

# BIO

Sônia Lopes  
Sergio Rosso

COMPONENTE  
CURRICULAR  
**BIOLOGIA**  
1º ANO  
ENSINO MÉDIO

MANUAL DO PROFESSOR



# 1

 **Editora  
Saraiva**

# BIO

COMPONENTE CURRICULAR
<b>BIOLOGIA</b>
1º ANO ENSINO MÉDIO

## Sônia Lopes

Licenciada em Ciências Biológicas e Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo

Professora Doutora do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

## Sergio Rosso

Licenciado em Ciências Biológicas e Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo

Professor Doutor do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

# 1

MANUAL DO PROFESSOR

3ª edição – 2016  
São Paulo

 **Editora Saraiva**

Bio, volume 1  
© Sônia Lopes / Sergio Rosso, 2016

Direitos desta edição: Saraiva Educação Ltda., São Paulo, 2016  
**Todos os direitos reservados**

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

Lopes, Sônia  
Bio, volume 1 / Sônia Lopes, Sergio Rosso. --  
3. ed. -- São Paulo : Saraiva, 2016.

Obra em 3 v.  
Suplementado pelo manual do professor.  
Bibliografia.  
ISBN 978-85-472-0501-0 (aluno)  
ISBN 978-85-472-0502-7 (professor)

I. Biologia (Ensino médio) I. Rosso, Sergio.  
II. Título.

16-03187

CDD-574.07

**Índices para catálogo sistemático:**

I. Biologia : Ensino médio 574.07



Araras-canindés (*Ara ararauna*)  
fotografadas em Aripuanã (AM),  
em 2014. Essa espécie mede  
cerca de 80 cm de comprimento.

<b>Diretora editorial</b>	Lidiane Vivaldini Olo
<b>Gerente editorial</b>	Luiz Tonolli
<b>Editor responsável</b>	Isabel Rebelo Roque
<b>Editores</b>	Fabiola Bovo Mendonça, Mayra S. Hatakeyama Sato, Paula Signorini
<b>Assistente editorial</b>	Anderson Tamakoshi
<b>Gerente de produção editorial</b>	Ricardo de Gan Braga
<b>Gerente de revisão</b>	Hélia de Jesus Gonsaga
<b>Coordenador de revisão</b>	Camila Christi Gazzani
<b>Revisores</b>	Diego Carbone, Maura Loria, Sueli Bossi
<b>Produtor editorial</b>	Roseli Saïd
<b>Supervisor de iconografia</b>	Silvio Klugin
<b>Coordenador de iconografia</b>	Cristina Akisino
<b>Pesquisa iconográfica</b>	Roberto Silva, Enio Rodrigo Lopes
<b>Licenciamento de textos</b>	Erica Brambila, Paula Claro
<b>Coordenador de artes</b>	Aderson Oliveira
<b>Design</b>	Alexandre Santana de Paula
<b>Capa</b>	Simone Zupardo Dias com imagem de Adriano Gambarini
<b>Diagramação</b>	Elis Regina de Oliveira
<b>Assistente</b>	Jacqueline Ortolan
<b>Ilustrações</b>	Adilson Secco, Alex Argozino, Alex Silva, Conceitograf, Dacosta Mapas, Dawidson França, Emerson Ramos, Estúdio Ampla Arena, Hagaquezart Estúdio, Jurandir Ribeiro, Laura Monsterrat, Lígia Duque, Luis Moura, Luiz Fernando Rubio, Mario Yoshida, Osni de Oliveira, Paulo Cesar Pereira, Rickardo, Rodval Matias, Sandro Castelli, Sonia Vaz, Studio Caparroz, Walter Caldeira
<b>Cartografia</b>	Dacosta Mapas, Mario Yoshida, Sonia Vaz, Studio Caparroz
<b>Tratamento de imagens</b>	Emerson de Lima
<b>Protótipos</b>	Magali Prado
078147.003.001	<b>Impressão e acabamento</b>

O material de publicidade e propaganda reproduzido nesta obra está sendo utilizado apenas para fins didáticos, não representando qualquer tipo de recomendação de produtos ou empresas por parte do(s) autor(es) e da editora.

Nos livros desta coleção são sugeridos vários experimentos. Foram selecionados experimentos seguros, que não oferecem riscos ao estudante. Ainda assim, recomendamos que professores, pais ou responsáveis acompanhem sua realização atentamente.



**Editora  
Saraiva**

**SAC**

0800-0117875

De 2ª a 6ª, das 8h às 18h

www.editorasaraiva.com.br/contato

Avenida das Nações Unidas, 7221 – 1ª andar – Setor C – Pinheiros – CEP 05425-902

# APRESENTAÇÃO

## CONVERSANDO COM VOCÊ, ESTUDANTE

É um prazer para nós saber que está usando este livro. Ele foi escrito com muita dedicação e cuidado, visando oferecer a você um bom material de estudo.

Nossa proposta é aproximar o universo biológico das questões cotidianas, abrindo espaços para a reflexão e o desenvolvimento do espírito crítico e de valores voltados para a cidadania.

Procuramos apresentar a Biologia de maneira integrada, interligando diversas de suas subáreas e relacionando-as com outras áreas do saber.

Para que possa aproveitar melhor esta coleção, recomendamos que, primeiro, conheça a estrutura do livro, descrita nas páginas seguintes. Mesmo sendo um livro bem completo, ele não substitui seus professores. São eles que estarão sempre ao seu lado, pessoalmente, contribuindo ainda mais para sua formação. Aproveite essa oportunidade e estude muito. Seu futuro agradecerá!

Esperamos que você, ao estudar Biologia, aprenda a amar e a respeitar cada vez mais a vida.

Com carinho,

**Os autores**

# CONHEÇA SEU LIVRO

## ABERTURA DE UNIDADE

Cada unidade aborda um grande tema da Biologia e inicia-se com destaque para uma fotografia e sua legenda. Uma frase instigante faz pensar sobre o que será estudado.



## ABERTURA DE CAPÍTULO

Cada capítulo inicia-se com uma página de abertura que tem dois objetivos principais: despertar seu interesse pelo assunto e abrir espaço para que você diga o que já conhece a respeito do que será discutido.



## CONTEÚDO DO CAPÍTULO

Em linguagem clara e objetiva, o capítulo aproxima você dos conceitos básicos da Biologia, relacionando-os, sempre que possível, a outras áreas do saber.

## INFOGRÁFICOS

Os infográficos apresentam informações integradas às imagens, de forma dinâmica.



**Colocando em foco**

**DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS**

O desmatamento da Amazônia está relacionado à expansão do agronegócio, principalmente para a criação de gado e a expansão do cultivo de soja. Essas atividades são responsáveis por cerca de 80% do desmatamento da região. Além disso, a exploração madeireira e a mineração também contribuem para a perda de áreas florestadas.

### COLOCANDO EM FOCO

Destaca aspectos da Biologia ligados a cotidiano, saúde, cidadania, ética e sociedade, entre outros temas.

**Despertando Ideias**

Quais comprimentos de onda são refletidos por diferentes comprimentos de onda de luz incidente?

Para responder a essa pergunta, realize o seguinte experimento:

1. Monte um experimento com um tubo de papel e um pedaço de fita colorida.
2. Ilumine o tubo com uma luz branca.
3. Observe as cores que aparecem no tubo.
4. Repita o experimento com diferentes comprimentos de onda de luz incidente.

Quais comprimentos de onda são refletidos por diferentes comprimentos de onda de luz incidente? Para responder a essa pergunta, realize o seguinte experimento:

- 6. Jogue as respostas de seus colegas em uma caixa e escolha um nome.

### DESPERTANDO IDEIAS

Antes de um tema ser abordado no capítulo, essa seção, por meio de experimentos e outras atividades práticas, abre espaço para discussões sobre assuntos que serão tratados em seguida.

### TEMA PARA DISCUSSÃO

Apresenta textos que ampliam a visão sobre o assunto do capítulo. As questões orientam a troca de ideias, o debate, a produção e a divulgação dos saberes, valorizando a cidadania.

**Tema para discussão**

**Por que os dinossauros foram extintos?**

A extinção de espécies é um processo natural que ocorre ao longo da história da vida na Terra. A extinção em massa dos dinossauros ocorreu há cerca de 65 milhões de anos atrás, provavelmente devido a um impacto de um asteroide. Outros fatores, como mudanças climáticas e doenças, também podem ter contribuído para a extinção.

**Retomando**

Com a revisão, a diversidade de conhecimentos adquiridos é fortalecida. Retome as respostas às questões de reflexão da seção **Pense nisso** que esteve com o estudo desta capítulo. Pense e amplie sua interpretação, que relações você já estabeleceu com o mundo ao seu redor? Quais características do ambiente lhe permitem sobreviver?

**Ampliando e integrando**

**Retomando**

Com a revisão, a diversidade de conhecimentos adquiridos é fortalecida. Retome as respostas às questões de reflexão da seção **Pense nisso** que esteve com o estudo desta capítulo. Pense e amplie sua interpretação, que relações você já estabeleceu com o mundo ao seu redor? Quais características do ambiente lhe permitem sobreviver?

### RETOMANDO

Momento de retomar a seção **Pense nisso**, presente na abertura de uma seção. Essa reflexão é fundamental para sua aprendizagem. Pense, reflita, pondere, reveja seus conhecimentos e estruture o que aprendeu.

**AMPLIANDO E INTEGRANDO CONHECIMENTOS**

Atividades variadas, pautadas no desenvolvimento de competências e habilidades, como as exigidas pelo Enem. Muitas delas são trabalhadas em grupo.

**Ampliando e integrando conhecimentos**

**Atividade 1** Elementos químicos nos seres vivos

Em Química, você estudou os elementos químicos e suas propriedades. Agora, vamos aplicar esse conhecimento em Biologia. Observe a tabela a seguir e responda às questões.

Elemento	Função
Carbono	Forma a base estrutural dos compostos orgânicos.
Hidrogênio	Participa da formação de ligações covalentes.
Oxigênio	Participa da formação de ligações covalentes e é essencial para a respiração celular.
Nitrogênio	Participa da formação de aminoácidos e nucleotídeos.
Fósforo	Participa da formação de ácidos nucleicos e ATP.
Sódio	Participa da condução de impulsos nervosos.
Cloro	Participa da formação de sais e da manutenção do equilíbrio osmótico.

