ao acúmulo de substâncias tóxicas nas células. Essa atividade favorece o trabalho com o **TCT Saúde** ao relacionar o metabolismo celular com aspectos de saúde. A atividade pode ser realizada em grupos, incentivando assim a colaboração entre os estudantes e a utilização de diferentes fontes de informação.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. Todos os seres vivos são constituídos por células, conforme a teoria celular.
2. Alternativa B. As principais substâncias orgânicas constituintes das biomembranas são lipídios e proteínas.
3. Alternativa E. Quando uma substância passa pela membrana plasmática sem gasto de energia, ocorre transporte passivo.
4. Alternativa D. O transporte que depende de energia celular é chamado de transporte ativo.
5. Alternativa B; alternativa A. A solução menos concentrada é hipotônica, e a mais concentrada é hipertônica.
6. Alternativa C. Uma solução com a mesma concentração de solutos é chamada de isotônica.
7. Alternativa E. O retículo endoplasmático granuloso é o conjunto de bolsas membranosas com grânulos (ribossomos) aderidos.
8. Alternativa C. O lisossomo é a organela que digere diversas substâncias orgânicas.

9. Alternativa B. O complexo golgiense é responsável pelo empacotamento de substâncias.

10. Alternativa A; alternativa B. A bolsa cheia de enzimas digestivas nos espermatozoides é o acrossomo, que tem origem no complexo golgiense.

11. Alternativa D. O retículo endoplasmático não granuloso forma tubos e bolsas interligadas.

12. As concentrações das soluções dos tubos e do frasco tenderão a se igualar. Assim, após algum tempo, no tubo 1, o nível de líquido deverá subir (maior quantidade de solvente tende a atravessar a membrana no sentido frasco → tubo); no tubo 2, não ocorrerá variação no nível de líquido (mesma quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana em ambos os sentidos); no tubo 3, o nível de líquido deverá baixar (maior quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana no sentido tubo → frasco).

13. Alternativa D. Hooke descobriu as células, descrevendo pela primeira vez células de cortiça. Schwann e Schleiden são autores da teoria celular.

14. Alternativa C. A ampliação total será: $12x \cdot 5x = 60$ diâmetros. Isso significa que o objeto será ampliado 60 vezes em relação ao seu tamanho original.

15. Alternativa C. Solução A: A batata ficou amolecida, o que indica que a solução é hipertônica. Em uma solução hipertônica, há mais solutos do que no interior das células da batata, o que faz com que a água saia das células por osmose, levando ao encolhimento das células e ao amolecimento da batata. Solução B: A batata ficou rígida, o que indica que a solução é hipotônica. Em uma solução hipotônica, há menos solutos do que no interior das células da batata, o que faz com que a água entre nas células por osmose, inchando as células e deixando a batata mais rígida.

16. Alternativa C. O retículo endoplasmático rugoso está envolvido na síntese de proteínas. Essas proteínas são transferidas para o complexo golgiense, onde são modificadas, empacotadas em vesículas e direcionadas para seus destinos finais na célula ou para fora dela, por meio do processo de secreção.

17. Os lisossomos são bolsas membranosas repletas de enzimas digestivas. Essas enzimas são produzidas no retículo endoplasmático granuloso e empacotadas no complexo golgiense, dando origem aos lisossomos primários. O alimento obtido pelo processo de fagocitose será digerido pelas enzimas presentes no lisossomo. Para isso, o lisossomo deve se unir ao fagossomo, formando o vacúolo digestivo, também denominado lisossomo secundário. Com a digestão, as substâncias úteis são liberadas no citosol, e os resíduos são, posteriormente, eliminados por clasmocitose.

Capítulo 5 Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Reconhecer que o núcleo das células eucarióticas é o centro de controle das atividades celulares.
- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotografias de células, o núcleo celular e suas partes.
- Compreender os níveis da organização cromossômica.
- Conhecer o número padrão de cromossomos da espécie humana (46) e compreender o significado das fórmulas cromossômicas da mulher (46, XX) e do homem (46, XY).
- Reconhecer o papel da mitose na reprodução de organismos unicelulares e no crescimento e desenvolvimento de organismos multicelulares.
- Conhecer as principais subdivisões do ciclo celular, relacionando-as ao processo de duplicação do DNA cromossômico.
- Identificar as principais fases da mitose: prófase, metáfase, anáfase e telófase, além da citocinese.
- Reconhecer a existência de um código genético que determina as características hereditárias por meio do controle das atividades celulares.
- Conhecer a estrutura da molécula de DNA e compreender a maneira como ela armazena informação genética.
- Compreender como os genes podem conter informações capazes de controlar atividades celulares.
- Conhecer os principais tipos de RNA e seu papel no processo de síntese de proteínas.
- Utilizar a tabela de código genético para prever, a partir da sequência de bases de um DNA ou de um RNA, a composição em aminoácidos do polipeptídio produzido.
- Explicar, em termos gerais, como os genes determinam as características estruturais e funcionais dos seres vivos por meio do controle da síntese de proteínas.

O capítulo possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2**, uma vez que os estudantes são estimulados a compreender como o DNA é capaz de armazenar informações e como os processos de codificação molecular se refletem em níveis de organização superior, determinando as características do organismo. O capítulo traz ainda a oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, ao valorizar conhecimentos historicamente construídos a respeito da expressão gênica e as possíveis aplicações desses conhecimentos.

Sugestões didáticas e comentários

Ao estudar o núcleo celular e seus principais componentes, os estudantes podem imaginar a estrutura do cromossomo, desde a molécula de DNA associada a proteínas, até o nível do cromossomo condensado, visível ao microscópio fotônico.

No corpo humano ocorrem continuamente divisões celulares, gerando novas células para substituir as que morrem. Conhecer e compreender a divisão celular (mitose) melhora a compreensão dos fenômenos implicados na continuidade da vida na Terra, contribuindo para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**.

Ao abordar a duplicação semiconservativa do DNA, pode-se destacar a participação de numerosos cientistas, entre eles o fisiologista neozelandês Maurice Wilkins (1916-2004) e a química britânica Rosalind Franklin (1920-1958), cujos estudos de difração de raios X, na área da Física, foram fundamentais para a formulação desse modelo.

A integração entre Biologia e Matemática pode ser feita no tópico *RNA mensageiro: o portador da instrução genética*, em que a combinação das bases A, T, C e G, três a três, origina 64 códons diferentes.

Resoluções e comentários

Atividade prática

Extraindo DNA de cebola

Esta atividade prática oferece aos estudantes uma experiência de extração de DNA de células da cebola, utilizando materiais simples e acessíveis.

O detergente atua desestruturando as membranas celulares, compostas por lipídios, e desnaturando as proteínas associadas ao DNA, que formam os cromossomos. Essa ação é fundamental para liberar o DNA da estrutura celular e possibilitar sua análise. O sal, por sua vez, ajuda a precipitar o DNA, tornando-o visível ao separá-lo das proteínas e outras moléculas. O sal neutraliza as cargas negativas do DNA, fazendo com que essas moléculas se aglomerem, facilitando sua visualização quando o álcool é adicionado à solução.

A compreensão da estrutura molecular e das interações químicas no DNA tem aplicação em muitas áreas, como o desenvolvimento de medicamentos, o diagnóstico genético e a engenharia genética, exemplificando que o conhecimento interdisciplinar entre Biologia e Química é essencial para resolver problemas científicos e tecnológicos.

O desenvolvimento de habilidades como a formulação de hipóteses, a análise crítica e a solução de problema permitem compreender aplicações do conhecimento científico em diferentes contextos, desenvolvendo a **competência geral 2**.

Mundo do trabalho

Jovens aprendizes e inclusão no mercado de trabalho

Nesta atividade os estudantes são incentivados a identificar e discutir vulnerabilidades contemporâneas ao abordar a inclusão de pessoas com síndrome de Down no mercado de trabalho. Essa abordagem visa a desenvolver a promoção da saúde e do bem-estar a partir do conhecimento científico, propiciando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT207** e das **competências gerais 6**, **7** e **9**.

A atividade permite explorar o **TCT Trabalho** (macroárea **Economia**), relacionado a políticas públicas de inclusão de jovens aprendizes no mercado de trabalho, enfatizando a garantia de condições mais justas de emprego para PcDs e incentivando a reflexão sobre o trabalho como direito humano fundamental.

A discussão reforça a consciência crítica sobre os desafios das PcDs e o direito ao trabalho, alinhando-se ao **TCT Educação em direitos humanos** (macroárea **Cidadania e civismo**).

A atividade se conecta ao **ODS 8** Trabalho decente e crescimento econômico, relacionando-se à meta de alcançar emprego pleno e produtivo e trabalho para todas as pessoas com deficiência, e ao **ODS 10** Redução das desigualdades, que visa a promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra. A discussão sobre inclusão no mercado de trabalho pode levar os estudantes a refletir sobre o conceito de igualdade social.

1. Resposta afirmativa. As leis são fundamentais para garantir que jovens e PcDs tenham plena oportunidade de emprego, promovendo a inclusão social e o desenvolvimento de uma sociedade mais justa. A Lei de Cotas para PcDs assegura que essas pessoas tenham acesso a vagas em empresas, enquanto a Lei do Jovem Aprendiz proporciona capacitação e experiência sem comprometimento dos estudos.
2. Resposta que depende da experiência dos estudantes. É importante pesquisar sobre empresas que aplicam essas legislações, conectando a teoria à prática social.

Atividade em grupo

Façam seus códigos

Com apenas quatro símbolos (A, T, C e G) a natureza escreve todas as informações necessárias à existência e à continuidade da vida em nosso planeta.

Combinando os quatro símbolos (A, T, C e G) três a três, tem-se 64 combinações possíveis, número suficiente para corresponder às 26 letras do alfabeto. Pode-se também, reservar algumas combinações para corresponder a sinais de pontuação. Como exemplo, considere a codificação apresentada a seguir, em que algumas combinações dos símbolos genéticos A, T, C e G, três a três, correspondem a letras e símbolos de nosso alfabeto.

GCA = a	AAT = ê	CAG = u	GGG = g	GAA = s	CCC = t
GCT = a	CCT = i	GAG = b	CTT = v	AGG = l	ACT = .
TCA = é	GTC = o	ATC = c	CGA = n	TGT = q	TTT = ?
TCT = e	GTA = ó	TTG = d	GCC = r	ACA = m	AAA = espaço

Obs.: Note que as trincas GCA e GCT são sinônimos, ambas correspondendo à letra **a**. Com esse código, a tradução da mensagem codificada a seguir seria:

GTC	AAA	ATC	GTA	TTG	CCT	GGG	GTC	AAA	TTG	GCA	AAA	CTT	CCT	TTG	GCT	AAA	TCA	AAA	CAG	CGA	CCT	CTT	TCT	GCC	GAA	GCA	AGG	ACT
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
o		c	ó	d	i	g	o		d	a		v	i	d	a		é		u	n	i	v	e	r	s	a	l	.

Utilizando o mesmo código, como seria decifrada a mensagem a seguir?

GTC	AAA	TGT	CAG	TCT	AAA	TCA	AAA	GCA	AAA	CTT	CCT	TTG	GCT	TTT
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Resposta: O que é a vida?

E como seria escrita a frase "Como surgiu a vida?" nessa linguagem codificada?

Resposta: ATC GTC ACA GTC AAA GAA CAG GCC GGG CCT CAG AAA GCA CTT CCT TTG GCT TTT

Se os diferentes grupos desenvolverem diferentes sistemas de código, eles não permitirão a comunicação entre os grupos por meio da linguagem codificada. Isso ressalta a importância do código genético ser universal. Esta atividade contribui com o desenvolvimento do pensamento computacional dos estudantes pela utilização de modelos. Exercícios como esse facilitam aproximar os estudantes da criação de algoritmos. Em Ciências da Computação, algoritmo é uma sequência de ações que visa a obter solução para um determinado tipo de problema.

Com esta atividade, a comunicação científica pode ser desenvolvida pela elaboração de tabelas para a confecção de um código, incentivando os estudantes a utilizar a imaginação e a criatividade e a compartilhar suas descobertas, propiciando o trabalho com a habilidade **EM13CNT302** e com as **competências gerais 2** e **4**.

Em destaque

RNA mensageiro, ciência e saúde

O texto e as discussões referem-se aos **TCTs Ciência e tecnologia** e **Saúde**, além de se relacionar com o **ODS 3** Saúde e bem-estar, relacionado à meta de apoiar a pesquisa e o desenvolvimento de vacinas e medicamentos para as doenças transmissíveis e não transmissíveis.

Atividades finais/Proposta de avaliação

1. Alternativa C. Cromossomos homólogos são pares de cromossomos que têm o mesmo tamanho, a mesma forma e os mesmos genes, localizados nas mesmas posições (lócus gênicos). Essa similaridade é fundamental para o processo de meiose e para a herança genética.
2. Alternativa C. A fase S da interfase é um período crucial no ciclo celular, caracterizado pela replicação do DNA. Nesse estágio, cada cromossomo é duplicado, formando duas cromátides-irmãs idênticas, unidas pelo centrômero.
3. Alternativa E. A telófase é a fase em que a célula se reorganiza após a divisão, com a formação de novas cariotecas.
4. Alternativa D. A prófase é marcada pela condensação dos cromossomos, um evento inicial da divisão celular.

5. Alternativa A. A anáfase é caracterizada pela separação das cromátides-irmãs para os polos opostos da célula.
6. Alternativa D. O nucléolo desaparece durante a prófase devido à condensação da cromatina.
7. Alternativa C. A metáfase é a fase em que os cromossomos se alinham na placa equatorial da célula.
8. Alternativa B. A fase S da interfase é a etapa em que ocorre a duplicação do DNA.
9. Alternativa E. Os nucléolos se reorganizam na telófase, quando os novos núcleos começam a se formar.
10. Alternativa B. O cariótipo humano normal apresenta 22 pares de autossomos (cromossomos não sexuais) e 1 par de cromossomos sexuais (X e Y em homens, X e X em mulheres).
11. Alternativa C. Seguindo a regra de pareamento de bases (A com T e C com G), a sequência complementar será TAATGCTCCATGTAAGC.
12. Alternativa A. A região indicada pela seta é a cromátide, composta por DNA.
13. Alternativa A. Ao final da mitose, cada célula filha recebe uma cópia idêntica do material genético da célula mãe, ou seja, metade do material genético original e metade recém-sintetizado.
14. Alternativa D. A afirmação II está incorreta. As bases nitrogenadas se pareiam da seguinte forma: adenina (A) com timina (T) e guanina (G) com citosina (C).
15. Alternativa A. O DNA tem a mesma composição básica em todos os seres vivos, sendo formado por quatro bases nitrogenadas (adenina, timina, citosina e guanina), um açúcar (desoxirribose) e um grupo fosfato. A diferença entre os DNAs de diferentes espécies reside na sequência dessas bases.
16. Alternativa A. A sequência de bases nitrogenadas no DNA determina a sequência de aminoácidos nas proteínas, por meio do processo de transcrição e tradução. O DNA é o molde para a síntese do RNA mensageiro, que por sua vez carrega a informação para a produção das proteínas nos ribossomos.
17. Alternativa D. A sequência de aminoácidos da proteína produzida será idêntica à do RNA mensageiro, que neste caso é de células de macaco.
18. Teria as características da espécie A, porque as características hereditárias são determinadas pelos genes presentes no núcleo das células e ele deriva da espécie A.

Referências suplementares

FUNDAMENTOS da expressão genética. **PheT Interactive Simulations**, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gene-expression-essentials. Acesso em: 6 set. 2024.

Esta ferramenta permite simular a sequência principal de eventos que ocorrem durante a síntese de proteínas.

DIVISÃO celular. [*S. l.*: *s. n.*], 2011. 1 vídeo (10 min). Publicado pelo canal Laboratório de Tecnologias Educacionais. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9bLQegsYoFk. Acesso em: 6 set. 2024.

Vídeo da série Viagem à Célula, do Laboratório de Tecnologias Educacionais da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) que ilustra as etapas da mitose e os principais acontecimentos em cada uma de suas fases por meio de imagens reais de micrografia.

Capítulo 6 O metabolismo energético das células vivas

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Valorizar o estudo dos processos energéticos celulares e compreender as relações de interdependência entre os seres vivos e a composição físico-química do ambiente.
- Reconhecer que moléculas orgânicas são ricas em energia potencial química, que pode ser aproveitada pelos seres vivos.
- Compreender o papel do ATP como intermediador nos processos energéticos celulares.
- Conceituar fotossíntese e identificar as equações químicas gerais referentes a esse processo.
- Conhecer e compreender as principais etapas da fotossíntese (fotólise da água, fotofosforilação e ciclo das pentoses), identificando os locais da célula eucariótica onde ocorrem.
- Conceituar respiração celular e identificar as equações químicas gerais referentes a esse processo.
- Conhecer e compreender as principais etapas da respiração celular (glicólise, ciclo do ácido cítrico e fosforilação oxidativa), identificando os locais da célula onde ocorrem.
- Conceituar fermentação, compreender os aspectos gerais do processo, identificar os locais da célula onde ocorre e organismos que a realizam.
- Reconhecer a importância da fermentação para a humanidade e identificar produtos do processo fermentativo.
- Conceituar o processo de quimiossíntese, identificando organismos que o realizam.

Os objetivos do capítulo se articulam com a habilidade: **EM13CNT202** da **competência específica 2**, que se refere a compreender manifestações da vida e transformações energéticas que ocorrem em organismos fotossintetizantes; e **EM13CNT101** da **competência específica 1**, quando se analisa a transformação de energia luminosa em energia potencial química. A valorização de conhecimentos sobre organismos

autotróficos e sobre os organismos heterotróficos contribui com o desenvolvimento da **competência geral 1**, que trata da valorização e da utilização de conhecimentos científicos historicamente construídos, e da **competência geral 2**, que trata da investigação e da análise crítica desses tipos de metabolismo.

Sugestões didáticas e comentários

Neste capítulo, são estudados os processos de obtenção de energia para a vida no nível molecular. Os seres vivos compartilham a mesma "moeda energética" – o ATP, uma substância orgânica especializada na transferência de energia entre as reações químicas celulares.

Outro assunto do capítulo é a quimiossíntese, processo pelo qual certas bactérias e arqueas obtêm energia a partir de reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

A **abertura do capítulo** destaca a fermentação. Essa abordagem se relaciona com o **TCT Ciência e Tecnologia** ao tratar das aplicações do conhecimento científico, e com a **competência geral 1**, ao valorizar conhecimentos historicamente construídos relacionados à fermentação.

Uma abordagem interessante é destacar o papel dos alimentos como fonte de matéria-prima e de energia pela análise das informações nutricionais e valores calóricos expressos nos rótulos de alimentos. Compreender que a energia dos alimentos provém da fotossíntese contribui para a valorização do estudo da Biologia.

Um aspecto essencial que os estudantes devem compreender ao explorar o tópico *Energia para a vida* é a importância da energia luminosa para a produção de glicídios que ocorre na fotossíntese. O conceito de transformação da energia luminosa em energia potencial química é importante para a compreensão dos processos de transferências e transformações de energia.

A quimiossíntese embora seja utilizada apenas por certas bactérias e arqueas, desempenha papel importante nos ecossistemas porque certas espécies de bactérias quimiossintetizantes do solo participam do ciclo do elemento químico nitrogênio.

Esses conhecimentos favorecem o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT105**, sobre análise e interpretação de ciclos biogeoquímicos, e **EM13CNT202**, sobre as condições ambientais favoráveis à vida.

Ao comparar a fermentação e a respiração aeróbica é importante destacar consigam identificar que os produtos da fermentação ainda contêm quantidade relativamente grande de energia potencial química. Isso permite entender, por exemplo, o motivo pelo qual o etanol, produto da fermentação alcoólica, pode ser empregado como combustível.

Também é interessante discutir a utilização de produtos obtidos pela fermentação, como bebidas alcoólicas, pães, iogurtes e picles. Essa abordagem propicia o trabalho com o **TCT Ciência e tecnologia**.

Tudo indica que a grande expansão dos seres fotossintetizantes, ocorrida há mais de 2,5 bilhões de anos. tenha sido responsável pelo acúmulo de gás oxigênio (O_2) na atmosfera do planeta, causando a extinção de muitas formas de vida. O gás oxigênio possibilitou o surgimento de seres que executam a respiração aeróbica, cujo mecanismo bioquímico geral é destaque do capítulo.

Atividade complementar

Construção de um modelo de cloroplasto

Uma atividade motivadora para assuntos tão desafiadores como esses é a construção de maquetes de um cloroplasto, o que facilita perceber as estruturas responsáveis pela captação dos fótons. Para essa atividade, pode-se utilizar argila, massa de modelar ou outro material conveniente.

Essa atividade complementar permite desenvolver, parcialmente, a **competência geral 4**, ao utilizar a linguagem artística para expressar informações.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

Por que a fotossíntese transformou o mundo?

A seção visa incentivar os estudantes a transpor o conhecimento científico construído sobre os aspectos da fotossíntese para uma abordagem histórica da evolução da vida na Terra.A origem dos seres fotossintetizantes possibiltou a expansão dos seres heterotróficos, entre os quais a especie humana se inclui.

Atividade prática

Liberação de gás oxigênio na fotossíntese

A atividade tem por objetivo demonstrar que, durante a fotossíntese, há produção e liberação de gás oxigênio.

1. A montagem de dois conjuntos experimentais, um no claro e outro no escuro, permite testar que luz é um fator fundamental para a fotossíntese.
2. A forma mais fácil de verificar a presença de gás oxigênio é introduzir um palito de fósforo em brasa no tubo. A reativação da chama demostra que no interior do tubo há gás oxigênio.

Dialogando com o texto

Primeiros seres vivos da Terra

Esta atividade permite o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT201**, ao propor a análise e discussão de teorias sobre o surgimento e a evolução da vida; **EM13CNT303**, ao interpretar as informações sobre bactérias quimiolitoautotróficas e a origem da vida; e **EM13CHS103**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, que trata da elaboração de hipóteses, da seleção de evidências da elaboração de argumentos relativos a processos ambientais.

A **competência geral 1**, sobre a valorização do conhecimento científico, é também parcialmente trabalhada, quando os estudantes pesquisam argumentos para sustentar (ou não) uma afirmação, o que exige processos de investigação, reflexão e análise, valorizando e utilizando conhecimentos construídos sobre o mundo físico.

Dialogando com o texto

Por que os músculos doem devido ao exercício?

O acúmulo de ácido lático nos músculos ocorre devido ao processo de fermentação, quando não há disponibilidade suficiente de gás oxigênio para que as células musculares realizem a respiração celular.

Atividade prática

Liberação de gás carbônico na fermentação

Espera-se que as bexigas das garrafas 2, 3 e 5 demonstrem que o açúcar, a levedura e a temperatura influenciam na produção de gás carbônico. A bexiga da garrafa 1 demonstra que é necessária a presença de açúcar; a da garrafa 4 demonstra que a baixa temperatura retarda a fermentação, diminuindo a produção de gás carbônico; a bexiga da garrafa 5 demonstra que temperaturas entre 35 °C e 40 °C favorecem a fermentação e a produção de gás carbônico; a garrafa 6 demonstra que é necessária a presença de leveduras para que a fermentação ocorra.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT301**, por estimular o estudante a elaborar hipóteses, previsões e estimativas e a interpretar resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões sob uma perspectiva científica. A atividade favorece também o desenvolvimento da **competência geral 2**, que trata dos procedimentos próprios das ciências para investigar problemas.

Dialogando com o texto

A sintase do ATP

Oriente os estudantes a pesquisar as semelhanças entre cloroplastos e mitocôndrias no que se refere à produção de energia pela sintase do ATP.

Aplicando conhecimentos

Integrando conhecimentos

Nesta atividade é importante destacar a interconversão das diferentes formas de energia: mecânica, cinética gravitacional, elétrica, química, entre outras. Os estudantes podem utilizar exemplos de situações do cotidiano, como os atos de empurrar um objeto, de acender uma lâmpada ou de utilizar uma pilha para o funcionamento de algum equipamento. Uma sugestão adicional é a leitura do texto de Adilson de Oliveira na revista eletrônica *Ciência Hoje*: "A energia em nossas vidas" (disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/a-energia-em-nossas-vidas/; acesso em: 6 set. 2024), que trata do conceito de energia de forma simples, cientificamente correta e por meio de analogias com o uso dessa palavra em nosso cotidiano.

Exercício resolvido

O exercício resolvido possibilita que os estudantes acompanhem a resolução de uma questão de vestibular.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa A. O ciclo das pentoses, também chamado de ciclo de Calvin, é fundamental para a fixação de carbono nas plantas.
2. Alternativa C. A fotólise da água ocorre durante a fase luminosa da fotossíntese e é essencial para a produção de oxigênio e para a geração de energia necessária para a síntese de ATP e NADPH.
3. Alternativa B. A fosforilação ocorre na fase luminosa da fotossíntese e é crucial para fornecer a energia que será usada na fixação de carbono na fase escura.
4. Alternativa A. Os átomos de oxigênio liberados na fotossíntese são provenientes da água.
5. Alternativa E. A fotossíntese é a base da produção de energia em quase todos os ecossistemas.
6. Alternativa C. A fermentação ocorre na ausência de oxigênio e é usada por muitas células para gerar ATP.
7. Alternativa B. O ciclo de Krebs é central na respiração celular, liberando energia armazenada nos compostos orgânicos.

8. Alternativa D. Fosforilação oxidativa é o processo de produção de ATP na mitocôndria, utilizando a energia liberada pelos elétrons que passam pela cadeia transportadora de elétrons.
9. Alternativa A. Cadeia respiratória é o conjunto de substâncias na membrana mitocondrial interna por onde os elétrons energizados passam, levando à geração de ATP por fosforilação oxidativa.
10. Alternativa G. Respiração aeróbica é um processo energético realizado pela maioria dos seres vivos, em que as moléculas orgânicas são totalmente degradadas em gás carbônico e água, liberando grandes quantidades de energia.
11. Alternativa F. A glicólise é o conjunto de reações em que uma molécula de glicose é degradada em duas moléculas de ácido pirúvico.
12. Alternativa D. Ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa ocorrem na mitocôndria; glicólise ocorre no citosol.
13. Alternativa A. A equação da respiração celular, representando a oxidação da glicose para a produção de CO_2, H_2O e ATP.
14. Alternativa B. A equação da fotossíntese mostra como as plantas e algas convertem CO_2, H_2O e luz em glicose e O_2.
15. Alternativa C. Essa é a equação da fermentação alcoólica, realizada por fermento biológico (leveduras), que converte glicose em etanol e CO_2.
16. Alternativa D. A teoria quimiosmótica tem como ponto central a passagem de íons H^+ por meio das sintases, levando à formação de ATP.
17. Alternativa B. Na fotossíntese, a água é fonte de íons H^+ para a produção de NADPH e de gás oxigênio para a atmosfera.
18. Alternativa C. Sobre a produção de energia em células animais, é correto aformar que a fosforilação oxidativa ocorre nas mitocôndrias, e na fase aeróbia ocorre alta produção de ATP.
19. Alternativa B. A reação química apresentada é a respiração aeróbica.
20. **a)** As células que ficam na superfície da massa realizam a respiração aeróbica, e as que ficam no seu interior, devido à indisponibilidade de gás oxigênio, realizam fermentação.
    b) Ambas as reações produzem CO_2, que fica aprisionado na massa; com o aquecimento, o gás dilata-se e faz a massa aumentar de volume.
21. **a)** A glicólise ocorre no citosol.
    b) Nessa fase, são gastos 2 ATP para ativar cada molécula de glicose, que, transformada em 2 ácidos pirúvicos, produz 4 ATP, ou seja, um saldo de 2 ATP.
22. **a)** O açúcar representa a fonte de energia para o levedo.
    b) Na presença de gás oxigênio, o levedo utiliza o processo de respiração aeróbia, obtendo, a partir da glicose, uma quantidade maior de energia do que a obtida na fermentação que realiza em condições anaeróbias; a maior eficiência na obtenção de energia pela respiração aeróbia favorece seu crescimento.

Referências suplementares

SILVA, F. A. R. e. O lúdico no ensino de fotossíntese: jogo de baralho para a Educação Básica. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, Foz do Iguaçu, v. 3, n. 1, jan./jul. 2019. Disponível em: https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/1733/1761. Acesso em: 6 set. 2024.

O artigo apresenta uma proposta de jogo para aplicar com estudantes da Educação Básica, com três níveis de dificuldade, sendo adaptado para as diferentes etapas.

DONÁ, F. T. de O. "Desvendando os mistérios da fotossíntese": jogo interativo com atividades investigativas e colaborativas sobre Fotossíntese. **Produto educacional**: Parte 2 – Orientações para os professores. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, fev. 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/3295aed9-51e5-4f16-9359-fa499af512ee. Acesso em: 6 set. 2024.

O artigo apresenta uma proposta investigativa de jogo para ser utilizada com estudantes do Ensino Médio.

Capítulo 7 Tipos de reprodução, meiose e embriologia animal

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Identificar diferentes tipos de reprodução.
- Reconhecer a relação entre meiose e reprodução sexuada.
- Conhecer as principais etapas da meiose.
- Diferenciar espermatogênese de ovulogênese.
- Compreender como ocorre a formação de um zigoto.
- Conhecer diferentes tipos de ovos de acordo com a distribuição do vitelo no citoplasma.

- Conhecer as principais etapas do desenvolvimento embrionário.
- Compreender a formação da mórula e da blástula.
- Compreender as origens do arquêntero e dos folhetos germinativos na gastrulação.

Este capítulo trata dos principais aspectos da reprodução e do desenvolvimento embrionário animal. Conhecer diferentes formas de manifestação da vida contempla a habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2** da BNCC. A representação da meiose por meio de modelos favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da **competência específica 3**. A perspectiva adotada no capítulo favorece o desenvolvimento da **competência geral 2**, além de auxiliar no desenvolvimento da **competência geral 4**, ao possibilitar que os estudantes utilizem diferentes linguagens e conhecimentos científicos para partilhar ideias.

Sugestões didáticas e comentários

A abordagem não-preconceituosa da sexualidade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT207**.

Este capítulo favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202** ao tratar de diferentes aspectos de manifestação da vida. A interdisciplinaridade com o componente curricular Arte é favorecida, pois as etapas da meiose e do desenvolvimento embrionário podem ser representadas por meio de desenhos e modelos. Atividades teatrais também são modelos válidos e podem ser sugeridas aos estudantes.

A variedade de tipos de reprodução permite contemplar a habilidade **EM13CNT203**, ao interpretar diferentes formas de perpetuação da vida.

É importante enfatizar que a redução do número de cromossomos na meiose contrabalança a soma cromossômica que ocorre na fecundação. A meiose é composta de duas divisões celulares: divisão I da meiose reducional, com separação dos cromossomos homólogos, e a divisão II é equacional, com separação das cromátides-irmãs.

Um destaque é a alta especialização da célula que constitui o gameta masculino, o espermatozoide. Essa especialização leva o espermatoide a se tornar móvel e ágil. Por outro lado, o gameta feminino, que não tem mobilidade própria, cresce e acumula de vitelo.

Atividade complementar

Esta atividade propõe a construção de modelos para representar etapas do desenvolvimento embrionário. Peça aos estudantes que se organizem em grupos com quatro ou cinco colegas e escolham o organismo e as fases do desenvolvimento embrionário que serão representados. Por exemplo, um grupo pode modelar o desenvolvimento do anfioxo a partir do estágio de zigoto até o de mórula. Outro grupo modelaria o mesmo período de desenvolvimento para um anfíbio; outro grupo, para uma ave; e outro, para um mamífero. Os estudantes podem representar os embriões também em cortes transversais, de maneira a mostrar a organização dos folhetos germinativos. Para facilitar a visualização, os folhetos podem ser pintados em cores diferentes.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Quando ocorre a redução cromossômica na meiose?

A atividade propõe uma comparação entre as anáfases das divisões I e II da meiose. Do ponto de vista qualitativo, a célula pode ser considerada haploide ao fim da divisão I da meiose. Para a elaboração do desenho comparativo entre as divisões I e II, os estudantes podem representar genes em condição heterozigótica (por exemplo, *A* e *a*, *B* e *b* etc.) aos cromossomos homólogos. Esta atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** ao propor a elaboração de hipóteses e a representação e interpretação de modelos explicativos.

Em destaque

Falhas na meiose e alterações cromossômicas

A seção apresenta como eventuais erros no processo de divisão celular podem levar a alterações cromossômicas responsáveis pelas síndromes de Down, de Turner e de Klinefelter. O texto destaca, em particular, a correlação entre a idade da mãe e o aumento na frequência de não disjunções cromossômicas na meiose. Essa abordagem é relacionada ao **TCT Saúde**.

Uma abordagem não-preconceituosa de pessoas com síndromes cromossômicas facilita sua inclusão na sociedade. Isso favorece o desenvolvimento da **competência geral 9**, ao promover o respeito ao próximo.

De acordo com o gráfico, a chance de uma mulher de mais de 45 anos gerar uma criança portadora de síndrome de Down é 50 vezes maior em comparação com uma mulher de 20 anos.

Atividade prática

Simulando os eventos da meiose

Esta atividade favorece o desenvolvimento da **competência geral 2**. A utilização da linguagem artística para representar a meiose, bem como a elaboração de hipóteses auxiliam no desenvolvimento da **competência geral 4** e da habilidade **EM13CNT301**.

Dialogando com o texto

Embriologia e integração de conhecimentos

Esta atividade mobiliza o trabalho com metáforas como um facilitador do ensino de Ciências da Natureza e favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** ao propor aos estudantes a elaboração de hipóteses e a representação e interpretação de modelos explicativos. A explicação elaborada por meio da utilização da linguagem escrita mobiliza as **competências gerais 1** e **4**.

Atividade em grupo

Pesquisas sobre células-tronco

O objetivo desta atividade sobre células-tronco é estimular o senso crítico a respeito de temas polêmicos, possibilitando expressar suas opiniões e as debatam com os colegas. Conduza o debate de modo que os estudantes possam expressar livremente suas ideias e seus pontos de vista, com o devido respeito entre os debatedores. Durante a discussão, é possível trabalhar a **competência geral 9**, exercitando o diálogo, o respeito e a empatia, e a **competência geral 10**, ao expressar as opiniões com base em princípios éticos e inclusivos. A atividade possibilita desenvolver as habilidades: **EM13CNT205**, ao incentivar a interpretação de previsões acerca de atividades experimentais e processos tecnológicos; **EM13CNT302**, ao comunicar os resultados de pesquisas e debates do grupo; e **EM13CNT304**, ao analisar e debater questões controversas da ciência.

a) Resposta afirmativa. As terapias com células-tronco apresentam alto potencial terapêutico.

b) Esta atividade pode favorecer que os estudantes desenvolvam argumentos consistentes sobre o tema em questão, com a participação de todos os membros do grupo.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. A meiose é o processo celular responsável pela redução cromossômica em organismos que se reproduzem de forma sexuada.

2. Alternativa D. A permutação cromossômica também é conhecida como *crossing-over*.

3. Alternativa A. Na prófase I da meiose, os cromossomos homólogos se emparelham e trocam segmentos de DNA por meio do *crossing-over*.

4. Alternativa D. Na metáfase I da meiose, os cromossomos homólogos estão dispostos na região mediana do fuso acromático, ou seja, na região central da célula.

5. Alternativa B. Na anáfase I da meiose, os cromossomos homólogos são separados e puxados para os polos da célula.

6. Alternativa C. Na anáfase II da meiose, a separação dos cromossomos irmãos e a migração para os polos da célula são fundamentais para garantir que cada célula filha resultante da meiose II receba um conjunto completo de cromossomos.

7. Alternativa C. O evento que envolve a migração dos cromossomos compostos por uma única cromátide para os polos da célula ocorre tanto na meiose quanto na mitose. Na mitose, isso garante a formação de duas células filhas geneticamente idênticas, enquanto na meiose, esse evento contribui para a formação de quatro células filhas geneticamente distintas.

8. Alternativa B. O evento de separação dos cromossomos homólogos para os polos opostos da célula ocorre apenas na meiose (anáfase I).

9. Alternativa D. Tanto na mitose quanto na meiose II, o evento-chave é a separação das cromátides-irmãs e sua migração para os polos opostos da célula, o que é crucial para a formação de células filhas com o número correto de cromossomos.

10. Alternativa B. A embriogênese pode ser dividida em três etapas principais: a segmentação (ou clivagem), a gastrulação e a organogênese.

11. Alternativa C. A formação da mórula ocorre na etapa chamada segmentação.

12. Alternativa D. Esse processo ocorre na etapa chamada organogênese.

13. Alternativa B. A formação dos folhetos germinativos ocorre na etapa chamada gastrulação.

14. Alternativa B. Esse processo ocorre na etapa chamada organogênese.

15. Alternativa B. Por ser pouco solúvel em água, o ácido úrico acumulado no alantoide não se difunde, o que previne a intoxicação do embrião durante o desenvolvimento.

16. Alternativa C. O âmnio forma uma bolsa que envolve totalmente o embrião.

17. Alternativa B. As células somáticas são diploides, contendo dois conjuntos de cromossomos, enquanto os espermatozoides são haploides, contendo apenas um conjunto. Por isso, a quantidade de DNA encontrada no núcleo das células somáticas de um camundongo é duas vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

18. Alternativa E. A meiose II do ovócito II é retomada e concluída somente após a fertilização, resultando na formação do óvulo maduro e na criação do zigoto, que dará início ao desenvolvimento embrionário.

19. Alternativa A. De um ovo fertilizado de sapo até a formação do girino, a divisão celular predominante é a mitose, que acontece em processos como a formação da mórula e da blástula.

20. Alternativa D. O blastóporo é uma abertura que se forma na blástula durante o processo de gastrulação. Ele é a primeira abertura que se desenvolve no embrião e estabelece uma conexão entre o interior do arquêntero e o ambiente externo.

21. Alternativa D. O arquêntero é uma cavidade que se forma durante a gastrulação, o celoma é um espaço preenchido por líquido, formado a partir do mesoderma, e a notocorda é uma estrutura exclusiva de animais cordados, embora esteja presente no desenvolvimento embrionário de todos os grupos, desaparece na fase adulta da maioria deles.

22. Alternativa B. A ectoderme origina o sistema nervoso, composto pelo encéfalo, pela medula espinhal, pelos nervos e pelos gânglios nervosos, além da epiderme e das estruturas associadas a ela (pelos, unhas, garras, glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas). Ademais do tecido muscular e ósseo, a mesoderme origina os ossos, o sistema cardiovascular (coração, vasos sanguíneos e sangue) e os sistemas urinário (rins, bexiga e vias urinarias) e genital (órgãos reprodutivos).