**Testes**

1. Observe o gráfico a seguir e responda às questões.

2. Leia o texto a seguir e responda às questões.

3. Observe o gráfico a seguir e responda às questões.

### TESTES

Seleção criteriosa de testes dos principais vestibulares e do Enem, para você estudar e se preparar para os exames de ingresso no Ensino Superior.

# SUMÁRIO

## Unidade 1 O mundo em que vivemos

### Capítulo 1 • Introdução à Biologia

Pense nisso, 11

1. Biologia: ciência da vida, 12
2. A Biologia como ciência, 13
3. Biologia e outros saberes, 16
4. Os níveis hierárquicos de organização biológica, 18
5. Características dos seres vivos, 20
6. Evolução, o princípio unificador da Biologia, 20

Tema para discussão: Vírus, viroides e príons: seres vivos ou não?, 23

Retomando, 24

Ampliando e integrando conhecimentos, 25

Testes, 27

### Capítulo 2 • Introdução à Ecologia

Pense nisso, 29

1. Ecologia, 30
2. A atmosfera e o efeito estufa, 30
3. Os grandes padrões climáticos, 34
4. O efeito da altitude no clima, 36
5. O efeito dos oceanos no clima, 37

Tema para discussão: Cidades e ecossistemas, 39

Retomando, 41

Ampliando e integrando conhecimentos, 41

Testes, 44

### Capítulo 3 • Ecossistemas terrestres e aquáticos

Pense nisso, 46

1. Ecossistemas terrestres, 47
  - 1.1. Florestas Tropicais e Savanas, 47

1.2. Florestas Temperadas Decíduas e Florestas de Coníferas, 48

1.3. Desertos, 49

1.4. Campos, Chaparral e Tundra, 50

2. Biomas do Brasil, 52

2.1. Amazônia, 52

2.2. Mata Atlântica, 54

2.3. Manguezal: um ecossistema especial, 56

2.4. Caatinga, 56

2.5. Cerrado, 58

2.6. Pampa, ou Campo sulino, 59

2.7. Pantanal, 60

3. Ecossistemas aquáticos, 61

3.1. Oceanos, 62

3.2. Lagos e rios, 64

Tema para discussão: O fogo: inimigo ou amigo?, 64

Retomando, 66

Ampliando e integrando conhecimentos, 66

Testes, 68

### Capítulo 4 • Estrutura dos ecossistemas, fluxo de energia e ciclo da matéria

Pense nisso, 70

1. Hábitat e nicho ecológico, 71
2. Os componentes estruturais de um ecossistema, 71
3. Cadeia e teia alimentar, 73
4. Os níveis tróficos, 74
5. Pirâmides ecológicas, 75
  - 5.1. Pirâmide de números, 75
  - 5.2. Pirâmide de biomassa, 76
  - 5.3. Pirâmide de energia, 77
6. Modelo do fluxo energético, 78

## 7. Os ciclos biogeoquímicos, 79

- 7.1. Ciclo da água, 79
- 7.2. Ciclo do carbono, 80
- 7.3. Ciclo do oxigênio, 81
- 7.4. Ciclo do nitrogênio, 83
- 7.5. Ciclo do fósforo, 85

**Tema para discussão: Pegada de água ou pegada hídrica, 86**

**Retomando, 87**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 88**

**Testes, 90**

## Capítulo 5 • Comunidades e populações

**Pense nisso, 92**

1. Características estruturais de comunidades, 93
2. A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica, 93
3. Interações entre populações de uma comunidade, 97
  - 3.1. Interações intraespecíficas, 97
  - 3.2. Interações interespecíficas, 100
4. Ecologia das populações, 104
  - 4.1. Principais características de uma população, 104
  - 4.2. Fatores reguladores do tamanho da população, 107

**Tema para discussão: Um exemplo real de desequilíbrio ecológico, 111**

**Retomando, 111**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 112**

**Testes, 114**

## Capítulo 6 • Alterações ambientais

**Pense nisso, 117**

1. Introdução, 118
2. Alterações bióticas, 118
  - 2.1. Introdução de espécies, 118
  - 2.2. Extinção de espécies, 119
3. Poluição dos ecossistemas, 120
  - 3.1. Poluição sonora, 120
  - 3.2. Poluição por eutroficação, 120
  - 3.3. Poluição térmica, 121
  - 3.4. Poluição do ar, 121
  - 3.5. Aquecimento global, 123
  - 3.6. Poluição por elementos radiativos, 126
  - 3.7. Poluição por substâncias não biodegradáveis, 126
  - 3.8. Poluição por derramamento de petróleo, 128
  - 3.9. O lixo, 129
4. Pegada ecológica e biocapacidade, 131
5. Desenvolvimento sustentável, 132
6. Conservação biológica, 134
  - 6.1. Unidades de conservação, 134

**Tema para discussão: Onda de rejeitos da Samarco atingiu 663 km de rios e devastou 1 469 hectares de terras, 137**

**Retomando, 139**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 139**

**Testes, 141**

## Unidade 2

### Origem da vida e Biologia Celular

#### Capítulo 7 • Das origens aos dias de hoje

**Pense nisso, 145**

1. Introdução, 146
2. A origem dos seres vivos, 146
  - 2.1. Biogênese versus abiogênese, 146
3. A origem dos primeiros seres vivos, 150
  - 3.1. Origem extraterrestre (panspermia), 150
  - 3.2. Origem por evolução química, 151
  - 3.3. Origem por processos químicos nas fontes termais submarinas, 153
4. O surgimento dos primeiros seres vivos: os procariontes, 154

5. O surgimento dos primeiros eucariontes, 155
6. O surgimento dos multicelulares eucariontes, 157
7. A dinâmica da Terra e da vida ao longo do tempo, 158

**Tema para discussão: Por que os dinossauros foram extintos?, 162**

**Retomando, 163**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 164**

**Testes, 166**

## Capítulo 8 • A química da vida

**Pense nisso, 168**

1. Introdução, 169
2. A água, 169
3. Sais minerais, 172
4. Vitaminas, 173
5. Carboidratos, 175
  - 5.1. Monossacarídeos, 175
  - 5.2. Dissacarídeos, 175
  - 5.3. Polissacarídeos, 176
  - 5.4. Carboidratos na alimentação humana, 176
6. Lipídios, 178
  - 6.1. Carotenoides, 178
  - 6.2. Triglicerídeos, 178
  - 6.3. Fosfolipídios, 179
  - 6.4. Cerídeos, 180
  - 6.5. Esteroides, 180
7. Proteínas, 181
  - 7.1. Aminoácidos, 182
  - 7.2. Ligação peptídica, 183
  - 7.3. Estrutura da proteína, 183
8. Enzimas, 185
  - 8.1. Fatores que influenciam a atividade enzimática, 186
9. Os ácidos nucleicos, 187

**Tema para discussão: Contando calorias, 189**

**Retomando, 190**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 191**

**Testes, 192**

## Capítulo 9 • Citologia e envoltórios celulares

**Pense nisso, 194**

1. Introdução, 195
2. Um pouco de história, 195
3. Atuais microscópios de luz, 196
4. Células observadas ao microscópio de luz, 197
5. Microscópios eletrônicos, 199
6. Poder de aumento e de resolução, 200
7. Medidas usadas no estudo das células, 201
8. A teoria celular, 201
9. Os envoltórios celulares, 201
  - 9.1. Membrana plasmática, 201
  - 9.2. Envoltórios externos à membrana plasmática, 204
10. Processos de troca entre a célula e o meio externo, 205
  - 10.1. Concentração de uma solução, 206
  - 10.2. Difusão, 207
  - 10.3. Osmose, 207
  - 10.4. Difusão facilitada, 210
  - 10.5. Bomba de sódio e potássio – processo ativo, 211
  - 10.6. Endocitose e exocitose, 212

**Tema para discussão: Osmose reversa e o tratamento de água, 214**

**Retomando, 215**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 215**

**Testes, 217**

## Capítulo 10 • O citoplasma das células

**Pense nisso, 219**

1. Comparando células procarióticas com eucarióticas, 220
2. Citoesqueleto, 222

3. Centríolos, cílios e flagelos, 223
4. Ribossomos, 224
5. Peroxissomos, 225
6. Retículo endoplasmático, 226
7. Complexo golgiense, 227
8. Lisossomos, 228
  - 8.1. Função heterofágica, 228
  - 8.2. Função autofágica, 229
9. Vacúolo de suco celular, 230
10. Vacúolo pulsátil, 230
11. Plastos, 231
12. Mitocôndrias, 231

**Tema para discussão: Construindo modelos de estrutura celular, 232**

**Retomando, 233**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 233**

**Testes, 235**

## Capítulo 11 • Metabolismo energético

**Pense nisso, 237**

1. Reações químicas, acoplamento de reações e ATP, 238
2. Transportadores de hidrogênio: NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup> e FAD, 240
3. Fotossíntese, 240
  - 3.1. Origem do oxigênio e fotossíntese bacteriana, 242
  - 3.2. Luz e pigmentos fotossintetizantes, 242
  - 3.3. As etapas da fotossíntese, 245
4. Quimiossíntese, 251
5. Respiração, 251
  - 5.1. Glicólise, 252
  - 5.2. Formação de acetil-CoA e ciclo de Krebs, 253
  - 5.3. Cadeia respiratória, 255
6. Fermentação, 256
  - 6.1. Fermentação láctica, 256
  - 6.2. Fermentação alcoólica, 257

**Tema para discussão: Como adquirir um bom condicionamento físico, 258**

**Retomando, 259**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 259**

**Testes, 260**

## Capítulo 12 • Núcleo, divisões celulares e reprodução

**Pense nisso, 262**

1. Núcleo, 263
2. Envelope nuclear, 264
3. Nucleoplasma e cromatina, 264
4. Nucléolo, 266
5. Divisão celular: noções gerais, 266
6. Ciclo celular, 268
7. Interfase, 268
  - 7.1. O controle do ciclo celular, 271
8. Mitose em células animais, 271
  - 8.1. Prófase, 271
  - 8.2. Metáfase, 272
  - 8.3. Anáfase, 272
  - 8.4. Telófase e citocinese, 273
9. Mitose em células vegetais, 275
10. Meiose, 275
  - 10.1. Meiose I, 276
  - 10.2. Meiose II, 278
11. A divisão celular das bactérias, 279
12. Reprodução, 279
  - 12.1. Reprodução assexuada, 279
  - 12.2. Reprodução sexuada, 280

**Tema para discussão: Consequências da não disjunção dos cromossomos na meiose humana, 281**

**Retomando, 282**

**Ampliando e integrando conhecimentos, 282**

**Testes, 284**

**Sugestões de consulta, 286**

**Gabarito, 288**

**Orientações didáticas, 289**

UNIDADE

1

# O mundo em que vivemos

“O que guia a vida é...  
um pequeno fluxo,  
mantido pela luz  
do Sol.”

Albert Szent-Györgyi (1893-1986),  
fisiologista húngaro ganhador do  
prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia  
de 1937, por seus estudos relacionados  
ao ácido ascórbico (vitamina C).

Luciano Cristiani

Fotografia de *Philomedusa* sp.  
(cerca de 10 cm de  
comprimento) em flor de  
*Heliconia* sp., Mata Atlântica,  
Juquitiba, SP.

## CAPÍTULO

## 1

Introdução  
à Biologia

Luciano Candiani



**Figura 1.1.** A natureza é incrível. Nas cheias periódicas do Pantanal mato-grossense, a vegetação fica imersa, como mostra essa fotografia de uma árvore quase totalmente dentro da água. Nessas ocasiões, os peixes nadam por entre os galhos em uma imagem que mais parece um filme de ficção científica. Na natureza, todos os elementos estão ligados: fatores físicos, químicos, geológicos e biológicos interagem gerando enorme diversidade de ecossistemas, cada um com suas peculiaridades. Escolhemos essa fotografia para instigar você a entrar no universo da vida. Desfrute dessa imagem e embarque nessa viagem de grandes aprendizados.



## Pense nisso

- O que você espera aprender estudando Biologia?
- Como essa ciência pode contribuir para sua formação como cidadão?
- Se você fosse estudar o ambiente retratado acima, que fatores levaria em consideração? Como organizaria seus estudos?

# 1. Biologia: ciência da vida

A palavra “biologia” significa “estudo da vida” (do grego *bios* = vida; *logia* = estudo) e é empregada para denominar uma ciência que busca compreender os mecanismos que regem a vida. Na Biologia estuda-se, por exemplo, a origem e a evolução dos seres vivos, as relações dos seres vivos entre si e com o meio ambiente, o modo como os organismos se mantêm vivos e se reproduzem e noções de higiene e saúde.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o estado de saúde de uma pessoa envolve o completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doenças. Noções de higiene e saúde são importantes, pois estamos a todo o momento tomando decisões sobre o que e quando comer ou beber, quais exercícios físicos fazer e por que, enfim, sobre muitos aspectos que compõem o nosso estilo de viver (Fig. 1.2).

Estudar Biologia também nos ajuda a entender os mecanismos básicos relacionados à nutrição, ao sexo e à reprodução, às doenças sexualmente transmissíveis como a Aids, aos malefícios do fumo, das bebidas alcoólicas e de outras drogas. Deste modo, procuraremos levar a você conhecimentos importantes para que suas escolhas quanto à manutenção da saúde sejam conscientes e para que você tome decisões mais responsáveis sobre a sua própria vida.

O estudo da Biologia, assim como o de outras disciplinas, deve proporcionar a você a possibilidade de entrar em contato com diversas questões ligadas à ética e à cidadania.

Falamos em ética quando nos referimos a valores e princípios que norteiam a conduta humana, buscando o bem social. Por exemplo, ao tratarmos de temas como manipulação do material genético dos seres vivos, produção de organismos transgênicos, clonagem, células-tronco e problemas com o lixo e com o esgoto, seus

valores éticos serão importantes para a sua análise crítica nas discussões.

Falamos em cidadania quando nos referimos a um conjunto de normas que garantem a todos nós a possibilidade de participar ativamente da vida e do governo de nosso povo. Exercer cidadania é justamente ser ativo nessa tarefa. Para que sejamos cidadãos responsáveis, devemos ser capazes de fazer escolhas, conscientes dos nossos direitos e deveres como indivíduos e dos direitos e deveres das outras pessoas, buscando o nosso bem-estar e o da coletividade.

Exercemos cidadania quando analisamos questões que permeiam os âmbitos social, político e econômico, como a implantação de indústrias em determinadas regiões, o controle de poluentes, a construção de estradas, edifícios, usinas hidrelétricas e muitos outros casos. Nesses exemplos, é importante, como cidadão, ter noções mínimas de características do meio ambiente para poder avaliar ou reconhecer diversas opiniões sobre o assunto. Devemos estar atentos se medidas de respeito à natureza estão sendo empregadas e se as intervenções humanas no ambiente trarão ou não prejuízos. É importante procurar saber se uma determinada obra terá um desenvolvimento eficiente em termos ecológicos, ou seja, se as interações entre as intervenções humanas e o ambiente não trarão prejuízos para o ambiente e os seres vivos.

Com o estudo da Biologia, pode-se entender que, além da diversidade de organismos e de ambientes que existe no mundo, há muita diversidade entre as pessoas. Respeitar a diversidade em todos esses âmbitos também faz parte do exercício da sua cidadania.

Ao longo dos livros desta coleção, você encontrará situações nas quais poderá atuar como multiplicador de princípios e atitudes éticas junto à sua comunidade. Essa é uma forma de mobilização popular e você estará exercendo cidadania.

**Figura 1.2.** Um dos caminhos para o bem-estar é a interação física e mental saudável com o ambiente e a prática de exercícios físicos. >



Thinkstock/Getty Images



## Colocando em foco

### A ISO, O VERDE E VOCÊ

A *International Standardization Organization* (ISO), que em português significa “Organização Internacional de Normatização”, é uma entidade mundial fundada em 1947 para desenvolver normas internacionais que garantam a qualidade dos produtos da indústria.

O conjunto de sistemas de gestão de qualidade compõe a ISO 9 000. Ela garante ao consumidor que padrões internacionais foram tomados para assegurar a qualidade final dos produtos consumidos. Para a empresa, a ISO 9 000 proporciona maior aceitação de seus produtos e serviços pelos consumidores e pelos mercados internacionais, já que alguns exigem essa certificação para a entrada desses produtos e serviços em seus países.

Atualmente, a ISO também certifica empresas com base na ISO 14 000, a chamada ISO verde (Fig. 1.3). O objetivo dessas normas é estabelecer diretrizes para a gestão ambiental nas empresas, no que diz respeito aos impactos imediatos e de longo prazo, tanto de produtos como de projetos e processos industriais. Ao considerar esses impactos, devemos sempre procurar conhecer sua origem, de maneira que o planejamento permita que eles sejam evitados ou reduzidos. Para tanto, o conhecimento que a Biologia gera é fundamental. No mundo corporativo atual, nem sempre a “consciência ecológica” é suficiente para que uma empresa resolva adotar a ISO verde. No entanto, há diversos outros motivos para que isso seja feito, dentre os quais podemos citar:

- aumento na eficiência dos processos de produção, pela redução do desperdício de matérias-primas e de energia, com foco em maiores lucros;
- interesse em aumentar os lucros com o mercado dos chamados produtos verdes, isto é, ecologicamente corretos, que vêm sendo cada vez mais procurados pelos consumidores, em decorrência da aceitação cada vez maior da ideia de consumo consciente;
- adoção de sistemas de gestão e procedimentos que atendam à fiscalização governamental e diminuam as ocorrências de acidentes ambientais ou desastres ecológicos (passíveis de processos e multas);
- redução dos altos custos com apólices de seguro por acidentes ecológicos, que tenderão, com a adoção de procedimentos certificados, a ter sua ocorrência reduzida.

E você? Quais seriam seus motivos, como cidadão, para comprar um produto com certificação ISO verde?

Texto escrito especialmente para este livro por Carlos Eduardo Rogério, administrador de empresas.



Figura 1.3. A ISO verde é uma norma internacional que estabelece diretrizes para a gestão ambiental nas empresas.

## 2. A Biologia como ciência

A palavra “ciência” vem do latim *scientia*, que significa conhecimento. O termo “ciência” pode ser interpretado de diferentes maneiras, que são amplamente discutidas na Filosofia, área das Ciências Humanas. Adotaremos como concepção de ciência um modo organizado de buscar e analisar evidências sobre a história e o funcionamento do mundo natural. Assim, um dos objetivos da ciência é fornecer explicações para eventos do mundo natural. Outro objetivo é usar essas explicações para entender padrões na natureza e fazer previsões do que pode acontecer em dados eventos naturais. A ciência gera conhecimento e é dinâmica, ou seja, está em constante desenvolvimento.

Embora a quantidade de conhecimentos científicos esteja crescendo rapidamente e hoje saibamos bastante a respeito do mundo natural, há ainda muitos

conhecimentos a serem produzidos e descobertos. Muitas perguntas sobre a vida, sobre o mundo e sobre fenômenos que observamos ainda nem foram feitas, e há perguntas que, apesar de já terem sido feitas, continuam sem respostas, mesmo que muitas pessoas tenham colaborado e estejam colaborando para solucioná-las. Pode parecer estranho, mas quase todas as descobertas científicas trazem mais perguntas do que respostas. Em certos casos, descobertas nos levam a interpretações completamente diferentes das que tínhamos até então, mudando nossa visão de mundo. Isso é uma consequência do dinamismo da ciência.

A construção do conhecimento científico é feita com base em **procedimentos científicos**.



## Despertando ideias

REGISTRE  
NO CADERNO



### E agora? Será que quebrou?

Apesar de parecer algo distante da vida das pessoas, a ciência está em nosso cotidiano e usamos alguns dos procedimentos científicos para solucionar questões do dia a dia, mesmo sem perceber.

Suponha que você vá jogar *videogame* e, ao ligar a TV, perceba que ela não está funcionando (Fig. 1.4). Logo vai se perguntar: por que será que ela não funciona? Para tentar responder a essa pergunta, vai recorrer ao que sabe a respeito do que é preciso para uma televisão funcionar. Vai buscar explicações e selecionar as que considera mais importantes para responder à pergunta. Pode ser que a TV esteja desconectada da corrente elétrica. Para testar isso, você verifica se o plugue está encaixado na tomada. Se não estiver, você o conecta e, novamente, tenta ligar a TV. Se ela funcionar, o problema foi resolvido, se não, você deve pensar em outra alternativa para ser testada. Pode ser que a tomada que usou não esteja funcionando, e você, então, tenta ligar a TV em outra tomada. Se ela funcionar, o problema foi resolvido.

Proponha outra situação do seu cotidiano em que você precise estabelecer procedimentos para solucionar um problema.