23. Alternativa A. Na gastrulação, os movimentos morfogenéticos são a base para o desenvolvimento dos tecidos e órgãos.

24. a) São o ectoderma, o mesoderma e o endoderma.

b) Os ossos originam-se do mesoderma; o encéfalo origina-se do ectoderma; os pulmões originam-se do endoderma.

25. a) O âmnio protege o embrião contra a dessecação e eventuais choques mecânicos.

b) O âmnio está presente em répteis, aves e mamíferos.

Referência suplementar

SIMPLIFICA! Células-tronco [Ep. 02]. [*S. l.*: *s. n.*], 2019. (5 min). Publicado pelo canal USP. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DgJGDa1RiHg. Acesso em: 9 set. 2024.

O vídeo explica a importância das células-tronco para o nosso corpo e como são usadas na pesquisa de novos tratamentos de saúde.

Capítulo 8 Reprodução humana

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer os órgãos que compõem o sistema genital feminino.
- Conhecer os órgãos que compõem o sistema genital masculino.
- Compreender as contribuições do gameta feminino e do gameta masculino no processo de fecundação.
- Aplicar os conhecimentos sobre sistema genital e reprodução para decidir e controlar sua própria reprodução, compreendendo os fundamentos dos diversos métodos contraceptivos.

Ao compreender o funcionamento do sistema genital e aspectos da sexualidade, os estudantes constroem conhecimentos sobre seu próprio corpo. Essa abordagem favorece o desenvolvimento de um repertório cultural e científico essencial para o autocuidado e bem-estar próprio, desenvolvendo as **competências gerais 2** e **8**. Esse tema compõe o **TCT Saúde**, levando a práticas mais saudáveis.

Debater a sexualidade e o planejamento familiar envolve compreender diferentes contextos culturais, históricos e sociais, promovendo o respeito à diversidade e favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 4**.

Ao discutir planejamento familiar e coparentalidade, os estudantes são levados a refletir sobre seus direitos, deveres e responsabilidades enquanto cidadãos e futuros pais/mães, promovendo a ética e a responsabilidade social, favorecendo o trabalho com o **TCT Educação em direitos humanos**.

Sugestões didáticas e comentários

Pode-se destacar a importância de conhecer a reprodução humana e os diferentes métodos contraceptivos, importantes aliados do planejamento familiar. Conforme a Lei Federal nº 9.263/1996, "o planejamento familiar é direito de todo cidadão e se caracteriza pelo conjunto de ações de regulação da fecundidade que garanta direitos iguais de constituição, limitação ou aumento da prole pela mulher, pelo homem ou pelo casal". Segundo a OMS, "a promoção do planejamento familiar – e a garantia do acesso a métodos contraceptivos preferidos para mulheres e casais – é essencial para garantir o bem-estar e a autonomia das mulheres, apoiando ao mesmo tempo a saúde e o desenvolvimento das comunidades". Dessa forma, o capítulo relaciona-se com o **ODS 3** Saúde.

Os preservativos, além de constituiram um eficiente método contraceptivo, também atuam na prevenção de infecções sexualmente transmissíveis (IST). O reforço às orientações quanto ao uso de métodos contraceptivos, em especial da camisinha, contribui para a **competência geral 8**, relativa ao autocuidado da saúde física e emocional.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Entrevistas sobre sexualidade

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT207**, na medida em que os estudantes podem avaliar e debater sobre a sexualidade na espécie humana, considerando as dimensões física, psicoemocional e social, relacionando o conhecimento desse tema com a promoção da saúde e do bem-estar pessoais; **EM13CNT305** relacionando à promoção de respeito à diversidade; **EM13CNT302**, ao estimular a comunicação do resultado das pesquisas relativas ao tema sexualidade de modo a promover o debate sobre as funções do sexo, além da reprodução; e **EM13LGG303**, ao promover o debate de uma questão polêmica e de relevância social – a sexualidade humana – que oferece aos estudantes a possibilidade de apresentar seus argumentos e pontos de vista sobre um tema importante e controverso. Além disso, relaciona-se ao **ODS 5** Igualdade de gênero, por meio da meta que trata sobre assegurar o acesso universal à saúde sexual e reprodutiva e os direitos reprodutivos, ao estimular a reflexão sobre a importância da educação sexual, e ao **TCT Educação em direitos humanos**, dentro da macroárea **Cidadania e civismo**.

A seguir são apresentadas as definições de alguns conceitos relacionados com a entrevista.

[...]

Sexo e gênero

Há décadas, parte da literatura científica propõe a conceituação de "sexo" e "gênero" para explicar os processos biológicos e sociais que nos constituem como sujeitos. Grosso modo, o conceito de sexo diz respeito às diferenças genitais, cromossômicas e hormonais, enquanto o de gênero indica a complexidade das relações históricas e sociais que constituem quem identificamos como homens, mulheres ou pessoas sem um gênero determinado. [...]

Identidade de gênero

[...] A identidade de gênero é definida nos Princípios de Yogyakarta como "a profundamente sentida experiência interna e individual do gênero de cada pessoa, que pode ou não corresponder ao sexo atribuído no nascimento, incluindo o senso pessoal do corpo (que pode envolver, por livre escolha, modificação da aparência ou função corporal por meios médicos, cirúrgicos ou outros) e outras expressões de gênero, inclusive vestimenta, modo de falar e maneirismos".

Ela está, portanto, conectada à maneira como cada pessoa, em sua singularidade, estabelece sua relação com o conceito social de gênero. Dentro dessa categoria, é relevante entender os modos como cada pessoa se reconhece no mundo em termos de cisgeneridade (quando a pessoa se identifica com o gênero que lhe foi atribuído no nascimento) e transgeneridade (quando a pessoa não se identifica com o gênero atribuído). Essas identidades podem ou não estar em consonância com as características sexuais congênitas. [...]

Orientação sexual

A orientação sexual está relacionada à forma com a qual a pessoa se compreende em seus relacionamentos afetivos e/ou sexuais. Existem diversas orientações sexuais e não há uma forma "única" ou "correta" de se expressar. As orientações mais conhecidas são as homossexuais, heterossexuais, bissexuais, pansexuais e assexuais, dentre outras. [...]

Fonte: BRASIL. Ministério dos Direitos Humanos. Caderno LGBTQIA+ Cidadania, Volume 1. **Promoção e Defesa dos Direitos das Pessoas LGBTQIA+**. Brasília, DF: MDH, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/lgbt/campanhas-lgbtqia/lgbtqia-cidadania/publicacoes/cardeno_lgbtqia-cidadania_vol-1_-promocao-e-defesa-dos-direitos-das-pessoas-lgbtqia.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

Dialogando com o texto

Pobreza menstrual

Esta atividade propõe abordar o tema da pobreza menstrual, caracterizada pela falta de acesso a absorventes e produtos de higiene íntima pode ter um impacto profundo na vida das mulheres. Sem esses itens essenciais, muitas mulheres e meninas são forçadas a usar alternativas inadequadas, o que pode levar a infecções e outros problemas de saúde. Além disso, a falta de acesso a produtos menstruais pode afetar a autoestima, fazendo com que as mulheres se sintam envergonhadas ou estigmatizadas. Esse problema é particularmente grave em ambientes escolares, onde a ausência de produtos adequados pode resultar em faltas às aulas, prejudicando o desempenho acadêmico e limitando as oportunidades educacionais.

Para superar essa vulnerabilidade, é importante implementar políticas públicas que garantam o acesso gratuito a produtos menstruais em escolas, locais de trabalho e comunidades de baixa renda. Programas de educação sobre saúde menstrual também são importantes para desmistificar o tema e reduzir o estigma

associado à menstruação. Além disso, iniciativas de apoio comunitário, como a distribuição de *kits* de higiene e a criação de espaços seguros para discussões sobre saúde menstrual, podem promover a igualdade de gênero e melhorar a qualidade de vida.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT207**, na medida em que os estudantes são estimulados a tratar com naturalidade temas como a menstruação, o que permite desenvolver ações efetivas em prol da saúde e do bem-estar pessoais; e **EM13LGG303**, que estimula a discussão sobre temas de relevância social, possibilitando a expressão de diferentes argumentos e opiniões. Favorece também a **competência geral 8**, por incentivar os estudantes a conhecer e cuidar de si mesmos, tanto no aspecto físico como no emocional. A atividade também permite desenvolver a **competência geral 9**, estimulando o exercício da empatia, do diálogo e do respeito a outras pessoas, acolhendo e valorizando sua diversidade. A temática também se relaciona ao **TCT Saúde** e ao **ODS 5** Igualdade de gênero, na medida em que a dignidade menstrual se relaciona com a meta que preconiza o acesso universal à saúde sexual e reprodutiva.

Dialogando com o texto

Planejamento familiar

O planejamento familiar é um conjunto de práticas que permitem aos indivíduos decidir sobre o número de filhos que desejam ter e o intervalo entre os nascimentos. Esse conceito está ligado ao controle consciente da reprodução, pois envolve o uso de métodos contraceptivos, educação sexual e aconselhamento para garantir que as decisões reprodutivas sejam informadas e voluntárias. Ao possibilitar que as pessoas planejem suas famílias de acordo com suas condições econômicas, sociais e de saúde, o planejamento familiar contribui para a melhoria da qualidade de vida e o bem-estar das famílias.

Além dos benefícios diretos para as famílias, o planejamento familiar também pode ter um impacto positivo na preservação ambiental. Com um crescimento populacional controlado, a demanda sobre os recursos naturais é reduzida.

Vale destacar com os estudantes que o número de filhos por família tem variado ao longo do tempo e entre diferentes países, refletindo mudanças culturais, econômicas e políticas. Em muitas sociedades tradicionais, especialmente antes do século XX, famílias numerosas eram comuns. No entanto, com o avanço da urbanização, a melhoria na educação e o acesso a métodos contraceptivos, o planejamento familiar tornou-se mais difundido, resultando em uma redução no número de filhos por família. Essa temática se relaciona ao **ODS 3** Saúde e bem-estar por meio da meta que preconiza o acesso universal aos serviços de saúde sexual e reprodutiva, incluindo o planejamento familiar; ao **ODS 5** Igualdade de gênero, por meio da meta que preconiza o acesso universal à saúde sexual e reprodutiva e os direitos reprodutivos; e ao **TCT Vida familiar e social**, da macroárea **Cidadania e civismo**.

Dialogando com o texto

Gêmeos unidos

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT207**, ao discutir vulnerabilidades relacionadas a vivências e desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social; e **EM13CNT302**, que trata da comunicação de resultados e pesquisas, ao estimular a elaboração de um texto a partir das pesquisas realizadas sobre o tema. A reflexão sobre o comportamento e os modos de vida dos irmãos siameses é uma oportunidade para o exercício da empatia, do respeito ao próximo e do acolhimento e da valorização da diversidade, trabalhando a **competência geral 9** e a **3**.

Educação midiática

Temas polêmicos e debate democrático

A atividade promove discussões relevantes relacionadas ao **TCT Ciência e Tecnologia**, ao abordar o acesso a serviços de saúde sexual e reprodutiva. O **ODS 5** Igualdade de gênero, que trata dos direitos reprodutivos, é contemplado quando se reforça a importância da equidade no acesso à fertilização, independentemente da orientação sexual ou estado civil, promovendo a inclusão e o respeito aos direitos reprodutivos de todos.

Mundo do trabalho

Gravidez na adolescência e desafios para as jovens mães

É preciso ter sensibilidade para tratar desse assunto em sala de aula, principalmente caso existam mães adolescentes na turma. Aborde o tema de maneira respeitosa e acolhedora.

Incentive a turma a refletir sobre as iniciativas que podem ajudar a reduzir a gravidez adolescente no Brasil, o que implica análises e considerações sobre aspectos sociais, culturais, econômicos, políticos, entre outros. Ouça as ideias dos estudantes e, se julgar oportuno, avalie com eles ações que possam ser feitas na comunidade onde a escola se localiza. Comente que os adolescentes têm direito a atendimento nas unidades de saúde sem discriminação de qualquer tipo, com garantia de privacidade e sigilo.

Na mediação do debate, espera-se que os estudantes reconheçam que a gravidez na adolescência, além de impactar a vida dos adolescentes, que geralmente deixam de estudar, implica também em consequências mais amplas, ao elevar a evasão escolar e direcionar muitas pessoas ao mercado informal. As medidas individuais para evitar gravidez precoce podem envolver reflexão sobre o projeto de vida de cada um, planejamento familiar,

estabelecimento de relacionamentos saudáveis e respeitosos, exercício do direito individual de escolher quando/se ter filhos, entre outros. Quanto a medidas coletivas, espera-se considerações sobre educação sexual compreensível e abrangente, acesso fácil a métodos contraceptivos, políticas de combate à violência contra a mulher, campanhas de informação, rodas de conversa na escola, entre outras.

Essa temática relaciona-se à habilidade **EM12CNT207**, no que diz respeito às vulnerabilidades vinculadas aos desafios contemporâneos para a juventude; ao **TCT Cidadania e civismo**; e ao **ODS 3** Saúde e bem-estar, por meio da meta relacionada ao acesso universal aos serviços de saúde sexual e reprodutiva, incluindo planejamento familiar, informação e educação, e integração da saúde reprodutiva em estratégias e programas nacionais.

Atividades finais/Proposta de avaliação

1. Alternativa D. O ciclo menstrual refere-se às mudanças cíclicas que ocorrem no sistema reprodutor feminino, preparando o corpo para uma possível gravidez.
2. Alternativa C. A menstruação é a eliminação do endométrio, tecido que reveste o útero e que se desprende quando a fecundação não ocorre. Isso marca o início de um novo ciclo menstrual.
3. Alternativa B. A ovulogênese ocorre no folículo ovariano, uma estrutura no ovário onde os ovócitos se desenvolvem. Ele libera o óvulo maduro durante a ovulação.
4. Alternativa A. O endométrio é o revestimento interno do útero, que se espessa durante o ciclo menstrual para receber o embrião em caso de fecundação.
5. Alternativa D. O óvulo é liberado do ovário na metáfase II da meiose e só completa a divisão meiótica se houver fecundação. Esse mecanismo permite que a divisão só aconteça caso o óvulo seja fertilizado.
6. Alternativa D. A espermatogênese, processo de formação dos espermatozoides, ocorre nos túbulos seminíferos, estruturas localizadas dentro dos testículos.
7. Alternativa E. A uretra é o canal comum aos sistemas urinário e reprodutor masculino, por onde o sêmen é expelido durante a ejaculação.
8. Alternativa D. O corpo-amarelo produz os hormônios progesterona e estrógeno, que atuam em conjunto no útero preparando-o para uma eventual gravidez; a elevação da taxa de progesterona no sangue inibe a produção de FSH e de LH pela hipófise.
9. Alternativa C. Quando a taxa sanguínea de estrógeno produzido pelo folículo ovariano atinge determinado nível, a adenoipófise é estimulada a liberar LH, que induz a ovulação e a formação do corpo-amarelo.
10. Alternativa A; alternativa E. O estrógeno é produzido principalmente pelas células do folículo ovariano em desenvolvimento e determina o aparecimento das características sexuais secundárias da mulher. A testosterona é produzida pelas células intersticiais dos testículos e é responsável pelo aparecimento das características sexuais secundárias masculinas.
11. Alternativa B. A placenta é um órgão materno-fetal, formado pelo desenvolvimento conjunto da parede uterina e das vilosidades coriônicas do embrião; por meio da placenta ocorrem as trocas de gases respiratórios (O_2 da mãe para o feto e CO_2 do feto para a mãe), nutrientes, da mãe para o feto, e excreções, do feto para a mãe. Na placenta não ocorre, em condições normais, mistura entre os sangues materno e fetal.
12. Alternativa C. A gonadotrofina coriônica é o hormônio que impede a menstruação quando o embrião se implanta no útero.
13. Alternativa C. A tuba uterina é o primeiro caminho do óvulo, após ser liberado pelo ovário para ser fecundado.
14. Alternativa B. A placenta é o anexo responsável pelas trocas gasosas e metabólicas na relação feto-maternal.
15. Nos mamíferos, a placenta assume a função de nutrir o embrião durante o desenvolvimento, compensando a pequena quantidade de vitelo presente no ovo. A placenta permite a troca de nutrientes, oxigênio e resíduos metabólicos entre o sangue materno e fetal.

Referências suplementares

VERMONT, C. **Corpo, amor e sexualidade**: 120 perguntas e respostas para crianças e adolescentes. São Paulo: Manole, 2023.

O livro aborda temas relacionados a corpo, emoções e sexualidade, fornecendo respostas claras e educativas para questões comuns nessa fase da vida, promovendo uma abordagem saudável e informativa.

SER jovem hoje: educação em sexualidade. [*S. l.*: *s. n.*], 2016. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo canal Unesco. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qtKfDolDfPs. Acesso em: 16 set. 2024.

O vídeo discute a importância da educação em sexualidade para jovens, abordando desafios, informações essenciais e promoção de um ambiente inclusivo e respeitoso para o desenvolvimento saudável da juventude.

Capítulo 9 Classificação biológica, vírus e bactérias

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Reconhecer que as polêmicas e a falta de consenso entre os cientistas quanto à classificação dos seres vivos se devem às grandes transformações pelas quais passa esse ramo do conhecimento, o que evidencia o caráter dinâmico e não dogmático da ciência.
- Conhecer a hierarquia que relaciona as principais categorias taxonômicas tradicionais: espécie, gênero, família, ordem, classe, filo e reino.
- Compreender a importância da nomenclatura binomial e reconhecer que a primeira palavra do nome científico designa o gênero (epíteto genérico) e a segunda, a espécie (epíteto específico).
- Compreender os princípios básicos da elaboração de árvores filogenéticas e cladogramas, reconhecendo-os como formas de representar as relações de parentesco evolutivo entre os grupos de seres vivos.
- Reconhecer os seis reinos de seres vivos tratados no capítulo – Archaea, Bacteria, Protoctista, Fungi, Plantae e Animalia – e compreender por que os vírus não são incluídos em nenhum desses reinos.
- Conhecer a estrutura geral dos vírus, relacionando sua relativa simplicidade estrutural e bioquímica à sua estratégia de parasita intracelular obrigatório.
- Informar-se sobre as principais formas de transmissão dos vírus, o que permite atuar com mais consciência na prevenção e no combate de doenças virais.
- Conhecer, em linhas gerais, em que consiste uma infecção viral e compreender como a célula afetada tem seu metabolismo controlado pelo vírus; reconhecer que a infecção é a maneira de o vírus se reproduzir.
- Conhecer as características estruturais e funcionais das bactérias e seu processo de reprodução assexuada.
- Informar-se sobre bactérias causadoras de doenças humanas e conhecer formas de tratamento e de prevenção.

A proposta do capítulo relaciona-se à **competência geral 2** da BNCC. A interpretação dos diferentes esquemas usados ao longo do capítulo estimulam o desenvolvimento da **competência geral 4**. A **EM13CNT301** da **competência específica 3**, é mobilizada ao se estimular os estudantes a levantar questões, elaborar hipóteses e interpretar modelos explicativos sobre a classificação dos seres vivos.

Sugestões didáticas e comentários

O item *Fundamentos da classificação biológica* aborda o sistema de classificação de Lineu, destacando o impacto de seu trabalho no desenvolvimento da Biologia. Isso possibilita uma abordagem interdisciplinar com a História, integrando a Biologia ao contexto histórico do século XVIII. Uma abordagem histórica da classificação biológica de Lineu está alinhada à **competência geral 1**, pois incentiva os estudantes a valorizar o conhecimento cientificamente construído ao longo da história, compreendendo como esse conhecimento evoluiu e como ele impacta nossa compreensão atual da diversidade biológica e da organização dos seres vivos.

O contexto histórico pode auxiliar os estudantes a entender que a ciência é dinâmica e se constrói ao longo do tempo, o que reforça a **competência geral 2** da BNCC, relacionada ao desenvolvimento do pensamento científico. O conteúdo sobre a sistemática moderna, filogenias e parentesco evolutivo se relaciona com a habilidade **EM13CNT202**, pois envolve comparar as características dos seres vivos com base em critérios de classificação para estabelecer parentescos evolutivos.

Os tópicos relacionados a doenças virais oferecem a oportunidade de discutir os impactos dos vírus na saúde pública, especialmente em tempos de pandemia, alinhando-se ao **TCT Saúde** e à meta 3.3 do **ODS 3** Saúde e bem-estar, que destaca a necessidade de acabar com as epidemias de aids, malária e doenças tropicais negligenciadas, e combater outras doenças transmissíveis. A abordagem ao tratamento e prevenção de doenças virais alinha-se ao **TCT Ciência e tecnologia** e à meta 3.b do **ODS 3** Saúde e bem-estar, que trata do apoio a pesquisa e o desenvolvimento de vacinas ao acesso a estas vacinas. O conteúdo se relaciona, também com a **competência geral 8**, pois incentiva o uso da ciência e da tecnologia para promover a saúde e o bem-estar da sociedade, ao explicar a importância do conhecimento científico sobre viroses e estratégias de prevenção. Pode-se propor que os estudantes criem um projeto de pesquisa sobre a história de uma doença viral (por exemplo, a gripe, o HIV ou a covid-19) e discutam os esforços da ciência para controlar a propagação dessas doenças. Essa atividade promove o desenvolvimento da **competência geral 1** da BNCC.

O conteúdo sobre a importância das bactérias para a humanidade se relaciona com a **TCT Ciência e Tecnologia**, ao destacar o papel das bactérias em avanços biotecnológicos, como a produção de alimentos, medicamentos e substâncias químicas. Além disso, conecta-se com o **ODS 9** Indústria, Inovação e Infraestrutura, especialmente às metas que se relacionam com o fortalecimento da pesquisa científica e o desenvolvimento

tecnológico, que são essenciais para avanços biotecnológicos e contribuem para a diversificação industrial e a agregação de valor a produtos biotecnológicos. Também se alinha à **competência geral 6**, ao valorizar a diversidade de saberes e o uso da ciência para fazer escolhas conscientes no mundo do trabalho.

Resoluções e comentários

Mundo do trabalho

A prevenção de doenças

Esta seção alinha-se à meta referente ao combate de doenças transmitidas pela água do **ODS 3** Saúde e Bem-estar, e ao **TCT Saúde**. O foco está em entender o papel dos agentes comunitários de saúde no combate a essas doenças, coletando dados, transmitindo informações e promovendo a saúde nas comunidades.

Em destaque

O coronavírus Sars-CoV-2, causador da covid-19

A produção de um texto reflexivo com base em suas experiências pessoais (como o uso de máscaras e a vacinação) possibilita que os estudantes integrem informações científicas com vivências individuais, estimulando habilidades de pensamento crítico e reflexão pessoal. A seção mobiliza o TCT Saúde.

Educação midiática

Prejuízos da desinformação

A atividade propõe investigar as principais hipóteses sobre a origem da covid-19, a transmissão do coronavírus e as medidas preventivas adotadas no Brasil. O foco da atividade é analisar a disseminação de *fake news* e suas consequências, explorando como a desinformação pode ter influenciado comportamentos inadequados durante a pandemia. A sugestão é que os estudantes produzam um texto ou vídeo que aborde um dos tópicos sugeridos, como a origem do vírus ou tratamentos falsos divulgados na internet.

O objetivo é que os estudantes compreendam a importância da verificação das informações e da educação midiática para a formação de cidadãos críticos e responsáveis.

Dialogando com o texto

Bactérias e biotecnologia

As bactérias desempenham papéis fundamentais na biotecnologia e na natureza. Na biotecnologia, elas são utilizadas na produção de medicamentos, como antibióticos e insulina, na biorremediação de ambientes contaminados e na fermentação de alimentos. Como agentes decompositores, as bactérias são essenciais para a reciclagem de matéria orgânica, transformando resíduos em nutrientes que são reutilizados por outros organismos. Se os seres procarióticos, como as bactérias, desaparecessem, acabaria a decomposição da matéria orgânica, resultando no acúmulo de resíduos e na interrupção dos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do carbono e do nitrogênio. De forma mais ampla, a ausência de bactérias comprometeria todos os ecossistemas e a vida humana.

O conteúdo proposto se relaciona com várias competências gerais e habilidades. Relaciona-se com a **competência geral 1**, ao estimular a valorização do conhecimento historicamente construído a respeito da importância das bactérias; com a **competência geral 2**, ao incentivar a pesquisa e a interpretação de informações sobre o papel das bactérias e ao estimular a busca por soluções para problemas hipotéticos, como o desaparecimento de seres procarióticos, refletindo sobre suas consequências para o equilíbrio ecológico; com a **competência geral 4**, ao exigir o uso da linguagem para a construção de um texto claro e objetivo, comunicando conhecimentos científicos. Especificamente, relaciona-se com as habilidades **EM13CNT203** e **EM13CNT206**, ao explorar a relação entre seres vivos e a natureza, com ênfase no papel ecológico das bactérias e sua aplicação em biotecnologia; e com a **EM13CNT301**, ao envolver a compreensão dos impactos biotecnológicos e ecológicos. O **TCT Ciência e Tecnologia** é aplicado ao ressaltar o uso de ciência e tecnologia para analisar e debater questões complexas relacionadas ao meio ambiente e à vida na Terra.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. O nome científico de uma espécie deve ser sempre destacado no texto, escrito em itálico ou sublinhado com a primeira letra do gênero em maiúscula e a da espécie em minúscula.
2. Alternativa A. A classificação taxonômica segue a hierarquia: reino > filo > classe > ordem > família > gênero > espécie. Portanto, organismos da mesma ordem pertencem à mesma classe.
3. Alternativa C. Vírus não apresentam estrutura celular, não têm metabolismo próprio e dependem de células hospedeiras para se reproduzir.
4. Alternativa D. Virose é o termo usado para qualquer infecção causada por um vírus.
5. Alternativa B. Epidemia consiste no aumento significativo do número de casos de uma doença em uma população específica durante algum tempo.

6. Alternativa A. Fala-se em endemia quando uma doença ocorre de maneira constante ou regular em uma determinada região ou população.
7. Alternativa E. Zoonoses virais são doenças causadas por vírus transmitidos entre animais e seres humanos.
8. Alternativa C. Pandemia é o termo usado quando uma doença se dissemina por vários países ou continentes, afetando grande parte da população mundial.
9. Espera-se encontrar maior grau de semelhança entre A e B, pois pertencem à mesma família, o que implica maior proximidade evolutiva. Já C e D pertencem à mesma ordem, mas estão em famílias diferentes, o que indica uma maior distância evolutiva.
10. Cada quadrado colorido no cladograma representa um ancestral comum que compartilha características derivadas entre os grupos ligados a ele. O quadrado laranja representa um ancestral comum aos grupos A e B-C, o quadrado verde indica um ancestral comum aos grupos B e C e o quadrado azul indica o ancestral do grupo C.
11. Alternativa C. As categorias sistemáticas tradicionais são: reino, filo (ou divisão), classe, ordem, família, gênero, espécie. A categoria divisão é usada em algumas classificações botânicas, sendo equivalente ao filo.
12. Alternativa A. A ausência de núcleo e organelas membranosas é característica de células procarióticas, como as bactérias.
13. Alternativa B. Os vírus apresentam material genético, mas dependem de uma célula hospedeira para se multiplicar. Eles não têm metabolismo próprio e só conseguem se reproduzir dentro de células vivas.
14. **a.** A nomenclatura binomial é o sistema de nomeação científica das espécies, composto de dois epítetos: o primeiro indica o gênero e o segundo, a espécie.
    b. A nomenclatura binomial é padronizada e aceita internacionalmente, evitando ambiguidades e confusões que podem surgir com os nomes populares das espécies, que podem variar de acordo com a região e a língua.
15. **a.** O estudante deve digitar "Macaco-prego" ou "*Cebus apella*" (o nome científico da espécie) para obter informações mais específicas.
    b. Digitar o nome comum, macaco-prego, fornecerá informações gerais, enquanto o nome científico garantirá resultados mais precisos e padronizados, principalmente em bases de dados científicas.

Referências suplementares

GONÇALVES, T. M. Além dos livros: explorando a Classificação Biológica (Taxonomia) por meio do uso do *smartphone* na Biologia. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, p. e14979-e14979, 2024.

Este artigo explora o uso de *smartphones* como ferramenta pedagógica para o ensino de classificação biológica (taxonomia) em aulas de biologia, permitindo uma abordagem mais interativa e acessível ao conteúdo científico.

Capítulo 10 Algas, protozoários e fungos

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Valorizar o estudo sistematizado das algas, de modo a reconhecer padrões de semelhança e de diferença entre os seres vivos.
- Reconhecer que o estudo de certos grupos de algas possibilita utilizá-las em benefício da espécie humana.
- Conhecer as principais características dos protozoários e as espécies desse grupo causadoras de doenças, bem como as formas de prevenção e de tratamento dessas protozooses.
- Conhecer as principais características, a diversidade e a forma de reprodução dos fungos.

Este capítulo explora o estudo de algas, protozoários e fungos, abordando suas principais características estruturais, nutricionais e reprodutivas, além dos ambientes em que vivem. O capítulo também trata de protozoários causadores de doenças, como amebíase, leishmaniose, doença de Chagas e malária, com foco em medidas de prevenção e tratamento. Neste contexto, a **competência geral 8** da BNCC será enfatizada, promovendo o desenvolvimento da capacidade dos estudantes de conhecer, apreciar e cuidar da sua saúde física ao compreender o impacto das doenças causadas por protozoários na saúde humana. Assim como a habilidade **EM13CNT207** da **competência específica 2** da BNCC, relacionada a promoção da saúde. A habilidade **EM13CNT202** da **competência especifica 2** será trabalhada ao explorar a organização, nutrição e reprodução desses organismos, além de sua interação com o ambiente.

Sugestões didáticas e comentários

O capítulo, ao abordar as principais características de algas, protozoários e fungos e sua importância em relação à vida humana e ao ambiente, desenvolve temas relacionados à identidade dos seres vivos e à diversidade

biológica, e estimula a compreensão de que a vida se manifesta de diferentes maneiras, o que colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**.

As algas são organismos de grande importância ecológica e também de importância econômica. Os protozoários são microrganismos mais conhecidos pelas doenças que causam. A classificação desses grupos tem se tornado cada vez mais complexa: eles são comumente agrupados como protoctistas, mas segundo a cladística, devido às suas múltiplas origens evolutivas, seriam necessárias dezenas de reinos e de filos diferentes para classificar este grupo.

A fotossíntese realizada pelas algas desempenha papel fundamental na produção do gás oxigênio atmosférico e na absorção de dióxido de carbono, estando na base da cadeia alimentar marinha. O conhecimento sobre as algas contribui para a compreensão do papel desempenhado por elas no monitoramento ambiental dos ecossistemas marinhos e na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Esse conteúdo relaciona-se com o **ODS 14** Vida na água, por meio da meta que objetiva gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos.

Algas como a nori, amplamente utilizadas no preparo de sushis e outros pratos, desempenham papel importante na culinária japonesa. Além de sua importância nutricional, o uso das algas na alimentação reflete a interação entre conhecimento biológico e tradições culturais, mostrando como a Biologia pode influenciar hábitos alimentares e modos de vida humanos. Muitas algas são economicamente relevantes, sendo cultivadas e comercializadas em larga escala. As algas também apresentam grande potencial para inovações biotecnológicas e soluções sustentáveis, elas são uma fonte promissora para o desenvolvimento de biocombustíveis, biofertilizantes e produtos cosméticos devido à sua versatilidade e riqueza em compostos bioativos. Microalgas como a *Chlorella* sp. são utilizadas na produção de biodiesel, uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, enquanto espécies como a *Spirulina* sp. atuam como biofertilizantes, melhorando a fertilidade do solo de forma natural. Na indústria cosmética, pelas suas propriedades antioxidantes e hidratantes, são amplamente usadas em produtos para cuidados com a pele. Esse conteúdo tem relevância relacionada ao **TCT Ciência e Tecnologia**.

O capítulo trata de algumas doenças causadas por protozoários que afetam milhões de pessoas, principalmente em regiões de condições sanitárias precárias. Muitas dessas doenças poderiam são preveníveis, como mostram o sucesso no controle da transmissão domiciliar da doença de Chagas e as campanhas de combate à malária. Os estudantes podem ser estimulados a identificar as principais medidas preventivas para cada doença discutida. Dessa maneira a abordagem vincula-se à **competência geral 8**, ao **TCT Saúde** e ao **ODS 3** Saúde e bem-estar, por meio da meta que objetiva acabar com as epidemias de malária, entre outras doenças, e combater doenças transmitidas pela água e outras doenças transmissíveis.

O item *A importância ecológica e econômica dos fungos* destaca o papel essencial tanto em termos ecológicos, como agentes decompositores, quanto econômicos, ao serem amplamente utilizados nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de biotecnologia, relacionando-se com o **TCT Ciência e Tecnologia**.

Resoluções e comentários

Em destaque

Entenda o que é a maré vermelha, fenômeno observado no litoral sul de Pernambuco

Esta atividade relaciona-se com o **ODS 14** Vida na água, que objetiva prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo a poluição por nutrientes.

1. A maré vermelha é um fenômeno natural caracterizado pelo crescimento excessivo de algas dinoflageladas, ou microalgas. O aumento na população dessas microalgas é causado pela concentração de nutrientes e matéria orgânica no mar, também contribui a liberação de esgoto doméstico nas praias.
2. É importante evitar o contato com a água do mar durante as marés vermelhas porquê as microalgas, durante o processo de metabolismo, liberam toxinas capazes de contaminar a água e trazer prejuízos à saúde humana. Após o contato direto ou indireto com a água do mar, os sintomas podem envolver dores fortes de cabeça, náuseas, dores no corpo, irritação nos olhos, na garganta e na pele e outras queixas de saúde.

   Algumas espécies de dinoflagelados produzem toxinas que podem contaminar moluscos e peixes, tornando-os perigosos para o consumo. Além disso, a decomposição dessas algas em grande quantidade pode levar à diminuição do oxigênio na água, afetando a vida marinha.

Aplicando conhecimentos

Integrando conhecimentos

A atividade oferece aos estudantes a oportunidade de explorar a relação entre a biologia dos organismos microscópicos extintos e as grandes construções históricas.

Os estudantes podem ser incentivados a refletir sobre como esses materiais fósseis têm relevância tanto histórica quanto científica.

Aplicando conhecimentos

Importância dos fungos para o ambiente

A atividade propõe uma abordagem investigativa sobre a importância dos fungos e outros microrganismos no tratamento de ambientes poluídos, introduzindo os conceitos de biorremediação e tratamento de esgotos. A atividade também desenvolve habilidades de pesquisa, comunicação científica e trabalho colaborativo, além de estimular o pensamento crítico e o uso da argumentação, colaborando para o desenvolvimento da **competência geral 7**.

O texto a ser elaborado pode explicar brevemente a biorremediação, tecnologia que utiliza microrganismos, como fungos, para degradar substâncias tóxicas e restaurar ambientes contaminados. Pode ser destacada a importância de microrganismos no tratamento de efluentes industriais e esgotos, e se comparar os tratamentos biológicos com métodos físicos e químicos, enfatizando a questão da sustentabilidade envolvida nesse processo, ao utilizar processos naturais.

Os textos elaborados podem ser trocados entre os estudantes e cada um poderá ler o trabalho de um colega, atuando como editor e oferecendo *feedback* construtivo, apontando pontos positivos, sugerindo melhorias e corrigindo possíveis erros. Isso incentivará a revisão colaborativa e a melhoria contínua.

Ao incentivar a utilização de diferentes linguagens (verbal e escrita) para comunicar-se com clareza e eficácia, a atividade favorece o desenvolvimento da **competência geral 4**. Ao final, os estudantes terão aprendido não só sobre a importância ambiental dos fungos, mas também sobre a comunicação científica e o trabalho colaborativo.

Atividade prática

Observando e documentando algas e fungos macroscópicos

Nesta atividade, pode-se chamar a atenção dos estudantes para o fato de que os fungos, apesar de causarem a decomposição de alimentos, desempenham uma função importante na natureza como agentes decompositores, permitindo a reciclagem de matéria orgânica de cadáveres e partes ou resíduos de seres vivos. O estímulo à comunicação dos resultados da atividade, por meio da elaboração de um relatório, colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa B. A divisão binária é um tipo de reprodução assexuada comum em organismos unicelulares, em que uma célula se divide em duas.
2. Alternativa C. O esporófito é a fase diploide do ciclo de vida de algas e plantas, que produz esporos.
3. Alternativa A. Fala-se em alternância de gerações quando no ciclo de vida de uma espécie se alternam entre uma fase haploide (gametófito) e uma fase diploide (esporófito).
4. Alternativa E. O gametófito é a fase haploide do ciclo de vida de algas e plantas, que produz gametas.
5. Alternativa D. O fitoplâncton é o conjunto de organismos aquáticos microscópicos (algas unicelulares e bactérias fotossintetizantes) que flutuam na superfície da água.
6. Alternativa D. Todos os protozoários são formados por uma única célula eucariótica.
7. Alternativa A. A doença de Chagas é uma parasitose causada pelo protozoário *Trypanosoma cruzi*. O vetor transmissor é o barbeiro, um inseto hematófago que ao picar o hospedeiro defeca as formas infectantes do parasita.
8. Alternativa C. Os sintomas clássicos da malária são febre alta, calafrios e sudorese, que ocorrem em ciclos regulares devido à multiplicação do parasita nas hemácias.
9. Alternativa C. Existem diferentes espécies de *Plasmodium* que causam malária, dependendo da espécie, os sintomas e a gravidade da doença podem variar.
10. Alternativa A. O barbeiro é um inseto hematófago que se alimenta de sangue humano e de outros mamíferos. Ao picar, ele defeca as formas infectantes do *Trypanosoma cruzi*, causando a doença de Chagas.
11. Alternativa C. O mosquito do gênero *Anopheles* é o vetor da malária. As fêmeas desse mosquito se alimentam de sangue e, ao picar um indivíduo infectado, adquirem os parasitas, o *Plasmodium*. Ao picar uma pessoa saudável, o mosquito transmite os parasitas, causando a infecção.
12. Alternativa B. A disenteria amebiana é uma doença causada pela ameba *Entamoeba histolytica*. A transmissão ocorre pela ingestão de alimentos ou água contaminados com fezes de pessoa infectada, contendo cistos da ameba. A construção de instalações sanitárias adequadas e o tratamento de água são medidas importantes para prevenir essa doença.
13. Alternativa B. Cogumelos e orelhas-de-pau são exemplos de corpos de frutificação de fungos do filo Basidiomycota, popularmente conhecidos como basidiomicetos. Esses corpos de frutificação são estruturas reprodutivas onde ocorre o processo sexuado com produção de esporos.

14. Alternativa A. As leveduras são fungos unicelulares que pertencem ao filo Ascomycota, ou seja, são ascomicetos. Elas são amplamente utilizadas na produção de alimentos e bebidas, como pão e cerveja, devido à sua capacidade de fermentar açúcares com produção de álcool e gás carbônico.