Professor(a), desenvolva com os estudantes a sugestão de atividade extra "Desvendando a caixa-preta", descrita nas Orientações didáticas, ao final do Manual do Professor. Com ela será possível trabalhar elaboração de hipóteses, interpretação de resultados e elaboração de modelos.



Por Kimya Kuberna / Getty Images

Figura 1.4. Quando uma TV não funciona, buscamos explicações para solucionar o problema.

A partir de uma **pergunta** buscamos respostas com base no que já sabemos a respeito daquele assunto e formulamos uma explicação que possa ser testada, a **hipótese**.

Além de ser testável, para que a hipótese possa ser considerada científica, deve poder ser **refutável**, ou seja, deve permitir que novos testes mostrem que ela não é verdadeira. Se uma hipótese for **refutada**, outras deverão ser formuladas e novos testes realizados. Uma hipótese que não foi refutada depois de muitos testes, é considerada **corroborada**. Isso não quer dizer que ela não possa vir a ser refutada. Mesmo uma hipótese corroborada só se mantém válida até que surjam casos em que seja derrubada. Nessa situação, uma nova hipótese é proposta e testada, e assim por diante. Portanto, hipóteses nunca podem ser provadas; apenas corroboradas ou refutadas. Vamos ver um exemplo. Considere a pergunta: qual a cor das penas dos cisnes? Com base em observações prévias em vários lagos, minha hipótese é de que todos os cisnes são brancos. Agora preciso testar essa hipótese fazendo uma dedução. **SE** todos os cisnes são brancos, **ENTÃO** o próximo cisne que eu encontrar será branco. Posso encontrar centenas de cisnes brancos que comprovam essa hipótese, mas basta encontrar apenas um cisne negro que a hipótese é refutada. No exemplo da televisão, foi aplicado esse raciocínio: se a hipótese de que a TV não liga porque está fora da

tomada estiver correta, **então**, ao ligá-la na tomada a TV vai funcionar.

Essa maneira de estruturar a investigação é chamada **hipotético-dedutiva**; a partir do geral procura-se explicar o particular. A dedução é uma previsão sobre quais resultados deveríamos esperar se uma hipótese for correta. O teste da hipótese pode ser feito de diferentes maneiras, com experimentos, com a observação da natureza e com a interpretação do que foi observado.

Quando o teste é feito por meio de experimentos, deve-se trabalhar com dois grupos:

- um **experimental**: aquele em que se promove alteração em um fator a ser testado, deixando todos os demais fatores sem alteração;
- um **controle**: que é submetido aos fatores sem nenhuma alteração. Assim, pode-se testar um fator por vez comparando os resultados obtidos no grupo experimental com o que foi obtido no grupo controle.

Ocorrendo diferenças entre os resultados do grupo experimental e os do controle, elas são atribuídas ao fator que está sendo testado. Não ocorrendo diferenças, pode-se dizer que o fator analisado não interfere no processo em estudo.

As conclusões obtidas a partir das respostas encontradas podem iniciar novas perguntas, hipóteses e assim por diante.

Os cientistas compartilham informações por meio de publicações (como as revistas científicas), encontros, congressos e comunicações pessoais. Com isso, os conhecimentos científicos estão constantemente em debate.

O diagrama ao lado (Fig. 1.5) resume o que foi explicado. Note no diagrama que algumas das etapas estão ligadas com setas que possuem dois sentidos, ou seja, a interligação entre as etapas muitas vezes é cíclica.

É muito comum também, na Biologia, além do raciocínio hipotético-dedutivo, a investigação pautada em observações e descrições detalhadas e cuidadosas da natureza, de organismos e de processos, que constitui a chamada **ciência descritiva**. Nela, não são formuladas hipóteses. É o caso das investigações que descrevem a anatomia das células, dos tecidos, dos órgãos e dos organismos. Em outros casos, as respostas às perguntas são buscadas por meio da chamada **narrativa histórica**, em que evidências concretas de fatos passados são interpretadas, e essas interpretações, por mais lógicas

que sejam, nem sempre podem ser experimentalmente testadas.

Em suma, o campo da ciência é tão amplo e diversificado que uma só receita (ou “método científico”) não atende a todos os tipos de questionamentos que podem ser feitos. Assim, dizer que há um único “método científico” para se fazer ciência é uma simplificação inadequada.



Figura 1.5. Representação esquemática das etapas de investigações científicas, com teste de hipótese por meio de experimentos.

## Colocando em foco

### MÉTODO EXPERIMENTAL E OUTROS MÉTODOS DE TESTE DE HIPÓTESE

[...]

Quanto à caracterização da ciência, um primeiro problema diz respeito também à diversidade de que pode ser denominado como tal. Sob esse rótulo há uma variedade imensa de práticas de conhecimento. Em uma primeira aproximação, pode-se pensar em ciências naturais e humanas. Porém, com essa divisão estamos ainda muito longe de avaliar a diversidade que ali se esconde.

O que se chama ‘ciências naturais’ é composto por um conjunto enorme de disciplinas e subdisciplinas. Além disso, essa aproximação enganosa faz com que muitos acreditem em uma unidade da ciência e que todos os seus campos são regidos por um método único que garante o bom conhecimento científico. Isso não é verdade. O método experimental, por exemplo, embora amplamente divulgado como marca da ciência, não é característico de todas as áreas das ciências naturais. Nem toda hipótese científica pode ser testada em laboratório. Hipóteses históricas, que postulam causas passadas para fenômenos observados atualmente, fornecem um bom contraexemplo à ideia de um método universal. Atrair ciências naturais e método experimental é suprimir das ciências tradições como biologia evolutiva, paleontologia, astronomia e astrofísica e, juntamente, lançar fora teorias robustas, como as teorias do *big bang*, da deriva continental e da evolução.

Outra dificuldade relacionada à caracterização da ciência diz respeito ao chamado ‘problema da demarcação’, ou seja, a tentativa de definir ciência e separá-la de outras formas de conhecimento. A busca por definir ciência tem longa história, e a ascendência do problema da demarcação pode ser rastreada até o filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.). No entanto, todas acabaram por mostrar seus limites e um consenso sobre a melhor definição não foi atingido. Tal situação leva a crer que se deve ter consciência de que a busca de um critério rígido de demarcação da ciência talvez seja uma tarefa estéril.

[...]

COUTINHO, F. A. C.; RODRIGUES E SILVA, F. A. Ciência e religião: uma guerra desnecessária. *Revista Ciência Hoje On-line*. Disponível em: <[http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2013/304/pdf\\_aberto/cienciaereligiao304.pdf](http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2013/304/pdf_aberto/cienciaereligiao304.pdf)>. Acesso em: abr. 2016.

As pesquisas científicas, além de serem publicadas em revistas científicas e discutidas entre os pesquisadores, precisam chegar até a sociedade para que o conhecimento possa ser mais disseminado. A transmissão desse conhecimento científico para a sociedade pode ser feita, por exemplo, pelos livros didáticos, como este que você está lendo, por revistas e jornais de grande circulação, por sites de instituições de pesquisa e de meios de comunicação confiáveis, por programas televisivos e outros. Em cada caso, há uma linguagem específica para a transmissão dessas informações. As características dessas diferentes linguagens são alvo de estudo de uma área do conhecimento com a qual você entrará em contato de forma mais aprofundada na disciplina de Língua Portuguesa. Textos científicos, didáticos e de divulgação possuem características próprias, pois têm como objetivos atingir o público a que se destinam e ter repercussão.

A pesquisa científica pode levar à formulação de **teorias e leis**.

Na linguagem popular, a palavra “teoria” é tratada como sinônimo de hipótese, possibilidade ou mesmo suposição. Em ciência, no entanto, essa palavra tem outro significado. De acordo com o físico Stephen Hawking, uma teoria deve satisfazer a dois requisitos: precisa descrever com precisão um número razoável de observações, com base em dados confiáveis; e deve prever, com boa margem de precisão, resultados de observações futuras.

Uma teoria não é uma verdade absoluta. Muitas teorias já foram refutadas ao longo da história da ciência. Você terá exemplos disso ao longo de seu curso no Ensino Médio, ao estudar as diferentes ciências, como Biologia, Química e Física.

O biólogo estadunidense Stephen J. Gould (1941-2002) escreveu: “Os fatos são os dados do mundo. As teorias são estruturas que explicam e interpretam os fatos. Os fatos continuam a existir enquanto os cientistas debatem teorias rivais para explicá-los”.

As **leis científicas** são descrições específicas e concisas sobre como se espera que se comporte determinado aspecto do mundo natural, em uma dada condição. Elas expressam relações regulares entre fenômenos naturais observáveis. Um exemplo é a Lei da Inércia. Segundo essa lei, um corpo tem a tendência de manter o seu estado de repouso ou de movimento, desde que nenhuma força atue sobre ele. A Lei da Inércia explica, por exemplo, a importância do uso de cinto de segurança nos veículos. Em uma batida de frente, o carro para repentinamente, mas, devido à inércia, os ocupantes do carro continuam em movimento. O cinto de segurança é um dispositivo presente nos carros que impede esse movimento. Com isso, são reduzidos os danos físicos aos ocupantes do veículo.

Assim como as teorias, as leis podem ser mudadas ou rejeitadas, e outras serem formuladas.

### 3. Biologia e outros saberes

A Biologia faz parte de uma área maior do conhecimento chamada Ciências da Natureza, que inclui também a Química e a Física. Essas três ciências têm uma relação muito próxima com a Matemática. Nesta coleção, buscamos evidenciar isso, mostrando a você que muitos conceitos de Biologia são interligados à Química e à Física e que a Matemática é fundamental na interpretação e no tratamento de diversas informações. Vamos a dois exemplos: ao falarmos em equilíbrio térmico nos seres vivos, você perceberá que estamos tratando de princípios e conceitos estudados também nas disciplinas de Física e Química; ao analisarmos as moléculas que formam o corpo dos seres vivos, estamos utilizando os mesmos conceitos sobre molécula que você estudará em Química. Há ainda muitos outros exemplos dessa integração, e certamente você os perceberá ao estudar as disciplinas desta área de conhecimento.

A essa visão integrada, somam-se também outras áreas do conhecimento, como as Ciências Humanas. Você verá, por exemplo, que a Geografia e a Biologia dialogam em vários momentos, como nos estudos so-

bre ecossistemas, crescimento da população humana, problemas socioambientais, entre outros. Além disso, você perceberá que a construção do conhecimento científico permeia os diferentes momentos históricos da humanidade, e que os contextos econômico, social e cultural têm papel determinante para os rumos do desenvolvimento científico. Assim, História, Filosofia e Sociologia são fundamentais para a compreensão do desenvolvimento da Biologia e de como essa ciência se encontra atualmente.

A comunicação entre pessoas, o modo como registramos nossos pensamentos e transmitimos nossas ideias dependem de outra grande área do saber, que é a de Linguagens e Códigos. Essa área inclui as disciplinas de Língua Portuguesa e Língua Estrangeira, Arte e Educação Física. Recorremos a todo momento a conteúdos dessas áreas para nossa comunicação e interação, o que evidencia a importância do domínio desses saberes para o aprendizado e a prática da Biologia. No caso da Educação Física, a interação com a Biologia é enorme, pois envolve conhecimentos do funcionamento do nosso corpo.

Quando os saberes de uma disciplina mantêm um diálogo permanente com os saberes de outra(s) disciplina(s), falamos em **interdisciplinaridade**. A interdisciplinaridade é uma característica das explicações. Fenômenos naturais não são compartimentalizados em disciplinas. Sua descrição, ou explicação, envolve elementos de várias áreas do saber.

A **figura 1.6** representa bem o significado que queremos passar para você. Na natureza existem padrões que só se explicam pela integração de conhecimentos mais específicos de diferentes áreas. Vamos imaginar que cada tinta colorida corresponda aos saberes associados a uma disciplina ou área do conhecimento. Para explicarmos os fenômenos naturais, precisamos da interação desses vários saberes, o que é representado pela fotografia na qual as tintas estão misturadas, mas ainda é possível reconhecer as cores que representam as especificidades de cada saber. Nessa segunda imagem ainda podemos reconhecer mais uma ideia, que nunca poderia ser descrita apenas com a informação contida na imagem superior: é o **padrão** com que as cores se distribuem na pintura.

Nesta coleção, pretendemos trabalhar, sempre que possível, com uma perspectiva interdisciplinar no texto e nas atividades, mas esperamos que você adquira a habilidade de reconhecer a interdisciplinaridade sozinho, compreendendo que o conhecimento não é algo isolado em disciplinas. Explicações interdisciplinares são mais consistentes e completas quando estamos tratando de fenômenos naturais, que geralmente envolvem aspectos físicos, químicos e biológicos. Você vai perceber isso!



▲ **Figura 1.6.** Os saberes são organizados de maneira que seja mais fácil estudar e compreender suas especificidades, mas para explicar fenômenos naturais é necessário integrar conhecimentos de vários saberes.

## Colocando em foco

### CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

[...]

Infelizmente, percebe-se muito pouco como a Ciência está presente em nosso cotidiano. Quase tudo que temos em nossa volta, de uma certa forma, surgiu a partir das aplicações de descobertas científicas – porém, é quase certo que, na época em que foram realizadas, sequer se vislumbrava a possibilidade de transformação daquele conhecimento em inovação tecnológica.

Mas a ciência e a tecnologia sempre andaram, de alguma maneira, de mãos dadas. Uma depende da outra. As ciências básicas, como a Física, a Química e a Biologia, investigam as propriedades fundamentais da matéria e dos seres vivos para tentar compreender como estes se comportam. A Física, por exemplo, ao estudar as propriedades magnéticas, elétricas e térmicas de materiais, consegue compreender fenômenos fundamentais que posteriormente se transformam em inovações tecnológicas presentes no dia a dia. Lâmpadas de LED, computadores e outros dispositivos eletrônicos somente foram possíveis de serem desenvolvidos a partir da compreensão dos fenômenos quânticos da matéria.

É de fundamental importância que esses resultados, tanto científicos como tecnológicos, sejam divulgados para outros cientistas. Publicações acadêmicas, como artigos em revistas especializadas, como *Nature* e *Science*, para citar as duas mais importantes do mundo, são um veículo para essa divulgação. Não podemos falar que houve uma descoberta científica se ela não for divulgada. Nas revistas acadêmicas, os artigos somente são publicados a partir de pareceres feitos por outros cientistas que contestam ou concordam com os resultados apresentados – uma maneira para que os resultados, a partir de uma análise crítica, possam ser validados posteriormente por outros cientistas.

Outra forma de divulgar resultados é a apresentação em eventos científicos, que são importantes para se debater os achados. Reuniões científicas normalmente são feitas para uma determinada área do conhecimento, mas também existem reuniões mais amplas onde muitos temas são abordados e há uma troca de experiências interdisciplinar.

[...]

OLIVEIRA, A. *Luz, ciência e ação!* Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/luz-ciencia-acao/?searchterm=tecnologia%20e%20sociedade>>. Acesso em: maio 2016.

## 4. Os níveis de organização biológica

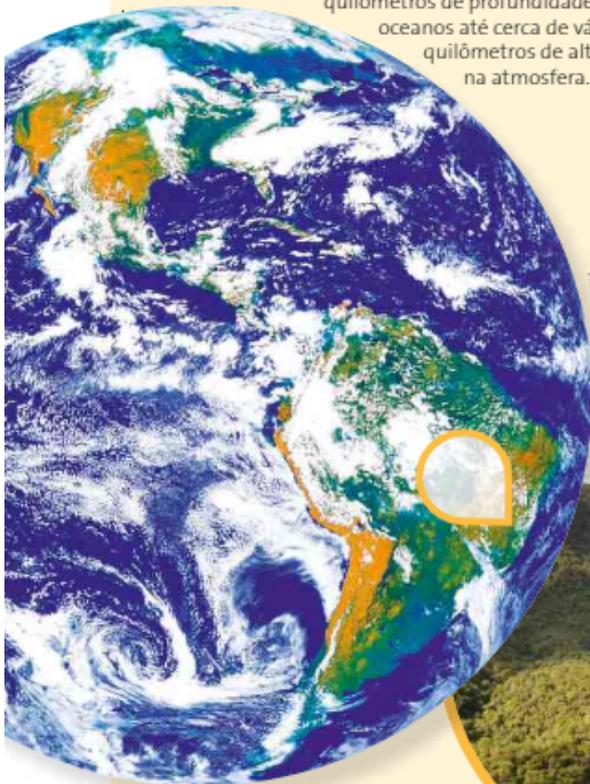
A enorme diversidade de temas que são estudados pela Biologia pode ser organizada em níveis hierárquicos (Fig. 1.7). Cada nível tem seus próprios métodos e explicações, que trazem informações integradas na solução das questões biológicas.

Neste livro, começaremos o nosso estudo pelo planeta Terra como ele é hoje, abrangendo biosfera, ecossistemas, comunidades e populações, que são níveis hierárquicos de organização estudados por uma das subdivisões da Biologia: a Ecologia. Uma vez compre-

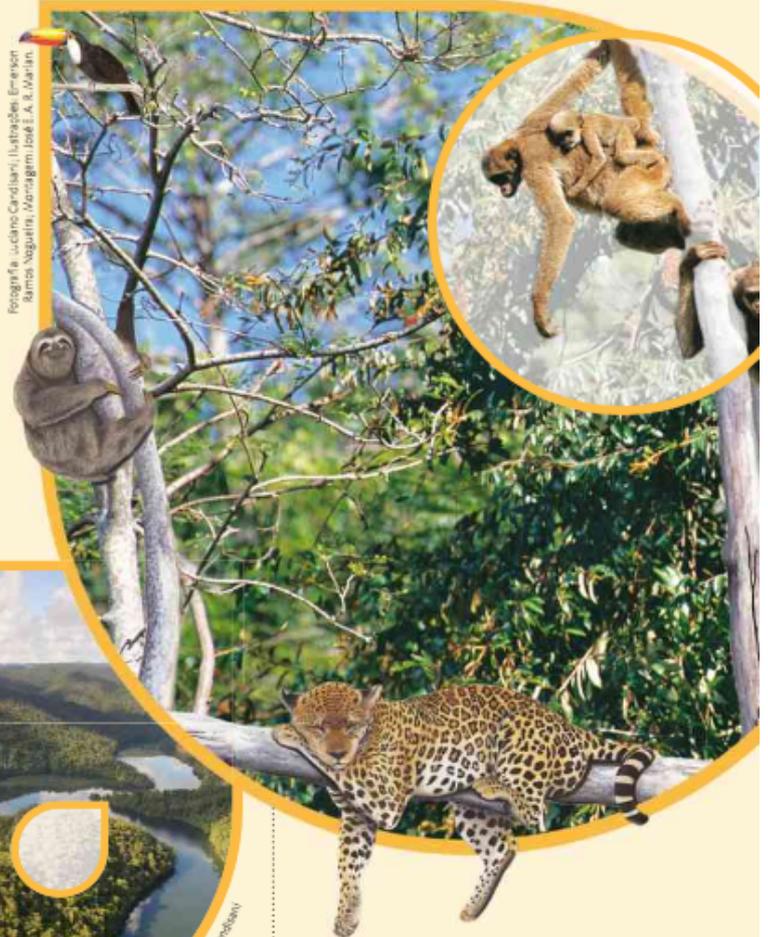
endida a estrutura e algumas bases sobre o funcionamento do nosso planeta na atualidade, passaremos a fazer uma retrospectiva de como poderia ter sido a sua origem. Será que a Terra sempre foi como a conhecemos hoje? Discutiremos hipóteses sobre a origem e a evolução da célula. A subdivisão da Biologia que se ocupa do estudo da célula é a Citologia, ou Biologia Celular. Para compreendermos esse tema, precisaremos de noções de Bioquímica, que serão dadas de forma suficiente e adequada ao Ensino Médio.

### NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO BIOLÓGICA

**1 Biosfera** – inclui todas as regiões da Terra habitadas por seres vivos: oceanos, lagos, rios, atmosfera e continentes. Essa “esfera da vida” não é homogênea, em função de vários fatores locais, mas podemos dizer que se estende desde vários quilômetros de profundidade nos oceanos até cerca de vários quilômetros de altura na atmosfera.



produção: Getty Images



Fotografia: Luciano Cavallari; Ilustrações: Emerson Ramos, Nogueira, Marzagem, José E. A. R. Martin.