15. Alternativa B. Apenas a afirmativa III está correta. Os protozoários são seres unicelulares eucariontes e podem se reproduzir de forma sexuada ou assexuada.

16. Alternativa A. Além da transmissão pelas fezes do barbeiro contaminado com o parasita, a doença de Chagas pode ser transmitida por transfusão sanguínea, transplante de órgãos, congenitamente (da mãe para o filho durante a gestação) e por via oral (ingestão de alimentos contaminados com fezes de triatomíneos infectados pelo parasita).

17. Alternativa D. Os fungos são seres heterotróficos e necessitam de substrato orgânico para se desenvolverem.

18. Alternativa D. Os fungos realizam digestão extracorpórea, liberando enzimas que degradam o substrato e absorvendo os nutrientes resultantes dessa digestão.

19. Alternativa D. A proposta da atividade é interpretação do gráfico. Este mostra uma redução significativa na sobrevivência dos mosquitos expostos aos fungos em comparação ao grupo controle. Isso indica a eficácia dos fungos como agentes de controle biológico. Além disso, a curva de mortalidade dos mosquitos expostos aos fungos apresenta um decréscimo constante, sugerindo um efeito letal contínuo dos fungos sobre os insetos. A mortalidade dos mosquitos expostos aos fungos se inicia logo após a exposição, indicando uma rápida ação dos fungos.

Referências suplementares

MULHERES do CE usam algas marinhas para produzir de shampoo a pizza. 2023. 1 vídeo (3 min.). Publicado pelo canal Diário do Nordeste. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=S4X7lpH_WXU.

O vídeo fala sobre o projeto "Mulheres de Corpo e Alga", na Praia de Barrinha, em Icapuí (CE), que promove o empreendedorismo feminino por meio da atividade de cultivo e beneficiamento de algas para a fabricação de produtos alimentícios e cosméticos.

SOARES, I. A. *et al*. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 2, abr.-jun. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aib/a/YfMrd83Hh6LtZvccwhYYmLL/?lang=pt.

O artigo destaca as principais formas de uso de fungos em processos de biorremediação.

Acessos em: 15 set. 2024.

Capítulo 11 A diversidade das plantas

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Reconhecer, no ciclo de vida das plantas, a alternância de gerações haploide (gametófito) e diploide (esporófito).
- Conhecer as principais adaptações que permitiram às plantas conquistar o ambiente de terra firme.
- Listar e explicar as principais características das plantas, em particular a formação de embrião maciço que as distingue das algas.
- Conhecer os principais grupos de plantas atuais (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas), identificando suas características básicas.
- Descrever os aspectos básicos da reprodução e do ciclo de vida de briófitas, pteridófitas e gimnospermas.
- Reconhecer que o óvulo vegetal é uma estrutura multicelular que abriga o gameta feminino, a oosfera.
- Compreender que o grão de pólen é a estrutura formadora dos gametas masculinos das plantas com semente.

A caracterização dos principais grupos de plantas atuais, de seus modos de reprodução e ciclos de vida mobilizam a habilidade **EM13CNT202**. As propostas para alcançar os objetivos envolvem a interpretação de textos de divulgação científica que tratam dessas temáticas e a comunicação e divulgação de resultados das pesquisas realizadas pelos estudantes, como propõem as habilidades **EM13CNT303** e **EM13CNT302**. Os conceitos, procedimentos, habilidades, atitudes e valores discutidos no capítulo favorecem o desenvolvimento de competências gerais e específicas da BNCC, principalmente da **competência geral 2**, ao recorrer à abordagem própria das ciências, da **competência geral 4**, ao possibilitar que os estudantes utilizem diferentes linguagens e conhecimentos científicos para partilhar ideias, da **competência geral 7**, ao promover o exercício da argumentação e a consciência socioambiental, da **competência específica 2**, ao realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos, e da **competência específica 3**, ao utilizar procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo tem por objetivo destacar o papel das plantas na ocupação de locais de terra firme, tornando o ambiente terrestre convidativo para muitas espécies de animais, e responsável pela configuração atual dos ambientes do planeta Terra. Conhecer a diversidade de plantas, bem como suas características, evolução, reprodução e ciclo de vida, contribui para que os estudantes reconheçam a importância desses seres para a conservação da biodiversidade dos ecossistemas da Terra, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**.

Pode-se ressaltar a influência de conhecimentos tradicionais, principalmente indígenas e quilombolas, no desenvolvimento do conhecimento botânico, valorizando saberes e práticas desses povos relacionados à conservação da biodiversidade.

Se possível, ao longo desse estudo, organize uma visita monitorada a um jardim botânico ou parque e incentive os estudantes a desenvolverem a capacidade de observação e a constatação da diversidade vegetal. Os estudantes podem registrar suas observações por meio de desenhos, fotografias e vídeos. Para concluir o trabalho, os estudantes podem elaborar relatórios ilustrados com desenhos e/ou fotografias.

Atividade complementar

Atividade de laboratório: Observando esporângios de pteridófitas

Samambaias e avencas são plantas fáceis de obter e de manter no laboratório ou em sala de aula e podem ser usadas para uma análise detalhada do ciclo de vida das plantas vasculares sem sementes.

Na face inferior de certas folhas há estruturas cor de ferrugem, os soros, em que se localizam os esporângios produtores de esporos. Os soros podem ser observados com uma lupa e, se houver um microscópio disponível, pode-se observar esporos raspando os soros sobre uma gota de água e cobrindo com uma lamínula, em uma lâmina de microscopia.

Atividades de experimentação promovem atitudes científicas e auxiliam na compreensão dos conceitos estudados, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Tecidos condutores de seiva das traqueófitas

Em seus textos os estudantes podem destacar que a vantagem de apresentar vasos condutores de seiva é a agilidade no transporte de soluções nutritivas por todo o corpo da planta. Foi essa novidade evolutiva que possibilitou às plantas vasculares atingir grandes tamanhos e constituir vastas comunidades florestais.

Atividade em grupo

Importância da água na reprodução das plantas

Adaptações que permitiram às plantas viver em terra firme são: o desenvolvimento de vasos condutores para o transporte de soluções nutritivas por todo o corpo da planta; o desenvolvimento de raízes, estruturas especializadas na absorção de água e sais minerais do solo; o desenvolvimento da cutícula, uma película epidérmica que evita a perda de água por transpiração; o desenvolvimento dos estômatos, estruturas presentes principalmente na face inferior das folhas, que controlam a entrada e a saída de gases da planta e evitam a perda de água por evaporação.

Algumas adaptações específicas das plantas para viver em ambientes como desertos são: a modificação de folhas em espinhos; caules suculentos e dotados de uma epiderme revestida por uma espessa cutícula, como ocorre nos cactos.

A atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**, por incentivar os estudantes a pesquisar e a interpretar textos de divulgação científica; e da habilidade **EM13CNT302** e da **competência geral 4**, ao propor a comunicação dos resultados da pesquisa.

Dialogando com o texto

Ameaças à araucária

A pesquisa sobre as ameaças às araucárias visa a compreensão dos estudantes da preocupante situação em relação à conservação dessa espécie. Os estudantes podem argumentar que a manutenção da biodiversidade e conservação de nichos ecológicos naturais está relacionada à regulação do clima, importante para as economias locais e a preservação de aspectos culturais, entre outros.

A atividade favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT203** e **EM13CNT206**, ao propor a análise de intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos e discutir a importância da conservação da biodiversidade, avaliando os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta. Contribui também para o desenvolvimento da **competência geral 7**, ao promover o exercício da argumentação e a consciência socioambiental. Por fim, a atividade tem relevância relacionada ao **TCT Meio ambiente** e ao **ODS 15** Vida Terrestre.

Dialogando com o texto

Tendências evolutivas no ciclo de vida das plantas

Espera-se que os estudantes apresentem um quadro como o representado a seguir.

	Briófitas	Pteridófitas	Gimnospermas
Gametófito	Fase haploide, mais desenvolvida e persistente do ciclo de vida. Responsável pela formação de gametas.	Fase haploide, reduzida e temporária; o esporófito jovem é sustentado pelo gametófito.	Fase haploide, reduzida, que se desenvolve dentro do esporângio. O microgametófito (masculino) é o grão de pólen; o megagametófito (feminino) localiza-se no óvulo.
Esporófito	Fase diploide, dependente do gametófito. Cresce sobre o gametófito.	Fase diploide, mais desenvolvida e persistente do ciclo de vida. Constituído de raiz, caule (rizoma) e folhas.	Fase diploide, mais desenvolvida e persistente do ciclo de vida. Constituído de raíz, caule, folhas.

As ilustrações podem ser representadas acrescentando mais uma coluna ao lado de cada grupo de plantas. A atividade auxilia os estudantes no entendimento da história evolutiva das plantas pela análise das diferenças e semelhanças entre os ciclos de vida estudados. Pode ser proposta a comunicação das tabelas produzidas, de modo a favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302** e da **competência geral 4**.

Em destaque

A vegetação na época dos dinossauros

A seção estimula os estudantes a refletir sobre como a ciência, neste caso a paleobotânica, pode ajudar a entender como era a vegetação na Era Mesozoica, eventualmente retratada de forma irrealista em filmes ficcionais sobre dinossauros. Dessa forma, colabora para que diferenciem o que é aceito pela ciência contemporânea e o que é obra ficcional.

Uma sugestão de pesquisa é a página do Instituto de Geociências da USP, disponível em: https://didatico.igc.usp.br/fosseis/paleobotanica1/ (acesso em: 8 out. 2024).

Os estudantes podem argumentar que em filmes ficcionais sobre dinossauros é importante apresentar um cenário mais realista, pois enriqueceria a percepção do público sobre a vida na Terra durante a Era Mesozoica, proporcionando uma representação mais precisa e científica do ecossistema daquela época. Ao apresentar uma flora que supostamente existia na época dos dinossauros, os filmes poderiam despertar maior interesse pela paleobotânica e pelo estudo da história natural.

Mundo do trabalho

Os jovens no campo

É importante ressaltar a importância da agricultura familiar para a população que vive nas cidades, uma vez que a maior parte dos alimentos produzidos e consumidos no Brasil é proveniente desse tipo de cultivo.

O conteúdo da seção tem relevância relacionada aos **TCTs Meio ambiente** e **Ciência e tecnologia** e ao **ODS 8** Trabalho decente e crescimento econômico. Permite o desenvolvimento da **competência geral 6**, ao requerer que o estudante valorize a diversidade de saberes e vivências culturais e aproprie-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa B. Os esporos são células reprodutivas de plantas como as briófitas e as pteridófitas. Eles fazem parte do ciclo de vida dessas plantas, que envolve alternância entre gerações de indivíduos haploides, produtores de gametas (gametófitos) e gerações de indivíduos diploides, produtores de esporos (esporófitos).
2. Alternativa D. Nas plantas, existem dois tipos de gametas: o gameta feminino, denominado oosfera, e o gameta masculino, que, dependendo do grupo de plantas, pode ser o anterozoide, em briófitas e pteridófitas, ou a célula espemática (ou núcleo espermático) em gimnospermas e angiospermas.
3. Alternativa A. As angiospermas são as plantas predominantes na Terra atualmente.

4. Alternativa D. As pteridófitas possuem vasos condutores de seiva e se reproduzem por esporos.
5. Alternativa B. As briófitas são plantas avasculares, pois não possuem tecidos condutores de seiva.
6. Alternativa C. As gimnospermas são plantas que apresentam as sementes expostas, pois não formam frutos, como as angiospermas.
7. Alternativa B. O grão de pólen é o gametófito das espermatófitas (gimnospermas e angiospermas,) responsável pela formação dos gametas masculinos dessas plantas.
8. Alternativa D. Os micrósporos são células haploides que se desenvolvem em grãos de pólen.
9. Alternativa C. O megásporo se desenvolve no megagametófito, que origina a oosfera, o gameta feminino.
10. Alternativa A. No grão de pólen das gimnospermas e das angiospermas, se formam as células espermáticas, que são os gametas masculinos das espermatófitas.
11. Alternativa F. A semente é uma estrutura que inclui o megagametófito, que contém o esporófito jovem (embrião), envolto pelo tegumento.
12. Alternativa E. A alternativa descreve o óvulo das plantas gimnospermas e angiospermas.
13. Alternativa C. Os esporófitos (2*n*) produzem esporos haploides por meiose; estes se multiplicam por mitoses, originando os gametófitos (*n*) que produzem os gametas (*n*) por mitose.
14. Alternativa C. A formação de frutos é exclusividade das angiospermas; dentro deles se formam as sementes.
15. Alternativa B. As pteridófitas se reproduzem por esporos.
16. Alternativa D. A redução do gametófito aumentou a dependência dele em relação ao esporófito, permitindo uma maior adaptação e sucesso reprodutivo das plantas em diversos ambientes.
17. Alternativa D. Apenas gimnospermas e angiospermas são plantas vasculares.
18. Alternativa B. No ciclo de vida das samambaias, a geração predominante e mais desenvolvida é a esporofítica (que produz esporos). Quando germinam, os esporos originam gametófitos haploides (prótalos).
19. Alternativa E. O grão de pólen é uma inovação evolutiva que ocorreu nas gimnospermas precedendo a origem de flores e frutos; o grão de pólen foi um elemento-chave na transição entre gimnospermas e angiospermas.

Referência suplementar

Na onda da vida UFMG. **A evolução das plantas**. Disponível em: https://www.ufmg.br/ciencianoar/conteudo/a-evolucao-das-plantas/. Acesso em: 8 out. 2024.

O *podcast* aborda a evolução das plantas no tempo geológico e a conquista do ambiente terrestre.

Capítulo 12 Reprodução, desenvolvimento e fisiologia das angiospermas

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer as etapas iniciais do desenvolvimento embrionário de uma angiosperma.
- Conceituar germinação e identificar as partes fundamentais da planta jovem presente no interior da semente.
- Identificar as partes básicas da raiz e do caule das plantas angiospermas e a localização dos principais tecidos vegetais, como epiderme, periderme, parênquima, colênquima, esclerênquima, xilema, floema e meristemas.
- Distinguir o crescimento primário e secundário de raízes e caules.
- Identificar a anatomia básica e os tecidos componentes de uma folha.
- Identificar aspectos básicos da nutrição e da fisiologia das plantas, reconhecendo sua importância para o desenvolvimento e a otimização da agricultura.
- Conhecer as substâncias minerais de que as plantas necessitam – macronutrientes e micronutrientes – e compreender os princípios da adubação do solo.
- Explicar como a água e os sais minerais absorvidos pelas raízes chegam até as folhas, transportados pelo xilema.
- Reconhecer a fotossíntese como a fonte primária de alimentos orgânicos para as plantas.
- Explicar o deslocamento da seiva orgânica no floema segundo a hipótese do fluxo de massa.
- Conhecer os principais grupos de hormônios vegetais e suas funções na planta.
- Conhecer e compreender a ação das auxinas nos tropismos da raiz e do caule e no fenômeno da dominância apical.
- Relacionar fitocromos ao controle de certos aspectos da fisiologia vegetal, como a floração.

O conhecimento de aspectos básicos do ciclo de vida das angiospermas, da estrutura e função da flor e dos principais tecidos vegetais mobiliza a habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2** da BNCC.

A abordagem metodológica do capítulo promove o aprendizado investigativo com a realização de atividades práticas, que possibilitam a experimentação, a formulação de hipóteses, a observação de resultados e a conclusão, entre outros procedimentos próprios da ciência; como propõe a habilidade **EM13CNT205** da **competência específica 2** da BNCC, a habilidade **EM13CNT301** da **competência específica 3** e a **competência geral 2**.

Sugestões didáticas e comentários

O item *O desenvolvimento das plantas* possibilita discutir aspectos interessantes sobre a germinação da semente e formação dos diferentes tecidos das plantas, tendo em vista sua estrutura e função no organismo vegetal. Conhecer a anatomia interna e a histologia dos vegetais é importante para compreender os processos metabólicos relacionados ao desenvolvimento, à sustentação, à nutrição e à condução de seiva, favorecendo a habilidade **EM13CNT202**.

A construção de um herbário, com plantas coletadas pelos estudantes contribui com as habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT303**. Na *Referência suplementar* desse capítulo há uma indicação de conteúdo sobre a construção de um herbário na escola.

Resoluções e comentários

Atividade prática

Estudando flores

Esta atividade envolve o estudo prático das estruturas florais, permitindo aos estudantes observar, desenhar e registrar as partes reprodutivas de diferentes espécies de plantas. É possível a interdisciplinaridade com o componente curricular Arte, ao usar técnicas de desenho e fotografia para realizar os registros científicos.

Essa atividade recorre à abordagem própria das ciências, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 2**. A utilização da linguagem artística para a realização dos registros científicos auxilia no desenvolvimento da **competência geral 4**.

Exercício resolvido

No contexto do exercício resolvido, o pensamento computacional pode ser utilizado como uma abordagem eficaz para resolver questões complexas como a dupla fecundação nas angiospermas. Esse tipo de raciocínio envolve a decomposição de problemas em partes menores, o reconhecimento de padrões e a abstração de conceitos que facilitam a resolução de problemas.

Atividade prática

Estudando a germinação de sementes

Essa atividade tem por finalidade proporcionar aos estudantes a experimentação por meio dos procedimentos próprios da metodologia científica (observação, formulação de hipóteses, experimentação, observação dos resultados e conclusão). Desse modo, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 2** e da habilidade **EM13CNT301** da BNCC.

A conclusão do experimento deve levar entre duas e três semanas. Ao final, os estudantes podem ressaltar a diferença entre a germinação no claro e no escuro, que não foi mencionada explicitamente na atividade. Discuta com eles acerca da resposta da planta que germina no escuro, o chamado estiolamento, interpretada pelos cientistas como uma resposta adaptativa da planta para buscar rapidamente a luz.

As plantas mantidas no escuro são amareladas devido à falta de luz, necessária à síntese de clorofila. Esse é um sintoma típico do estiolamento. A participação durante a atividade experimental e o relatório podem ser usados para avaliar o desempenho dos estudantes.

Em destaque

Morte de meio bilhão de abelhas é consequência de agrotóxicos

A atividade proposta nesta seção, de escrever uma versão condensada de cada um dos parágrafos do texto apresentado, além de desenvolver a capacidade de síntese nos estudantes, trabalha com inferências, pois, ao resumir os parágrafos, os estudantes devem manter a fidelidade às ideias do texto, desenvolvendo-os com as suas próprias palavras. Desse modo, associam as informações explícitas no texto com os seus conhecimentos prévios.

Ao abordar as consequências ambientais da diminuição das abelhas, promovendo a conscientização sobre a importância de ações sustentáveis na agricultura para a conservação da biodiversidade, o conteúdo dessa seção dialoga com os **TCTs Meio ambiente** e **Ciência e Tecnologia**, além do **ODS 15** Vida Terrestre, por meio da meta que objetiva reduzir a degradação de hábitats naturais e deter a perda da biodiversidade.

Dialogando com o texto

Plantas da Caatinga

Xeromorfismo é um termo utilizado para descrever adaptações morfológicas e fisiológicas de plantas que habitam ambientes áridos ou semiáridos, onde a disponibilidade de água é limitada. Essas adaptações permitem que as plantas conservem água e resistam às condições de seca. Algumas características principais de plantas xeromórficas são: folhas reduzidas, para minimizar a perda de água por transpiração, e caules suculentos e dotados de uma epiderme espessa revestida por uma cutícula cerosa, que reduz a evaporação. Um exemplo são os cactos.

Dialogando com o texto

Fibras vegetais de importância econômica

Essa atividade é uma oportunidade para conectar o estudo das fibras vegetais ao impacto socioeconômico que plantas têm na indústria têxtil. A pesquisa sobre o processamento industrial dessas fibras oferece uma perspectiva interdisciplinar com o componente curricular Geografia, ao estudar o impacto econômico do processamento industrial de juta, sisal e linho.

Os estudantes podem refletir sobre os benefícios de utilizar fibras naturais, destacando que elas são biodegradáveis. Esse conteúdo relaciona-se ao **ODS 12** ao destacar a gestão sustentável e a utilização eficiente dos recursos naturais.

Atividade prática

Observando o geotropismo do caule e da raiz

Esta atividade envolve um experimento prático que pode ser conduzido em sala de aula ou em casa, utilizando materiais acessíveis como algodão, caixas de plástico e grãos de milho. Além de desenvolver competências práticas em observação e medição, ela possibilita que os estudantes compreendam como as plantas respondem a estímulos do ambiente. A atividade é uma ótima oportunidade para discutir as adaptações evolutivas das plantas e sua capacidade de sobreviver em diferentes condições de solo e gravidade.

É possível registrar, por meio de fotografias ou vídeos, as fases de crescimento das raízes e caules. Para ampliar a compreensão sobre gravitropismo, os estudantes podem assistir a simulações digitais que demonstram o comportamento das plantas em condições de microgravidade, como em viagens espaciais. Essas atividades podem ser conectadas ao uso da tecnologia na ciência e na agricultura moderna.

Ao recorrer a abordagem própria das ciências, como a investigação, e ao incentivar a interpretação de resultados do experimento, a atividade possibilita desenvolver a **competência geral 2** e a habilidade **EM13CNT205** da BNCC.

Atividade em grupo

O amadurecimento dos frutos

O armazenamento de frutos em ambientes controlados permite retardar ou acelerar o amadurecimento dos frutos. O gás etileno, produzido por frutos em amadurecimento, pode ser aplicado para amadurecer frutos em mercados ou durante o transporte, colocando frutos maduros próximos a frutos verdes. Embrulhar frutos em jornal é uma prática comum para acelerar o amadurecimento dos frutos, ajudando a concentrar o gás etileno que o fruto libera naturalmente.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. A flor de angiospermas (da periferia para o centro) é composta de: cálice (sépalas), corola (pétalas), androceu (estames) e gineceu (carpelos).
2. Alternativa B. O endosperma é um tecido de reserva constituído por células triploides presente nas sementes das angiospermas.
3. Alternativa D. O saco embrionário é a estrutura que resulta do desenvolvimento do megásporo das angiospermas.
4. Alternativa A. O cotilédone tem a função de transferir para o embrião nutrientes que serão utilizados durante o desenvolvimento inicial da planta.
5. Alternativa C. Após a fecundação, o óvulo se desenvolve e dá origem à semente, enquanto o ovário dá origem ao fruto.
6. Alternativa D. Nas plantas angiospermas, a fecundação ocorre no ovário. O pólen chega ao estigma e origina o tubo polínico, através do qual os gametas masculinos se deslocam até o óvulo, onde ocorre a fecundação.
7. Alternativa D. Nas plantas com crescimento secundário, o tecido de revestimento primário, que é a epiderme, é substituído pela periderme. A periderme é composta de três camadas: súber (ou cortiça), felogênio e feloderme. A periderme atua como uma camada protetora.

8. Alternativa A. Os macronutrientes são elementos químicos necessários em grandes quantidades para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Exemplos são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, entre outros.

9. Alternativa D. A solução transportada pelo floema é a seiva orgânica, que contém principalmente açúcares, produzidos durante a fotossíntese, além de outros compostos orgânicos.

10. Alternativa B. Os micronutrientes são necessários em quantidades pequenas, mas são essenciais para o crescimento das plantas. Exemplos incluem ferro, zinco e cobre.

11. Alternativa C. O xilema transporta a seiva mineral, que é composta de água e sais minerais absorvidos pelas raízes da planta.

12. Alternativa A. Quando as células guardas dos estômatos absorvem água, elas ficam túrgidas, o que provoca a abertura dos estômatos, permitindo as trocas gasosas.

13. Alternativa E. A polinização de grande parte das angiospermas depende dos insetos, que transportam o pólen de uma flor para outra, possibilitando a fecundação e a produção de frutos e sementes. A eliminação dos insetos teria um impacto negativo sobre as angiospermas. As algas e as outras plantas citadas nas outras alternativas (briófitas, pteridófitas e gimnospermas) não dependem de insetos para sua reprodução.

14. Alternativa C. Após a fecundação nas angiospermas o zigoto forma o embrião, o óvulo origina a semente e o ovário forma o fruto.

15. a. As estruturas representadas são: I – tecido vascular ou vasos condutores ou tecido condutor ou xilema e floema; II – semente; III – fruto ou flor e fruto. O xilema transporta a seiva mineral e o floema, a seiva orgânica.

b. A dupla fecundação é a união dos dois gametas masculinos das angiospermas, um com os núcleos polares e o outro com a oosfera. A partir da fusão de um dos gametas masculinos com os núcleos polares, forma-se o endosperma 3*n*, e a fusão de outro gameta masculino com a oosfera resulta no zigoto 2*n*.

16. a. Flores com coloração vistosa são atraentes para animais polinizadores, como aves e insetos. A ação desses animais aumenta a eficiência da polinização, ampliando as chances de reprodução da planta.

b. No caso dessas plantas, o vento costuma ser o principal agente polinizador.

Referência suplementar

FAGUNDES, J. A. **Herbário escolar**: suas contribuições ao estudo da botânica (foco: biodiversidade). Secretaria da Educação e do Esporte, Governo do Estado do Paraná. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1675-6.pdf?PHPSESSID=2010010708155290. Acesso em: 20 set. 2024.

O artigo apresenta orientações de como construir um herbário na escola e discute as potencialidades dessa proposta para a aprendizagem de Botânica.

Capítulo 13 Tendências evolutivas nos animais

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Valorizar o estudo sistemático dos principais grupos animais, reconhecendo as estratégias evolutivas que compartilhamos com esses seres vivos.
- Conhecer os nove filos animais apresentados no texto – Porifera, Cnidaria, Platyhelminthes, Nematoda, Mollusca, Annelida, Arthropoda, Echinodermata e Chordata – e alguns de seus representantes.
- Caracterizar animais diblásticos e triblásticos, reconhecendo que, exceto por poríferos e cnidários, todos os filos animais são triblásticos.
- Caracterizar animais acelomados, pseudocelomados e celomados e reconhecer os filos em que cada uma dessas características ocorre.
- Caracterizar animais protostômios e deuterostômios, reconhecendo os filos em que cada uma dessas características ocorre.
- Conhecer e compreender os critérios que levaram os sistematas a elaborar um cladograma que relaciona os principais grupos animais.
- Conhecer os aspectos gerais dos principais sistemas corporais presentes nos animais – digestivo, respiratório, circulatório e excretor – relacionando sua estrutura e função e os grupos animais em que cada tipo de sistema ocorre.

As atividades propostas incentivam os estudantes a utilizar múltiplas formas de linguagem ao longo do processo de aprendizagem, contribuindo para o desenvolvimento da **competência geral 4**.

Ao longo do capítulo, o estudante será estimulado a comparar a estrutura de certos órgãos em diversos grupos animais, abordagem que permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202 da competência específica 2**.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo introduz a diversidade dos grupos animais sob a perspectiva de sua origem evolutiva. Chame a atenção dos estudantes para a figura de abertura do capítulo, que trata de uma reconstrução artística de um cenário marinho baseada no documentário fóssil do período Ediacarano. Informe que a vida ficou restrita ao ambiente aquático até o surgimento das plantas, que modificaram o ambiente e possibilitaram a vida em terrra firme.

O estudo sistemático dos animais é desafiador. O objetivo mais importante é chamar a atenção para o fato de que, apesar da grande diversidade de animais, eles podem ser agrupados em poucas dezenas de filos, que exibem estratégias evolutivas bem-sucedidas, que começaram a surgir há mais de 600 milhões de anos.

O item *A diversificação dos animais* apresenta as principais tendências observadas na evolução animal e utilizadas como base da classificação. Entre elas destacam-se a multicelularidade, o número de folhetos germinativos etc. Compreender o significado das tendências evolutivas facilita o estudo sistematizado dos animais.

Atividade complementar

Incentive os estudantes a pesquisar as principais soluções adaptativas que permitiram que diversos grupos de animais passassem a habitar a terra firme. Essa atividade, ao trabalhar com novidades evolutivas e relacionar as características funcionais à classificação dos animais, favorece a habilidade **EM13CNT202**.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Pesquisando sobre animais

A atividade propõe aos estudantes relembrar, um a um, os grupos de animais estudados.

Esta atividade propõe a utilização de diferentes linguagens para comunicação de dados e informações, estimulando o desenvolvimento da **competência geral 4** e da habilidade **EM13CNT302**. Para adquirir as informações, os estudantes deverão buscar fontes confiáveis de pesquisa, estimulando-se, assim, a habilidade **EM13CNT303**.

Aplicando conhecimentos

Noções de simetria

Nesta atividade, o objetivo é exercitar a compreensão e aplicação de conceitos de simetria em organismos e objetos. A proposta é que observem e analisem diferentes tipos de simetria realizando cortes imaginários nos objetos e desenhando esquemas que demonstrem os planos de simetria. Além disso, os estudantes poderão elaborar um texto ilustrado com suas conclusões, desenvolvendo, assim, suas habilidades de observação e pensamento crítico. Ao incentivar a curiosidade dos estudantes e a busca pelo conhecimento científico por meio da observação e análise de padrões de simetria, a atividade colabora para o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Em destaque

Brasil desperdiça o potencial de sua biodiversidade, um ativo único e inigualável

A proposta da atividade estimula a análise da relação das populações tradicionais com a biodiversidade, especialmente indígenas e quilombolas, bem como a análise das dimensões políticas, históricas, econômicas, sociais e culturais da questão ambiental.

A atividade se relaciona à habilidade **EM13CNT203**, ao estimular a avaliação de estratégias para o uso sustentável dos recursos naturais, permitindo que os estudantes reconheçam como os saberes tradicionais podem contribuir para a conservação da biodiversidade. A habilidade **EM13CNT206** será trabalhada ao refletir sobre a interdependência de biodiversidade e qualidade de vida, enquanto a habilidade **EM13CNT310** será desenvolvida na argumentação sobre ações sustentáveis, considerando as políticas públicas e as áreas protegidas. A **competência geral 6** será trabalhada ao integrar conhecimentos científicos e culturais, permitindo que os estudantes utilizem dados apresentados no texto para refletir sobre o manejo adequado dos recursos naturais. O **TCT Meio Ambiente** será explorado ao discutir a importância da biodiversidade para o meio ambiente e para as pessoas, em consonância também com o **ODS 15** Vida terrestre.

Aplicando conhecimentos

Por que os inseticidas atingem rapidamente os tecidos do inseto?

A atividade estimula a comparação entre diferentes tipos de respiração em animais a partir da reflexão sobre a ação de inseticidas aerossóis. Nos animais que apresentam respiração traqueal, as microgotículas con-

tendo inseticida penetram facilmente pelos espiráculos e chegam diretamente a todas as células do corpo, o que pode explicar sua ação rápida para matar insetos.

Ao promover a elaboração de hipóteses, previsões e estimativas, e a interpretação de dados para construir, avaliar e justificar conclusões, a atividade colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e da habilidade **EM13CHS103**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas. A **competência geral 2** também é favorecida ao incentivar os estudantes a exercitar a curiosidade e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação e a reflexão para investigar e elaborar hipóteses sobre a relação dos inseticidas aerossóis e o sistema respiratório dos insetos. A discussão sobre o desenvolvimento e o funcionamento de produtos inseticidas também promove o trabalho com o **TCT Ciência e Tecnologia**.

Aplicando conhecimentos

Reconhecendo peixes frescos

Para identificar se um peixe está fresco para consumo, é importante observar suas brânquias. Isso pode ser feito levantando o opérculo, que é a estrutura localizada atrás da cabeça do peixe, que cobre e protege as brânquias. As brânquias de um peixe fresco geralmente apresentam uma coloração avermelhada e uma aparência úmida, indicando que o peixe foi recém-pescado e bem conservado. Em contrapartida, brânquias que estejam desbotadas, cinzentas ou com cheiro forte podem ser um sinal de que o peixe não está mais adequado para o consumo.

Exercício resolvido

Mapa de conceitos na respiração animal

Pode-se sugerir aos estudantes interessados em mapas de conceitos que se informem sobre o tema na internet. Há diversos *sites* sobre mapas de conceitos e aprendizagem significativa, a teoria de ensino e aprendizagem em que se enquadram os mapas de conceitos. Os *sites* disponibilizam gratuitamente programas para a confecção de mapas e tutoriais que ensinam como utilizar os programas. Para a construção do mapa apresentado na questão foi utilizado o programa CmapsTools do IHMC (*Institute for Human and Machine Cognition* da *State University System of Florida-USA*) disponível em: https://cmap.ihmc.us/cmaptools/ (acesso em: 9 out. 2024).

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa B. Animais diploblásticos apresentam dois folhetos germinativos (ectoderma e endoderma), característica de grupos como cnidários.
2. Alternativa C. Animais protostômios são aqueles em que a boca se origina do blastóporo, como ocorre em artrópodes e moluscos.
3. Alternativa D. Triploblásticos são animais com três folhetos germinativos (ectoderma, mesoderma e endoderma), como os vertebrados e muitos invertebrados.
4. Alternativa A. Animais deuterostômios são aqueles em que o blastóporo origina o ânus, como ocorre nos cordados e equinodermos.
5. Alternativa A. A respiração branquial ocorre por meio de brânquias que realizam as trocas gasosas entre o líquido circulatório, hemolinfa ou sangue, e o ambiente ao redor.
6. Alternativa C. A respiração cutânea é realizada por animais cuja pele é permeável ao gás oxigênio e ao dióxido de carbono, como em alguns anfíbios.
7. Alternativa B. A respiração celular é o processo bioquímico em que as células utilizam gás oxigênio para disponibilizar energia presente em moléculas orgânicas com a liberação de gás carbônico e água como produto da reação.
8. Alternativa E. A respiração traqueal é característica de insetos e de alguns outros artrópodes em que o ar chega diretamente aos tecidos por meio de tubos denominados traqueias.
9. Alternativa D. A respiração pulmonar é típica de animais de terra firme, em que pulmões, ricamente vascularizados, permitem a troca de gases.
10. Alternativa C. Animais terrestres típicos possuem respiração pulmonar ou traqueal, dependendo do grupo ao qual pertencem, como mamíferos e insetos, respectivamente.
11. A impossibilidade de encontrar poríferos terrestres deve-se ao fato de que esses organismos são exclusivamente aquáticos, pois dependem da circulação da água em seus corpos para realizar trocas gasosas e obter nutrientes essenciais para a sobrevivência.
12. Resposta pessoal. Essa atividade promove o trabalho com o **TCT Ciência e Tecnologia**, ao promover um debate sobre o uso de animais em pesquisas científicas. Informações sobre o uso de animais como cobaias podem ser obtidas em:

    Animais na pesquisa: princípios éticos para o avanço científico. *Revista Arco*, 18 maio 2022. Disponível em: https://www.ufsm.br/midias/arco/animais-na-pesquisa-principios-eticos-para-o-avanco-cientifico.

CARVALHO, E.; LENHARO, M. Argumentos a favor e contra o uso de animais em pesquisas científicas. **G1**. Disponível em: https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/debate-pesquisa-animais/platb/

MARQUES, S. D. Uso de animais em pesquisas obedece a diretrizes rígidas e segue necessário quando os modelos alternativos não dão conta da complexidade da vida. **Jornal da Universidade**, 3 ago. 2023. Disponível em: https://www.ufrgs.br/jornal/uso-de-animais-em-pesquisas-obedece-a-diretrizes-rigidas-e-segue-necessario-quando-os-modelos-alternativos-nao-dao-conta-da-complexidade-da-vida/

VESSONI, A. Especialistas avaliam resolução que restringe uso de animais em experimentos nas áreas de cosméticos, perfumes e produtos de higiene pessoal. **Jornal da Unesp**, 3 abr. 2023. Disponível em: https://jornal.unesp.br/2023/04/03/especialistas-avaliam-resolucao-que-restringe-uso-de-animais-em-experimentos-nas-areas-de-cosmeticos-perfumes-e-produtos-de-higiene-pessoal/#:~:text=Reportagens-,Especialistas%20avaliam%20resolu%C3%A7%C3%A3o%20que%20restringe%20uso%20de%20animais%20em%20experimentos,ao%20uso%20de%20m%C3%A9todos%20substitutivos.

Acessos em: 18 ago. 2024.

13. Alternativa E. Nefrídios são órgãos excretores dos anelídeos, células-flama dos platelmintos, e túbulos de Malpighi dos insetos.

14. Alternativa A. Essa opção reflete corretamente a relação entre os grupos de animais e seus respectivos tipos de respiração: poríferos apresentam respiração cutânea; crustáceos, branquial; insetos, traqueal; e répteis, pulmonar.

15. Alternativa A. Animais do filo Annelida apresentam simetria bilateral, corpo metamerizado e são triblásticos e celomados.

16. O animal A pode ser uma planária (platelminto). O animal B pode ser uma água-viva (cnidário). O animal C pode ser uma mosca (inseto). O animal D pode ser uma minhoca (anelídeo).

Referência suplementar

A BIODIVERSIDADE é importante?, 2023. 1 vídeo (19 min). Publicado pelo canal Átila Iamarino. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ctknqxY49hM&t=903s. Acesso em: 8 out. 2024.

O vídeo, de autoria do biólogo e divulgador científico Átila Iamarino, aborda a importância da diversidade de seres vivos para o ambiente como conhecemos.

Capítulo 14 Principais grupos de animais

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Caracterizar os representantes dos principais filos de animais invertebrados – Porifera, Cnidaria, Platyhelminthes, Nematoda, Mollusca, Annelida, Arthropoda, Echinodermata – quanto aos seguintes aspectos: local onde vivem, organização corporal, características fisiológicas principais e reprodução.
- Descrever e esquematizar as principais etapas dos ciclos de vida do esquistossomo e da tênia, identificando em cada ciclo os hospedeiros intermediários e as atitudes que podem prevenir a infestação por esses parasitas.
- Informar-se sobre algumas das principais verminoses causadas por nematódeos, como a ascaridíase e a ancilostomose, e conhecer maneiras de prevenir a infestação por esses parasitas.
- Informar-se sobre a importância de moluscos e crustáceos na alimentação humana, exemplificando com animais desses grupos utilizados com frequência por diferentes povos.
- Caracterizar os animais de cada grupo do filo Chordata quanto aos seguintes aspectos: local onde vivem, organização corporal, características fisiológicas principais e reprodução.
- Explicar a função da bexiga natatória dos peixes e obter informações sobre uma possível relação evolutiva entre esse órgão e os pulmões.

Este capítulo trata das características principais dos nove filos do reino animal estudados neste livro. Esses conhecimentos mobilizam a habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2** da BNCC. Ao abordar aspectos do ciclo de vida e medidas de prevenção de doenças causadas por platelmintos e nematódeos é favorecido o desenvolvimento da **competência geral 8**.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo destaca a importância dos animais como alimentos para a espécie humana.