Luciano Cavallari

**2 Ecossistemas** – compreendem todos os seres vivos e todos os fatores físicos e químicos de uma área particular. Em um ecossistema há interação entre os seres vivos e entre os seres vivos e os fatores físicos e químicos do ambiente, formando uma unidade funcional em que se verifica fluxo de energia e ciclo de matéria. Todos os ecossistemas da Terra constituem a biosfera.

**3 Comunidade (biocenose ou biota)** – é composta por todos os seres vivos que habitam um determinado ecossistema. Isso inclui os organismos que conseguimos visualizar a olho nu e os demais, que só são visíveis por meio de um microscópio. Por exemplo, todas as plantas, todos os animais, fungos e bactérias.



**4 População** – inclui todos os indivíduos de uma mesma espécie de ser vivo que habitam um determinado local. Por exemplo: todas as árvores de uma espécie de planta que ocorrem em um bosque, todos os indivíduos de uma só espécie de macaco que ocorrem em uma área. O conjunto de todas as populações que habitam um determinado local forma uma comunidade.



**5 Organismo** – corresponde a cada indivíduo de uma população. Por exemplo: cada árvore, cada macaco, cada bactéria é um organismo.

Fotografia: Luciano Cardiani; Ilustração: Emerson Ramos Nogueira - Montagem: José C.A. Moraes

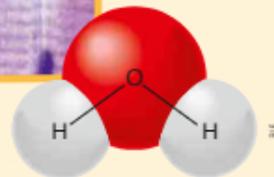


**6 Sistemas e órgãos** – organismos formados por mais de uma célula apresentam outros níveis de hierarquia estrutural. Como estamos analisando os níveis de organização biológica em ordem decrescente, o próximo nível é o dos sistemas. Um macaco, por exemplo, tem o corpo formado por conjuntos de órgãos que colaboram em uma função específica do corpo. Esse conjunto forma um sistema. É o caso do sistema muscular, que é formado por órgãos chamados músculos, que atuam em conjunto na função de movimentação de partes do corpo. O órgão é cada uma das partes de um sistema.

**7 Tecido** – cada órgão é formado por um conjunto de tecidos e cada tecido corresponde a um conjunto de células que atuam de modo integrado na realização de funções específicas. Alguns organismos multicelulares não apresentam esse nível de organização biológica: eles não apresentam tecidos apesar de serem formados por muitas células. Conseqüentemente, não apresentam órgãos nem sistemas.

**8 Célula** – é a unidade morfológica e funcional dos seres vivos. Muitos organismos são formados por uma só célula que realiza todas as funções da vida; os unicelulares, conseqüentemente, não apresentam os níveis de organização de tecidos, sistemas e órgãos. Nos multicelulares, há divisão de trabalho entre as células do corpo. Por exemplo: uma célula muscular realiza a função de contração, uma célula nervosa realiza a função de recepção e transmissão de estímulos.

**9 Molécula** – cada molécula é formada por dois ou mais átomos. O estudo da vida no nível molecular é hoje uma das áreas de grande desenvolvimento dentro da Biologia e tem trazido muitas informações importantes para a compreensão de ampla gama de processos. A Biologia Molecular interage com vários outros campos dentro e fora da Biologia.



^ **Figura 1.7.** A investigação da vida ocorre em diversos níveis de organização biológica, desde a biosfera até a molécula. (Elementos representados fora de escala.)

## 5. Características dos seres vivos

Como já comentamos, a Biologia é o estudo da vida. Mas o que é vida?

Para tentar responder a essa pergunta, muitas considerações teóricas e filosóficas foram e ainda são feitas, sendo esse um tema bastante polêmico. Assim, muitas vezes, em vez de se discutir o que é vida, passa-se a discutir quais características definiriam um ser vivo. Essas características são listadas sem a preocupação de discutir o conceito de vida. Ainda assim, há discordâncias entre os pesquisadores a respeito de qual seria a melhor escolha de características para tal fim. Por exemplo, há os que definem ser vivo como aquele que apresenta ciclo vital, ou seja, nasce, cresce, se reproduz e morre. Essa definição, entretanto, não se aplica a muitos organismos, como é o caso das bactérias, em que uma célula inicial se divide em duas, cada uma cresce e se divide de novo e assim por diante. O que seria “morrer” para esses organismos, se uma célula se divide e forma outras duas? Aquela célula inicial morreu? E o que dizer, por exemplo, do ciclo vital de uma pessoa? Ela pode viver sem jamais vir a ter filhos. O fato de não se reproduzir não é relevante para que ela seja considerada um ser vivo.

Apesar dessas dificuldades, vamos aqui resumir algumas das características mais gerais dos seres vivos, sabendo que esse resumo não está livre de críticas.

- Os seres vivos são formados por uma ou mais **células**, estruturas delimitadas por membrana e que contêm em seu interior citoplasma e material genético, que é o **ácido nucleico DNA**.
- Os elementos químicos mais abundantes no corpo dos seres vivos são carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). O carbono é o elemento fundamental para a formação de **substâncias orgânicas**, caso dos carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA). Além de substâncias orgânicas, no corpo dos seres vivos há também **substâncias inorgânicas**, caso da água e dos sais minerais.
- Os seres vivos mantêm o meio interno constante mesmo quando as condições externas mudam. Essa propriedade é chamada **homeostase**.
- Os seres vivos podem se **reproduzir**, isto é, podem dar origem a descendentes. São duas as formas de reprodução: a **assexuada**, na qual um único indivíduo produz descendentes iguais a ele, e a **sexuada**, em que há formação e união de gametas. Na reprodução sexuada, o indivíduo formado será semelhante, mas não idêntico aos pais.
- Os seres vivos **precisam de água** para sobreviver. Embora existam formas de resistência que permanecem dormentes na ausência de água, assim que a água fica novamente disponível, a dormência é quebrada e o organismo passa a viver normalmente.
- Os seres vivos obtêm e usam matéria e energia para seu crescimento e reprodução. A combinação de reações químicas pelas quais um organismo constrói (**anabolismo**) ou quebra (**catabolismo**) matéria chama-se **metabolismo**. Os seres vivos **crecem** graças aos processos metabólicos.
- Os seres vivos **detectam e respondem a estímulos** do meio. Têm, assim, capacidade de **reação**.
- Os seres vivos **evoluem**, ou seja, ao longo das gerações, populações de uma mesma espécie apresentam mudanças e eventualmente podem diferenciar-se a ponto de gerar novas espécies.

## 6. Evolução, o princípio unificador da Biologia

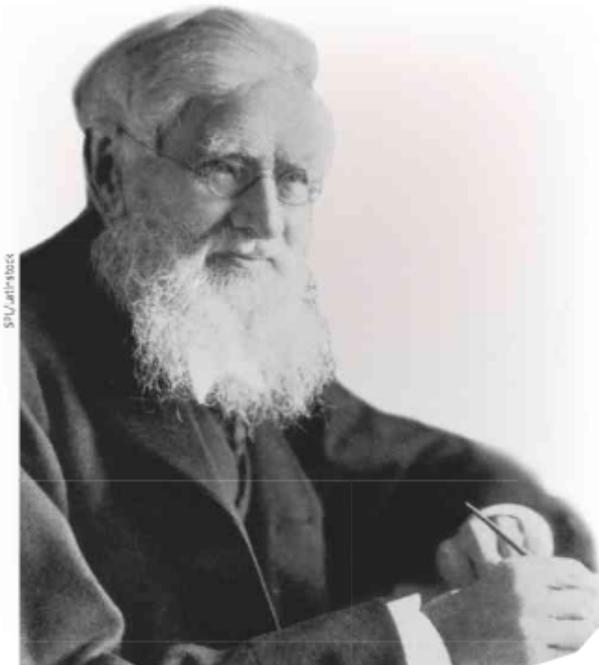
O entendimento de que as populações de seres vivos evoluem passou por uma longa discussão envolvendo pesquisadores e sociedade. A história da ciência tem muito a nos contar sobre isso. As ideias evolutivas ainda provocam algumas polêmicas e discordâncias, mas, para a grande maioria da comunidade científica, a evolução é o eixo central da Biologia.

Antes da compreensão de que as espécies mudam ao longo do tempo, podendo levar ao surgimento de novas espécies, aceitava-se o **fixismo** ou **imutabilidade** das espécies. Essa corrente de pensamento afirmava que o

número de espécies existentes era o mesmo desde a origem do mundo e que os organismos sempre existiram com as características que apresentam atualmente, ou seja, não mudaram ao longo do tempo. Essa ideia foi e ainda é contestada por vários cientistas, com base em grande quantidade de dados coletados na natureza e em estudos experimentais que corroboram os processos evolutivos. Desde meados do século XIX, o pensamento evolucionista tornou-se amplamente aceito pela comunidade científica, a ponto de ser por grande parte dela considerado o eixo central da Biologia.

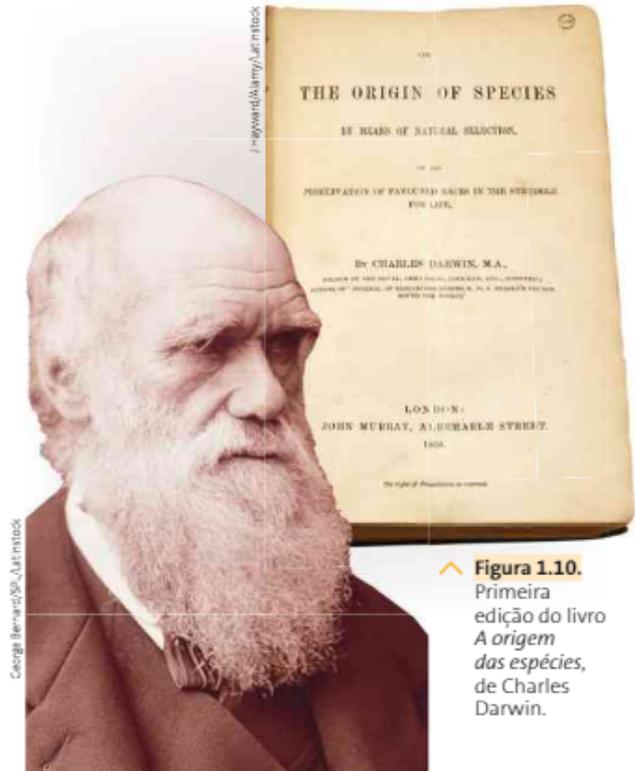
Para introduzirmos o tema evolução, que será mais amplamente discutido em outros momentos do curso de Biologia, vamos destacar dois importantes evolucionistas ingleses: Alfred Russel **Wallace** (Fig. 1.8) e Charles Robert **Darwin** (Fig. 1.9). Ambos, trabalhando de modo independente, formularam ideias muito próximas: as espécies mudam ao longo do tempo, ou seja, evoluem, por **seleção natural**.