O capítulo traz um panorama dos principais filos de animais: Porifera, Cnidaria, Platyhelminthes, Nematoda, Mollusca, Annelida, Arthropoda, Echinodermata e Chordata.

Observar animais vivos na natureza ou em zoológicos reforça o aprendizado, tornando-o mais significativo. Também é interessante visitar um mercado de pescados, observando os diversos tipos de invertebrados comercializados, principalmente moluscos e crustáceos. Os estudantes podem desenhar, fotografar ou filmar os animais observados, o que possibilita publicar materiais ilustrados sobre a atividade.

Os conteúdos deste capítulo possibilitam desenvolver a habilidade **EM13CNT202**, ao estudar as diversas formas de manifestação da vida animal. Esses conteúdos também dialogam com o **TCT Meio ambiente** e com o **ODS 14** Vida na água, que visa tratar os ecossistemas de forma sustentável, protegendo-os, e com o **ODS 15** Vida terrestre, que trata da conservação, recuperação e utilização sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce.

Atividade complementar

Uma possibilidade de ampliar os assuntos relativos às verminoses é pesquisar sobre a relação entre a falta de saneamento básico e a incidência de doenças no Brasil, principalmente as causadas por platelmintos e nematódeos.

Questões interessantes relacionadas a esse tema são: qual a porcentagem de residências e indústrias que estão ligadas a redes de tratamento de água e de esgoto? Que tipos de verminoses são mais frequentes em cada região do Brasil? Qual a relação entre essas verminoses e o sistema de saneamento básico existente na região? O final do trabalho pode ser uma campanha destinada à população com informações e dados para prevenir verminoses. A campanha pode incluir cartazes no mural da escola, folhetos informativos impressos e em mídias digitais.

O conteúdo da atividade relaciona-se com o **TCT Saúde**. Favorece também o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT310**, ao tratar do saneamento básico e das necessidades locais em relação a esses serviços. Contempla ainda as **competências gerais 4** e **5**, ao promover a utilização de diferentes linguagens para compartilhar informações, incluindo tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Resoluções e comentários

Em destaque

Colônia ou organismo?

1. As fisálias, ou caravelas, foram assim chamadas devido ao flutuador, que se assemelha a uma vela das antigas embarcações portuguesas.
2. O alto grau de integração entre os diferentes tipos de pólipos que compõem a caravela leva à impressão de que se trata de um único organismo com diferentes órgãos, e não uma colônia. A divisão de funções entre os pólipos da colônia coloca a caravela no limite entre colônia e organismo.

Dialogando com o texto

O branqueamento de corais

O branqueamento de corais está ocorrendo em vários lugares do mundo, atingindo os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. Entre 2023/2024, o calor desencadeou o branqueamento em massa de corais, fenômeno anteriormente registrada em 1998, 2010 e 2016. Mais da metade dos corais do mundo foi afetada pela quarta onda global de branqueamento, incluindo a Grande Barreira de Corais da Austrália e regiões costeiras da Tanzânia, das Ilhas Maurício e do Brasil, além de áreas no Mar Vermelho e no Golfo Pérsico. O branqueamento está diretamente relacionado às emissões de gases do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento dos oceanos.

A proposta relaciona-se ao **TCT Meio ambiente** e ao **ODS 14** Vida na água, que trata da proteção dos ecossistemas marinhos e costeiros. A atividade também favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT203** ao avaliar intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos.

Atividade em grupo

Verminoses humanas: esquistossomose e teníase

O agente causador da esquistossomose é o platelminto *Schistosoma mansoni*. No ciclo de vida do esquistossomo, os hospedeiros intermediários são caramujos de água doce do gênero *Biomphalaria*. Os principais sintomas da esquistossomose são diarreia, coceiras na pele, dor abdominal, aumento do baço e do fígado e sangramento intestinal.

Medidas de prevenção da esquistossomose são: instalação de saneamento básico, como coleta e tratamento de esgoto, combate aos possíveis criadouros de caramujos, evitar contato com água contaminada e a realização de ações educativas em saúde para a comunidade, informando sobre os riscos e modos de transmissão da esquistossomose.

O agente causador da teníase é o platelminto do gênero *Taenia*. Os principais sintomas da teníase são diarreia, dor abdominal, náuseas e vômitos, alterações no apetite, perda de peso, fadiga e anemia.

Algumas medidas de prevenção da teníase são: saneamento básico, evitar a ingestão de carne malcozida e o controle sanitário das criações de porco.

O conteúdo da atividade tem relação com o **TCT Saúde** e com o **ODS 6** Água potável e saneamento, que preconiza o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos. A atividade também colabora para o desenvolvimento da **competência geral 8** ao abordar medidas de prevenção de doenças causadas por platelmintos e nematódeos.

Atividade prática

Construindo um minhocário

A construção do minhocário favorece o desenvolvimento da **competência geral 2** e da habilidade **EM13CNT301**, ao recorrer a aspectos próprios das ciências, entre eles a elaboração de hipóteses e a investigação.

Educação midiática

Campanhas de utilidade pública

A atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**, uma vez que os estudantes são desafiados a interpretar textos de divulgação científica para a criação da campanha, e da habilidade **EM13CNT302** e da **competência geral 4**, ao propor a comunicação de informações por meio de diferentes linguagens, mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa A. Nas esponjas, o arqueócito é a célula responsável pela distribuição de alimento e pela formação de outros tipos celulares.

2. Alternativa E. O porócito é a célula atravessada por um canal que permite a entrada de água no corpo das esponjas.

3. Alternativa B. Os coanócitos, por meio do batimento de seus flagelos, promovem um fluxo de água que ajuda a capturar partículas de alimento e oxigênio.

4. Alternativa C. Na ascaridíase, a ingestão dos ovos ocorre, geralmente, por meio de água ou alimentos contaminados.

5. Alternativa A. As larvas do ancilóstomo penetram ativamente na pele, geralmente por meio dos pés, e podem migrar para os pulmões e, em seguida, para o intestino delgado, onde se estabelecem como adultos.

6. Alternativa C. A teníase é adquirida ao se consumir carne malcozida que contenha cisticercos, que é a forma larval da tênia. Esses cisticercos se desenvolvem em tênias adultas no intestino humano após a ingestão.

7. Alternativa D. A esquistossomose é adquirida quando uma pessoa tem contato com água contaminada com as larvas do parasita, conhecidas como cercárias. Essas larvas penetram ativamente na pele e, após um ciclo de desenvolvimento, podem causar a infecção.

8. Alternativa A. A cisticercose é adquirida pela ingestão de ovos da *Taenia solium,* que podem ser encontrados em alimentos ou água contaminados com fezes de pessoas infectadas.

9. Alternativa E. A ancilostomose é adquirida quando uma pessoa tem contato direto com solo contaminado com as larvas do parasita; geralmente a penetração das larvas ocorre pela pele, ao se andar descalço.

10. Alternativa C. Um artrópode apresenta exoesqueleto de quitina e apêndices corporais articulados.

11. Alternativa C. A notocorda é um suporte estrutural durante o desenvolvimento embrionário e desempenha papel importante como eixo de sustentação corporal do embrião. Em muitos cordados, a notocorda é substituída pela coluna vertebral no final do desenvolvimento embrionário.

12. Alternativa D. O tubo nervoso dorsal é um cilindro oco de origem ectodérmica, localizado ao longo do dorso dos embriões dos cordados.

13. Alternativa B. As fendas faringianas desempenham um papel importante no desenvolvimento do sistema respiratório e na formação de estruturas como brânquias em alguns vertebrados aquáticos.

14. Alternativa C. Mamíferos são exemplos de animais vivíparos.

15. Alternativa A. Aves, répteis, anfíbios e a maioria dos peixes são animais ovíparos.

16. Alternativa B. Nos ovovivíparos, o desenvolvimento embrionário ocorre dentro de ovos retidos no corpo das fêmeas.

17. Alternativa B. Aves e mamíferos são exemplos de animais endotérmicos.

18. Alternativa A. Animais ectotérmicos dependem de fontes externas de calor, como o Sol, por exemplo, para se aquecer e realizar as atividades vitais do metabolismo. São ectotérmicos a maioria dos répteis, anfíbios e peixes.

19. Alternativa D. O termo peixe é usado para designar animais aquáticos pertencentes aos grupos *Agnatha*, *Chondrichthyes* e *Osteichthyes*.

20. A atividade permite a integração com o componente curricular Matemática. Considerando a liberação média de 8 proglótides por dia, o número de ovos liberados será:

- Em um dia: 8 · 100 mil = 800 mil ovos.
- Em uma semana: 800 mil · 7 = 5.600.000 ovos (5 milhões e 600 mil ovos).
- Em um mês: 800.000 · 30 = 24.000.000 ovos (24 milhões de ovos).
- Em um ano: 800.000 · 365 = 292.000.000 ovos (292 milhões de ovos).

21. Peixes de grandes profundezas oceânicas são adaptados à grande pressão exercida pela água. Quando são trazidos rapidamente para a superfície, a pressão interna de seus corpos acaba suplantando a pressão externa, que diminui devido à subida. Com a pressão interna maior que a pressão externa, muitas vezes esses peixes literalmente explodem.

22. Alternativa B. Os coanócitos revestem as cavidades internas das esponjas e, ao baterem seus flagelos, criam um fluxo de água que ajuda na alimentação, na respiração e na excreção dos resíduos.

23. Alternativa D. Os ovos de áscaris podem contaminar os alimentos. Por isso é importante que frutas e verduras sejam bem lavadas, como medida profilática para a ascaridíase. A ingestão de carne de boi ou de porco mal-cozida e contaminada por larvas de tênia, os cisticercos, pode causar a teníase. Por isso é importante cozinhar bem as carnes como medida profilática para a teníase. Os ovos dos esquitossomos são eliminados nas fezes. Sem tratamento adequado do esgoto os ovos podem contaminar lagoas e reservatórios de água. Os ovos liberam larvas, que penetram no corpo de caramujos. Por isso, é importante não entrar em contato com água de lagos e de reservatórios onde haja caramujos: é uma medida profilática para a esquistossomose.

24. Alternativa E. Oncosferas e cisticercos referem-se à teníase.

25. Alternativa A. Nesse caso é possível que a criança tenha contraído a doença pela ingestão de frutas ou hortaliças cruas, contaminadas com ovos de tênia.

26. Alternativa D. Esses três animais pertencem ao filo dos artrópodes.

27. Alternativa E. As características mencionadas podem ser atribuídas a aves e répteis. O âmnio fornece um ambiente aquoso para o desenvolvimento do embrião, enquanto o alantoide está envolvido na excreção de resíduos e nas trocas gasosas. A casca calcária protege o ovo. O vitelo fornece nutrientes ao embrião em desenvolvimento.

28. Alternativa A. O diafragma desempenha um papel crucial na respiração, permitindo que os mamíferos realizem movimentos de inspiração e expiração. Quando o diafragma se contrai, a caixa toráxica se amplia, com diminuição da pressão interna, o que leva à entrada de ar nos pulmões. Na expiração, o diafragma se relaxa, e a caixa toráxica diminui, aumentando a pressão interna, o que força o ar para fora dos pulmões.

29. Alternativa C. A grande novidade evolutiva que permitiu aos répteis conquistarem o ambiente de terra firme foi o surgimento do ovo amniótico.

30. Alternativa C. Gases do sangue podem passar para a bexiga natatória, inflando-a, ou passar da bexiga para o sangue, esvaziando-a. O inflamento ou esvaziamento da bexiga natatória altera a densidade do corpo do peixe, possibilitando seu ajustamento a diferentes profundidades sem gasto de muita energia.

31. Trata-se de corais, cnidários com estruturas esqueléticas de calcário, que perduram após a morte dos animais formando rochas coralíneas, constituintes dos recifes.

32. As minhocas ingerem terra com detritos orgânicos, constituídos principalmente por matéria vegetal. Nessa atividade elas cavam galerias, que facilitam a aeração do solo e a respiração das raízes das plantas. Os excrementos das minhocas são ricos em compostos nitrogenados, constituindo o húmus, que fertiliza o solo e retém umidade.

Referências suplementares

JOKURA, T. Berçário de corais. **Pesquisa Fapesp**, maio 2021. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/bercario-de-corais/. Acesso em: 19 set. 2024.

O artigo discute as principais ameaças aos recifes de coral, entre elas, o branqueamento, e apresenta uma técnica inovadora criada para ajudar na preservação desses animais.

ESTUDO mostra as consequências da falta de saneamento básico no país, 2019. (2 min. 28 seg.). Publicado pelo canal TV Brasil. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=e8RCTcaTbAo. Acesso em: 19 set. 2024.

O vídeo mostra como a falta de saneamento básico afeta a vida dos brasileiros.

Capítulo 15 Nutrição, respiração, circulação e excreção na espécie humana

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer e justificar os fundamentos de uma dieta balanceada, necessária à manutenção de uma boa saúde.
- Conhecer a anatomia e a fisiologia básicas do sistema digestório humano e compreender o papel de cada um de seus órgãos no processo de digestão.
- Identificar as funções de glândulas associadas ao tubo digestório: glândula salivares, fígado e pâncreas.
- Conhecer os componentes básicos do sistema cardiovascular humano e compreender o papel de cada um deles no organismo.
- Conhecer a estrutura geral e as funções básicas do sistema linfático.

- Compreender a ação coordenada das sístoles e das diástoles cardíacas na circulação do sangue e conhecer os valores considerados normais para a pressão arterial sistólica (entre 120 mmHg e 130 mmHg) e para a pressão arterial diastólica (entre 70 mmHg e 80 mmHg).
- Representar por meio de esquemas o caminho do sangue na circulação pulmonar e na circulação sistêmica.
- Reconhecer o papel do sistema imunitário na defesa contra agentes estranhos e potencialmente perigosos ao organismo.
- Conhecer os componentes básicos do sistema respiratório humano e compreender o papel da hemoglobina no processo de hematose.
- Conhecer os componentes básicos do sistema urinário humano e compreender o papel de cada um deles no organismo.
- Conhecer a estrutura do néfron e compreender como ocorre a filtração do sangue nos glomérulos renais, a reabsorção de substâncias úteis e a eliminação de excreções na urina.

Este capítulo apresenta conceitos básicos de anatomia e fisiologia de sistemas corporais humanos. Integrando a exploração de conhecimentos científicos com atividades de reflexão sobre cuidados com o próprio corpo, o que favorece o desenvolvimento das **competências gerais 2** e **8**.

Ao compreender aspectos básicos da anatomia e da fisiologia dos sistemas digestório, circulatório e urinário, o estudante mobiliza a habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2** da BNCC, ao permitir identificar diferentes níveis de organização da vida pela análise de células, tecidos, órgãos e sistemas corporais, correlacionando-os às suas funções na manutenção da saúde. Na reflexão sobre alimentação adequada, o estudante mobiliza a habilidade **EM13CNT207** da **competência específica 2** da BNCC ao desenvolver a compreensão quanto aos cuidados que devemos ter para manter o bom funcionamento de nossos sistemas vitais.

Sugestões didáticas e comentários

O estudo do organismo humano favorece a compreensão de que o corpo de uma pessoa é um conjunto anatômico-funcional que integra vários sistemas de órgãos, o que leva à compreensão da necessidade de manter hábitos saudáveis para a manutenção do funcionamento harmonioso dos sistemas corporais.

A abertura do capítulo apresenta a reprodução de um desenho feito por Leonardo da Vinci, que representa um estudo anatômico dos principais órgãos e do sistema arterial de um torso feminino. Alguns órgãos, como o fígado, o baço e os rins, estão corretamente localizados, mas a disposição de alguns vasos e a representação da veia cava e da bifurcação aórtica apresentam imprecisões. O útero é representado como uma esfera grande com sete câmaras e vasos associados. Essa apresentação favorece a compreensão de que o conhecimento científico é historicamente construído e permite a análise de imagens históricas e artísticas, favorecendo o desenvolvimento das **competências gerais 1** e **3**.

O item *A nutrição humana* aborda assuntos como nutrição, dieta balanceada, dieta protetora e vitaminas são importantes em nosso cotidiano. Ao conhecer os tipos de alimentos, pode-se explorar estratégias de educação midiática e alertar os estudantes sobre a disseminação de informações falsas ou sem embasamento científico, especialmente nas redes sociais, que podem levar à adoção de dietas da moda, muitas vezes prejudiciais à saúde. Sugira a orientação de profissionais de saúde, como médicos e nutricionistas, antes de seguir qualquer plano alimentar. Ressalte a importância de uma avaliação personalizada, que considera aspectos como idade, estilo de vida e condições de saúde, para garantir uma nutrição segura e eficaz.

Pode ser realizada uma atividade interdisciplinar com Língua Portuguesa e Arte, para a produção de um pequeno fôlder, com texto informativo sobre dieta saudável e ilustrado por fotografias e/ou desenhos. O trabalho pode ser divulgado para toda a comunidade escolar. O desafio é utilizar diferentes linguagens para promover a informação e a discussão de assuntos de importância social. Este item possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**, por correlacionar o sistema digestório à nutrição saudável.

A abordagem sobre o sistema respiratório possibilita reforçar a importância de manter hábitos saudáveis, ressaltando os riscos não apenas do cigarro tradicional, mas também de outros dispositivos que vêm se popularizando entre os jovens, como narguilé, *pods* e *vapes*. Estimule os estudantes a pesquisarem em diferentes mídias os prejuízos à saúde causados por esses dispositivos ao sistema respiratório. Embora muitos desses produtos sejam comercializados como inofensivos ou até seguros, estudos mostram que a inalação de substâncias químicas presentes neles pode desencadear doenças respiratórias graves, como bronquite, asma e até lesões pulmonares irreversíveis. Pode-se propor reflexão crítica sobre o *marketing* desses produtos e como eles podem levar a novos hábitos prejudiciais, destacando a importância de decisões informadas em relação à saúde. Essa abordagem favorece o desenvolvimento da **competência geral 8** e do **TCT Saúde**.

Atividade complementar

Um tema interessante para pesquisa refere-se às doenças mais comuns que acometem o sistema circulatório humano. São válidas também descrições de experiências pessoais e com pessoas próximas.

Esta atividade complementar possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT302**, ao sugerir o compartilhamento das informações, por meio de infográficos, para a comunidade escolar, com o intuito de desenvolver a promoção de saúde; e **EM13CNT303**, por interpretar informações e dados que tratem de Ciências

da Natureza em diferentes mídias. Essa atividade também permite desenvolver a **competência geral 4**, por utilizar as linguagens visual e escrita para compartilhar informações que promovem a saúde pública.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Pesquisando sobre escorbuto e beribéri

A atividade propõe aos estudantes que pesquisem causas e sintomas do escorbuto e do beribéri. O escorbuto é causado pela carência de vitamina C, que leva a um enfraquecimento geral do organismo e, em alguns casos, a inflamações e hemorragias nas gengivas e mucosas do nariz e da boca, com eventual perda de dentes. Em casos graves pode ocorrer a morte da pessoa com escorbuto. A avitaminose C era muito comum entre os tripulantes de navios europeus na época das Grandes Navegações (séculos XV e XVI). A dieta a bordo era constituída basicamente de biscoitos duros e carne salgada, alimentos pobres em vitamina C, o que levava muitos marinheiros a serem afetados pelo escorbuto. Entretanto, bastava a ingestão de frutas frescas, sobretudo as cítricas (laranja e limão), para suprir a deficiência de vitamina C, fazendo a doença regredir rapidamente.

O beribéri resulta da carência de vitamina B1, a tiamina. Os principais sintomas dessa avitaminose são falta de energia, fadiga e insônia. A avitaminose B acometia principalmente os marinheiros japoneses na Idade Média, cuja dieta era baseada em arroz branco, pobre em legumes e em alimentos de origem animal. Beribéri significa, em cingalês (um idioma do Sri Lanka), "fraco, fraco" ou "eu não posso, eu não posso", frase supostamente pronunciada pelos marinheiros acometidos pela avitaminose B, sem disposição para realizar suas obrigações a bordo.

A atividade possibilita o trabalho interdisciplinar com o componente curricular História, ao propor pesquisas que envolvem circunstâncias históricas sobre o assunto nutrição. Explora também a habilidade **EM13CNT207**, ao propor pesquisas sobre avitaminoses, identificando assim vulnerabilidades vinculadas à deficiência nutricional e suas consequências à saúde; a habilidade **EM13CNT303**, por propor pesquisas e interpretação de textos que envolvem temáticas das Ciências da Natureza, como a nutrição, por exemplo; e **EM13CHS102**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, ao propor pesquisas que envolvem circunstâncias históricas sobre o assunto nutrição. Esta atividade também possibilita o desenvolvimento da **competência geral 4**, ao utilizar a linguagem escrita para expressar informações, e da **competência geral 8**, por reconhecer os prejuízos das avitaminoses, dessa forma destacando a importância do autocuidado com a saúde física, trabalhando também de forma integrada o **TCT Saúde.**

Atividade em grupo

Pesquisando sobre cólicas intestinais

A atividade propõe aos estudantes que formem grupos com colegas para pesquisar sobre cólicas intestinais. Esse desconforto abdominal é comum no cotidiano humano, acentuadamente em bebês nos primeiros meses de vida. Uma linha possível para guiar a atividade é entrevistar pessoas de diferentes idades sobre a eficiência ou não da medicina popular, como chás de diversos tipos, para alívio de cólicas intestinais.

A atividade, além de promover a aquisição de informações adicionais sobre o sistema digestório, possibilita aos estudantes entrar em contato com a chamada medicina popular.

Essa seção possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, por comunicar resultados e discutir as vivências e conhecimentos populares relacionados à medicina popular, dialogando com o **TCT Saúde**. A **competência geral 4** também é favorecida, uma vez que os estudantes são estimulados a utilizar diferentes linguagens para compartilhar informações.

Atividade prática

Medindo a frequência cardíaca

A atividade permite enfatizar a importância de hábitos saudáveis para manter a pressão arterial em níveis adequados, conteúdo que tem relevância relacionada ao **TCT Saúde**.

Em destaque

A aids

O surgimento da aids remonta ao início dos anos 1980, quando médicos nos Estados Unidos começaram a identificar um aumento incomum de casos de infecções raras, como o sarcoma de Kaposi e a pneumonia por *Pneumocystis carinii*, em homens jovens e saudáveis. Em 1981, o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos EUA publicou os primeiros relatos sobre esses casos, inicialmente observados em homens *gays* em cidades como Nova York, Los Angeles e San Francisco.

Essas infecções indicavam uma grave deficiência imunológica nos pacientes, mas na época a causa ainda era desconhecida. A nova condição foi denominada Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (aids), e a princípio associada a grupos específicos, como homens *gays*, usuários de drogas injetáveis e hemofílicos, o que levou a um forte estigma e discriminação.

Em 1983, pesquisadores do Instituto Pasteur, na França, identificaram o vírus causador da aids, que foi denominado HIV (sigla para a denominação em inglês de vírus da Imunodeficiência Humana).

A epidemia cresceu rapidamente durante a década de 1980, afetando milhões de pessoas ao redor do mundo. Inicialmente, houve muita desinformação, preconceito e resistência em reconhecer a aids como uma questão de saúde pública que afetava toda a população, não apenas grupos específicos. À medida que mais pessoas foram diagnosticadas, incluindo celebridades e figuras públicas, a gravidade da doença ganhou maior visibilidade, resultando em mais pesquisas científicas e avanços no tratamento.

Na década de 1990, o desenvolvimento de medicamentos antirretrovirais trouxe esperança ao permitir o controle da infecção e melhorando significativamente a qualidade de vida dos portadores do HIV, embora não seja uma cura. Desde então, o tratamento evoluiu, tornando a aids uma condição crônica, mas gerenciável, para muitas pessoas.

Entrevistar familiares ou pessoas que vivenciaram o surgimento da aids pode enriquecer a compreensão sobre como as notícias sobre a doença impactaram a vida cotidiana, revelando memórias pessoais e reações da comunidade.

O conteúdo desta seção está diretamente relacionado ao **TCT Saúde** e ao **ODS 3** Saúde e Bem-estar, por contribuir para o esclarecimento e controle de diferentes epidemias, entre elas a de aids.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. Um organismo que se alimenta de produtos variados, tanto de origem animal quanto de origem vegetal, é chamado onívoro.

2. Alternativa A. Dieta é o conjunto de tipos de alimentos que ingerimos e suas respectivas quantidades.

3. Alternativa B. Nutrição é o conjunto de processos pelos quais células assimilam substâncias nutritivas.

4. Alternativa D. Vitamina é uma substância orgânica necessária em pequenas quantidades, mas que o organismo é incapaz de sintetizar.

5. Alternativa B. Frequência cardíaca é o número de vezes que o coração bate em dado intervalo de tempo.

6. Alternativa D. A contração de uma câmara cardíaca é chamada sístole.

7. Alternativa A. Diástole é o nome da ação de relaxamento das câmaras cardíacas.

8. Alternativa C. A musculatura do coração é denominada miocárdio.

9. Alternativa C. Pressão diastólica é a pressão do sangue nas artérias durante o relaxamento dos ventrículos.

10. Alternativa D. Pressão sistólica é a pressão do sangue nas artérias durante a contração dos ventrículos.

11. Alternativa A. A grande circulação (circulação sistêmica) é o trajeto que o sangue faz do coração para o corpo e deste de volta ao coração.

12. Alternativa B. O trajeto que o sangue faz do coração para os pulmões e destes de volta ao coração é chamado pequena circulação (circulação pulmonar).

13. Alternativa B. Quando ocorre a sístole dos ventrículos, as grandes artérias relaxam, o que faz a pressão sanguínea em seu interior diminuir.

14. Alternativa C. O HIV é um vírus muito perigoso porque ataca e destrói os linfócitos T auxiliadores (CD4), cuja função é comandar a resposta imunitária.

15. Alternativa C. Quando os músculos das costelas e do diafragma se contraem, a cavidade torácica amplia-se. Com isso, sua pressão interna diminui, o que ocasiona a inspiração.

16. Alternativa D. À medida que o filtrado glomerular percorre o túbulo do néfron, sua composição química se altera. Isso ocorre principalmente devido à reabsorção de substâncias no túbulo, as quais voltam para o sangue.

17. a. A é o estômago, B é o intestino delgado e C é a boca. O estômago tem pH ácido (entre 1,5 e 3,5) devido à presença do ácido clorídrico, o que indica a região A. O intestino delgado tem pH levemente alcalino (em torno de 7 a 8), indicando B. A boca, com pH neutro ou levemente ácido (em torno de 6,5 a 7), corresponde à região C.

b. A (estômago): Pepsina, que digere proteínas em peptídeos; B (intestino delgado): Amilase pancreática, que digere amido em maltose; lipase, que digere lipídios em ácidos graxos e glicerol; C (boca): Amilase salivar, que digere amido em maltose.

18. Alternativa A. Pepsina — presunto (proteínas); lipase — manteiga (lipídios); amilase — pão francês (amido); sacarase — suco de laranja (açúcar) e queijo (lactose). A amilase digere carboidratos, a lipase atua em lipídios, a pepsina digere proteínas e a sacarase quebra a sacarose, presente em frutas como a laranja.

19. Alternativa A. O duodeno é a principal região onde ocorre a digestão de nutrientes, recebendo secreções biliares e pancreáticas. A remoção dessa região comprometeria a digestão, o que afetaria a absorção de nutrientes de forma significativa.

20. Alternativa C. As vacinas contêm partes inativas ou enfraquecidas de patógenos, ou moléculas que simulam a infecção, estimulando o sistema imunológico a produzir anticorpos e memória imunológica, conferindo proteção contra futuras infecções.

21. Alternativa E. A ureia é o principal produto final do metabolismo das proteínas. Quando a ingestão de proteínas aumenta, o corpo metaboliza os aminoácidos e o nitrogênio é convertido em ureia, que é excretada pelos rins.

22. A respiração pulmonar envolve a troca de gases entre os pulmões e o ambiente, permitindo a entrada de gás oxigênio no sangue e a eliminação de gás carbônico. A respiração celular utiliza o oxigênio para gerar energia (ATP) nas mitocôndrias, liberando dióxido de carbono como subproduto, que é eliminado pelos pulmões. Os dois processos são interdependentes porque a respiração celular depende do oxigênio obtido pela respiração pulmonar, enquanto a respiração pulmonar elimina o gás carbônico gerado na respiração celular.

Referências suplementares

CELLS at work!. Direção de Kenichi Suzuki e outros. Tóquio: David Production, 2018. 24 min. (14 episódios).

Em tradução livre, *Células no trabalho* é uma animação que aborda os conteúdos de imunologia de forma lúdica, apresentando as células de forma antropomorfizadas. Os personagens principais são um glóbulo vermelho e um neutrófilo que é retratado como um policial. Os episódios fazem diversas analogias a reações do corpo contra ameaças variadas, como um arranhão, o vírus da gripe, a alergia e até o surgimento de uma célula cancerígena.

UNIVERSIDADE Federal de Alfenas. **Histologia interativa**. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/histologiainterativa/celulas-do-sangue-e-hematopoiese/. Acesso em: 23 set. 2024.

Aborda as principais informações sobre o sangue e seus componentes e ainda apresenta imagens de lâminas histológicas das principais células.

Capítulo 16 Integração nervosa e hormonal, revestimento e movimentação do corpo humano

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer o sistema nervoso central e periférico, bem como seus respectivos componentes.
- Identificar as principais células do sistema nervoso – neurônios e gliócitos – e explicar suas funções.
- Conhecer o papel das sinapses e dos mediadores químicos na transmissão do impulso nervoso.
- Conhecer os principais tipos de células sensoriais – quimiorreceptores, mecanorreceptores, fonorreceptores e fotorreceptores – e os órgãos em que ocorrem, como a boca, a pele, as orelhas e os olhos.
- Conhecer as principais glândulas endócrinas humanas e seus respectivos hormônios.
- Conhecer algumas disfunções endócrinas: diabetes insípido, gigantismo, nanismo, hipertireoidismo, hipotireoidismo, cretinismo e diabetes melito.
- Conhecer a estrutura e as funções da pele humana e das estruturas anexas à pele, como pelos, glândulas e unhas.
- Conhecer a estrutura e as funções básicas do sistema musculoesquelético humano.
- Conhecer a miofibrila, relacionando sua estrutura com sua função na contração muscular.
- Explicar a importância do antagonismo muscular na realização dos movimentos corporais.

Este capítulo relaciona conceitos básicos de anatomia e fisiologia de alguns sistemas do corpo humano, como os sistemas nervoso, endócrino, esquelético e muscular, além dos sentidos corporais. Essa abordagem integra conhecimentos relacionados a saúde física, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 8**.

A compreensão desses conceitos favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202** da **competência específica 2**, ao promover conhecimentos sobre os órgãos e sistemas do corpo humano.

Sugestões didáticas e comentários

Na abertura do capítulo é discutida a integração e a importância de diversos sistemas corporais no funcionamento do corpo humano, exemplificada com movimentos e sensações da dança.

No item *Os sentidos corporais*, são estudados os principais sentidos do corpo humano, que contribui para o desenvolvimento da **competência geral 9**, por estimular o exercício da empatia e o respeito à diversidade.

Assuntos relacionados aos órgãos dos sentidos possibilitam refletir sobre a necessidade da inclusão social de pessoas com diversos tipos de deficiência, sejam elas motoras, sensoriais ou mentais. Todo ser humano é único e merece ser respeitado como tal. As propostas deste item do capítulo possibilitam o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT207**, por tratar das vulnerabilidades de pessoas com deficiência e dos desafios que elas enfrentam para se integrar ao mercado de trabalho.

Os estudantes podem pesquisar na internet sobre a Lei nº 7.853, de 24 de outubro de 1989, que define a acessibilidade às pessoas com deficiências visuais, sua integração ao mercado de trabalho e a educação adequada e adaptada. A Coordenadoria para a integração da Pessoa Portadora de Deficiência é a entidade responsável pela coordenação e pela fiscalização do cumprimento da lei. Esta atividade mobiliza o desenvolvimento da **competência geral 9** ao estimular a empatia e o diálogo e promover o respeito ao outro e aos direitos das pessoas com deficiência.

O estudo do olho humano, no subitem *Visão*, permite a integração com o conteúdo de Física no que se refere à óptica e às lentes. Converse com o professor de Física sobre a possibilidade de realizar uma atividade conjunta abordando problemas de visão, como presbiopia (vista cansada), miopia e hipermetropia, e os tipos de lente necessários para sua correção.

Estimule a reflexão sobre o trabalho conjunto realizado por células, tecidos, órgãos e sistemas, que resulta na vida e na saúde de um ser humano, e a utilizar essas reflexões para avaliar abordagens médicas excessivamente pontuais, que não levam em conta o organismo como uma totalidade física, mental e emocional. Como a escola e outros ambientes que frequentamos estão prontos para receber pessoas com dificuldades de locomoção? Essa abordagem propicia o trabalho com a habilidade **EM13CNT207**, por meio da discussão de vulnerabilidades às quais as pessoas estão expostas ao estudar aspectos físicos do corpo humano. Além disso, trabalha a **competência geral 8**, ao abordar questões de saúde pública.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Umami: o quinto sabor

Esta atividade sugere pesquisar sobre o quinto sabor, o umami. Uma possibilidade de abordar o tema é entrevistar diferentes pessoas sobre os sabores percebidos, perguntando se o entrevistado conhece ou já sentiu o sabor umami. Esse sabor se manifesta em alimentos ricos em aminoácidos, como queijo parmesão, tomate, cogumelos e carnes.

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT303**, por propor aos estudantes que pesquisem e interpretem textos sobre temáticas das Ciências da Natureza.

Aplicando conhecimentos

Detectando o ponto cego da retina

A atividade tem por objetivo a detecção do ponto cego do olho humano. Se a experiência não funcionar para alguns estudantes, sugira que eles desenhem uma cruz e um círculo em uma folha branca, com maior separação entre um e outro.

Discuta com os estudantes que o ponto cego é o local da retina por onde passa o nervo óptico, que se conecta ao cérebro. Nesse local não há células fotorreceptoras.

Dialogando com o texto

Cor da pele humana

A atividade procura desmistificar e negar o argumento de que a Biologia pode segregar seres humanos em raças, muito utilizado em diversos momentos da história. Alguns materiais podem ser indicados aos estudantes, como o artigo "Racismo: como a ciência desmantelou a teoria de que existem diferentes raças humanas", da BBC Brasil; e o artigo "Uma abordagem conceitual das noções de raça, racismo, identidade e etnia", do Prof. Dr. Kabengele Munanga. Esses materiais são indicados na seção *Referências suplementares*.

A atividade se relaciona com a **competência geral 9**, com a habilidade **EM13CNT207** e com o **TCT Cidadania e civismo**.

Mundo do trabalho

Dança e esporte

Esta seção tem por objetivo estimular a reflexão acerca do projeto de vida e do mundo do trabalho, destacando possibilidades de atuação profissional e da cultura jovem, desse modo favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 6**.

O conhecimento de fisiologia humana em atividades como danças e esportes ajuda a prevenir e colaborar na recuperação de lesões, compreender como ossos, músculos e tendões trabalham juntos pode ajudar na prática adequada da atividade e na implementação de estratégias de recuperação mais eficazes.

O conteúdo desta seção está diretamente relacionado aos **TCTs Saúde** e **Multiculturalismo**.

Em destaque

Robôs e próteses robóticas

Esta seção explora a relação entre ficção científica e tecnologia real, destacando como o escritor Isaac Asimov antecipou debates que ainda permanecem relevantes na atualidade. Sugira aos estudantes que leiam o livro *Eu, robô*, de Isaac Asimov, e assistam ao filme homônimo, o que pode proporcionar um debate interessante sobre os avanços tecnológicos atuais.

O tema da seção dialoga com o **TCT Ciência e Tecnologia**, ao demonstrar como o conhecimento científico pode ser usado a favor da sociedade com a criação de próteses robóticas que substituem membros e órgãos, melhorando a qualidade de vida de muitas pessoas. A atividade propõe reflexões acerca de temas polêmicos, como ética e moral, sobre o uso de próteses robóticas e da inteligência artificial e a desigualdade no acesso às inovações tecnológicas.

Dialogando com o texto

Pessoas com deficiência

Algumas tecnologias que facilitam a mobilidade de pessoas com deficiência física são cadeiras de rodas motorizadas, exoesqueletos robóticos, próteses inteligentes, rampas e plataformas elevatórias. Em relação a deficiência visual, algumas tecnologias que ajudam a promover a independência e interação são leitores de tela e dispositivos que transformam o texto digital para a escrita braile e equipamentos como *notebooks* com teclados em braile.

Ao levantar os dados sobre a população de pessoas com deficiência no Brasil e informações sobre tecnologias que podem melhorar a qualidade de vida dessas pessoas, é possível concluir que as condições social, econômica e étnico-racial, por exemplo, influenciam no acesso igualitário a oportunidades, direitos e serviços. Esse conteúdo está diretamente relacionado ao **TCT Cidadania e civismo** e ao **ODS 10** Redução das desigualdades que promove a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. A descrição corresponde a uma célula do tecido muscular.
2. Alternativa B. Células de revestimento corporal pertencem ao tecido epitelial.
3. Alternativa D. A transmissão de impulsos nervosos é feita por células do tecido nervoso.
4. Alternativa C. O sentido correto de propagação do impulso nervoso em um neurônio é: dendrito, corpo celular e axônio.
5. Alternativa D. O nervo é um filamento formado por fibras nervosas envoltas por tecido conjuntivo, que se projeta do sistema nervoso central.
6. Alternativa B. A descrição corresponde a um gânglio nervoso.
7. Alternativa A. Hormônio é uma substância química produzida por células especializadas e que, pela circulação, atinge outras células do corpo modificando seu funcionamento.
8. Alternativa B. A função dos cones nos olhos é a percepção de cores.
9. Alternativa B. A presença do curare no corpo impede a contração dos músculos esqueléticos.
10. Alternativa C. O tecido epitelial desempenha as funções de revestimento de superfícies e cavidades, absorção, secreção e percepção sensorial.
11. Alternativa E. A sinapse é a região de encontro entre os neurônios e entre neurônios e órgãos, onde ocorre a transmissão química de impulsos elétricos.
12. Alternativa A. No gráfico, o hormônio alterado é a insulina, a glândula produtora desse hormônio é o pâncreas.
13. O suor, ao evaporar, absorve grande quantidade de calor do corpo, resfriando-o. Quando a temperatura do corpo sobe, impulsos nervosos provocam dilatações dos vasos sanguíneos dérmicos, fazendo com que maior quantidade de sangue passe a circular na pele. Com isso, aumenta a irradiação de calor para o meio e o corpo esfria.

Referências suplementares

BOVE, L. C. Racismo: como a ciência desmantelou a teoria de que existem diferentes raças humanas. **BBC News Brasil**, jul. 2020. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral-53325050. Acesso em: 9 out. 2024.

O artigo levanta argumentos científicos e sociais para combater o racismo.