As ideias de Darwin e Wallace foram apresentadas à comunidade científica em um mesmo evento, em 1858. No ano seguinte, Charles Darwin publicou a primeira edição do livro que começaria a mudar a história da Biologia: *A origem das espécies* (Fig. 1.10).



^ Figura 1.8. Alfred Wallace (1823-1913).

Segundo a teoria da evolução por seleção natural, os indivíduos de uma população não são idênticos entre si e nascem mais indivíduos do que o ambiente pode suportar. Sem recursos em quantidades adequadas para todos os indivíduos, ocorre competição. Aqueles com características herdáveis que sejam mais vantajosas para uma dada situação têm mais chances de conseguir os recursos do meio, sobreviver e, conseqüentemente, se reproduzir, passando essas características vantajosas aos seus descendentes. Esse processo, que ocorre ao longo do tempo, leva a modificações na população. Assim, o meio seleciona naturalmente aqueles indivíduos com características que lhes conferem maiores chances de sobrevivência e reprodução em uma dada condição ambiental. Essas características selecionadas são consideradas **adaptações** àquela condição. Mudando a condição ambiental, mudam-se as características selecionadas.



^ Figura 1.9. Charles Darwin (1809-1882).

Para haver evolução é fundamental que exista variabilidade entre os indivíduos da população. À época de Darwin, as explicações a respeito do que gera a variabilidade e como ocorre a transmissão das características hereditárias ao longo das gerações eram ainda incipientes. Apesar disso, as ideias de Darwin acerca da evolução por seleção natural não foram comprometidas, pois ele apresentou dados abundantes e consistentes que as corroboraram.

A explicação mais completa a respeito do que gera a variabilidade na população e como ocorre a transmissão das características hereditárias só surgiu mais tarde, com o desenvolvimento de uma área da Biologia chamada Genética. Foram necessárias décadas até que as noções dessa área fossem incorporadas às explicações evolutivas. Sabe-se, por exemplo, que, ao longo das gerações, o DNA é transmitido das gerações parentais para as novas gerações e que variações nas populações podem surgir por mutações, que são modificações no DNA.

Hoje se sabe que existem outros fatores importantes nos processos evolutivos, como o acaso. Certas condições que ocorrem ao acaso podem eliminar ou manter nas populações alguns indivíduos, independentemente de terem ou não adaptações vantajosas naquele ambiente. Isso ocorre, por exemplo, durante uma queimada, evento que pode eliminar aleatoriamente indivíduos de uma população.

Os processos evolutivos ainda são objetos de pesquisa e há continuamente produção de novos conhecimentos sobre Evolução, sendo essa uma área da Biologia em pleno desenvolvimento.

Para entendermos melhor o processo de seleção natural, vamos analisar um exemplo real de experimentação realizado na década de 1970 pelo zoólogo estadunidense John Endler. Ele montou seu experimento utilizando uma espécie de peixe de aquário bem popular, o lebiste (*Poecilia reticulata*).

Os machos dessa espécie têm manchas com coloração viva, que atuam na atração de fêmeas. Essas manchas, no entanto, atraem também predadores. Observações anteriores sugeriam que, nos locais onde havia grande quantidade de peixes predadores, os lebistes machos (Fig. 1.11) tendiam a ter menos manchas coloridas, quando comparados àqueles que viviam em locais com menos predadores.

Para verificar experimentalmente esse fenômeno, Endler colocou grupos semelhantes de lebistes machos e fêmeas em três lagoas praticamente idênticas. A característica que variava entre essas lagoas era o fator “predadores”: enquanto em uma lagoa não havia predadores, na outra havia uma espécie predadora de lebistes e, na terceira, havia uma espécie de peixe que era predador, mas que não se alimentava de lebistes.

As três lagoas foram deixadas nessas condições por 20 meses, o que equivale a aproximadamente sete gerações de lebistes. Após esse período, Endler analisou as populações do peixe e constatou que, na lagoa onde havia predadores de lebistes, os machos dessa espécie tinham significativamente menos manchas coloridas nas caudas do que aqueles deixados nas outras duas lagoas. Como essa característica é hereditária, essa experiência forneceu forte evidência de que a quantidade

de manchas nas caudas de lebistes machos é uma característica que sofre seleção natural, pois os machos com menos manchas são menos predados, passando essa característica aos descendentes.

Há ainda inúmeros outros exemplos de atuação da seleção natural na evolução. Um deles pode ser dado pelos pandas-gigantes, atualmente ameaçados de extinção.

O panda-gigante (Fig. 1.12) vive nas florestas de bambu na China Oriental. Uma característica curiosa desses animais diz respeito a suas patas dianteiras: em vez de terem cinco dedos, como as dos demais mamíferos, as deles têm seis. O sexto dedo é chamado “dedão” e é oponível, ou seja, dispõe-se em ângulo de 90° em relação aos demais, como o polegar na espécie humana. Essa disposição dos dedos confere ao panda-gigante a capacidade de segurar o caule do bambu, que é seu principal alimento na natureza.

O dedão do panda-gigante é, na realidade, um osso muito aumentado do punho, com tendões e músculos associados. Esses animais derivaram de ancestrais com cinco dedos. Em algum momento da história evolutiva, devem ter nascido pandas com um dos ossos do punho mais desenvolvido, formando um sexto dedo, oponível. Os pandas-gigantes de seis dedos devem ter se tornado mais aptos a segurar o bambu e, conseqüentemente, a comer mais, sobrevivendo em maior número que os demais e deixando mais descendentes com essa característica. Ao longo do tempo, teriam sobrevivido apenas os pandas-gigantes de seis dedos, pois todos os indivíduos atuais são assim.

Nesta coleção, a visão evolutiva permeará todo o conteúdo, pois, nas palavras do biólogo ucraniano Theodosius Dobzhansky (1900-1975), “Nada em Biologia faz sentido a não ser sob a luz da evolução”.



Figura 1.11. Fotografia de um lebiste macho. Mede cerca de 3 cm de comprimento.



Figura 1.12. Fotografia de um panda-gigante. Mede cerca de 1,40 m de comprimento.



## Colocando em foco

### SELEÇÃO NATURAL E RESISTÊNCIA DE BACTÉRIAS A ANTIBIÓTICOS

Você já deve ter lido que um antibiótico deixou de ser eficiente para controlar determinada bactéria causadora de uma doença no ser humano. Isso ocorre porque as bactérias, como todos os seres vivos, sofrem pequenas mudanças de geração para geração. No caso das bactérias causadoras de doença, essas mudanças podem ter levado ao surgimento de indivíduos que respondem de modo diferente aos antibióticos.

No início do tratamento de determinada doença com um antibiótico, muitas bactérias morrem, pois são sensíveis à droga. Entretanto, como os indivíduos não são idênticos entre si, nessa população de bactérias podem existir algumas que sejam resistentes ao remédio; se o tratamento não for feito de acordo com as orientações médicas, essas bactérias resistentes irão se reproduzir e originarão descendentes, em sua maioria, também resistentes à droga. Surge, então, uma nova população de bactérias, sobre a qual aquele antibiótico tem pouco ou mesmo nenhum efeito.

Esse processo de seleção nos permite entender por que os antibióticos só podem ser tomados com prescrição médica e por que é importante seguir as recomendações de não interromper o tratamento antes do tempo, quando o paciente começa a se sentir melhor. Os antibióticos devem ser tomados durante um período contínuo estabelecido pelo médico. Atualmente, também se recomenda que, caso sobre antibiótico após o fim do tratamento, esse remédio seja levado para farmácias ou postos de saúde para ser descartado de forma segura.



## Tema para discussão



### Vírus, viroides e príons: seres vivos ou não?

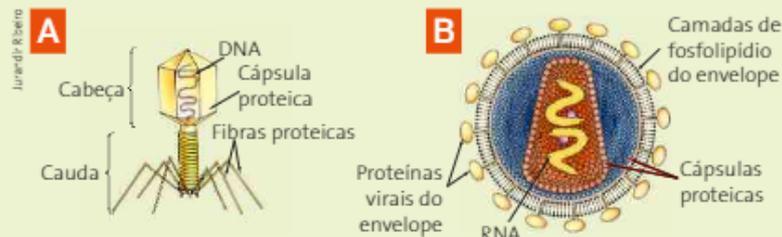
Os organismos vivos apresentam certas características que não são encontradas em objetos inanimados. Essas características foram listadas por muitos cientistas, como fizemos aqui. No entanto, tais listas diferem entre os pesquisadores, e é muito difícil escolher apenas uma delas como a melhor que todas as demais.

Procurando resolver essas questões, alguns biólogos propuseram definições mais gerais de seres vivos. Entre elas, pode-se citar a de John Maynard Smith, de 1986, segundo a qual "entidades com as propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas e entidades que não apresentam uma ou mais dessas propriedades não o são".

Apesar do grande esforço dedicado a esse assunto, essa ainda é uma questão polêmica, que gera debates calorosos no meio científico e mesmo fora dele.

Esse problema torna-se ainda maior quando nos deparamos com entidades como vírus, viroides e príons, que, embora não apresentem estrutura celular, têm algumas características bastante especiais.

Cada **vírus** é formado por um tipo de ácido nucleico (DNA ou RNA), protegido por uma ou mais cápsulas proteicas (veja os esquemas). Além disso, certos vírus possuem um envelope formado por membrana lipoproteica semelhante à das células.



Esquemas de vírus feitos com base em observações ao microscópio eletrônico. **A.** Esquema de um bacteriófago (vírus que infecta bactérias), mostrando o DNA por transparência. Vírus sem envelope lipoproteico. **B.** Esquema da organização do vírus HIV visto em corte mediano. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Os vírus não têm estrutura celular e só adquirem manifestações vitais quando penetram células vivas, sendo, portanto, parasitas intracelulares obrigatórios.

Alguns pesquisadores consideram os vírus partículas infecciosas especiais, e não seres vivos. Outros consideram os vírus formas particulares de vida, com base nos seguintes argumentos: são formados por substâncias orgânicas, têm capacidade de reprodução (embora apenas quando penetram uma célula hospedeira) e sofrem mutação no material genético, podendo mudar ao longo do tempo, ou seja, evoluem. Essa grande capacidade que os vírus têm de mutação é um dos motivos pelos quais ainda não se conseguiu produzir uma vacina eficiente contra algumas das doenças causadas por eles, como a Aids e a gripe. No caso da gripe, as vacinas existentes são renovadas anualmente para tentar combater novas variedades do vírus.