MUNANGA, K. **Uma abordagem conceitual das noções de raça, racismo, identidade e etnia**. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://www.ufmg.br/inclusaosocial/?p=59. Acesso em: 9 out. 2024.

O artigo faz uma abordagem social sobre as questões de raça, etnia e racismo.

UNIDADE 3 BIOLOGIA DAS POPULAÇÕES

Capítulo 17 A herança genética

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Estar informado sobre a contribuição de Gregor Mendel à Genética e reconhecer o pioneirismo de seu raciocínio probabilístico aplicado à hereditariedade.
- Identificar as características da ervilha que levaram Mendel a escolhê-la para seus estudos sobre hereditariedade.
- Conceituar os termos dominante e recessivo e explicar a lei da segregação dos fatores.
- Reconhecer que o comportamento dos cromossomos na meiose explica a segregação dos fatores mendelianos.
- Representar, por meio de esquemas ou modelos, a segregação dos cromossomos e dos alelos na meiose.
- Conceituar genótipo e explicar sua relação com o fenótipo.
- Conhecer os princípios de construção de heredogramas.
- Conhecer as bases genéticas dos grupos sanguíneos ABO e Rh e compreender por que determinadas transfusões de sangue entre algumas pessoas são incompatíveis ou não recomendadas devido ao risco de problemas imunitários.
- Compreender os princípios envolvidos na incompatibilidade sanguínea entre mãe e filho relacionados ao sistema Rh

Os objetivos de aprendizagem se articulam com as habilidades **EM13CNT202**, por esperar dos estudantes que analisem manifestações da vida ao investigar sistemas e estruturas do corpo humano, e **EM13CNT207**, ao esperar que os estudantes identifiquem e discutam vulnerabilidades às quais as pessoas estão expostas as ações dos hormônios no organismo.

O capítulo inicia-se com uma abordagem histórica do estudo da Genética, favorecendo a compreensão de como os conhecimentos científicos são produzidos e estimulando a curiosidade dos estudantes, favorecendo o desenvolvimento das **competências gerais 1** e **2** e da **competência específica 2**. Ao ressaltar a importância do conhecimento a respeito dos tipos sanguíneos, o capítulo favorece o desenvolvimento da **competência geral 8** e a mobilização da habilidade **EM13CNT207**, ao estimular os estudantes a se conhecerem e cuidarem da própria saúde

O objetivo de identificar as características da ervilha que levaram Mendel a escolhê-la para seus estudos sobre hereditariedade favorece a discussão da evolução dos conhecimentos em Genética, mobilizando a habilidade **EM13CNT201**.

Os dados provenientes de estudos genéticos podem ser abordados e analisados utilizando noções de probabilidade, o que mobiliza a habilidade **EM13MAT312**, da área de Matemática e suas Tecnologias, relativa à resolução de problemas envolvendo cálculos de probabilidades e a habilidade **EM13CNT205**, que explora a análise da probabilidade da ocorrência fenômenos naturais.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo chama a atenção dos estudantes para a importância do estudo da Genética, apresentando brevemente os trabalhos de Mendel com as ervilhas-de-cheiro, que serão aprofundados ao longo do capítulo.

Essa abordagem revela a importância histórica dos trabalhos de Mendel para o avanço das descobertas científicas da Genética, trabalhando a **competência geral 1**, que trata da utilização e valorização dos conhecimentos historicamente construídos.

O destaque do primeiro item do capítulo é o pensamento científico de Mendel, que deduziu, com base em cruzamentos experimentais, as leis básicas da herança biológica.

O item *A lei da segregação e os fatores hereditários* possibilita explorar a habilidade **EM13CNT205** ao interpretar os resultados dos experimentos realizados por Mendel, o que requer noções de probabilidades, possibilitando uma atividade interdisciplinar com a Matemática. O estudo dos experimentos de Mendel também permite trabalhar a **competência geral 1**, ao levar os estudantes a reconhecer a importância histórica de seus trabalhos para a Genética.

O item *Herança de grupos sanguíneos na espécie humana* trata de sistemas de grupos sanguíneos humanos: ABO e Rh. É relevante ressaltar a importância de conhecer o tipo de sangue quanto a esses dois sistemas e manter essa informação junto com os documentos pessoais, desenvolvendo assim a **competência geral 8**, ao estimular a adoção de cuidados com a saúde física e emocional.

O capítulo também destaca a incompatibilidade materno-fetal quanto ao sistema Rh, que pode levar à eritroblastose fetal, ou doença hemolítica do recém-nascido (DHRN). A compreensão de que a eritroblastose pode ser evitada por meio de um procedimento médico apropriado no momento do parto relaciona-se com a habilidade **EM13CNT207**, que aborda as ações de prevenção e de promoção da saúde e bem-estar.

Resoluções e comentários

Em destaque

Probabilidades aplicadas à Genética

A atividade propõe a resolução de um problema envolvendo probabilidades: qual a chance de três filhos de um casal serem dois do sexo feminino e um do sexo masculino. Há três possibilidades de satisfazer a condição estipulada: a) as duas primeiras crianças serem do sexo feminino (F) e a terceira do sexo masculino (M), com probabilidade de $\frac{1}{8}(\frac{1}{2}\,F \times \frac{1}{2}\,F \times \frac{1}{2}\,M)$; b) a primeira e a terceira crianças serem do sexo feminino e a segunda, do sexo masculino, com probabilidade de $\frac{1}{8}(\frac{1}{2}\,F \times \frac{1}{2}\,M \times \frac{1}{2}\,F)$; c) a primeira criança ser do sexo masculino e as duas últimas, do sexo feminino, com probabilidade de $\frac{1}{8}(\frac{1}{2}\,M \times \frac{1}{2}\,F \times \frac{1}{2}\,F)$. As probabilidades das três situações devem ser somadas, já que se aplica, nesse caso, a "regra do ou", pois ocorre uma ou outra situação. Assim, a probabilidade final é a soma das probabilidades individuais: $\frac{1}{8}+\frac{1}{8}+\frac{1}{8}=\frac{3}{8}$.

A seção possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT205**, ao estudar a aplicação de noções de probabilidade em exercícios de Genética e da habilidade da área de Matemática e suas Tecnologias **EM13MAT312**, relativa à resolução de problemas envolvendo cálculos de probabilidades. A integração entre Biologia e Matemática pode ser proveitosa em questões básicas relativas à teoria das probabilidades. Se for conveniente, pode-se realizar uma atividade conjunta com professores de Matemática para integrar essas áreas do conhecimento e uniformizar a conceituação e a linguagem nas diferentes áreas.

Dialogando com o texto

Heredograma da família

A atividade sugere a elaboração de um heredograma familiar. Embora esse levantamento familiar seja pedagogicamente interessante, pode eventualmente gerar desconforto ou constrangimento quanto a laços familiares. Por esse motivo, sugerimos deixar a critério de cada estudante fazer ou não o heredograma de sua família.

Exercício resolvido

Resolvendo problemas de Genética

Construir ou interpretar um heredograma exige que os estudantes dividam um problema maior em partes menores e mais manejáveis, como a determinação do genótipo de cada indivíduo. Isso utiliza princípios do pensamento computacional, em que situações complexas são decompostas em seus componentes de maior simplicidade.

O item possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT301**, por requerer que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; **EM13CNT205**, ao aplicar noções de probabilidade em exercícios de Genética; e da habilidade da área de Matemática e suas Tecnologias **EM13MAT312**, na resolução de problemas.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. A questão oferece oportunidade para relembrar a formação dos gametas por meiose.
2. Alternativa A. No caso de dominância, dois alelos podem condicionar até dois fenótipos.
3. Alternativa C. Na dominância incompleta, dois alelos podem determinar 3 fenótipos, já que o heterozigoto apresentará fenótipo diferente dos fenótipos dos dois homozigotos.
4. Alternativa D. Uma célula com genótipo *Aa* origina, ao fim da meiose, quatro células, duas com o alelo *A* e duas com o alelo *a*.
5. Alternativa A. Uma célula com genótipo *Aa* origina, ao fim da mitose, duas células, cada uma com os alelos *A* e *a*.

6. Alternativa A. O chamado cruzamento-teste, em que se cruza um indivíduo de fenótipo dominante (*AA* ou *Aa*) com um de fenótipo recessivo (*aa*), revela que o indivíduo testado é homozigótico se sua descendência for constituída por 100% de indivíduos com fenótipo dominante.

7. Alternativa D. O cruzamento-teste revela que um indivíduo de fenótipo dominante é heterozigótico se sua descendência for constituída por 50% de indivíduos com fenótipo dominante e 50% com fenótipo recessivo.

8. Alternativa B. Ela pode receber de pessoas A e O.

9. Alternativa C. Ela pode receber de pessoas B e O.

10. Alternativa A. Ela é uma receptora universal.

11. Alternativa D. Ela é uma doadora universal e pode receber apenas de pessoas O.

12. Alternativa C. Uma pessoa do grupo sanguíneo AB tem genótipo I^AI^B, enquanto uma pessoa do grupo O tem genótipo ii. Os possíveis genótipos dos filhos de um casal com esses fenótipos seriam I^Ai (tipo A) e I^Bi (tipo B).

13. Alternativa D. Duas pessoas do grupo sanguíneo AB podem gerar filhos com os genótipos I^AI^A (tipo A), I^BI^B (tipo B), e I^AI^B (tipo AB). Portanto, seus filhos podem ter sangue dos tipos A, B ou AB, mas não O.

14. Alternativa B. Eritroblastose fetal ocorre quando a mãe é Rh^- e o pai é Rh^+. Se o feto herda o fator Rh^+ do pai, o sistema imunológico da mãe pode atacar as células sanguíneas do feto, levando à eritroblastose fetal. Isso não ocorre quando ambos os pais são Rh^+ (situação I) ou ambos são Rh^- (situação IV), pois, na primeira situação, o feto não teria células sanguíneas Rh^- para serem atacadas, e na segunda, não há conflito, já que todos os envolvidos seriam Rh^-. Portanto, a eritroblastose fetal pode ocorrer apenas na situação II, em que a mãe é Rh^- e o pai é Rh^+.

15. a) Os casais 1 × 2 e 6 × 7 tiveram filhos homozigóticos recessivos, sendo portanto heterozigóticos. O indivíduo 8 é também heterozigótico, pois sua mãe (3) é homozigótica recessiva.

b) O indivíduo 4, filho do casal de heterozigóticos (1 × 2), pode ser homozigótico dominante ou heterozigótico. A probabilidade de ser homozigótico é $\frac{1}{3}$ e de ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$.

c) Se o indivíduo 4 for homozigótico dominante, a chance de ele vir a ter um filho homozigótico recessivo com a mulher 3 será zero. No entanto, a chance de ele ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$ e, nesse caso, a chance de ele vir a ter um filho homozigótico recessivo com a mulher 3 será de 50% ou $\frac{1}{2}$. A resposta final à questão é obtida multiplicando a probabilidade de ele ser heterozigótico pela probabilidade de vir a ter um filho homozigótico recessivo, ou seja, a resposta é $\frac{1}{3}$.

16. Alternativa C. Mendel, ao remover as anteras da flor da planta homozigótica de alta estatura (para evitar autofecundação) e ao colocar pólen de uma planta homozigótica de baixa estatura sobre o estigma, garantiu que os gametas masculinos (contidos nos grãos de pólen) introduzidos possuíam alelos para baixa estatura. Assim, ele promoveu o cruzamento entre uma planta com alelos para alta estatura e outra com alelos para baixa estatura, essencial para seus estudos sobre a herança genética.

17. Alternativa E. A ausência de aglutininas no exame sorológico indica que o garoto possui sangue do tipo AB, pois o tipo AB não possui aglutininas anti-A ou anti-B. Para que o filho tenha esse genótipo, os pais devem ter os alelos I^A e I^B, sendo, portanto, I^Ai e I^Bi.

18. Alternativa E. O cruzamento-teste é um cruzamento entre um indivíduo com fenótipo dominante e outro que é homozigoto recessivo. Ele é usado para determinar se o indivíduo com fenótipo dominante é homozigoto (todos os descendentes terão o fenótipo dominante) ou heterozigoto (cerca de 50% dos descendentes terão o fenótipo recessivo).

19. Alternativa B. O cruzamento entre plantas de flores cor-de-rosa (*Rr*) resultará em descendentes com proporções 1:2:1 de vermelhas (*RR*), cor-de-rosa (*Rr*) e brancas (*rr*).

20. Alternativa B. O genótipo das espécies permanece idêntico, porém as diferentes condições de iluminação a que foram submetidas foram responsáveis pelas diferenças observadas nos fenótipos.

21. a) Poderiam ser utilizados os tipos A e O. O primeiro, por ser do mesmo tipo, e o tipo O, por ser doador universal, ou seja, suas hemácias não apresentam nenhum dos dois aglutinogênios.

b) A probabilidade é de $\frac{1}{4}$ ou 25%:

Pais: mulher I^Ai x homem I^Bi

Geração possível: $\frac{1}{4}\ I^AI^B : \frac{1}{4}\ I^Ai : \frac{1}{4}\ I^Bi : \frac{1}{4}\ ii$

$P(I^AI^B) = \frac{1}{4}$ ou 25%

Referência suplementar

SILVA, A. L.; SAKAMOTO, L.; BACCIN, A. **Simulador Mendeliano Online**. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023. Disponível em: https://eic.ifsc.usp.br/simulador-mendeliano-online/. Acesso em: 27 set. 2024.

Este simulador é uma ferramenta educacional desenvolvida pelo Instituto de Física de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Permite a visualização e experimentação de cruzamentos genéticos baseados nas Leis de Mendel, facilitando o aprendizado sobre herança genética.

Capítulo 18 As bases cromossômicas da herança

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer os experimentos de Mendel que envolviam duas características simultaneamente e compreender a essência da segregação independente dos fatores e como ela se traduz nas proporções fenotípicas da descendência.
- Aplicar conhecimentos sobre segregação independente e probabilidades na resolução de problemas de Genética.
- Representar a segregação independente de genes localizados em cromossomos diferentes por meio de esquemas ou de modelos do processo meiótico.
- Conceituar interação gênica e compreender como ela determina a cor da pelagem em cães labradores.
- Compreender por que genes localizados no mesmo cromossomo não se segregam independentemente e explicar esse fato por meio de esquemas e de modelos da meiose.
- Compreender por que as frequências de recombinação entre genes ligados permitem estimar sua distância relativa e elaborar mapas gênicos.
- Aplicar conhecimentos sobre ligação gênica e probabilidades para resolver problemas de Genética.
- Compreender e explicar os processos de determinação genética do daltonismo e da hemofilia.
- Aplicar os conhecimentos relativos à herança de genes localizados em cromossomos sexuais e à probabilidade na resolução de problemas que envolvem cruzamentos genéticos.

A abordagem histórica-filosófica de temas genéticos desenvolvida neste capítulo está conectada às **competências gerais 1** e **2** da BNCC, que referem-se à valorização dos conhecimentos historicamente construídos e à abordagem própria das ciências.

A abordagem de temas do capítulo por meio de atividades como a simulação de cruzamentos genéticos, a utilização de quadros de Punnett e o estudo de heredogramas estimulam a análise de dados empíricos e incentivam a formulação de hipóteses, contemplando as habilidades **EM13CNT201**, **EM13CNT205** da **competência específica 2** e **EM13CNT301** e **EM13CNT302** da **competência específica 3**. Ao desenvolver essas habilidades, os estudantes são desafiados a aplicar noções de probabilidade na previsão dos resultados de cruzamentos, além de construir hipóteses e interpretá-las com base em modelos experimentais.

Sugestões didáticas e comentários

Na abertura deste capítulo, são valorizados os estudos de Walter Sutton, que relacionou as ideias de Mendel sobre hereditariedade à observação dos cromossomos durante a meiose em gafanhotos. Essa abordagem conecta o conteúdo clássico da genética mendeliana com o entendimento moderno da localização dos genes nos cromossomos e incentiva o desenvolvimento da **competência geral 1** da BNCC, que trata da valorização da construção histórica dos conhecimentos científicos.

O tema *Interação gênica* é exemplificado por meio da análise da herança da cor da pelagem em cães da raça labrador. Nesse caso, a cor da pelagem é determinada por dois genes principais: um que controla a produção de pigmento (preto ou marrom) e outro que influencia se o pigmento será depositado no pelo (produzindo um labrador de cor dourada). Trata-se de um exemplo clássico de epistasia recessiva, em que os alelos recessivos de um gene mascaram a expressão de outro gene.

O padrão de herança de genes ligados ao cromossomo sexual X é exemplificado com genes causadores da hemofilia e do daltonismo na espécie humana.

O conceito de compensação de dose em mamíferos é introduzido, ao se abordar o fenômeno da inativação do cromossomo X nas fêmeas. Esse fenômeno é visualizado na formação do corpúsculo de Barr, que pode ser observado em microscopia óptica.

Resoluções e comentários

Atividade prática

Simulando a segregação independente de genes

Nesta atividade prática o foco é proporcionar aos estudantes uma compreensão do processo de segregação independente que ocorre na meiose. A atividade utiliza materiais simples, como massa de modelar ou barbantes e círculos de papel para representar cromossomos e seus alelos. Isso permite que os estudantes visualizem e simulem o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular.

A simulação possibilita trabalhar a habilidade **EM13CNT202**, ao analisar como fenômenos que ocorrem no nível do processo meiótico afetam a formação dos gametas e as características dos indivíduos que deles resultam.

A construção dos modelos e a simulação da segregação independente dos genes favorecem habilidades relacionadas ao trabalho em equipe, à organização de ideias e à comunicação. Além disso, a atividade permite trabalhar a habilidade **EM13CNT301**, ao propor a representação e interpretação de modelos explicativos e da habilidade **EM13CNT205**, ao utilizar noções de probabilidade para o entendimento de processos biológicos. Ao recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão e a análise crítica, a atividade também favorece o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Exercício resolvido

Resolvendo problemas de Genética

Este exercício, que envolve os sistemas ABO e RH de grupos sanguíneos, contribui para o desenvolvimento do pensamento computacional.

Atividade em grupo

Você conhece o *pedigree* do seu cão?

Nesta atividade, os estudantes têm a oportunidade de explorar a herança genética de uma maneira prática e acessível, entrevistando donos de cães labradores sobre a ancestralidade e características genéticas dos animais. A atividade conecta conceitos de genética com a prática da comunicação oral e o uso de ferramentas tecnológicas, promovendo uma abordagem interdisciplinar.

Os estudantes podem usar ferramentas digitais para realizar as entrevistas, como gravadores de áudio ou vídeo e aplicativos de edição para preparar a apresentação final. A utilização de mídias digitais é uma oportunidade para estimular o uso de tecnologias na comunicação de conteúdo científico, favorecendo a habilidade **EM13CNT302**.

Atividade em grupo

O desafio da caixa-preta

A atividade permite entender como os cientistas obtêm dados a partir de observações indiretas, de forma semelhante ao que ocorre na investigação científica. Os fenômenos biológicos muitas vezes não podem ser observados diretamente e exigem métodos indiretos de estudo, como os utilizados por Mendel, que deduziu leis fundamentais da genética a partir de observações de descendência. A atividade permite trabalhar habilidades importantes, como a formulação de hipóteses e a avaliação crítica de evidências, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. Uma célula duplo-heterozigótica *AaBb*, em que os alelos *Aa* situam-se em um par de cromossomos homólogos, e os alelos *Bb* situam-se em outro par de homólogos, formará dois tipos de células haploides ao final da meiose. Os genótipos dessas células dependerão, no entanto, da maneira como os pares de cromossomos se orientam, um em relação ao outro, na metáfase I da meiose. Nessa fase da divisão meiótica, há duas possibilidades de orientação desses dois pares de cromossomos homólogos em relação aos polos da célula.

- Possibilidade 1: O cromossomo portador do alelo dominante *A* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo dominante *B*; consequentemente, o cromossomo com o alelo recessivo a orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo recessivo *b*.
- Possibilidade 2: O cromossomo portador do alelo dominante *A* orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo recessivo *b*; consequentemente, o cromossomo com o alelo recessivo a orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo com o alelo dominante *B*.

Caso ocorra a possibilidade 1, formam-se, ao final da meiose, duas células AB e duas células ab. Caso ocorra a possibilidade 2, formam-se, ao final da meiose, duas células *Ab* e duas células *aB*.

2. Alternativa B. Nas células que sofrem meiose, as possibilidades 1 e 2 mencionadas na resposta da questão anterior têm a mesma probabilidade de ocorrer. Assim, em cerca de 50% das células ocorrerá a possibili-

dade 1 com formação de gametas *AB* e *ab*. Nos outros 50% das células, ocorrerá a possibilidade 2 com formação de gametas *Ab* e *aB*. Consequentemente, um indivíduo duplo-heterozigótico quanto aos genes *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, produzirá quatro tipos de gametas na proporção de 1 *AB* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *ab*.

3. Alternativa D. O cruzamento de dois indivíduos duplo-heterozigóticos *AaBb* resultará na proporção fenotípica de 9:3:3:1 respectivamente com os genótipos *A_B_*, *A_bb*, *aaB_* e *aabb*. Isso ocorre porque na combinação aleatória dos 4 tipos de gametas formados pelos indivíduos duplo-heterozigóticos (confira na resposta da questão anterior) formam-se quatro típos de classes fenotípicas como mencionado.

4. Alternativa C. As mesmas porcentagens de gametas formados indicam que os alelos *A* e *B* estão em cromossomos diferentes, segregando de forma independente, conforme as leis de Mendel.

5. Alternativa C. Os números mostram que os diferentes tipos de gametas não se formaram na mesma proporção como esperado no caso de segregação independente dos dois genes, mostrando a ocorrência de ligação gênica. Isso significa que os alelos dos genes *A* (*A* e *a*) e *B* (*B* e *b*) estão localizados no mesmo cromossomo e, portanto, não se segregam independentemente.

6. a) No cruzamento entre plantas de flores vermelhas duplo-heterozigóticas *AaCc* com plantas de flores creme *Aacc*, a proporção fenotípica esperada é de $\frac{3}{8}$ de plantas com flores vermelhas ($\frac{1}{8}$ *AACc* + $\frac{2}{8}$ *AaCc*) : $\frac{3}{8}$ de plantas com flores creme ($\frac{1}{8}$ *AAcc* + $\frac{2}{8}$ *Aacc*) : $\frac{2}{8}$ de plantas com flores brancas ($\frac{1}{8}$ *aaCc* + $\frac{1}{8}$ *aacc*).

b) As plantas cruzadas apresentavam flor vermelhas e flores creme. Plantas de flores vermelhas tem genótipo *A_C_* e plantas de flores creme tem genótipo *A_cc*.

A descendência era constituída por plantas de flores vermelhas, portanto com genótipo *A_C_*, e plantas com flores brancas *aa__*. Esquematizando o cruzamento temos:

Geração P :	*A_C_*	×	*A_cc*
	vermelha		creme
Geração F1:	*A_C_*	e	*aa__*
	vermelha		branca

A planta F1 de flores brancas recebeu um alelo recessivo *a* de cada um dos parentais, portanto ambos são heterozigotos *Aa*. A ausência de plantas de flores creme em F1 indica que a planta parental de flores vermelhas é homozigota *CC*, pois se ela fosse heterozigota *Cc*, teriam sido geradas plantas *cc* em F1, que teriam flores creme. Pode-se concluir, portanto, que as plantas da geração P tinham genótipos *AaCC* e *Aacc*.

7. a) Os genótipos dos indivíduos do heredograma são: Indivíduo 1 (*CcVv*), Indivíduo 2 (*Ccvv*), Indivíduo 3 (*C_Vv*), Indivíduo 4 (*C__vv*), Indivíduo 5 (*ccVv*), Indivíduo 6 (*C_vv*), e Indivíduo 7 (*C_Vv*). A presença ou ausência de crista e penas preta ou vermelha são determinadas pelos genes *C/c* e *V/v*, respectivamente.

b) O cruzamento entre o indivíduo 1 (*CcVv*) e o indivíduo 5 (*ccVv*) resultará nas seguintes proporções fenotípicas: $\frac{3}{8}$ com crista e penas pretas, $\frac{1}{8}$ com crista e penas vermelhas, $\frac{3}{8}$ sem crista e com penas pretas, e $\frac{1}{8}$ sem crista e penas com vermelhas.

8. Alternativa C. O cruzamento entre *Mmbb* × *mmBb* envolve dois pares de alelos que segregam independentemente. Para obter um filhote marrom (*mm*), a probabilidade é $\frac{1}{2}$, e um filhote com manchas (*bb*), a probabilidade é $\frac{1}{2}$. Portanto, a probabilidade de um filhote marrom com manchas é $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

9. Alternativa D. Se o organismo é diploide com 2n = 4 e heterozigótico para dois genes, as proporções de gametas formados seguem a segregação independente dos genes. Assim, um indivíduo heterozigótico para dois genes formará 4 tipos de gametas (*AB*, *Ab*, *aB*, *ab*), e a proporção desses gametas será 1:1:1:1.

10. Alternativa B. O homem tem sangue tipo A (I^A_) Rh+ (*R_*) e a mulher tem sangue tipo O (*ii*) Rh- (*rr*). O primeiro filho tem sangue O (*ii*) Rh– (*rr*). Com base nessas informações os genótipos podem ser determinados: o homem tem genótipo $I^A i$ *Rr* pois teve um filho tipo O (*ii*) Rh-(*rr*); a mulher tem genótipo iirr.

Um segundo filho desse casal pode ter genótipo $I^A i$ *Rr*, $I^A i$ *rr*, *ii Rr* ou *iirr*, com 25% de chance para cada tipo. Portanto a probabilidade ter o mesmo genótipo que o irmão é de 25%.

11. a) A conclusão de que o parental macho é duplo heterozigótico é porque ele apresenta fenótipos dominantes para ambas as características e teve descendentes homozigóticos recessivos também para ambas, marrons e malhados. A fêmea parental é marrom e, portanto, homozigótica recessiva para essa característica.

Como teve descendentes malhados, conclui-se que ela é também heterozigótica quanto ao gene para padrão de pelagem.

b) O filho preto e branco tem genótipo *Ddmm*. Se ele for cruzado com uma fêmea de genótipo igual ao de sua mãe (*ddMm*), podem ser gerados 4 tipos de descendentes na proporção de 25% *DdMm* : 25% *Ddmm* : 25% ddMm : 25% ddmm, ou seja, 25% iguais a ele.

12. O cruzamento entre as duas linhagens (*AAbb* × *aaBB*) produzirá 100% de descendentes duplo-heterozigóticos (*AaBb*). Estes ao serem cruzados entre si produzirão $\frac{1}{16}$ de descendentes homozigóticos recessivos *aabb* cujo fenótipo será caule curto e frutos ovais.

13. O esperado pelo pesquisador ocorreria se os genes em questão estivessem em cromossomos diferentes e se segregassem independentemente. Como isso não ocorreu, conclui-se que os dois genes estão no mesmo cromossomo, ou seja, estão ligados, ou em *linkage*. A ligação entre eles não é completa porque na meiose ocorre permutação entre cromossomos homólogos, recombinando genes de origem materna e paterna, localizados em um mesmo par de homólogos. O indivíduo duplo-heterozigótico apresentava os alelos dominantes *A* e *B* em um mesmo cromossomo e os alelos recessivos no cromossomo homólogo. Na formação dos gametas ocorreu permutação entre os dois genes em 20% dos pares de cromossomos, resultando nos 10% de cromossomos recombinantes *aB* e 10% *Ab*.

14. a) A célula pode formar gametas *AbD*, *Abd*, *aBD* e *aBd*.

b) Os pares de alelos *A/a*, *D/d* e *B/b* têm segregação independente.

Referência suplementar

BARROSO, F. R. G. Relato de uma aula prática de genética no ensino médio: tipagem sanguínea – sistema ABO e fator Rh. **Os futuros da educação:** contribuições para a superação das desigualdades. Fortaleza: Secretaria da Educação do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: https://www.ced.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/82/2023/07/OS-FUTUROS-DA-EDUCACAO-5.pdf#page=86. Acesso em: 25 set. 2024.

O artigo descreve a importância do ensino investigativo da Biologia em escolas de Ensino Médio. A atividade prática envolveu a coleta de sangue para identificar tipos sanguíneos nos sistemas *ABO* e *Rh*, favorecendo a aprendizagem significativa.

Capítulo 19 Genética e biotecnologia na atualidade

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conceituar melhoramento genético, compreendendo e exemplificando o conceito de heterose ou vigor híbrido.
- Conhecer os princípios básicos da manipulação genética e algumas de suas aplicações – clonagem molecular, identificação de pessoas, produção de transgênicos etc.
- Conhecer e compreender o que são organismos transgênicos e aplicar esses conhecimentos na formação de opinião a respeito desse tema.
- Conhecer as metas e os resultados do Projeto Genoma Humano, explicando suas possíveis aplicações em benefício da humanidade.
- Valorizar o conhecimento científico e reconhecer sua importância para a formação de opinião e a participação consciente em debates sobre temas polêmicos, como aqueles que envolvem clonagem e organismos transgênicos.

O capítulo aborda conceitos centrais da biotecnologia, como melhoramento genético, heterose, variabilidade genética, engenharia genética e organismos transgênicos. A partir de uma abordagem baseada na investigação científica e no debate ético, o capítulo visa estimular os estudantes a compreenderem como intervenções genéticas podem impactar os organismos e o ambiente, além de desenvolver uma visão crítica e fundamentada sobre as implicações dessas tecnologias. O objetivo é proporcionar uma compreensão global do papel da genética e da biotecnologia no contexto atual, e como esses conhecimentos podem ser aplicados em benefício da humanidade, como no caso do Projeto Genoma Humano. Nesse sentido, a habilidade **EM13CNT202**, da **competência específica 2**, será trabalhada ao explorar como modificações nos genes afetam as características dos seres vivos e geram novas variedades de plantas e animais. A habilidade **EM13CNT301**, da **competência específica 3**, é contemplada por meio da avaliação de hipóteses e experimentos científicos, enquanto a **EM13CNT304**, da **competência específica 3**, permite que os estudantes debatam de maneira ética e fundamentada as controvérsias em torno da utilização de tecnologias envolvendo o DNA. A **competência geral 1** é desenvolvida ao estimular a utilização e a valorização do conhecimento científico historicamente construído, possibilitando participar de maneira crítica e consciente em debates sociais sobre clonagem, transgênicos e outras questões polêmicas.

Sugestões didáticas e comentários

As temáticas apresentadas neste capítulo possibilitam o trabalho interdisciplinar com os componentes curriculares Filosofia e Sociologia, abordando questões éticas e morais que envolvem a utilização de tecnologias que utilizam conhecimentos sobre Genética.

O texto da abertura do capítulo aborda o desenvolvimento de tecnologias a partir de conhecimentos sobre a natureza do DNA e do código genético, entre elas a produção de organismos transgênicos.

No item *Melhoramento genético* são abordados alguns processos da tecnologia de melhoramento genético em organismos de interesse comercial, ressaltando como o conhecimento científico tem possibilitado otimizar essa tecnologia. É importante que os estudantes compreendam que o melhoramento é uma prática antiga e que antes do advento da Genética se baseava em conhecimentos do senso comum, selecionando empiricamente características de interesse por meio de cruzamentos dirigidos.

Um aspecto a ser salientado é que processos de seleção geralmente levam à diminuição da variabilidade genética; consequentemente, características de interesse podem ser selecionadas juntamente com genes deletérios. Isso explica a ocorrência frequente de doenças genéticas nas chamadas "raças puras".

Os conhecimentos sobre a natureza do DNA e da codificação genética vêm sendo aplicados ao desenvolvimento de tecnologias de manipulação dos genes no que se convencionou chamar de Engenharia Genética. O enfoque deste item está nas ferramentas bioquímicas empregadas para tal fim, as enzimas de restrição, que permitem cortar o DNA em pontos específicos.

Os principais seres vivos utilizados na manipulação genética são bactérias e vírus. Atualmente os cientistas são capazes de utilizar as técnicas de manipulação de genes, por exemplo, na produção de medicamentos.

No último item do capítulo, é tratado o Projeto Genoma Humano, que mapeou a sequência de nucleotídios do DNA dos cromossomos humanos. O Projeto Genoma Humano exemplifica um momento em que ciência, ética e interesses comerciais se encontraram suscitando discussões sobre a apropriação de informações genéticas e os direitos sobre patrimônios da humanidade.

É interessante destacar que o mapeamento do genoma humano trouxe avanços significativos, mas que o acesso a essa informação genética também acarreta implicações éticas, relacionadas ao uso indevido desses conhecimentos. Um exemplo são as reiteradas tentativas de empresas de biotecnologia de patentear genes humanos. Ao patentear um gene, a empresa titular da patente poderia exigir licenças para sua utilização, com desigualdade no acesso a novas tecnologias de saúde. Esse conteúdo favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT305**, ao propor a discussão sobre o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Pesquisando o melhoramento genético

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT302**, ao propor a comunicação dos resultado das pesquisas feitas pelos estudantes por meio de um texto com dados apresentados em tabelas e gráficos, **EM13CNT303**, ao possibilitar aos estudantes a análise e interpretação de textos que tratam de temáticas das Ciências da Natureza e **EM13CNT304**, ao sugerir a análise de temas controversos da área de Ciências da Natureza. A atividade também mobiliza a **competência geral 4**, ao utilizar a linguagem escrita e conhecimentos de matemática para partilhar informações. Nesse contexto, o **TCT Ciência e Tecnologia** também é contemplado, pois a atividade discute como os avanços científicos no campo da biotecnologia, como o melhoramento genético, influenciam a sociedade e o mercado, destacando o impacto da ciência e da tecnologia no aumento da eficiência produtiva e na inovação econômica.

Dialogando com o texto

Clonagem

Esta seção permite trabalhar a habilidade **EM13CNT304** ao analisar implicações éticas e sociais relacionadas à clonagem, tanto no campo biológico quanto tecnológico. Pode-se promover reflexões sobre a clonagem nessas duas perspectivas, levantando, por exemplo, discussões que envolvem a clonagem de organismos e a perda de privacidade e segurança de dados. É possível também propor um debate sobre a aplicação do conhecimento científico de maneira crítica e ética. Essa abordagem dialoga com o **TCT Ciência e Tecnologia**.

Em destaque

Separação eletroforética de fragmentos de DNA

1. Seriam produzidos dois tipos de fragmentos.

2. Seriam obtidas três faixas na eletroforese. Os fragmentos menores, de 12 nucleotídios, seriam os mais velozes, seguidos pelos de 40 e pelos de 62 nucleotídios.

O conteúdo desta seção está relacionado ao **TCT Ciência e tecnologia**.

Atividade prática

Simulando a identificação de pessoas pelo DNA

Para esta atividade, é necessário providenciar previamente os materiais que serão empregados, como fotocópia das páginas, tesouras e lápis. As questões podem ser respondidas individualmente ou em grupo, e a correção pode ser feita coletivamente, estimulando que os próprios estudantes expliquem uns aos outros suas dúvidas.

Ao analisar os padrões obtidos na eletroforese, espera-se que os estudantes desvendem que o criminoso (questão *a*) e o pai da criança (questão *b*) são, respectivamente, os indivíduos P2 e P1.

Essa atividade desenvolve o pensamento computacional ao decompor problemas complexos como a identificação criminal e exclusão de paternidade, reconhecer padrões em sequências de DNA e organizar informações para tomada de decisão.

A **competência geral 1** é mobilizada ao incentivar os estudantes a valorizar o conhecimento científico e sua aplicação prática na sociedade, enquanto a **competência geral 2** pode ser trabalhada ao estimular a curiosidade e a capacidade investigativa ao simular o processo de eletroforese. A habilidade **EM13CNT205** é favorecida na interpretação dos resultados da atividade e a habilidade **EM13CNT301** é contemplada no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Em destaque

Bactérias produzindo proteínas humanas

A produção de hormônios de crescimento, insulina e outras substâncias de interesse por meio da clonagem em bactérias é um processo biotecnológico que revolucionou o tratamento de diversas doenças. Pode-se levantar informações sobre as principais etapas do processo, sobre outros exemplos de produtos obtidos pela clonagem e sobre eventuais vantagens em utilizar essa técnica. Esse conteúdo está relacionado ao **TCT Ciência e tecnologia**.

A atividade se relaciona à habilidade **EM13CNT303** ao estimular a interpretação de textos de divulgação científica que tratam das Ciências da Natureza.

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas em:

- Pílula Farmacêutica 104: Insulina sintética é produzida por técnicas genômicas. **Jornal da USP**, 16 maio 2022. Disponível em: https://jornal.usp.br/podcast/pilula-farmaceutica-104-insulina-sintetica-e-produzida-por-tecnicas-genomicas/
- Hormônio de crescimento em tamanho grande. **Pesquisa Fapesp**, jun. 2001. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/hormonio-de-crescimento-em-tamanho-grande-2/

Acessos em: 28 set. 2024.

Mundo do trabalho

A Genética na agropecuária brasileira

Nesta seção os estudantes podem conhecer a importância da engenharia genética e da biotecnologia no setor agropecuário e como essas inovações impactam a economia e o mercado de trabalho. O conteúdo da seção está diretamente relacionado ao **TCT Ciência e Tecnologia**, além de dialogar com o **ODS 2** Fome zero e agricultura sustentável, que visa a garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar novas práticas agrícolas que aumentem a produtividade e a produção de modo sustentável e com o **ODS 9** Indústria, inovação e infraestrutura, que objetiva fortalecer a pesquisa científica.

A habilidade **EM13CNT304** é desenvolvida ao abordar a utilização da engenharia genética na agropecuária, permitindo analisar os impactos econômicos, ambientais e éticos dessas inovações.

A habilidade **EM13CNT310** é estimulada ao analisar como a ciência e a tecnologia podem contribuir para melhorar a qualidade de vida, aumentando a produtividade agrícola e promovendo a sustentabilidade. Uma discussão interessante é como a biotecnologia e o desenvolvimento de novas linhagens de plantas e animais podem ajudar a enfrentar o desafio da fome global.

A proposta de escrever um texto reflexivo sobre as diferentes formações profissionais necessárias para atuar na área agropecuária e biotecnológica, relacionando isso com suas próprias aspirações de carreira, estimula a valorização da ciência e da tecnologia e destaca o papel da educação e da qualificação profissional para atuação no mercado de trabalho.

Educação midiática

Polêmicas envolvendo organismos transgênicos

A atividade envolve pesquisa, análise e discussão sobre os organismos transgênicos na alimentação humana, conteúdo diretamente relacionado ao **TCT Ciência e tecnologia**. A atividade também favorece o desenvolvimento de habilidades da educação midiática e da capacidade de argumentação.

A **competência geral 4** é mobilizada na atividade ao utilizar diferentes linguagens (verbal, escrita e digital) para expressar ideias e partilhar opiniões.

A **competência geral 7** é trabalhada ao promover o desenvolvimento de argumentos baseados em fatos e dados confiáveis sobre organismos transgênicos. Ao analisar as implicações da utilização de transgênicos na alimentação humana, podem ser levantados aspectos relacionados à saúde e aos potenciais riscos ao ambiente, além de questões éticas e econômicas envolvidas, possibilitando aos estudantes a construção de visões críticas sobre o tema.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa C. O melhoramento genético permite a criação de variedades mais produtivas ou resistentes a condições ambientais adversas.
2. Alternativa A. A Engenharia Genética inclui a modificação de genes e a criação de organismos geneticamente modificados.
3. Alternativa C. Um organismo transgênico possibilita a expressão de características que não seriam naturais na espécie original.
4. Alternativa D. A clonagem molecular permite a amplificação de genes ou sequências genéticas para pesquisa e aplicação em biotecnologia.
5. Alternativa A. A eletroforese é a técnica utilizada para separar fragmentos de DNA com base no seu tamanho, permitindo a identificação e análise dos fragmentos gerados por enzimas de restrição.
6. Alternativa D. A ovelha Tracy, com o gene humano para a produção de antitripsina, é um exemplo de transgênico, pois carrega um gene de outra espécie em seu genoma.
7. Alternativa D. As enzimas de restrição cortam o DNA em pontos específicos, facilitando a introdução de genes humanos em bactérias para a produção de hormônios como a insulina.
8. Alternativa C. Organismos transgênicos possuem parte da informação genética de outro ser vivo, o que lhes permite expressar características de outra espécie.
9. Alternativa C. A resistência de uma planta transgênica a pragas é resultado da ação do produto do gene inserido na planta, que age contra os insetos-praga, tornando a planta resistente.
10. Alternativa C. No milho híbrido, a heterozigose (presença de alelos diferentes de diversos genes) aumenta a produção e melhora a qualidade comercial das espigas.
11. Alternativa A. O sequenciamento do genoma humano significa que os cientistas determinaram a sequência de nucleotideos dos cromossomos humanos.
12. **a)** As endonucleases de restrição cortam o DNA em locais específicos, enquanto as ligases unem fragmentos de DNA de diferentes origens, permitindo a formação de moléculas recombinantes.
    b) A tecnologia do DNA recombinante permite o isolamento de fragmentos de DNA (genes) de interesse, sua multiplicação em bactérias e sua inserção em organismos de espécies diferentes. Os organismos que recebem o DNA de outra espécie são chamados transgênicos.
    c) Insulina, somatostatina e hormônio de crescimento são exemplos de substâncias humanas produzidas em bactérias por meio da tecnologia do DNA recombinante. A soja transgênica resistente a herbicidas e o milho Bt resistente a insetos-praga são outros exemplos.

Referências suplementares

IAMARINO, A. **Por que precisamos de um mapa do ser humano**. 2022. 1 vídeo (13 min). Publicado pelo canal Átila Iamarino. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DshWwE4sVqY. Acesso em: 10 set. 2024.

Vídeo que analisa desdobramentos do Projeto Genoma Humano.

LOOS, P. **Como o CRISPR Funciona? (Edição Genética Explicada)**. 2021. 1 vídeo (12 min). Publicado pelo canal Ciência todo dia. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=EGgOpyKm6oQ. Acesso em: 10 set. 2024.

Vídeo que mostra uma técnica muito usual de engenharia genética, a CRISPR.

Capítulo 20 Os fundamentos da evolução biológica

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer as principais diferenças entre concepções evolucionistas e criacionistas sobre a origem das espécies.
- Compreender os principais aspectos das teorias de Lamarck e de Darwin sobre evolução biológica.
- Conhecer e compreender algumas das principais evidências da evolução biológica: documentário fóssil e semelhanças anatômicas, fisiológicas e bioquímicas entre os organismos.
- Caracterizar órgãos homólogos e órgãos análogos, reconhecendo os primeiros como evidências da evolução biológica e os segundos como resultado da adaptação de seres vivos a modos de vida semelhantes.
- Compreender que a teoria sintética da evolução resultou da integração dos novos conhecimentos genéticos ao darwinismo.
- Reconhecer que a mutação gênica e a recombinação dos genes são os dois principais fatores responsáveis pela variabilidade biológica, sobre a qual atua a seleção natural.
- Explicar a adaptação dos seres vivos pela ação da seleção natural, usando como exemplos a camuflagem, a coloração de aviso e o mimetismo.

Este capítulo trata da evolução biológica. Conhecer as principais diferenças entre o criacionismo e o evolucionismo, as ideias evolucionistas de Lamarck e de Darwin, as principais evidências da evolução biológica e a teoria sintética da evolução contempla a habilidade **EM13CNT201**, da **competência específica 2**. A perspectiva adotada no capítulo, que utiliza conhecimentos historicamente construídos sobre o tema, favorece o desenvolvimento da **competência geral 1**, além de auxiliar no desenvolvimento da **competência geral 3**.

Sugestões didáticas e comentários

A ilustração na abertura do capítulo destaca a visão mítica sobre a criação presente nas bíblias hebraica e cristã, que narra a criação do universo por um deus único, eterno e soberano. A ciência busca explicar fenômenos naturais por meio da interpretação lógica de fatos inerentes à própria natureza, sem lançar mão de aspectos místicos ou sobrenaturais. As verdades científicas estão em contínua reformulação, à medida que o conhecimento científico avança.

O capítulo apresenta hipóteses pioneiras sobre a evolução da vida, comparando-as à teoria evolucionista aceita atualmente. Por estudar a evolução em uma perspectiva histórica, comparando diversas explicações para o surgimento e a evolução da vida, e por proporcionar o estudo de princípios da evolução biológica, o capítulo favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**. Além disso, o estudo das primeiras hipóteses sobre a evolução dos seres vivos e das evidências históricas da evolução colabora para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**, que tratam de aspectos próprios das ciências, como a interpretação de dados, a elaboração de previsões e de hipóteses, reconhecendo os limites explicativos das ciências. Tratar aspectos históricos da evolução valoriza o conhecimento historicamente construído, com oportunidades para desenvolver a **competência geral 1**.

Se for conveniente, pode-se conversar com o professor do componente curricular Química sobre a possibilidade de abordar conjuntamente o tema da datação de rochas e de fósseis em função da meia-vida dos isótopos radioativos. A interpretação dos dados que permitem datação de fósseis por meio de isótopos radioativos colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT103**.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Religiões e evolucionismo

Religião e ciência apresentam visões diferentes sobre determinados assuntos. Enquanto as religiões geralmente se apoiem em dogmas e verdades inquestionáveis, a ciência baseia-se na observação de fatos e testes de hipóteses.

Dialogando com o texto

Conhecendo melhor as Ilhas Galápagos

As Ilhas Galápagos estão localizadas no Oceano Pacífico, a aproximadamente 800 km a oeste da costa do Equador. O arquipélago é composto de treze ilhas principais, seis ilhas menores e várias ilhotas e rochas. O clima equatorial caracteriza essa região, com temperaturas médias anuais de cerca de 24-28 °C. As Ilhas Galápagos são conhecidas por sua biodiversidade; alguns animais típicos dessa região são os jabutis gigantes, iguanas marinhas e os pinguins das Galápagos; cactos e plantas de mangue caracterizam a flora da região. Nas Ilhas Galápagos Darwin observou diferenças nas características da carapaça de jabutis rela-

cionadas com as condições ambientais de cada ilha. Darwin também observou que havia várias espécies de pássaros tentilhões com diferentes formas de bico, adaptados a diferentes hábitos alimentares. Essas observações foram essenciais para as conclusões de Darwin na elaboração da teoria da evolução.

Dialogando com o texto

A domesticação de plantas e animais

A domesticação de plantas e animais envolve a seleção artificial feita pela humanidade. Alguns exemplos são:

- Trigo: essa planta foi selecionada por características desejáveis como grãos maiores e mais nutritivos, levando aos diferentes tipos de trigo da atualidade.
- Milho: domesticado a partir de uma planta selvagem do México, a seleção de espigas maiores e mais produtivas resultou nas variedades de milho atuais.
- Gado: a seleção a partir de características como tamanho e produção de leite resultou em raças como a Holandesa (leiteira) e a Angus (carne).
- Cão: a seleção de características relacionadas ao comportamento e às habilidades resultaram na variedade de raças atuais.

Aspectos históricos desse tema podem ser trabalhados de modo interdisciplinar com o componente curricular História. A seleção artificial teve início com a domesticação de plantas e animais na pré-história. Na Antiguidade, civilizações como os egípcios praticavam a seleção artificial para melhorar as colheitas, além da domesticação de animais para alimento e trabalho. Na Idade Média, a seleção artificial foi impulsionada pelo aumento da demanda de alimentos. Nesse período, também foram desenvolvidas plantas para resistir a pragas e doenças. Os séculos XVIII, XIX e XX foram marcados pelas ideias de Darwin sobre a seleção artificial, desenvolvimento da Genética e melhoramento de culturas. No século XXI, conhecimentos em Biotecnologia começaram a ser empregados na seleção artificial de plantas e animais.

Em destaque

Thomas Malthus e o crescimento de populações

Em Matemática, progressão é uma sequência numérica regida por algum tipo de lei ou padrão bem definido. Em uma progressão aritmética, cada termo da sequência, a partir do segundo, é obtido pela adição do anterior a um valor constante chamado razão da PA. Em uma progressão geométrica, cada termo, a partir do segundo, é obtido pela multiplicação entre o anterior e um valor constante chamado razão da PG. Por meio da construção de gráficos, observa-se que uma PG com primeiro termo e razão iguais aos de uma PA evolui (cresce ou decresce) muito mais rapidamente. Para Malthus, a produção de alimentos crescia a uma taxa inferior à do crescimento populacional, assim como os termos de uma PA crescem em relação aos de uma PG, considerando as mesmas condições iniciais. As previsões de Malthus não levaram em conta os fatores que limitam o crescimento populacional nem o desenvolvimento de novas técnicas de cultivo de alimentos.

Além de trabalhar de modo interdisciplinar com o componente curricular Matemática a seção favorece o desenvolvimento da **competência geral 4**, ao propor a utilização de conhecimentos em matemática e da linguagem escrita para partilhar informações.

Educação midiática

O contrabando de fósseis

A seção apresenta um caso em que as redes sociais foram utilizadas como ferramenta para exercício da cidadania. Ao longo da seção, são delineados os modos de planejamento e execução essenciais para a criação de ações comunicativas eficientes, incentivando o estudante a refletir sobre suas práticas e escolhas como autor de conteúdo, de modo que são mobilizadas as **competências gerais 2** e **5**. Além disso, é mobilizada a habilidade **EM13CNT302**, ao estimular os estudantes a apresentar para os colegas os resultados de sua campanha.

Ressaltamos a importância da interdisciplinaridade para ampliar o trabalho desta seção. A colaboração com professores de Língua Portuguesa certamente aprofundará a abordagem, sobretudo na elaboração do roteiro.

Durante as apresentações dos trabalhos, convém estimular os diversos grupos a opinarem sobre o projeto dos colegas, valorizando as colaborações construtivas. Após as apresentações, é possível propor uma discussão em sala de aula sobre as diferentes abordagens, desafios encontrados e aprendizados durante o processo.

É interessante estimular os estudantes a colocarem em prática as campanhas que idealizaram. Essa experiência favorece o exercício da cidadania, trabalhando o **TCT Cidadania e Civismo** e aprofunda o trabalho com alfabetização midiática.

Atividade em grupo

Antibióticos e seleção da resistência em bactérias

Antibióticos podem atuar como agentes seletivos que eliminam bactérias sensíveis e permitem que bactérias resistentes sobrevivam e se reproduzam, originando populações resistentes.

O desenvolvimento de resistência bacteriana é um grande desafio para a saúde pública mundial porque linhagens resistentes sobrevivem aos tratamentos comuns com antibióticos, levando à maiores riscos à saúde. O artigo indicado nas *Referências suplementares* desse capítulo pode ajudar nas discussões em sala de aula sobre o tema.

A utilização de antibióticos demanda obrigatoriedade de receita médica para sua compra, política adotada em vários países, incluindo o Brasil. A prescrição médica favorece o monitoramento e vigilância da resistência bacteriana.

O conteúdo da atividade tem relevância relacionada aos **TCTs Saúde** e **Ciência e tecnologia**, além de favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302** e da **competência geral 4** ao promover o uso de diferentes linguagens para partilhar informações.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. Além de ossos petrificados, os registros fósseis podem ser pegadas impressas em rochas, fezes petrificadas, animais conservados no gelo, troncos de árvores petrificados etc.
2. Alternativa D. A teoria sintética da evolução resultou da incorporação de conhecimentos genéticos ao darwinismo.
3. Alternativa A. A teoria de Darwin admite que os seres vivos mais adaptados ao ambiente têm maior sucesso reprodutivo e que a adaptação resulta da interação do organismo com o ambiente.
4. Alternativa C. A teoria de Lamarck sugere que as espécies se diversificaram por adaptação ao ambiente, segundo a lei do uso e do desuso.
5. Alternativa D. A primeira afirmação é um exemplo da lei do uso e desuso e da herança de caracteres adquiridos, proposta por Lamarck. A segunda afirmação é um exemplo da seleção natural dos indivíduos mais aptos, proposta por Darwin.
6. Alternativa D. Tanto o darwinismo quanto o lamarckismo reconhecem a existência de fósseis e admitem que eles pertencem a espécies ancestrais. No entanto, a interpretação desses registros e da relação entre eles diverge entre as duas correntes de pensamento.
7. Alternativa B. Fósseis são restos ou vestígios de seres que viveram no passado, frequentemente encontrados em rochas sedimentares.
8. Alternativa D. Os conceitos de genética aplicados à teoria darwinista resultaram na teoria sintética da evolução.
9. Alternativa B. A mutação gênica introduz novas variações no material genético, criando novas características. A recombinação gênica, que ocorre durante a meiose, mistura os genes dos pais, aumentando ainda mais essa variabilidade. A seleção natural atua sobre essas variações, favorecendo indivíduos com características que conferem vantagens adaptativas ao ambiente.
10. Nas ilhas onde há iguanas, os cactos mais altos teriam mais chance de se reproduzir e deixar descendentes e, assim, essa característica teria sido selecionada nessa população.
11. Após a primeira aplicação do inseticida, os insetos sobreviventes foram preferencialmente os portadores de alelos que conferem resistência à droga. Com isso, a frequência desses alelos teria aumentado na população. Essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT304**.
12. Alternativa C. Quando recursos como alimento ou hábitat são escassos, os organismos mais adaptados tendem a sobreviver e se reproduzir mais efetivamente, transmitindo suas características adaptativas para a próxima geração.
13. Alternativa C. Tanto Darwin quanto Lamarck reconheciam que a adaptação resulta da interação entre os organismos e seus ambientes. Lamarck propôs que os organismos poderiam adquirir características durante sua vida em função das necessidades impostas pelo ambiente e que essas características poderiam ser herdadas pelas gerações seguintes. Darwin enfatizou a seleção natural como o mecanismo principal de adaptação, argumentando que variações já existentes entre os indivíduos de uma população são favorecidas ou eliminadas com base na sua adequação ao ambiente.
14. Alternativa A. A teoria sintética da evolução integra a genética à teoria da evolução de Darwin. As mutações gênicas alteram o material genético e podem originar novas variantes genéticas. A recombinação genética, em que genes são trocados entre cromossomos homólogos, resulta em novas combinações de alelos, o que aumenta a diversidade gênica das populações.
15. Alternativa A. A diversidade da composição genética dos indivíduos de uma população possibilita a seleção natural, uma vez que características vantajosas podem ser positivamente selecionadas, promovendo a adaptação da população ao seu ambiente.
16. Alternativa B. Quando antibióticos são utilizados, bactérias sensíveis a esses medicamentos são eliminadas, enquanto bactérias que apresentam mutações que conferem resistência podem sobreviver e se multiplicar. Esse fenômeno ocorre devido ao processo de seleção natural.
17. A adição do antibiótico causou a morte de grande parte da populaç ão inicial de bactérias. Entretanto, graças à variabilidade existente entre os organismos, algumas bactérias que já apresentavam resistência a essa droga sobreviveram e se multiplicaram, gerando uma população composta de bactérias resistentes. Novas aplicações do mesmo antibiótico serão menos eficientes.

Referências suplementares

CAPOMACCIO, S. Resistência antimicrobiana é problema de saúde pública mundial. **Jornal da USP**. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/resistencia-antimicrobiana-e-problema-de-saude-publica-mundial/. Acesso em: 27 set. 2024.

Artigo que relata efeitos da seleção de bactérias resistentes na saúde pública.

FERREIRA, I. Religião não é fator isolado mais importante para aceitação da teoria da evolução nas escolas. **Jornal da USP**, 21 set. 2022 Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-religiao-nao-e-fator-isolado-mais-importante-para-aceitacao-da-teoria-da-evolucao-nas-escolas/. Acesso em: 27 set. 2024.

Reportagem que ajuda a debater a relação entre religião e conhecimento científico com os estudantes.

Capítulo 21 A evolução da vida e da espécie humana

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conceituar anagênese e cladogênese.
- Conhecer e explicar o conceito de espécie biológica.
- Explicar, em linhas gerais, o processo de formação de novas espécies e compreender a importância do isolamento reprodutivo no processo de especiação.
- Conhecer a escala de tempo geológico e suas divisões – eras, períodos e épocas –, compreendendo os critérios empregados nessas divisões.
- Informar-se sobre os principais grupos de organismos que surgiram e prevaleceram nas diferentes eras geológicas.
- Conhecer as principais evidências que relacionam evolutivamente a espécie humana à sua ancestralidade primata: fósseis; semelhanças anatômicas e moleculares.
- Conhecer a moderna classificação da espécie humana entre os primatas: ordem Primates; família Hominidae; gênero Homo.
- Caracterizar e explicar os principais estágios pelos quais teria passado a linhagem humana: estágio pré-humano adaptado à vida arborícola; estágio de adaptação à savana arbórea (australopitecos); estágio de adaptação à savana arbustiva (gênero *Homo*); emergência da espécie humana moderna (*Homo sapiens sapiens*).
- Reconhecer a relação intrínseca entre a evolução biológica da espécie humana e seu desenvolvimento cultural.

O conteúdo do capítulo permite desenvolver a **competência específica 2** e a habilidade **EM13CNT201**, na medida em que os estudantes são estimulados a comparar teorias e hipóteses propostas em diferentes épocas e culturas sobre o surgimento do ser humano moderno com teorias científicas aceitas atualmente, a habilidade **EM13CNT205**, ao mostrar que a interpretação de evidências fósseis permite realizar inferências, e a habilidade **EM13CNT301** da **competência específica 3**, na medida em que os estudantes são estimulados a conhecer como a teoria evolucionista moderna explica o aparecimento da espécie humana. O capítulo é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, que destaca a importância dos conhecimentos historicamente construídos sobre a evolução da espécie humana.

Adicionalmente, as habilidades **EM13CNT202** e **EM13CNT208** são desenvolvidas ao promover a análise da história humana a partir de uma perspectiva biológica e cultural, e o reconhecimento da relação entre a evolução humana e seu contexto ambiental e social.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo destaca a importância da Ciência em áreas como a evolução das espécies. O conhecimento científico agrega continuamente conhecimentos gerados por novas descobertas, possibilitando tanto corroborar hipóteses e modelos vigentes como levar a ajustamentos, compatíveis com os novos conhecimentos. Assim, pode-se discutir os limites explicativos das ciências, conforme preconizado na habilidade **EM13CNT205**.

O item *O processo evolutivo e a diversificação da vida* trata do processo de modificação evolutiva em uma espécie por anagênese e do surgimento de novas espécies por divisão de uma espécie ancestral, fenômeno denominado cladogênese. Acredita-se que a forma mais comum de especiação ocorra por meio da cladogênese. A partir de uma espécie ancestral surgiriam duas populações geograficamente isoladas. O isolamento geográfico possibilita que se estabeleça o isolamento reprodutivo, que se manifesta em diversos níveis.

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, ao abordar a formação de novas espécies de acordo com a moderna teoria evolucionista, **EM13CNT205**, ao interpretar o fenômeno natural da especiação e dos diferentes tipos de isolamento reprodutivo, que remetem à nossa própria ancestralidade e **EM13CNT208**, ao estudar como podem ter surgido os diferentes grupos e espécies de seres vivos.

No item *A origem dos grandes grupos de seres vivos* são apresentadas as divisões do tempo geológico. Essa escala de tempo é utilizada ao tratar da formação de uma nova espécie ou de um grupo de seres vivos. O

item possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT201**, ao estudar como os diferentes grupos de seres vivos surgiram na Terra, de acordo com a moderna teoria evolucionista, **EM13CNT205**, ao estudar a formação de novas espécies ao longo da história evolutiva, reconhecendo os limites explicativos das ciências, e **EM13CNT208**, ao abordar como podem ter surgido diferentes grupos e espécies de seres vivos, inclusive a nossa própria. O item também permite trabalhar a **competência geral 1**, ao utilizar diversos conhecimentos adquiridos sobre o mundo físico para explicar a história dos seres vivos no planeta.

No item *A evolução humana* são apresentadas algumas semelhanças significativas entre nossa espécie e os grandes macacos, evidências da relação de parentesco evolutivo com esses animais.

Essa é uma oportunidade para explorar os desafios envolvidos na reconstituição de um hominídeo tendo por base apenas seus restos fósseis, que podem ser um esqueleto incompleto, um osso do corpo ou apenas uma mandíbula e alguns dentes. Se julgar interessante, converse com os estudantes sobre como os conhecimentos de anatomia, tanto de fósseis quanto da espécie humana atual, podem contribuir para as reconstituições dos achados fossilizados e suas representações artísticas.

No item *A linhagem humana* são apresentados nossos mais antigos ancestrais e as tendências evolutivas que nortearam a evolução dos primatas, grupo que inclui nossa espécie. A espécie humana pertence à classe Mammalia (mamíferos), que compreende animais endotérmicos, dotados de pelos corporais e que se alimentam de leite materno quando filhotes. Juntamente com prossímios, társios e antropoides, a espécie humana faz parte do grupo dos primatas (ordem Primates). A classificação em categorias inferiores à ordem ainda é controversa; no Livro do Estudante adotamos uma classificação baseada no livro *What evolution is* (O que é a evolução), de Ernst Mayr, publicado em 2002.

A temática de vida familiar e dos cuidados com a prole permite identificar valores essenciais de nossa condição humana.

O item aborda as principais tendências evolutivas na ancestralidade humana, com destaque para os australopitecos e para as tendências evolutivas dos antecessores do *Homo erectus*, ou *Homo ergaster*, do qual teria surgido a espécie humana. Os assuntos tratados favorecem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT208**, que trata da história humana, de sua origem, diversificação e dispersão pelo planeta, sob o ponto de vista da evolução biológica.

Pode-se também conversar com colegas professores de História e de Sociologia, avaliando eventuais possibilidades de integrar essas áreas com Biologia. A análise de objetos e vestígios das antigas sociedades humanas permite perceber a diversidade cultural ao longo do tempo, colaborando com a habilidade **EM13CHS104** da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.

A espécie de australopiteco mais conhecida é *Australopitecus afarensis*, que teria vivido 2,8 Ma e 3,9 Ma. Em 1978, o paleoantropólogo estadunidense Donald Johanson (1943-) e sua equipe descobriram centenas de fósseis dessa espécie na Etiópia, um dos espécimes teria pertencido a uma fêmea que viveu por volta de 3,2 Ma. Esse fóssil foi batizado de Lucy, em alusão à canção da banda britânica The Beatles, *Lucy in the sky with diamonds*, que os paleontólogos ouviam em seu acampamento durante as pesquisas.

Resoluções e comentários

Em destaque

O vigor híbrido

Essa atividade promove a habilidade **EM13CNT301**, ao desafiar os estudantes a avaliar os avanços científicos e tecnológicos no melhoramento genético, além de estimular a **competência geral 2**, ao favorecer a curiosidade e a capacidade de investigação.

Em destaque

A fraude do homem de Piltdown

Esta seção aborda uma fraude científica bem conhecida, que possibilita refletir sobre o papel da ética e da responsabilidade na pesquisa científica, relacionando-se ao **TCT Ciência e tecnologia**.

É possível também realizar uma pesquisa na internet sobre outras fraudes na ciência. A habilidade **EM13CNT205** é mobilizada ao estimular a análise crítica de evidências e a capacidade de reconhecer os limites das pesquisas científicas. Ao estimular a curiosidade e a reflexão sobre a investigação científica, a atividade colabora para o desenvolvimento da **competência geral 2**. A seção destaca a relevância da ética na ciência e como ela se reconstrói continuamente ao longo do tempo.

Dialogando com o texto

A sociedade neandertal

Ao investigar como os neandertalenses se organizavam e enterravam seus mortos, os estudantes exercitam a **competência geral 2** e a habilidade **EM13CNT208**, explorando os avanços na biotecnologia, como o sequenciamento genômico, no entendimento da evolução humana.

Em 2010, foi concluído o sequenciamento do genoma do *H. sapiens neanderthalensis* a partir de DNA extraído de ossos fósseis. O estudo mostrou que 99,5% do genoma neandertalense é idêntico ao genoma dos seres humanos modernos. Cerca de 1% a 4% do DNA de pessoas de etnia não africana é de origem neandertalense; não foi encontrado nenhum vestígio de DNA neandertalense em populações africanas que vivem ao sul do Saara. O geneticista suíço que liderou o projeto de sequenciamento resumiu o achado: todos os descendentes da linhagem humana que saiu da África carregam um pouco de DNA neandertalense. Tudo indica que o ponto de separação das linhagens humana e neandertalense teria ocorrido por volta de 800 mil anos atrás. A comunicação dos resultados de pesquisas por meio de textos e de infográficos colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302** e da **competência geral 4**.

Mais informações podem ser encontradas em:

- LONGRICH, N. R. Por que os homo sapiens substituíram os neandertais? **Nexo**, 8 abr. 2024. Disponível em: https://www.nexojornal.com.br/externo/2024/04/08/por-que-os-humanos-modernos-substituiram-os-neandertais
- ROSSETTI, V. O neandertal era um *Homo sapiens*? **NetNature**, 20 jan. 2017. Disponível em: https://netnature.wordpress.com/2017/01/20/o-neandertal-era-um-homo-sapiens/
- ROSSETTI, V. Quem eram os neandertais? Cultura, comportamento e tecnologia. **NetNature**, 13 jan. 2017. Disponível em: https://netnature.wordpress.com/2017/01/13/quem-eram-os-neandertais-cultura-comportamento-e-tecnologia/

Acessos em: 30 set. 2024.

Atividade em grupo

O que as pessoas do meu convívio sabem sobre a origem humana?

A atividade pode ser diretamente relacionada ao **TCT Multiculturalismo**, pois busca conhecer diferentes perspectivas e crenças sobre a origem da humanidade entre pessoas de diferentes formações, profissões, religiões e culturas.

Ao organizar os dados das entrevistas em categorias como escolaridade, profissão e religião podem-se desenvolver habilidades de análise de informações, reflexão crítica sobre diferentes visões e a capacidade de formular conclusões baseadas em evidências, colaborando para o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Mundo do trabalho

A inteligência artificial no futuro

Nesta atividade os estudantes são incentivados a refletir sobre o impacto da inteligência artificial (IA) no futuro, trabalhando com a **competência geral 2**, que estimula a curiosidade e a investigação científica, e a **competência geral 6**, ao promover a reflexão crítica sobre o mercado de trabalho e a vida em sociedade. Ao imaginar o futuro com a IA, os estudantes podem desenvolver a **competência geral 7**, que enfatiza a argumentação e a tomada de decisões éticas e responsáveis.

A atividade está relacionada com a habilidade **EM13CNT207** ao incentivar os estudantes a aplicar conhecimentos científicos e tecnológicos para imaginar cenários futuros e suas implicações. A habilidade **EM13CNT301** é mobilizada ao propor a avaliação de hipóteses e previsões sobre como a IA pode influenciar a vida individual e coletiva. A habilidade **EM13CNT304** é desenvolvida ao estimular o debate sobre os desafios éticos da IA, como a substituição de empregos e a criação de desinformação.

Incentive os estudantes a discutir a articulação entre ciência, tecnologia e mercado, refletindo sobre como o poder e o conhecimento moldam o futuro do trabalho e da vida cotidiana. A atividade também se relaciona ao **TCT Ciência e Tecnologia**, ao analisar possíveis impactos da IA sobre questões socioculturais e econômicas.

Em destaque

Receita para uma humanidade desracializada

A seção apresenta um texto do professor Sérgio Danilo Pena sobre a falta de fundamento científico para a existência de raças humanas, o que pode contribuir para a diminuição do preconceito racial, que ainda permeia parte da sociedade no Brasil e no mundo. O texto se relaciona ao **TCT Educação em Direitos Humanos**, na macroárea de **Cidadania e Civismo**. O assunto possibilita integrações com disciplinas como História, Filosofia, Sociologia e Geografia ao permitir a discussão de como a evolução da cultura tem sido responsável por conquistas sociais na superação de preconceitos diversos.

O texto do Prof. Danilo Pena contribui para a redução da discriminação e do preconceito étnicos. Embora esses comportamentos venham se atenuando ao longo da história humana, ainda ocasionam desentendimentos e conflitos em diversas partes do mundo.

O incentivo ao debate em torno de temas científicos de relevância sociocultural colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**. Debates que incentivam os estudantes a buscar argumentos consistentes em fontes confiáveis de informação propiciam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**. A seção possibilita a discussão sobre a utilização do conhecimento científico no combate à discriminação étnica, colaborando para

a abordagem da habilidade **EM13CNT305**. A avaliação e a discussão a respeito das circunstâncias ambientais, culturais e sociais do racismo incentivam o desenvolvimento da habilidade da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS102**. Por fim, o debate sobre o racismo colabora para o exercício da empatia, da valorização da diversidade e do reconhecimento de cada pessoa como parte da comunidade global; esses aspectos colaboram para a **competência geral 9**. O tema permite avaliar atitudes baseadas em princípios éticos, democráticos e inclusivos, ao fazer ponderações sobre uma sociedade desracializada, desenvolvendo a **competência geral 10**.

Mais informações sobre o tema podem ser encontradas em:

https://oglobo.globo.com/saude/ciencia/genes-revelam-evolucao-da-cor-da-pele-rebatem-teorias-racistas-21941459.

Acesso em: 1 out. 2024.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa D. É consenso entre os evolucionistas que o processo de especiação por isolamento geográfico, chamado de especiação alopátrica, é a principal maneira pela qual se originam novas espécies de seres vivos.
2. Alternativa C. A "explosão cambriana" é a etapa da história da Terra em que quase todos os filos de animais modernos apareceram de forma relativamente rápida em termos geológicos, daí o termo explosão, há cerca de 540 milhões de anos, no período Cambriano.
3. Alternativa D. Os estromatólitos, formações rochosas encontradas em vários locais do mundo, são algumas das evidências mais antigas de vida, formadas por colônias de cianobactérias que viveram há bilhões de anos.
4. Alternativa A. Um exemplo fascinante desse grupo é o celacanto, um "fóssil vivo" que se acreditava extinto até sua redescoberta em 1938. Ele oferece pistas sobre a transição dos peixes para a vida terrestre.
5. Alternativa D. Embora sejamos a única espécie de hominídeos sobrevivente, os humanos modernos compartilharam o planeta com outras espécies do gênero *Homo*, como os neandertais e o *Homo erectus*.
6. Alternativa E. O grupo dos répteis foi o primeiro a desenvolver ovos com casca e anexos embrionários, como o âmnio, o que permitiu a colonização de ambientes terrestres. Posteriormente, essa característica também foi herdada por aves e mamíferos.
7. Alternativa C. O processo de especiação alopátrica começa com o isolamento geográfico, seguido pelo acúmulo de diferenças genéticas, levando ao surgimento de subespécies e culminando no isolamento reprodutivo, resultando na formação de novas espécies.
8. Alternativa B. Segundo a hipótese filogenética mais aceita, os répteis deram origem tanto às aves quanto aos mamíferos, refletindo a evolução divergente desses grupos a partir de um ancestral comum.
9. Alternativa D. A análise mostra que a população X pode cruzar com a população Z e gerar descendentes férteis, o que indica que elas ainda pertencem à mesma espécie. No entanto, a população Y é reprodutivamente isolada de ambas, sugerindo que Y tornou-se uma espécie diferente.
10. Alternativa C. Durante esse período, insetos gigantes, como a libélula *Meganeura*, com uma envergadura de mais de 70 centímetros, dominavam os céus, alimentados pelo aumento de oxigênio atmosférico.
11. Alternativa B. A exploração ilegal de mogno é tão lucrativa que ele é muitas vezes chamado de "ouro verde". Essa prática não apenas ameaça a biodiversidade, mas também tem impacto social e econômico nas comunidades que dependem dessas florestas.
12. Alternativa C. Os chimpanzés compartilham cerca de 98% de seu DNA com os humanos, tornando-os nossos parentes vivos mais próximos no reino animal; o seguinte em proximidade evolutiva com a espécie humana são os gorilas.
13. Alternativa E. Os anfíbios surgiram há cerca de 370 milhões de anos, e os dinossauros desapareceram há cerca de 65 milhões de anos, na extinção do Cretáceo. Como os fósseis humanos descobertos têm entre 5,2 e 5,8 milhões de anos, esses ancestrais viveram muito depois do surgimento dos anfíbios e do desaparecimento dos dinossauros.
14. Alternativa B. A conclusão de que o homem é mais aparentado com os chimpanzés baseia-se na análise genética, indicando que ambos compartilham um ancestral comum recente, embora tenham seguido caminhos evolutivos diferentes.
15. Alternativa D. De acordo com a árvore evolutiva apresentada, a divergência entre os macacos do Velho Mundo e o grupo dos grandes macacos e humanos ocorreu durante o período em torno de 40 milhões de anos atrás.

Referência suplementar

SCICAST #395: Evolução Humana. Locução: Tarik Fernandes, Marcelo de Matos, Caio Ferreira, Crhisllane Vasconcelos, Felipe Novaes, Marcel Ribeiro-Dantas, Thais Boccia. [*S.l.*] Portal Deviante, 25 set. 2020. **Podcast**. Disponível em: https://www.deviante.com.br/podcasts/scicast-395/. Acesso em: 30 set. 2024.

Podcast que debate assuntos sobre evolução humana.

Capítulo 22 Energia e matéria na natureza e a dinâmica das populações

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer os fundamentos da Ecologia e justificar a importância dos estudos ecológicos para o bem-estar atual e futuro da humanidade.
- Identificar os integrantes dos diversos níveis tróficos de um ecossistema: produtores, consumidores e decompositores.
- Compreender as relações de transferência de energia nas teias alimentares.
- Reconhecer e explicar o comportamento cíclico de alguns elementos químicos que constituem as substâncias orgânicas.
- Representar, por meio de esquemas e desenhos, as etapas fundamentais dos ciclos biogeoquímicos da água, do carbono e do nitrogênio.
- Aplicar o conhecimento sobre os ciclos biogeoquímicos para interpretar eventuais alterações nos ciclos naturais, prever tendências e adotar soluções de preservação.
- Conhecer e conceituar algumas características das populações – densidade demográfica, taxa de crescimento populacional, taxa de natalidade e taxa de mortalidade – e aplicar esses conhecimentos na interpretação de curvas de crescimento populacional.
- Conhecer os fatores que regulam o tamanho das populações biológicas.
- Discutir a tendência de crescimento das populações humanas.
- Compreender os riscos decorrentes da explosão demográfica, discutindo e formando opinião sobre controle de natalidade, planejamento familiar e sociedade sustentável.

Este capítulo trata de temas fundamentais da Ecologia, como as relações de transferência de energia nas teias alimentares, as etapas dos ciclos biogeoquímicos e as características e os fatores que regulam o tamanho das populações biológicas. Especial atenção é dada ao tema da explosão populacional humana e ao reconhecimento da importância do controle de natalidade e do planejamento familiar para a qualidade de vida humana e para a conservação da biodiversidade. Essa perspectiva favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT105** da **competência específica 1** da BNCC e **EM13CNT206** da **competência específica 2**. Os conceitos, procedimentos, habilidades, atitudes e valores propostos no estudo do capítulo favorecem o desenvolvimento de competências gerais da BNCC, principalmente da **competência geral 7** e da **competência geral 10**, ao promover o exercício da argumentação e de ações baseadas em princípios sustentáveis.

Sugestões didáticas e comentários

O capítulo aborda o conceito de fluxo de energia, desde a captação da energia da luz solar pelos seres fotossintetizantes até sua transferência aos demais seres vivos por meio da alimentação e contextualiza o papel dos decompositores no ciclo biogeoquímico e a importância da reciclagem dos elementos constituintes da matéria orgânica na manutenção dos hábitats naturais. Esses conhecimentos favorecem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT203**.

O capítulo aborda também a dinâmica das populações, apresentando características como densidade e crescimento populacional e fatores que regulam o tamanho populacional. Ao mobilizar tais conhecimentos, este capítulo favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT202**, relacionada às características limitantes à vida, e **EM13CNT206**, referente à análise de como o crescimento acentuado da humanidade vem afetando o ambiente. Essa abordagem também auxilia o desenvolvimento da **competência geral 10**, no que diz respeito a ações pessoais e coletivas responsáveis, baseadas em princípios sustentáveis.

O item *Energia para a vida* permite um trabalho interdisciplinar com os componentes curriculares Química e Física sobre a origem da energia do Sol e as transformações energéticas envolvendo os seres vivos.

Ao tratar o *Ciclo do carbono* é interessante destacar a interferência humana sobre esse ciclo ao queimar combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo, principalmente após a Revolução industrial. Essa abordagem possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT105**.

O item *Características das populações biológicas* possibilita um trabalho integrado com o componente curricular Geografia sobre as correlações entre tamanho populacional e fatos históricos, como a invenção da agricultura, o uso de antibióticos etc. Pode ser sugerido aos estudantes que pesquisem sobre a taxa de natalidade no Brasil ao longo dos anos, assim como sobre o índice de fertilidade da mulher brasileira, a fim de promover um debate sobre o tema.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

Importância dos decompositores

Uma vez que os decompositores são responsáveis pela reciclagem de átomos de diferentes elementos químicos, se eles deixassem de atuar poderiam faltar vários elementos químicos essenciais a outros seres vivos.

Em destaque

Água, um recurso cada vez mais precioso

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, ao propor uma campanha de divulgação sobre a utilização racional da água, com divulgação por meio de materiais digitais. A atividade contribui também com a **competência geral 7**, ao estimular a argumentação para defender ideias que promovam a consciência socioambiental e o consumo responsável.

O conteúdo da seção tem relevância relacionada ao **TCT Meio ambiente** e ao **ODS 6** Água potável e saneamento, que visa fortalecer a participação das comunidades locais para melhorar a gestão da água.

Dialogando com o texto

Os combustíveis fósseis

Combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral, se formaram ao longo de milhões de anos a partir da decomposição de restos de matéria orgânica soterrada e submetida a condições de alta pressão e temperatura. Eles são chamados de combustíveis fósseis porque se originam de matéria orgânica fossilizada.

A utilização em larga escala do carvão mineral começou durante a Revolução Industrial, no final do século XVIII e início do século XIX, quando o carvão se tornou a principal fonte de energia para máquinas a vapor, trens e fábricas. A utilização massiva de petróleo teve início no final do século XIX, mas ganhou maior importância no século XX, com a popularização dos automóveis e a utilização de derivados de petróleo na forma de combustíveis automotivos.

As consequências para o ambiente decorrentes da utilização de combustíveis fósseis são: emissões de gases potencializadores do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas; poluição do ar, resultando em problemas de saúde para a população; chuva ácida, que afeta solos, corpos d'água e florestas; a degradação ambiental (desmatamento, perda da biodiversidade e contaminação da água e do solo) decorrentes da extração desses combustíveis.

Há estimativas que apontam que as reservas de petróleo podem se esgotar em 40 a 50 anos. Algumas alternativas energéticas que podem substituir os combustíveis fósseis são a energia solar, a energia eólica, a biomassa (de plantas, resíduos agrícolas) e o gás hidrogênio.

Esta atividade favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101**, ao abordar a utilização consciente dos recursos naturais, e **EM13CNT309**, ao analisar questões socioambientais relativas à dependência do mundo dos recursos não renováveis, discutindo novas alternativas energéticas.

O conteúdo da seção tem relevância relacionada ao **TCT Meio ambiente**, ao **ODS 7** Energia limpa e acessível, por meio da meta que visa a aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global, e ao **ODS 13** Ação contra a mudança global do clima, por meio da meta que objetiva melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade de reduzir impactos sobre o clima.

Em destaque

Adubação verde, plantas leguminosas e rizóbios

A relação estabelecida entre as bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* e as plantas leguminosas é simbiótica. A adubação verde é uma maneira de aumentar a quantidade de compostos nitrogenados disponíveis no solo, tornando as culturas mais produtivas. A abordagem sobre a interferência humana no ciclo do nitrogênio favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT105**.

Atividade em grupo

Dinâmica populacional

1. Para responder à atividade é preciso somar o número de nascimentos e de imigração a cada ano e subtrair o número de mortes e de emigração. Portanto, no ano 1, o cálculo a ser realizado é: (48+4) – (10+2) = 40. Lembrando que a população inicial era de 100 indivíduos o resultado é (100 + 40) = 140 indivíduos. No ano 2, o cálculo a ser realizado é: (65+19) – (12+1) = 71. Como a população no ano 1 era de 140 indivíduos o resultado no ano 2 (140 + 71) é igual a 211 indivíduos. Cálculo semelhante deve ser feito a cada ano, resultando em: ano 3 = 312; ano 4 = 433; ano 5 = 453 e ano 6 = 449. É importante orientar os estudantes a construírem um gráfico de linhas com esses dados, com o número de indivíduos representado no eixo das ordenadas e o tempo decorrido representado no eixo das abscissas.
2. A densidade populacional é obtida dividindo-se o número de indivíduos pela área ou volume ocupados. Como a área ocupada permaneceu a mesma de 1/km^2, as densidades populacionais a cada ano são obtidas

dividindo-se a população de cada ano por 1, obtendo-se os seguintes resultados: ano 1 = 140, ano 2 = 211; ano 3 = 312; ano 4 = 433; ano 5 = 453; ano 6 = 449. É importante orientar os estudantes na construção de um gráfico de barras verticais com esses dados, em que o comprimento de cada barra represente o valor da densidade populacional.

3. Espera-se que os estudantes percebam que, aparentemente, o tamanho da população se estabilizou. O fator mais provável para isso é a escassez de recursos do meio devido ao aumento populacional. Nos anos seguintes é provável que o número de indivíduos oscile em torno do mesmo valor observado no último ano, considerando-se que se atingiu a densidade populacional que o meio pode suportar.

Aplicando conhecimentos

O vigésimo nono dia

A atividade apresenta uma metáfora para abordar os conhecimentos sobre a explosão populacional humana levantados no capítulo. Para evitar a saturação do planeta Terra devido à explosão populacional humana, é necessária a preservação de sistemas naturais como a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal Mato-Grossense e, consequentemente, a conservação da biodiversidade dessas áreas. Além disso, é importante reduzir o crescimento populacional com o controle da natalidade e o planejamento familiar e pela implementação de técnicas de agricultura sustentável, como agroflorestas, pelo investimento em fontes de energia limpa, como a solar e a eólica, por mudanças nos padrões de consumo etc. Essa abordagem favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT206**, ao discutir estratégias que contribuem para a sustentabilidade do planeta.

Atividade em grupo

Construindo gráficos e pirâmides de idade

A atividade permite a interdisciplinaridade com os componentes curriculares de Matemática e de Geografia. Os conhecimentos em Matemática, por exemplo, podem auxiliar nos cálculos das porcentagens na conversão dos dados para a construção de gráfico, ou ainda na construção das pirâmides etárias. Os conhecimentos em Geografia, por sua vez, podem auxiliar os estudantes na interpretação dos dados referentes às populações urbana e rural do país.

Caso os estudantes não tenham como acessar a internet, é possível fornecer os dados solicitados na atividade.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa A. A biomassa refere-se à quantidade total de matéria orgânica presente em um organismo, população ou nível trófico específico. Ela é frequentemente expressa em termos de massa por unidade de área ou volume, como gramas por metro quadrado (g/m^2).
2. Alternativa D. A teia mostra as relações alimentares entre as espécies de uma comunidade biológica.
3. Alternativa B. Uma cadeia alimentar começa com uma espécie produtora (como uma planta ou um componente do fitoplâncton), que captura energia solar e a converte em matéria orgânica, continua com um consumidor primário (herbívoro), que se alimenta do produtor e segue com um consumidor secundário e assim sucessivamente
4. Alternativa E. Na nutrição do boi, considerando apenas o aproveitamento das proteínas bacterianas, é correto afirmar que o boi é consumidor secundário, pois se alimenta das proteínas dos microrganismos. E os microrganismos (bactérias e protozoários) são consumidores primários, pois se alimentam da celulose presente no material vegetal que o boi ingere.
5. Alternativa B. Atividades humanas como desmatamento, emissão de gases do efeito estufa (que contribui para as mudanças climáticas), poluição dos recursos hídricos e urbanização interferem no ciclo da água, alterando a qualidade da água e a sua quantidade disponível para o consumo das populações.
6. Alternativa B. Com a morte quase total do capim, devido ao vazamento de lama tóxica, os gafanhotos (consumidores primários) ficaram sem alimento suficiente para sobreviver, o que resultou em redução de sua população. Como os passarinhos (consumidores secundários) dependiam exclusivamente dos gafanhotos para se alimentar, a diminuição desses insetos levou à redução da população dos passarinhos. Portanto, a diminuição da biomassa no primeiro nível trófico tem consequência indireta sobre a população do consumidor secundário.
7. Alternativa E. Nas plantas, as proteínas são formadas a partir de nitratos, que são uma fonte importante de nitrogênio para o crescimento vegetal. Se a absorção de nitrato é prejudicada, a quantidade de nitrogênio disponível para a síntese de aminoácidos e, consequentemente, de proteínas será reduzida. Isso resultará em grãos de trigo com menor qualidade nutricional, especialmente em termos de teor de proteínas.
8. Alternativa E. A resistência do meio inclui fatores como a disponibilidade de alimento, de espaço e de abrigo, ação de predadores, parasitas e populações competidoras. Por isso que à medida que a população cresce, a resistência do meio tende a aumentar.

9. **a)** A redução do fitoplâncton deverá causar aumento dos níveis de gás carbônico e, portanto, do elemento carbono no ambiente. Isso porque o fitoplâncton é um dos responsáveis pela absorção do gás carbônico no processo da fotossíntese.

b) A redução do fitoplâncton deve acarretar a diminuição da biomassa total, afetando também a de decompositores.

Referências suplementares

A RELAÇÃO entre mudanças climáticas e o ciclo da água, 2023. (8 min 33 s). Publicado pelo canal Pacto Global da ONU – Rede Brasil. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=7_TWLgtgG-s. Acesso em: 30 set. 2024.

Vídeo que mostra como a ação humana impacta o ciclo da água.

QUAL é a origem do petróleo, 2023. (5 min 07 s). Publicado pelo canal BBC News Brasil. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=vnxDXl-Wvq4. Acesso em: 30 set. 2024.

Reportagem que mostra a origem do petróleo.

Capítulo 23 Relações ecológicas, sucessão e biomas

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Compreender, distinguir e relacionar os conceitos de hábitat e de nicho ecológico.
- Conhecer e compreender os principais tipos de relações ecológicas: competição intraespecífica; competição interespecífica; sociedade, colônia, herbivoria; predação; parasitismo; mutualismo; comensalismo; inquilinismo.
- Deduzir, a partir dos múltiplos exemplos de relações entre seres vivos, que a vida na Terra é um empreendimento coletivo, resultante de uma trama complexa e dinamicamente equilibrada de relações ecológicas.
- Conceituar sucessão ecológica e conhecer as principais mudanças observadas em relação à biomassa, à estabilidade e à biodiversidade das comunidades ao longo da sucessão.
- Conceituar microclima, homeostase e comunidade clímax; conhecer alguns dos fatores que determinam as características de um ecossistema de determinada região.
- Conceituar bioma; caracterizar e localizar geograficamente os principais biomas do mundo: tundra; taiga; floresta temperada; floresta tropical; savana; pradaria; deserto.
- Caracterizar e localizar geograficamente os principais biomas brasileiros: floresta amazônica; floresta pluvial costeira; floresta de araucárias; cerrado; pampa; caatinga; floresta de cocais; manguezal.
- Aplicar conhecimentos referentes aos biomas do mundo e do Brasil na reflexão sobre temas polêmicos da atualidade, como a preservação dos ambientes naturais, o desenvolvimento sustentável e a exploração racional de recursos, entre outros.

Este capítulo aborda a relação entre os seres vivos e o ambiente, com foco nos impactos da ação humana sobre os ecossistemas marinhos e terrestres e a importância da preservação e conservação da biodiversidade. Ao mobilizar tais conhecimentos, este capítulo favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT202**, **EM13CNT203** e **EM13CNT206** da **competência específica 2** da BNCC. Essa abordagem também auxilia o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **10**, que dizem respeito aos cuidados com o planeta e a ações pessoais e coletivas responsáveis, baseadas em princípios sustentáveis.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo contextualiza a importância das relações ecológicas, sucessão e biomas para a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade. A imagem do Cerrado ajuda a ilustrar um exemplo de perda de vegetação nativa devido à expansão agrícola, ressaltando a urgência de práticas de recuperação ambiental.

O estudo dos biomas do mundo e dos domínios morfoclimáticos do Brasil possibilita uma integração interdisciplinar com o componente curricular Geografia, que geralmente trata do tema com abordagens diferentes da Biologia. O assunto pode ser enriquecido com a integração de aspectos sociológicos e econômicos, por exemplo.

Vale a pena explorar a importância da preservação dos domínios morfoclimáticos brasileiros para a manutenção da qualidade de vida dos habitantes das diferentes regiões do país. Diversos estudos sugerem que a ação consciente da humanidade poderá evitar catástrofes advindas da destruição dos grandes ecossistemas. Esse conteúdo relaciona-se ao **ODS 14** Vida na água, por meio da meta que visa proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, e ao **ODS 15** Vida terrestre, por meio da meta que objetiva assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços.

Ao tratar o item *Ecossistemas aquáticos*, é importante destacar que esses ecossistemas são fundamentais para o equilíbrio ambiental global, influenciando o clima, a produção de gás oxigênio e a manutenção da biodiversidade. Esse conteúdo relaciona-se ao **ODS 14** Vida na água, por meio da meta que visa proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos e assegurar oceanos saudáveis e produtivos.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

No topo das cadeias alimentares

A atividade visa a estimular a reflexão crítica dos estudantes sobre a representação dos superpredadores em livros e filmes, promovendo uma análise mais aprofundada do papel desses animais nas cadeias alimentares reais e na ficção científica.

Pode-se incentivar os estudantes a diferenciarem a representação cinematográfica e a realidade científica sobre o papel ecológico desses predadores.

Os grupos de estudantes podem elaborar textos que contribuam para uma discussão em que se troquem ideias sobre o tema e os diferentes gêneros textuais utilizados, trabalhando de modo interdisciplinar com Língua Portuguesa. A atividade também reforça a habilidade de analisar criticamente informações vindas da mídia e a importância de proteger espécies, como os superpredadores.

Dialogando com o texto

Parasitismo e seleção natural

Se uma relação de parasitismo se tornar menos prejudicial para o hospedeiro, ao ponto de ele não ser mais seriamente afetado ou até se beneficiar de alguma forma pela presença do parasita, essa interação tenderia a se transformar, respectivamente, em comensalismo ou em mutualismo. No comensalismo, uma das espécies associadas é beneficiada, enquanto a outra não tem prejuízos nem benefícios. No mutualismo, ambas as espécies envolvidas na relação obtêm benefícios.

Dialogando com o texto

Relação entre formigas e pulgões

A atividade aborda a curiosa relação de esclavagismo que se estabelece entre certas espécies de pulgões e de formigas. Levando em consideração que os pulgões se beneficiam da segurança proporcionada pelas formigas, a relação poderia ser considerada mutualística.

É interessante comentar que o esclavagismo tem semelhanças com o parasitismo, em ambos uma espécie explora a outra. Mas no esclavagismo uma espécie se beneficia ao explorar o trabalho ou recursos de outra espécie e no parasitismo a exploração geralmente ocorre por meio da extração de nutrientes da outra espécie.

Exercício resolvido

Identificando relações interespecíficas por meio de gráficos

O exercício possibilita a aplicação de alguns pilares do pensamento computacional, como a decomposição, a identificação de padrões e a abstração.

A decomposição divide o problema em partes menores e mais manejáveis, permitindo ao estudante se concentrar em um aspecto de cada vez, por exemplo, na análise do número de indivíduos e do tempo, comparando os gráficos quando as espécies estão separadas e quando estão juntas.

Ao identificar padrões nos gráficos, os estudantes podem reconhecer as diferentes interações ecológicas (como predação, competição, comensalismo e protocooperação).

Essa abordagem permite aos estudantes desenvolver habilidades de interpretação de gráficos e de análise de dados, constituindo uma estratégia interessante para a compreensão dos conceitos ecológicos.

Exercício resolvido

Mapa de conceitos sobre sucessão ecológica

Este exercício utiliza um mapa de conceitos para ajudar os estudantes a compreenderem as relações entre conceitos-chave sobre sucessão ecológica. O uso do mapa de conceitos constitui uma ferramenta que facilita a organização das informações. É importante estimular a discussão das informações apresentadas no mapa de conceitos, a fim de que os estudantes exponham as suas compreensões sobre o tema, colaborando para a aprendizagem.

Atividade em grupo

Caracterizando o bioma do manguezal

A atividade possibilita explorar a importância dos manguezais, pesquisar suas localizações, características e a biodiversidade desse bioma. A atividade conecta conceitos de ecologia e preservação ambiental com o uso de ferramentas tecnológicas para a construção de uma teia alimentar. Os estudantes podem utilizar plataformas digitais e fontes de pesquisa *on-line* para compilar as informações e criar um infográfico que represente visualmente os dados coletados.

Essa atividade dialoga com o **TCT Meio ambiente** e favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT206**, ao possibilitar a discussão sobre a importância da preservação dos manguezais e as principais ameaças a esses biomas litorâneos, avaliando os impactos da ação humana e promovendo uma reflexão crítica sobre sustentabilidade.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa B. Nicho ecológico refere-se ao conjunto de relações de uma espécie com o ambiente e com outras espécies com as quais convive, incluindo sua função no ecossistema, seu comportamento, suas interações e sua dieta.

2. Alternativa D. A relação entre o pássaro e o crocodilo é um exemplo de mutualismo facultativo, também chamado de protocooperação, onde ambos se beneficiam da interação, mas não dependem dela para sobreviver. O pássaro obtém vantagem ao se alimentar dos parasitas, enquanto o crocodilo tem suas gengivas limpas.

3. Alternativa E. As térmitas vivem em sociedade, uma relação ecológica em que indivíduos da mesma espécie vivem juntos de maneira organizada, dividindo tarefas e cooperando para o bem-estar dos membros da sociedade.

4. A relação entre os insetos e as flores é um exemplo de mutualismo, pois ambas as espécies envolvidas têm benefícios. Quando o agente polinizador é altamente específico para a espécie vegetal, a associação entre as espécies torna-se essencial para a sobrevivência de ambas, podendo ser classificada como mutualismo obrigatório (simbiose). Quando não há tanta especificidade entre o agente polinizador e a espécie vegetal, ambos se beneficiam da associação, embora ela não seja obrigatória, sendo classificada como protocooperação (mutualismo facultativo).

5. **a)** Parasitismo, pois a broca (parasita) causa danos às árvores (hospedeiras).

b) Predação, pois os pica-paus (predadores) alimentam-se das brocas (presas).

c) A associação poderia ser classificada como protocooperação, pois os pica-paus beneficiam as árvores ao comer as brocas. As árvores, por sua vez, beneficiam os pica-paus porque lhes fornecem alimento (as brocas).

6. Alternativa B. A sucessão ecológica é caracterizada pela colonização de um ambiente por uma série de mudanças sucessivas nas comunidades biológicas, até que uma comunidade estável (clímax) se estabeleça.

7. Alternativa C. A comunidade clímax é o estágio final da sucessão ecológica, onde o ambiente se torna estável e pouco imutável.

8. Alternativa A. A sucessão primária ocorre em áreas onde não existia vida anteriormente (como rochas nuas), enquanto a sucessão secundária ocorre em áreas previamente habitadas.

9. Alternativa D. A savana africana é o bioma onde vivem zebras e leões.

10. Alternativa B. O cerrado brasileiro é o bioma que apresenta essas características.

11. Alternativa C. O fitoplâncton é composto de organismos microscópicos, como diatomáceas, dinoflagelados e algumas algas, que realizam fotossíntese e flutuam na superfície dos ecossistemas aquáticos.

12. Alternativa A. O bentos constitui-se de organismos que vivem no fundo dos ambientes aquáticos. As estrelas-do-mar e os vermes poliquetos vivem no substrato marinho, sendo classificados como organismos bentônicos.

13. Alternativa B. O nécton é composto de organismos aquáticos que têm a capacidade de nadar ativamente, como peixes, baleias e tubarões, ao contrário dos plânctons, que são carregados pelas correntes.

14. Alternativa E. O hábitat se refere ao ambiente onde o organismo vive, no caso, o ambiente aquático e terrestre. O nicho ecológico refere-se ao papel que o organismo desempenha no ecossistema, como sua dieta (onívora e carnívora) e suas interações com o meio.

15. Alternativa E. A raflésia é parasita da planta hospedeira (parasitismo), as moscas não são prejudicadas nem beneficiadas ao transportar o pólen (comensalismo), e o transporte do pólen pelas moscas é um processo de polinização.

16. Alternativa E. Na sucessão ecológica, ao longo do tempo, a biomassa aumenta e há maior diversificação de espécies, culminando em uma comunidade clímax estável.

17. a) Os predadores contribuem para a manutenção do equilíbrio populacional das presas, evitando a exaustão dos recursos ambientais, além de selecionar os indivíduos mais aptos.

b) Os herbívoros que devoram sementes podem ser considerados predadores, pois causam a morte precoce dos embriões da planta. Os comedores de folhas se utilizam de parte do vegetal, sem causar necessariamente a morte deste, e, nesse caso, poderiam ser considerados parasitas dos vegetais.

18. a) Sucessão ecológica primária é o estabelecimento de uma comunidade em um ambiente antes desabitado. São exemplos a formação de vegetação sobre rochas nuas ou sobre lavas solidificadas de vulcões. Sucessão secundária é aquela que ocorre em áreas que já foram ocupadas por uma comunidade biológica e que foram devastadas naturalmente ou por atividade humana. Esse tipo de sucessão ocorre em lavouras abandonadas, florestas derrubadas ou em áreas cuja vegetação foi queimada.

b) Comunidade clímax é o nome dado ao estágio final de sucessão ecológica. Esse estágio é condicionado pelas condições químicas e climáticas do local.

Referência suplementar

DA SILVA SANTOS, T.; FRIEDERICHS LANDIM, M. Estudos de caso na abordagem de questões sociocientíficas: Uma experiência no ensino de ecologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 1, 2022.

O artigo explora a implementação de estudos de caso como método para abordar questões sociocientíficas no ensino de ecologia, mostrando como essa ferramenta promove o engajamento dos estudantes e fortalece a conexão entre o ensino de ciências e questões sociais contemporâneas.

Capítulo 24 Humanidade e ambiente

Objetivos do capítulo/Por dentro da BNCC

- Conhecer os princípios básicos da sustentabilidade e compreender sua importância para a preservação dos ambientes naturais.
- Compreender a importância dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.
- Conhecer as principais formas de poluição ambiental – do ar, da água e do solo – e discutir maneiras de minimizar seus efeitos sobre o ambiente natural.
- Estar informado de que as interferências humanas (antrópicas) em comunidades naturais, como desmatamentos, introdução, extinção de espécies etc., podem causar desequilíbrios ecológicos.
- Aplicar conhecimentos de Ecologia na discussão de maneiras de evitar ou minimizar os efeitos prejudiciais das interferências humanas no ambiente natural.
- Conhecer e compreender os principais problemas decorrentes da exploração dos recursos naturais e do desenvolvimento tecnológico – poluição, desequilíbrios ecológicos etc. – e alternativas que podem minimizá-los, contribuindo para melhorar a qualidade de vida desta e das futuras gerações.

Os objetivos de aprendizagem se articulam com as seguintes habilidades: **EM13CNT104** da **competência específica 1**, na medida em que os estudantes são estimulados a conhecer e avaliar potenciais prejuízos causados pelos poluentes à saúde e ao ambiente; **EM13CNT203** da **competência específica 2**, por auxiliar a reflexão sobre os efeitos de intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos; **EM13CNT206** da **competência específica 2**, ao propor a discussão sobre a importância da conservação da biodiversidade para a garantia da sustentabilidade; **EM13CNT309** da **competência específica 3**, ao discutir a dependência que a humanidade tem dos combustíveis fósseis e o desenvolvimento de alternativas energéticas; **EM13CNT106** da **competência específica 1**, ao discutir possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo introduz uma série de desafios ambientai a serem enfrentados pela humanidade, além do conceito de desenvolvimento sustentável, ou sustentabilidade.

Nas últimas décadas, cada vez mais pessoas têm percebido a necessidade de utilizar os recursos naturais de forma racional e consciente, de maneira a garantir um mundo habitável para as próximas gerações. Em resumo, esse é o ponto central da ideia de sustentabilidade ambiental.

O capítulo trata de certos aspectos problemáticos da relação entre seres humanos e natureza. Aprender sobre esses temas é um passo fundamental para o futuro da humanidade. Reflexões sobre proteção e conservação ambiental podem ajudar a construir sociedades mais equilibradas.

A Ecologia assume fundamental importância para desenvolver estratégias globais de utilização dos recursos naturais. Cuidar do planeta é responsabilidade de todos os cidadãos do mundo.

É interessante promover discussões sobre o tema das mudanças climáticas. O assunto vem sendo bastante abordado pela mídia nos últimos anos. A ideia de que realmente está ocorrendo aquecimento da atmosfera terrestre tem sido corroborada pelo aumento das temperaturas médias anuais. É importante ressaltar que o efeito estufa é o fenômeno atmosférico responsável por manter as temperaturas na superfície do planeta compatíveis com a vida. O problema ambiental refere-se, na verdade, à acentuação do efeito estufa devido à poluição do ar, o que acarreta aumentos inusitados da temperatura global. O artigo disponível em https://www.bbc.com/portuguese/geral-49319190 (acesso em: 11 out. 2024) traz dados explicando a relação do aquecimento global com invernos rigorosos.

Ao trabalhar *O conceito de sustentabilidade*, é importante discutir com os estudantes os princípios para uma sociedade sustentável, apresentados no texto. Se houver tempo e interesse, pode-se ampliar ou detalhar dados apresentados sobre movimentos ambientalistas nas últimas décadas. Este item trabalha os **ODS 7** Energia limpa e acessível, **11** Cidades e comunidades sustentáveis, **12** Consumo e produção responsáveis e **13** Ação contra a mudança global do clima.

O item *Poluição e desequilíbrios ambientais* trata da intensificação do efeito estufa e outras alterações prejudiciais aos ecossistemas naturais. Esse item possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT106**, na medida em que os estudantes são estimulados a conhecer e avaliar potenciais prejuízos causados pelos poluentes à saúde e ao ambiente, refletindo soluções individuais e/ou coletivas para minimizar a geração de poluentes. Além disso, o item trabalha os **ODS 6** Água potável e saneamento**, 11** Cidades e comunidades sustentáveis e **13** Ação contra a mudança global do clima.

Se houver tempo e interesse pode-se ampliar as informações sobre a camada de ozônio, por meio da leitura do texto apresentado a seguir.

O "cinturão" de ozônio que envolve a Terra

Uma consequência da alta concentração de O_2 na atmosfera terrestre foi a formação de uma camada de gás ozônio (O_3) entre 12 e 50 quilômetros de altitude. O ozônio origina-se quando uma forma de radiação ultravioleta (UV) proveniente do Sol (a radiação ultravioleta curta) atinge moléculas de O_2, causando sua ruptura e liberação de átomos de oxigênio isolados e altamente reativos. Parte desses átomos unem-se dois a dois para formar novamente O_2 e parte reage com moléculas de O_2, formando gás ozônio (O_3). A reação necessita de um terceiro participante, genericamente denominado "terceiro corpo" (T), que permite liberar a energia da reação na forma de calor. Esse papel é desempenhado principalmente por moléculas de N_2, abundantes na atmosfera. Parte do O_3 formado se decompõe em decorrência da radiação UV, gerando componentes reativos que podem originar tanto O_2 como O_3. Assim, a camada de ozônio se mantém em equilíbrio dinâmico.

A camada de ozônio bloqueia a passagem da maior parte da radiação ultravioleta (UV) proveniente do Sol, prejudicial aos seres vivos. Antes do surgimento da camada de ozônio a vida na Terra era restrita aos ambientes de lagos e mares, onde a penetração do UV é menor. Acredita-se que a filtração da radiação ultravioleta pela camada de ozônio tenha proporcionado aos seres vivos a possibilidade de colonizar ambientes de terra firme, expostos à luz solar.

Dados obtidos por satélites mostraram que ao longo da década de 1980 houve uma diminuição de mais de 50% da camada de ozônio na região localizada sobre o continente antártico, no polo sul. Em certas épocas do ano, a camada de ozônio torna-se anormalmente fina e rarefeita nesses locais, filtrando menos a radiação ultravioleta e aumentando os riscos para os seres vivos que habitam locais sob esse "buraco" na camada de ozônio. A principal causa da destruição da camada de ozônio é a liberação na atmosfera de gases do grupo dos clorofluorcarbonetos, abreviadamente chamados de CFCs. Esses gases são produzidos em laboratórios e indústrias e utilizados como propelente em frascos de aerossóis e em compressores de geladeiras, além de serem também liberados durante a fabricação de certos tipos de plástico de embalagens. Os CFCs acumulam-se nas altas camadas da atmosfera, onde o cloro de suas moléculas reage com moléculas de ozônio, destruindo-as. Os alertas de cientistas e ambientalistas levaram os governos a proibir a liberação industrial de uma lista de substâncias capazes de prejudicar a camada estratosférica de ozônio, entre elas os CFCs. Relatórios da Agência Espacial Americana, a Nasa, afirmam que o problema está controlado.

Fonte: texto elaborado pelos autores.

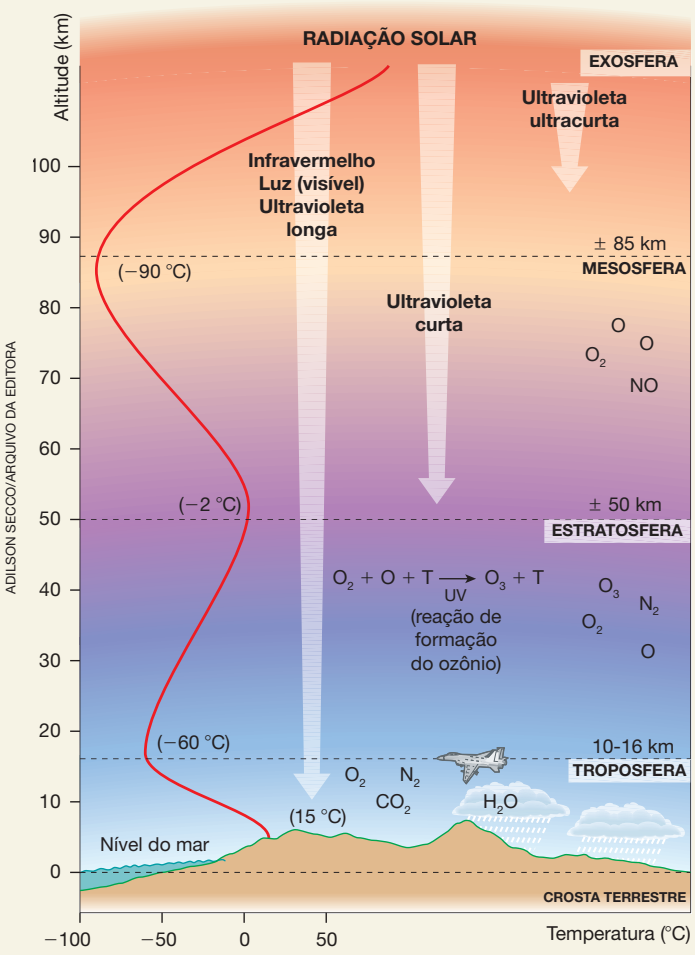
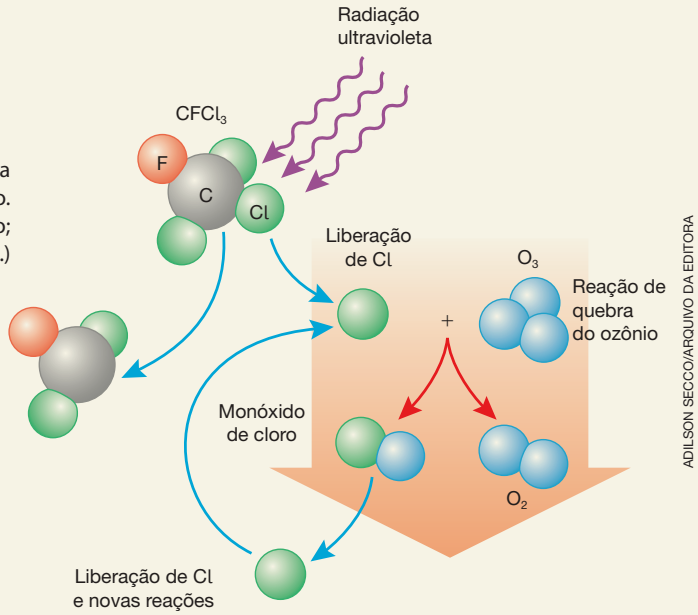


Gráfico da constituição básica da atmosfera terrestre. Na curva representada em vermelho é possível observar que a temperatura atmosférica varia de acordo com a altitude, o que leva à sua classificação em faixas: troposfera, estratosfera, mesosfera e exosfera. A formação de ozônio, que libera calor, é responsável pelo aumento de temperatura na estratosfera. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptado de MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.



Representação esquemática da degradação do ozônio. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Além de separar dos resíduos aqueles que são recicláveis, pode-se aproveitar dos resíduos orgânicos em sistemas recicladores simples, feitos com caixas ou recipientes grandes de plástico, que podem ser mantidos mesmo dentro de apartamentos. A reportagem disponível em https://globorural.globo.com/Noticias/Sustentabilidade/noticia/2018/08/como-fazer-uma-composteira-domestica.html (acesso em: 11 out. 2024), mostra como isso pode ser feito.

É importante estimular os estudantes a participarem das discussões sobre a importância da separação do resíduo sólido nas residências e de sua reciclagem. Alguns números podem ajudar a refletir sobre a quantidade

de resíduos sólidos produzidos em um município como São Paulo: uma pessoa produz, em média, cerca de 1 kg de resíduo por dia; a quantidade gerada no município corresponde a mais de 3.500 caminhões carregados diariamente. Um trabalho interessante é pesquisar sobre o destino dos materiais descartados. Esse assunto possibilita avaliar o impacto que o desenvolvimento da sociedade tem no ambiente.

A avaliação dos potenciais prejuízos relacionados ao descarte incorreto de materiais e a apresentação de soluções individuais e coletivas para a destinação dos resíduos domésticos propiciam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**.

O item *Alternativas para o futuro* é importante por mostrar que a complexidade e a extensão dos problemas ambientais não deve ser motivo para desânimo e sim de enfrentamento dos desafios. A procura por alternativas energéticas é importante e reforça o trabalho com a habilidade **EM13CNT106**.

O estudo das fontes de energia para as atividades humanas pode ser objeto de uma atividade conjunta entre Física, Química e Biologia. Sugerimos combinar com seus colegas dessas disciplinas a melhor maneira de integrar os trabalhos. O resultado poderia ser, por exemplo, uma mesa-redonda como as dos fóruns mundiais, tendo os estudantes como debatedores e os professores como mediadores.

Um aspecto importante a ser discutido refere-se à nossa dependência dos combustíveis fósseis. A discussão sobre alternativas energéticas contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT309**, possibilitando também trabalhar e discutir as metas dos **ODS 7** Energia limpa e acessível e **13** Ação contra a mudança global do clima.

Resoluções e comentários

Em destaque

Princípios para uma sociedade sustentável

A atividade sugere aos estudantes uma discussão para refletir e aprofundar os conhecimentos sobre princípios do desenvolvimento sustentável. Uma possibilidade de ampliar a discussão é organizar um debate em classe no estilo de painel, como os que ocorrem em encontros mundiais, com uma mesa debatedora formada por estudantes.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT206**, ao discutir a importância da conservação da biodiversidade e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade. Favorece também a **competência geral 2**, ao tratar o desenvolvimento da curiosidade intelectual e do pensamento crítico na aplicação dos princípios da sustentabilidade ambiental, e a **competência geral 7**, ao debater e discutir o tema com base em dados confiáveis. Além disso, a seção trabalha o **TCT Meio Ambiente** e os **ODS 7** Energia limpa e acessível, **11** Cidades e comunidades sustentáveis, **12** Consumo e produção responsáveis, **13** Ação contra a mudança global do clima e **17** Parcerias e meios de implementação.

Dialogando com o texto

O escudo de ozônio que protege a Terra

A atividade propõe aos estudantes uma pesquisa sobre a camada de ozônio que envolve a Terra. Se houver possibilidade, pode-se organizar uma apresentação em classe dos textos e infográficos produzidos pelos estudantes. Textos curtos e infográficos podem ser exibidos no mural da escola ou divulgados por mídias digitais, a fim de que a comunidade escolar tenha acesso a informações sobre a camada de ozônio que protege nosso planeta.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT206**, na medida em que os estudantes são estimulados a conhecer e avaliar os efeitos dos gases CFC para a camada de ozônio e a identificar políticas ambientais que protejam essa camada, em prol da sustentabilidade do planeta; **EM13CNT303**, ao orientar pesquisas em fontes confiáveis e a interpretar textos e dados disponíveis em gráficos e tabelas; e **EM13CNT302**, ao sugerir a confecção de infográficos para a comunicação dos resultados de sua pesquisa.

Mundo do trabalho

Escolhas profissionais em prol do ambiente

A atividade tem como objetivo que os estudantes reflitam sobre o mundo do trabalho e as possibilidades de profissões relacionadas à sustentabilidade.

A atividade possibilita o trabalho com a **competência geral 6**, estabelecendo relações com o mundo do trabalho e valorizando a diversidade de saberes e vivências.

A seção também possibilita o trabalho com o **TCT Meio Ambiente** e com o **ODS 13** Ação contra a mudança global do clima, em especial com a meta 13.3: melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima.

Atividade em grupo

Pesquisando sobre o resíduo sólido urbano

A atividade propõe que os estudantes realizem uma pesquisa sobre o problema do resíduo sólido urbano e as possibilidades de sua reciclagem. A pesquisa pode servir de base para a elaboração de um infográfico, em tamanho grande, sobre problemas e soluções envolvendo o resíduo sólido urbano. É importante estimular os estudantes a refletir sobre o problema e a participar, na medida do possível, da implantação e a manutenção na escola de recipientes para o descarte seletivo do resíduo sólido, utilizando cores e símbolos já padronizados para os diferentes tipos de resíduo sólido.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT203**, **EM13CNT206**, **EM13CNT302** e **EM13CHS301**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.

A atividade também mobiliza a **competência geral 6**, uma vez que os estudantes têm possibilidade de entrar em contato com catadores e cooperativas de reciclagem, observando relações do mundo do trabalho, e a **competência geral 10**, estimulando os estudantes a defender ideias e a fazer escolhas com consciência socioambiental e responsabilidade em relação ao cuidado com o planeta.

A seção possibilita ainda o trabalho com o **TCT Meio Ambiente** e com o **ODS 12** Consumo e produção responsáveis, em especial com a meta que preconiza reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reúso até 2030.

Em destaque

O mar não está para peixe #3: Afogando em plásticos

Fragmentos microscópicos de diferentes tipos de plástico acumulam nos organismos vivos em diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares.

A atividade propicia o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**, ao propor a leitura e interpretação de texto de divulgação científica que trata de temática das Ciências da Natureza. Além disso, a seção possibilita o trabalho com o **TCT Meio Ambiente** e com o **ODS 12** Consumo e produção responsáveis e o **ODS 14** Vida na água.

Dialogando com o texto

Sistemas agroflorestais e a agricultura familiar

Nesta seção é possível abordar a conservação de recursos naturais e a redução de impactos ambientais pela redução da utilização de inseticidas e agrotóxicos.

A atividade possibilita o diálogo com o **ODS 2** Fome zero e agricultura sustentável, por meio da meta que objetiva dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, em especial das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores até 2030. A atividade favorece também o trabalho com a **competência geral 5**, ao estimular o uso de ferramentas digitais de forma consciente para a construção do conhecimento.

Atividades finais/Propostas de avaliação

1. Alternativa B. O conceito de sustentabilidade refere-se à preservação ambiental para as gerações futuras.
2. Alternativa D. Poluição é a contaminação dos ambientes por diversos tipos de agentes, químicos, físicos ou biológicos, que causam prejuízos.
3. Alternativa D. O moxóxido de carbono agrega-se ireversivelmente a moléculas de hemoglobina do sangue, inativando-as para o transporte de gás oxigênio.
4. Alternativa D. A queima de combustíveis fósseis é a principal causa do agravamento do efeito estufa.
5. Alternativa C. Os clorofluorcarbonetos são a principal causa de impacto e destruição da camada do ozônio.
6. Alternativa A. A chuva ácida ocorre em consequência da poluição atmosférica por compostos de enxofre e de nitrogênio, com formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e de ácido nítrico (HNO_3).
7. Alternativa A. Espera-se encontrar maior concentração de DDT no último nível trófico da cadeia alimentar, uma vez que ele se acumula progressivamente desde os produtores aos consumidores de níveis superiores.
8. Espera-se que os estudantes identifiquem que o fenômeno descrito é a inversão térmica. Ele ocorre porque, nos meses de inverno, devido ao resfriamento do solo, a camada baixa de ar atmosférico pode esfriar mais que a camada imediatamente superior, reduzindo ou interrompendo os movimentos de convecção. Isso faz com que os poluentes se concentrem na baixa atmosfera, na camada de ar frio aprisionada entre a superfície terrestre e a camada de ar quente.

9. A oxigenação da água poderia compensar a falta de gás oxigênio dissolvido, causada pela atividade dos microrganismos que degradam a matéria orgânica.

10. Alternativa C. As florestas são grandes captadoras de gás carbônico atmosférico; portanto, a redução do desmatamento ajuda a controlar o efeito estufa.

11. Alternativa D. A proliferação de mosquitos independe da presença de objetos na água.

12. Alternativa D. A radiação aumenta a taxa de mutação, matando muitos animais. Porém, a longo prazo, muitas espécies conseguem se reproduzir e aumentar a população.

13. Alternativa C. Os alimentos (sejam de origem vegetal ou animal) contêm energia vinda, direta ou indiretamente, da fotossíntese. A tração animal, por sua vez, envolve o gasto energético do animal, que compõe a cadeia alimentar e, portanto, tem sua energia direta ou indiretamente vinda da fotossíntese. Por fim, o álcool é produzido a partir da cana-de-açúcar, planta que produz alimento a partir da fotossíntese.

14. a) Nitratos e fosfatos estão presentes nos dejetos orgânicos do esgoto doméstico e seu aumento mostra a contaminação da água por esgotos residenciais. Os teores de clorofila indicam o aumento de organismos fotossintetizantes, que se desenvolvem com o aumento de nutrientes. O teor de gás oxigênio dissolvido está relacionado com a presença de organismos fotossintetizantes e também com a presença de organismos aeróbios. Estes últimos proliferam rapidamente em função do aumento de fosfatos e nitratos (ou nutrientes), consumindo muito oxigênio e provocando a desoxigenação da água. Como resultado final do processo, os peixes presentes morrem devido à falta de gás oxigênio dissolvido provocada pela eutrofização.

b) Com a instalação da estação de tratamento, os teores de fosfatos e nitratos começaram a diminuir, os da clorofila se estabilizaram e os de O_2 dissolvido voltaram a aumentar. Os valores se aproximaram das medidas iniciais.

Referências suplementares

VERACIDADE. Permacultura Videoaula - Sistemas Agroflorestais. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=B9Om5KZ69eA. Acesso em: 11 out. 2024.

O vídeo mostra uma aula sobre o que são os Sistemas Agroflorestais, trazendo exemplos e imagens.

JONES, F. A ameaça dos microplásticos. **Revista Pesquisa Fapesp**, jul. 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos/. Acesso em: 11 out. 2024.

O artigo aborda a questão dos microplásticos nos oceanos e o impacto deste material nos organismos vivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

ARAUJO, N. R. **Ensino de ciências para alunos surdos**: uma proposta de termos específicos em língua brasileira de sinais. 2019. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: https://spo.ifsp.edu.br/images/phocadownload/DOCUMENTOS_MENU_LATERAL_FIXO/POS_GRADUA%C3%87%C3%83O/MESTRADO/Ensino_de_Ci%C3%AAncias_e_Matem%C3%A1tica/Dissertacoes/2019/Nathane_Rocha_Araujo_2019_Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Dissertação que aborda vários temas sobre ensino para estudantes surdos.

ARREDONDO, S. C.; DIAGO, J. C. **Avaliação educacional e promoção escolar**. Curitiba: Editora Intersaberes, 2013.

O livro apresenta a avaliação educacional sob diversas perspectivas, discorrendo sobre evolução do conceito, abordagens, estrutura, funções, objetivos, âmbitos e circunstâncias.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. **Pedagogy, Symbolic Control and Identity**: Theory, Research, Critique. ed. rev. atual. Londres: Rowman & Littlefield, 2000.

Livro que aborda aspectos do trabalho pedagógico com identidade juvenil.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

Documento que estrutura as etapas da Educação Básica no Brasil.

BRASIL. Ministério da Educação. **Temas contemporâneos transversais na BNCC**. Brasília, DF: MEC, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/contextualizacao_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

Documento que mostra a articulação dos temas contemporâneos transversais com a BNCC.

BRASIL. Senado Federal. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 3. ed. Brasília, DF: Senado Federal; Coordenação de Edições Técnicas, 2019. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O documento apresenta o texto da Lei nº 13.146/2015, que constitui a Lei de Inclusão da Pessoa com Deficiência.

DEBOER, G. E. Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools. *In*: FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. (ed.). **Scientific Inquiry and Nature of Science**: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. [*S. l.*]: Springer, 2006.

Material que aborda como procedimentos científicos impactam aulas e seu planejamento.

EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

Artigo que mostra variadas possibilidade de organização da sala de aula e atividades adequadas para usufruí-las.

EDUCAMÍDIA. [Página inicial]. **Instituto Palavra Aberta**, [2024]. Disponível em: https://educamidia.org.br/. Acesso em: 12 set. 2024.

O Instituto Educamídia produz diversos materiais voltados à educação midiática, inclusive vídeos que podem ser projetados ou indicados para os estudantes como subsídio para suas produções.

FERNANDES, D. Para uma teoria da avaliação no domínio das aprendizagens. **Estudos em avaliação educacional**, v. 19, n. 41, set./dez. 2008. Disponível em: https://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1454/1454.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

O artigo discute o processo de construção teórica da avaliação escolar, conceituando a avaliação formativa alternativa e estabelecendo conexões entre ela e o modelo somativo.

FERRARI, A. C. *et al*. **Guia da Educação Midiática**. São Paulo: Instituto Palavra Aberta, 2020. Disponível em: https://educamidia.org.br/guia. Acesso em: 17 out. 2024.

O guia aborda a importância de desenvolver habilidades de educação midiática, fornecendo orientações para educadores e estudantes serem capazes de compreender criticamente o conteúdo midiático e navegar de forma consciente e ética no ambiente digital.

HUGHES, G. Introducing ipsative assessment and personal learning gain: voices from practitioners and the themes of the collection. *In*: HUGHES, G. (ed.). **Ipsative assessment and personal learning gain**: exploring international case studies. London: Palgrave Macmillan, 2017.

O capítulo apresenta a avaliação ipsativa como uma abordagem diametralmente oposta a visões meritocráticas e propostas homogeneizadoras de avaliação escolar.

KELLY, G. J. Inquiry, activity and epistemic practice. *In:* DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. (ed.). **Teaching Scientific Inquiry**: Recommendations for Research and Implementation. Rotterdam: Taipei Sense Publishers, 2008.

Neste livro são mostradas algumas formas de trabalhar letramento científico com os estudantes.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

Livro em que são discutidos tendências do ensino de Biologia, planejamento curricular, modalidades didáticas, entre outros aspectos do ensino e da aprendizagem de Biologia.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de Ciências e cidadania**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2007.

Livro que ajuda a mostrar as relações entre o ensino científico e o desenvolvimento da cidadania.

LEFF, E. Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. *In:* LEFF, E. **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus, 2000.

Obra que mostra aspectos interdisciplinares no ensino de ciências.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

A obra aborda o processo avaliativo ao longo da história, detalhando algumas características e cuidados desse processo.

LUCKESI, C. C. Considerações gerais sobre avaliação no cotidiano escolar. **Impressão Pedagógica**, Curitiba, n. 36, p. 4-6, 2004.

O artigo retrata as diferentes maneiras de avaliação dentro do cotidiano escolar.

MAIORIA das escolas do País possui regras para uso de celular pelos alunos, revela TIC Educação 2023. **Cetic.br**, São Paulo, 6 ago. 2024. Disponível em: https://cetic.br/pt/noticia/maioria-das-escolas-do-pais-possui-regras-para-uso-de-celular-pelos-alunos-revela-tic-educacao-2023/. Acesso em: 14 out. 2024.

Dados da pesquisa realizada, entre 2023 e 2024, sobre o uso de plataformas digitais na rede pública e privada no Brasil.

MANDELLI, M. T.; SOARES, D. H. P.; LISBOA, M. D. Juventude e projeto de vida: novas perspectivas em orientação profissional. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. especial, p. 49-57, 2011. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-52672011000300006. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo com considerações e aspectos para trabalhar partes do projeto de vida com os estudantes.

MORTIMER, E. F. A BNCC do Ensino Médio: entre o sonho e a ficção. **Portal SBPC net**, São Paulo, 10 abr. 2018. Disponível em: https://portal.sbpcnet.org.br/noticias/a-bncc-do-ensino-medio-entre-o-sonho-e-a-ficcao/. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que mostra aspectos práticos da aplicação da BNCC do Ensino Médio.

NARDI, R.; BASTOS, F.; DINIZ, R. E. S. (org.). **Pesquisas em ensino de Ciências**: contribuições para a formação de professores. 5. ed. São Paulo: Escrituras, 2004.

Livro que traz alguns resultados de pesquisas sobre ensino de Ciências e discorre sobre possíveis impactos delas na formação de professores.

NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR (NIC.BR); CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO (CETIC.BR). **TIC Kids Online Brasil**: Pesquisa sobre o uso da Internet por crianças e adolescentes no Brasil – 2023. São Paulo: CGI, 2024. Disponível em: https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-da-internet-por-criancas-e-adolescentes-no-brasil-tic-kids-online-brasil-2023/. Acesso em: 13 set. 2024.

Pesquisa sobre hábitos de crianças e jovens no acesso à internet.

NUERNBERG, A. H. Contribuições de Vigotski para a educação de pessoas com deficiência visual. **Psicologia em Estudo**, Maringá, v. 13, n. 2, p. 307-316, abr./jun. 2008.

Artigo que aborda metodologias para ensino de pessoas com deficiências visuais.

OECD. Are Students Ready to Take on Environmental Challenges? **OECD Publishing**, Paris, 8 dez. 2022. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/are-students-ready-to-take-on-environmental-challenges_8abe655c-en. Acesso em: 14 out. 2024

Análise de políticas e práticas educativas para a construção de um futuro ambientalmente sustentável.

OECD. Education at a Glance 2017: OECD Indicators. **OECD Publishing**, Paris, 12 set. 2017. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2017_eag-2017-en. Acesso em: 14 out. 2024.

Relatório com dados e indicadores sobre o estado da educação no mundo.

OECD. PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy. **OECD Publishing**, Paris, 19 abr. 2017. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework_9789264281820-en.html. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que mostra algumas formas de trabalho com estudantes de acordo com os preceitos do PISA.

REIS, J. B. dos; JESUS, R. E. de. Culturas juvenis e tecnologias. *In*: CORREA, L. M.; ALVES, M. Z.; MAIA, C. L. (org.) **Juventude brasileira e Ensino Médio** (cadernos temáticos). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. Disponível em: https://observatoriodajuventude.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/07/Caderno-04-Culturas-Juvenis-e-Tecnologias-2.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Caderno temático que trata sobre ensino e como ele pode se relacionar com diferentes culturas juvenis.

SCHWARTZMAN, S.; CHRISTOPHE, M. A. **Educação em Ciências no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade, 2009.

Livro que aborda aspectos da educação em ciências no Brasil e sugere algumas ações para realizar em sala de aula.

SILVA, J. T. Educar com que objetivo? Para o sucesso ou para a busca da justiça? **Jornal da USP**, São Paulo, 29 ago. 2018. Disponível em: https://jornal.usp.br/artigos/base-nacional-comum-curricular-as-decisoes-pertencem-aos-estados/. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que discute diferentes perspectivas visando refletir sobre a melhoria do ensino no país.

STEVENS, D. D.; LEVI, A. J. **Introduction to Rubrics**: An Assessment Tool to Save Grading Time, Convey Effective Feedback, and Promote Student Learning. Sterling: Stylus, 2005.

Livro que apresenta rubricas, como organizá-las e utilizá-las com os estudantes.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

Obra que aborda a relevância de refletir sobre aspectos indispensáveis na formação dos professores pensando no êxito da prática docente.

TENREIRO-VIEIRA, C. Produção e avaliação de actividades de aprendizagem de Ciências para promover o pensamento crítico dos alunos. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, n. 33/6, 2004.

Artigo que mostra possibilidades de estimular o pensamento crítico nos estudantes.

UNESCO. **The ABCs of Global Citizenship Education**. Paris: Unesco, 2017. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248232. Acesso em: 14 out. 2024.

Documento que mostra relações entre educação e cidadania, considerando uma perspectiva global.

WEINSTEIN, Y.; SMITH, M. Seis estratégias para uma aprendizagem eficiente. Tradução de Leonardo Barrichello. **LearningScientists.org**, 2024. Disponível em: https://deape.unicamp.br/wp-content/uploads/sites/50/2024/06/Seis-estrategias-para-uma-aprendizagem-eficiente.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Material que mostra diferentes estratégias de estudo.

WING, J. M. Viewpoint. Computtional Thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, mar. 2006. Disponível em: https://www.cs.cmu.edu/~15110-s13/Wing06-ct.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Artigo que apresenta os pilares do pensamento computacional.

YOUNG, M. Para que servem as escolas? **Educação & Sociedade**, Campinas, SP, v. 28, n. 101, p. 1.287-1.302, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/es/a/GshnGtmcY9NPBfsPR5HbfjG/?lang=pt. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que discute diferentes papéis que a escola pode ter e como podem influenciar as decisões dos estudantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES COMENTADAS

CAPÍTULO 1

CONSTENLA, T. O papel das mulheres na história das ciências. **El País**, 17 set. 2017. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/09/14/cultura/1505400027_400435.html. Acesso em: 14 out. 2024.

A reportagem aborda o papel de algumas mulheres cientistas na História das Ciências e a importância das descobertas de suas pesquisas.

PASTERNAK, N.; ORSI, C. **Ciência no cotidiano**: Viva a razão. Abaixo a ignorância! São Paulo: Contexto, 2020.

A obra busca explicar temas complexos do nosso dia a dia e a importância de conhecermos a Ciência para melhor compreender e atuar no mundo.

CAPÍTULO 2

CLARO, R. **Encontros de história**: do arco-íris à lua, do Brasil à África. São Paulo: Cereja, 2014.

Livro com mitos africanos e indígenas, inclusive sobre a criação do Universo, e que podem ser trabalhados em sala de aula.

CAPÍTULO 3

ARAÚJO, A. B. **Utilizando redes sociais para a potencialização da aprendizagem em Bioquímica no ensino médio**: uma sequência didática sobre carboidratos. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/58254. Acesso em: 17 out. 2024.

Dissertação que explora o uso de TICs e TDICs no aprendizado de Bioquímica em estudantes do Ensino Médio.

DOMINGUES, B. C. L. *et al*. Suplementos alimentares: aspectos químicos e aplicações de macro e micronutrientes. **Revista Virtual de Química**, São Paulo, v. 15, n. 3, 2023. Disponível em: https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4509. Acesso em: 17 out. 2024.

Suplementos alimentares, seus benefícios para a saúde e alerta para os riscos do consumo indiscriminado, destacando a importância de uso supervisionado para evitar problemas de saúde.

CAPÍTULO 4

SANTOS, F. R. C. C. dos; SHIGUNOV, P.; LORENZETTI, L. Alfabetização científica e tecnológica no ensino de biologia celular e molecular. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 1, 2022.

O texto propõe estratégias para melhorar o ensino de Biologia celular e molecular, ressaltando a necessidade de práticas didáticas que aproximem os estudantes dos avanços científicos e tecnológicos, fomentando uma educação mais crítica e reflexiva.

WUO, M. Atividade prática sobre biologia celular para o ensino técnico de nível médio. **Humanidades & Inovação**, Palmas, v. 8, n. 50, p. 256-263, 2021. Disponível em: https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/4863. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo apresenta uma proposta de atividade prática de Biologia celular voltada para o nível médio, visando desenvolver habilidades científicas e promover uma compreensão mais profunda dos processos celulares.

CAPÍTULO 5

COSTA, D. P. *et al. Pensamento computacional no ensino médio das escolas públicas*. **Lynx**, Juiz de Fora, v. 1, n. 2, p. 74-84, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufjf.br/index.php/lynx/article/view/35553. Acesso em: out. 2024.

O artigo aborda o conceito de pensamento computacional no auxílio do processo de aprendizagem do Ensino Médio.

PROSDOCIMI, F. Sobre como o código genético corrobora o darwinismo. **Instituto de Bioquímica Médica UFRJ**, Rio de Janeiro, 24 set. 2013. Disponível em: http://www.bioqmed.ufrj.br/darwin_e_o_codigo_genetico. Acesso em: 17 out. 2024.

Artigo que apresenta alguns aprofundamentos sobre a natureza do código genético, relacionando-o com a evolução das espécies.

CAPÍTULO 6

BIOLOGIA – Fotossíntese (Khan Academy). *[S .l.: s. n.]*, 2012. 1 vídeo (14 min). Publicado pelo canal Khan Academy Brasil. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=v77Dc6gVFic&t=1s. Acesso em: 26 out. 2024.

O vídeo apresenta uma visão geral da fotossíntese, por que ela é importante e como as reações dependentes e independentes da luz trabalham em conjunto.

GOMES, L. M. J. B.; MESSEDER, J. C. Fotossíntese e respiração aeróbica: vamos quebrar a cabeça? Proposta de jogo. **Revista de Ensino de Bioquímica**, São Paulo, v. 12, n. 2, 2014. Disponível em: https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/317/453. Acesso em: 17 out. 2024.

Proposta de jogo para trabalhar a fotossíntese e a respiração aeróbica.

ZIMMER, K. Amazônia não produz 20% do oxigênio do mundo. **National Geographic**, [*S. l.*], 5 nov. 2020. Disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/08/amazonia-oxigenio-mundo-pulmao-floresta-amazonica-queimadas. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo apresenta os dados científicos que suportam a tese de que a Amazônia utiliza grande parte ou todo o oxigênio que produz pela fotossíntese.

CAPÍTULO 7

VANDERLEY, C. S. B. S.; SANTANA, I. C. H. **Histologia e Embriologia animal comparada**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015. Disponível em: https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/431617. Acesso em: 17 out. 2024.

A parte 1 do livro apresenta aspectos da Embriologia geral e comparada, aprofundando conteúdos sobre as etapas do desenvolvimento embrionário em diferentes classes de animais.

YAN, I. BMC0132 Embriologia Molecular (material complementar). [Página inicial]. **Wordpress**, São Paulo, [2023]. Disponível em: https://embriomol.wordpress.com/. Acesso em: 17 out. 2024.

Portal da disciplina Embriologia Molecular oferecido pelo Instituto de Ciências Biomédicas da USP. Nele, estão disponíveis diversos vídeos e modelos interessantes dos estágios iniciais de desenvolvimento do embrião de diferentes animais.

CAPÍTULO 8

BORBA, R. C. do N. Questões de gêneros e sexualidades na reforma do Ensino Médio: investigando desdobramentos para o ensino de Biologia. **Revista Brasileira de Estudos da Homocultura**, Cuiabá, v. 7, n. 22, 2024. Disponível em: https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/rebeh/article/view/16167/13445. Acesso em: 17 out. 2024.

Uso de práticas pedagógicas que promovam a conscientização e o respeito à diversidade, favorecendo processos educativos emancipatórios e inclusivos.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Caminhos para a construção de uma educação sexual transformadora**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caminhos_construcao_educacao_sexual_transformadora.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

Publicação do Ministério da Saúde abordando, além da educação sexual, temas como desigualdade de gênero, diversidade sexual e direitos reprodutivos.

COELHO, L. A. B. dos S. *et al.* Fertilização *in vitro*: debates éticos e legais na reprodução assistida. **Brazilian Journal of Health Review**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 4, 2023. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/61898/44583. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo explora as controvérsias éticas e legais em torno da reprodução assistida, discutindo temas como direitos dos pais, regulamentações e desafios enfrentados na aplicação dessas técnicas.

FURLANETTO, M. F. **Educação em sexualidade na adolescência**: uma cartilha para a comunidade escolar. Porto Alegre: UFRGS; Núcleo de Estudos sobre Famílias e Instituições Educacionais e sociais, 2020. Disponível em: https://www.ufrgs.br/nefies/wp-content/uploads/2020/07/03_cartilha_final_vOnline-4.pdf. Acesso em: 16 set. 2024.

A cartilha apresenta diversos aspectos relacionados à educação sexual, como comportamentos de risco, papel da escola e da família e estratégias de diálogo.

JACOB, A. E. *et al*. O ensino do gênero: debate regrado por práticas escolares democráticas e críticas. **Diálogo das Letras**, Pau dos Ferros, v. 7, n. 2, maio/ago. 2018.

O artigo discute como a prática do debate regrado em sala de aula pode contribuir para uma formação democrática e crítica, promovendo o desenvolvimento de habilidades argumentativas e a reflexão sobre questões sociais.

SILVA, I. R.; NEVES, A. L. M. **Gênero, sexualidade e trajetórias de escolarização**. São Paulo: Devires, 2022.

O livro aborda como questões de gênero e sexualidade influenciam as trajetórias escolares, destacando desafios e avanços na promoção da inclusão e do respeito à diversidade no ambiente educacional.

UNICEF; UNFPA. **Pobreza Menstrual no Brasil**: desigualdade e violações de direitos. Brasília, DF: Unicef, 2021. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/relatorios/pobreza-menstrual-no-brasil-desigualdade-e-violacoes-de-direitos. Acesso em: 17 out. 2024.

O relatório traça um panorama da realidade menstrual das meninas brasileiras.

CAPÍTULO 9

RODRIGUES, J. L. G.; OLIVEIRA, M. G.; SVEDESE, V. M. O uso de laboratório virtual no ensino de Ciências da Natureza diante da conjuntura da covid-19: uma pesquisa bibliográfica. **Ensino & Pesquisa**, Paranavaí, v. 22, n. 2, p. 162-173, 2024. Disponível em: https://periodicos.unespar.edu.br/ensinoepesquisa/article/view/8283/6349. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo aborda o uso de laboratórios virtuais no ensino de Ciências da Natureza durante a pandemia de covid-19. A pesquisa ressalta o impacto positivo dos laboratórios virtuais no ensino de Biologia, oferecendo novas possibilidades de aprendizado.

SANTOS, A. F.; SOUZA, E. G. L.; NASCIMENTO JUNIOR, A. F. A classificação biológica: uma aula a partir do diálogo entre a cultura indígena e a história da ciência. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Lavras, v. 13, n. 6, p. 84-99, 2017. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/handle/1/30038. Acesso em: 17 out. 2024.

O texto explora como os conhecimentos tradicionais indígenas podem ser integrados ao currículo escolar, enriquecendo o entendimento dos estudantes sobre a biodiversidade e as formas de classificação biológica.

CAPÍTULO 10

BARREIROS, V. Biodiesel de algas: uma alternativa para o futuro dos combustíveis? **Ecycle**, São Paulo, [2024]. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/biodiesel-de-algas-uma-alternativa-para-o-futuro-dos-combustiveis/. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo explica como funciona a produção do biodiesel de algas marinhas e apresenta vantagens e desvantagens do combustível.

FIORAVANTI, C. Parasita pronto para o ataque. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 200, p. 68-71, out. 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/parasita-pronto-para-o-ataque/. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo descreve o mecanismo que possivelmente facilita a invasão do *Trypanosoma cruzi* nas células hospedeiras, causando a doença de Chagas.

FIORAVANTI, C. O exterminador de anfíbios. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 196, p. 44-46, jun. 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/06/044-046_fungossapos_196.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo mostra como o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* está associado a uma infecção letal para sapos, rãs e pererecas.

SILVEIRA, E. As rochas vivas de Abrolhos. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 196, p. 38-39, jun. 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/06/038-039_abrolhos_196.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

Chamados "rochas vivas", os rodolitos são esferas calcárias formadas por algas vermelhas milimétricas, que estão ameaçadas.

CAPÍTULO 11

DINIZ, I. N. As árvores do deserto. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 188, p. 48-50, out. 2011. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2011/10/048-050-188.pdf Acesso em: 13 set. 2024.

A matéria, sobre paleobotânica, descreve como fósseis de coníferas encontrados na região Sudeste indicam que essas plantas viveram em ambiente desértico ainda na era dos dinossauros.

REIS, H. S.; DUARTE, N. S.; PINHO, M. J. S. Estratégias didáticas para o ensino de botânica na Educação Básica: uma revisão bibliográfica. **Revista Semiárido de Visu**, Petrolina, v. 12, n. 2, p. 941-952, 2024. Disponível em: https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/638. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo apresenta estratégias didáticas para ensino e aprendizagem da Botânica na Educação Básica.

CAPÍTULO 12

ALCÂNTARA, A. B. S. *et al*. Botânica na escola: os desafios e as possibilidades numa turma do Ensino Médio. **Trilhas** – Revista de Extensão do IF Baiano, Salvador, v. 4, n. 1, p. 76-81, 2024. Disponível em: https://periodicos.ifbaiano.edu.br/index.php/trilhas/article/view/829/148. Acesso em: 17 out. 2024.

A pesquisa discute as dificuldades dos estudantes em compreender os conteúdos relacionados a plantas e propõe estratégias pedagógicas para superar esses obstáculos.

SILVA, M. L. L.; SILVA, C. B. Sequências didáticas para o ensino de botânica, com ênfase na fotossíntese: uma revisão de literatura. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 9, p. 2.090-2.102, 2024. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/15643/8404. Acesso em: 17 out. 2024.

O trabalho explora sequências didáticas que auxiliam na compreensão desse processo biológico fundamental, destacando a importância de metodologias ativas e recursos inovadores para melhorar a assimilação dos conteúdos por parte dos estudantes.

VIEIRA, V. J. C.; CORRÊA, M. J. P. O uso de recursos didáticos como alternativa no ensino de Botânica. **REnBio** – Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 309-327, 2020. Disponível em: https://renbio.org.br/index.php/sbenbio/article/view/290/116. Acesso em: 17 out. 2024.

O artigo investiga como a utilização de materiais como jogos educativos, atividades práticas e materiais visuais pode melhorar a compreensão e o interesse dos estudantes pelo conteúdo botânico.

CAPÍTULO 13

CALDWELL R. *et al.* **Entendendo a evolução**: para professores. Tradução: Camila Leal. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP); Museu de Paleontologia da Universidade da Califórnia (UCMP); National Center for Science Education [2024]. Disponível em: https://evosite.ib.usp.br/. Acesso em: 17 out. 2024.

Portal do Instituto de Biociências da USP com explicações básicas do conceito de evolução biológica, evidências, relevância e histórico.

GASPAROTTO, O. C. *et al.* **Fisiologia animal comparada**. Florianópolis: UAB/MEC, 2011. Disponível em: https://antigo.uab.ufsc.br/biologia//files/2020/08/Fisiologia-Animal-Comparada.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O livro aborda os sistemas corporais dos animais, aprofundando os aspectos evolutivos de cada um deles.

CAPÍTULO 14

RODRIGUES, M. Populações de anfíbios diminuíram na Mata Atlântica nos últimos 130 anos. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 324, p. 55-57, fev. 2023. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2023/02/055-057_anfibios-em-declinio_324.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

A matéria relaciona o declínio de populações de anfíbios com a perda de biodiversidade do mundo.

SILVA, C. L. *et al*. Percepções de alunos do Ensino Médio sobre o ensino de Zoologia. **Revista Educar Mais**, Pelotas, v. 5, n. 3, p. 683-697, 2021.

O artigo analisa a importância do ensino de Zoologia para os alunos do Ensino Médio.

CAPÍTULO 15

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Cigarro eletrônico**: Dispositivos Eletrônicos para Fumar (DEFs). Brasília, DF: Anvisa, [2024]. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/tabaco/cigarro-eletronico. Acesso em: 17 out. 2024.

A página da Anvisa fornece informações sobre os cigarros eletrônicos, incluindo definição, tipos e composição. Destaca os potenciais riscos à saúde associados ao uso desses dispositivos, como dependência e danos pulmonares.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Orientações básicas de atenção integral à saúde de adolescentes nas escolas e unidades básicas de saúde**. Brasília, DF: MEC, 2013. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/orientacao_basica_saude_adolescente.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O documento do Ministério da Saúde orienta sobre a atenção integral à saúde de adolescentes, destacando a importância de intervenções nas escolas e unidades básicas de saúde. Apresenta diretrizes para o cuidado e a promoção da saúde, abordando temas como prevenção de doenças e nutrição.

CAPÍTULO 16

FARIAS, K. M. Dupla poderosa. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 282, p. 52-53, jun. 2011.

O transplante de células-tronco aliado a exercícios tem sido eficaz na recuperação de movimentos em pacientes que sofreram determinados tipos de lesão.

HUTFLESZ, Y. Açaí na cabeça. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 295, p. 67, ago. 2012.

Polímero desenvolvido a partir do bagaço do açaí pode ser uma alternativa à produção de próteses ósseas craniofaciais.

MOUTINHO, S. Gordura do bem. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 283, p. 62-63, jul. 2011.

Células do tecido adiposo estão sendo utilizadas em terapia para tratar queimaduras, auxiliando no processo de cicatrização das lesões. Acredita-se, ainda, que as células de gordura possam se transformar em vários outros tipos de células.

MOUTINHO, S. Pílulas cerebrais. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 297, p. 52-53, out. 2012. Disponível em: https://www.cienciahoje.org.br/artigo/pilulas-cerebrais/. Acesso em: 17 out. 2024.

Medicamento usado para tratar a doença de Alzheimer, que atua sobre o hipocampo, foi testado em pacientes portadores da síndrome de Down, resultando em melhora nas funções cognitivas dos pacientes.

CAPÍTULO 17

GUIMARÃES, M. O legado de um monge invisível. **Revista FAPESP**, São Paulo, n. 239, p. 91-92, jan. 2016. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/01/091-092_Memoria_239.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

A reportagem traz um breve resumo da biografia de Mendel, a importância do seu legado para a Genética e como o seu trabalho foi redescoberto apenas muito tempo após a sua morte.

HENIG, R. M. **O monge no jardim**: o gênio esquecido e descoberto de Gregor Mendel, o pai da Genética. Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

Esse livro trata, com certo detalhe, diversos aspectos sobre a vida e o trabalho de Mendel.

CAPÍTULO 18

ARAÚJO, M. S.; LEITE, A. S. "O caminho das ervilhas": recurso didático no ensino da genética mendeliana. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 514-529, 2020.

O artigo apresenta uma proposta de recurso didático para facilitar o ensino dos princípios da genética mendeliana por meio de uma abordagem prática e lúdica que envolve o uso de ervilhas, inspirada nos experimentos de Gregor Mendel.

COLA, M. O.; SOUZA, A. E. M. Diferentes abordagens metodológicas no ensino de genética para a educação básica. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, Santa Fé do Sul, v. 9, n. 11, p. 1-20, 2020.

Estudo que analisa como diversas abordagens podem facilitar a compreensão de conceitos genéticos pelos estudantes, promovendo maior participação no Ensino Médio.

LOPES, S. M. C. Ensino de Genética no Ensino Médio: desafios e novas perspectivas para qualidade da aprendizagem. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 13, p. e39422132417, 2022.

O artigo apresenta uma proposta pedagógica inovadora para o ensino de Genética, discutindo como essas metodologias podem tornar o estudo mais dinâmico, interativo e eficaz.

SILVA, H. M. A metodologia de resolução de problemas no ensino da Genética. **Scientia Generalis**, Patos de Minas v. 2, n. 2, p. 1-13, 2021.

O artigo defende a resolução de problemas como uma metodologia ativa para o ensino de Genética. O texto descreve como essa abordagem pode ser implementada no Ensino Médio, discutindo sua eficácia em promover o pensamento crítico, a capacidade de investigação e a autonomia dos estudantes.

CAPÍTULO 19

CIENTISTAS testam novo método para combater transmissão de dengue, zika e Chikungunya. **Jornal da USP**, São Paulo, 2 maio 2023. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/cientistas-testam-novo-metodo-para-combater-transmissao-de-dengue-zika-e-chikungunya/. Acesso em: 17 out. 2024.

Mosquitos geneticamente modificados podem ser usados para auxiliar no controle populacional do Aedes aegypti e no combate às epidemias de dengue, zika e Chikungunya.

ROSAS, P. O que são os "genes saltadores" e como eles afetam o envelhecimento. **BBC News**, [*S. l.*], 3 nov. 2023. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/articles/cy01l0yj48zo. Acesso em: 17 out. 2024.

Os genes saltadores são como elementos desestabilizadores dentro do nosso genoma. Ao compreendermos melhor como eles funcionam e como controlá-los, podemos dar um passo importante rumo ao desenvolvimento de terapias antienvelhecimento.

SOUZA, R. F. Uma simulação de teste de paternidade: quem é o pai do bezerro? **Genética na Escola**, São Paulo, v. 6, p. 4-8, 2011. Disponível em: https://www.geneticanaescola.com/revista/article/view/115. Acesso em: 17 out. 2024.

Após breve explanação teórica sobre a técnica de PCR, o texto propõe uma atividade de investigação de paternidade de um bezerro, apresentando o problema e questões de compreensão.

VIEIRA, C. L. Genoma humano: ainda mais complexo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 297, p. 12-13, out. 2012.

O texto apresenta um breve panorama dos resultados acerca da funcionalidade do material genético humano.

CAPÍTULO 20

DARWIN, C.; MIRANDA, D. M.; BIZZO, N. **A origem das espécies**. São Paulo: Edipro, 2019.

O livro é elaborado com base na primeira edição do texto de Darwin, trazendo sua teoria sem cortes e censuras.

PEDROSA, P.; LOPES, R. J. **Darwin sem frescura**: como a ciência evolutiva ajuda a explicar algumas polêmicas da atualidade. Rio de Janeiro: Harper Collins, 2019.

O livro responde a diversas questões da atualidade relacionadas à seleção natural.

CAPÍTULO 21

ANELLI, L. E.; LACERDA, J. **Novo guia completo dos dinossauros do Brasil**. São Paulo: Peirópolis, 2022.

Esse livro, além de trazer a história da vida na Terra, aborda os dinossauros que viveram no nosso país.

KLEIN, A. L.; MARTINS-FERREIRA, C. Espécies: o que são e como surgem? **Genética na Escola**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 34-41, 2012. Disponível em: https://geneticanaescola.emnuvens.com.br/revista/article/view/141/128. Acesso em: 17 out. 2024.

Isolamento reprodutivo, seleção natural, seleção sexual, reforço, isolamento e hibridização são discutidos nesse texto, que tem como objetivo sintetizar conceitos-chave sobre especiação.

RUMJNEK, F. Corro, logo penso. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 297, p. 19, out. 2012.

O texto aponta as ideias principais de um artigo que relaciona a evolução humana a atividades físicas e ao possível aumento do tamanho e da complexidade do cérebro humano.

SAPOLSKY, R. M. Super-humanidade. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 125, p. 30-33, out. 2012.

Entre as características que diferenciam nossa espécie de outros animais está a superação de limites evolutivos: temos a necessidade de nos tornar mais rápidos e mais inteligentes, por exemplo. Isso resulta em um descompasso entre o ambiente ancestral e o atual, e a Ciência talvez seja a ferramenta para atingirmos objetivos e expandirmos nossas fronteiras.

WONG, K. Os *hobbits* da Indonésia, ainda mais estranhos. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 91, p. 48-55, dez. 2009.

Análises adicionais ao trabalho *O crepúsculo do homem de Neandertal*, do mesmo autor, sugerem que é necessário rever os princípios básicos da evolução humana.

CAPÍTULO 22

CRIADO, M. A. A natureza já não pode mais sustentar os humanos. **El País**, [*s. l.*], out. 2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/10/10/ciencia/1570701640_165943.html#?rel=mas. Acesso em: 17 out. 2024.

A matéria relaciona a redução dos benefícios oferecidos pela natureza para os seres humanos, como água de qualidade e serviços de polinização, a causas provocadas pelos próprios seres humanos.

MACHADO, E. F. **Fundamentação pedagógica e instrumentação para o ensino de Ciências e Biologia**. Curitiba: Intersaberes, 2020.

O livro apresenta caminhos teóricos e metodológicos para o planejamento e desenvolvimento do ensino de Ciências e Biologia.

SALAS, J. A humanidade não chegará aos 10 bilhões de pessoas. **El País**, [*s. l.*], jul. 2020. Disponível em: https://brasil.elpais.com/ciencia/2020-07-16/a-humanidade-nao-chegara-aos-10-bilhoes.html. Acesso em: 17 out. 2024.

A matéria apresenta informações de um estudo científico sobre previsões do número da população mundial para as próximas décadas.

CAPÍTULO 23

DANTAS, F. C. C.; TORRES, R. M. A elaboração de projetos como metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de ecologia na educação profissional técnica. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Recife, v. 8, n. 4, 2020.

O artigo explora o uso de projetos como uma metodologia de aprendizagem ativa no ensino de Ecologia em cursos técnicos. Os autores discutem como essa abordagem pedagógica promove a participação ativa dos estudantes, estimulando o desenvolvimento de habilidades práticas e teóricas relacionadas ao meio ambiente e à Ecologia.

MACIEL, E. A.; UHMANN, R. I. M.. Concepções de Educação Ambiental no ensino de Ecologia em atenção às estratégias de ensino: uma revisão bibliográfica. **REMEA** – Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, Rio Grande, v. 37, n. 1, p. 109-126, 2020.

As autoras analisam diversas estratégias pedagógicas utilizadas na educação ambiental, destacando como elas contribuem para a formação crítica e consciente dos estudantes em relação às questões ecológicas.

CAPÍTULO 24

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: ONU, 15 set. 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel. Acesso em: 17 out. 2024.

Informações sobre os compromissos firmados na Agenda 2030 da ONU.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 17 out. 2024.

Documentos da Organização das Nações Unidas sobre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

ISBN 978-85-16-14036-6