Os **viroides** são ainda mais simples que os vírus. Eles foram descobertos em 1971 e consistem apenas em uma molécula circular de RNA não envolta por cápsula proteica. Essa molécula fica sempre dentro de uma célula hospedeira e tem a capacidade de autoduplicação e de sofrer mutações. Não consegue, entretanto, comandar a síntese de proteínas, sendo totalmente dependente da célula hospedeira para sua replicação. Os viroides conhecidos ocorrem apenas em plantas e a via principal de difusão é por contato direto, mas podem ser transmitidos por pulgões e instrumentos de poda. Eles provocam desenvolvimento anormal de plantas, podendo levá-las à morte. Seriam eles uma forma particular e extremamente simplificada de vida parasitária ou seriam eles agentes infecciosos com capacidade de multiplicação, variação e hereditariedade, assim como os vírus?

O caso dos **prions** já foi mais polêmico. Atualmente, sabe-se que eles não são formas particulares de vida. Eles são proteínas que provocam doenças neurodegenerativas, como a doença da vaca louca (encefalopatia espongiforme bovina), que faz aparecer cavidades no encéfalo, deixando-o como uma esponja. Várias doenças na espécie humana, como a doença de Creutzfeldt-Jakob (tipo de encefalopatia espongiforme humana), também são provocadas por prions. O prion foi descrito pela primeira vez em 1982 pelo bioquímico Stanley Prusiner (prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia em 1997).

A palavra prion refere-se a “partículas infectantes proteináceas” e seu uso na literatura é muito variável. Usaremos o termo prion só para a proteína que causa a doença.

Quando os prions foram descobertos, chegou-se a pensar que eles seriam seres vivos muito especiais, pois achava-se, na época, que eram proteínas capazes de replicação. Hoje se sabe que os prions não têm essa capacidade.

Nas membranas celulares, especialmente das células nervosas, há proteínas passíveis de sofrerem uma alteração em sua estrutura tridimensional, transformando-se em prions. A principal característica dos prions é que eles interagem com as proteínas normais, transformando-as em aberrantes – e o ciclo se repete em uma espécie de reação em cadeia, dando a falsa impressão de que os prions estão se replicando. Eles aumentam em número, mas não por divisão de uma molécula em duas que depois se dividem novamente. O aumento se deve a modificações em proteínas normais, já existentes.

**Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.**

- Faça, com os colegas de grupo, uma pesquisa a respeito da interpretação dada aos vírus, isto é, se são seres vivos ou não. Utilize diferentes fontes confiáveis de consulta, como sites de universidades, de entidades governamentais, páginas pessoais de pesquisadores, livros e revistas de cunho científico. Com base nessas informações e no texto aqui discutido, faça uma apresentação oral para os demais colegas sobre os dados obtidos e a conclusão a que seu grupo chegou. O(A) professor(a) deverá marcar o dia das apresentações e organizar um debate na classe a respeito desse assunto.



## Retomando

Agora que você já conhece melhor a Biologia, retome suas respostas às questões iniciais da seção **Pense nisso** deste capítulo. Suas expectativas com relação a essa ciência mudaram? Quanto à sua proposta de estudo do Pantanal, há outros conhecimentos envolvidos que podem ajudá-lo a responder a seus questionamentos?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

Habilidades do Enem: H7, H9, H17, H24.

### Atividade 1 Elementos químicos nos seres vivos e nos componentes não vivos do ambiente

Em Química são utilizados inúmeros métodos práticos de detecção e dosagem dos diferentes elementos que compõem os mais diversos materiais. Esses métodos são descritos na química analítica, que pode ser qualitativa (procura apenas identificar que elementos ou substâncias estão presentes no material analisado) ou quantitativa (determina não só a presença, mas também a quantidade com que certos elementos ou substâncias aparecem).

O gráfico a seguir apresenta as abundâncias relativas de alguns elementos químicos nos seres vivos e na crosta terrestre (os valores podem variar dependendo da fonte dos dados).

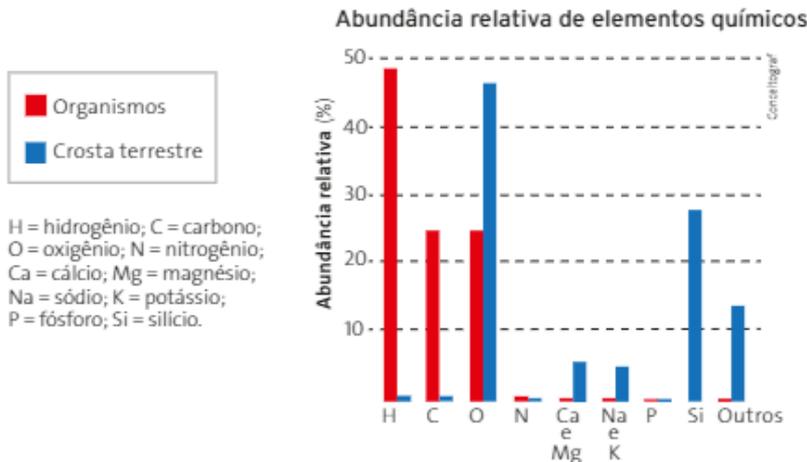


Gráfico da abundância relativa de alguns elementos químicos na composição de organismos e da crosta terrestre. Na categoria "Outros" incluem-se elementos diversos cujas abundâncias relativas são muito pequenas.

Analise os dados apresentados e faça uma lista em ordem decrescente de abundância dos principais elementos químicos que constituem e caracterizam:

- os seres vivos;
- a matéria inanimada.

### Atividade 2 Reconhecendo níveis hierárquicos de organização em Ecologia

Habilidades do Enem:  
H9, H14, H15, H17.

Observe a figura, à direita, que representa um ambiente hipotético e delimitado onde vivem organismos diversos. Agora, responda:

- Quantas e quais populações estão presentes na figura? Justifique.

- Quantos indivíduos há em cada uma dessas populações?

- Organize esses dados em uma tabela, indicando na primeira coluna os nomes dos organismos que compõem cada uma dessas populações que você reconheceu e, na segunda, a quantidade de indivíduos presentes em cada população.

- Quantos indivíduos estão representados nessa comunidade?



Esquema representando um ambiente hipotético com diversos organismos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

- Qual é o termo que se refere ao conjunto formado pela comunidade, pelos componentes não vivos do ambiente e pelas interações entre os seres vivos?

### Atividade 3 Investigando plantas carnívoras Habilidades do Enem: H14, H16, H17, H28.

A planta *Philcoxia minensis*, típica do Cerrado brasileiro, tem folhas subterrâneas que, apesar de não receberem luz direta, fazem fotossíntese. A maior descoberta, no entanto, refere-se ao fato de essas plantas usarem as folhas para capturar e digerir vermes nematoides. Pesquisadores brasileiros, em conjunto com pesquisadores australianos e estadunidenses, fizeram experimentos usando bactérias marcadas com isótopos (variantes do átomo) de nitrogênio e forneceram essas bactérias como alimento aos vermes. Estes, por sua vez, foram “oferecidos” à planta. Os pesquisadores verificaram a presença dos átomos marcados de nitrogênio na planta, confirmando que a folha da planta havia digerido os nematoides e absorvido seus nutrientes. Segundo os pesquisadores, essa estratégia de captura é única entre as plantas carnívoras e surgiu, provavelmente, devido a uma combinação de fatores como: a planta ocorre em solos de areia muito branca que permite a passagem de luz, é pobre em água e nutrientes, mas rica em vermes nematoides; as temperaturas são elevadas e a radiação solar é alta. Essas condições extremas dificultam a sobrevivência da maioria das plantas, mas podem ter favorecido a seleção desse hábito peculiar da *Philcoxia* – o posicionamento subterrâneo de folhas, mantendo a função fotossintética – e acrescentado a essa função a capacidade de capturar e digerir animais.

Para saber mais, leia o artigo de Karina Toledo disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/15069>>. Acesso em: fev. 2016.

- Qual trecho do texto se refere ao conceito de metabolismo, característica exclusiva dos seres vivos?
- Em qual trecho do texto está embutida a noção de seleção natural?
- Faça um esquema que represente os passos desses pesquisadores, mostrando como eles aplicaram a metodologia científica. Considere que eles partiram da observação da existência de folhas verdes subterrâneas nessas plantas e que a essas folhas sempre estavam aderidos vermes nematoides. Qual hipótese foi testada? Como foi feito o teste dessa hipótese? Quais foram os resultados? Quais foram as conclusões?

### Atividade 4 É ser vivo ou não é? Habilidades do Enem: H13, H17, H28.

Analise a fotografia a seguir. Se você encontrasse essa estrutura amarelada sobre um tronco de árvore, diria que é um ser vivo?

Em muitos casos, é fácil diferenciar um ser vivo de um elemento não vivo; em outros, porém, não é tão simples. Essa estrutura amarelada sobre o tronco é um ser vivo da espécie *Hemitrichia serpula*.

Esse organismo vive em locais úmidos e sombreados de florestas, geralmente sobre troncos de árvores ou folhas caídas em decomposição. Seu aspecto é o de uma massa gelatinosa, capaz de se deslocar por movimentos ameboides durante parte do ciclo de vida. Por meio desses movimentos o organismo também captura bactérias, seu alimento. Em outra fase do ciclo de vida, ele sofre alterações e forma estruturas re-



produtivas de poucos milímetros, em forma de haste, que produzem esporos. O grande grupo ao qual esse organismo pertence descende de uma linhagem que compartilha um ancestral comum com as amebas. Esse organismo é classificado como mixomiceto.

Que características mencionadas na descrição acima permitem afirmar que a estrutura amarelada mostrada na fotografia é mesmo um ser vivo?

< A imagem está ampliada – sua largura real é de cerca de 2 cm.



## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO



1. (Fuvest-SP) O tema “teoria da evolução” tem provocado debates em certos locais dos Estados Unidos da América, com algumas entidades contestando seu ensino nas escolas. Nos últimos tempos, a polêmica está centrada no termo **teoria**, que, no entanto, tem significado bem definido para os cientistas. Sob o ponto de vista da ciência, teoria é:

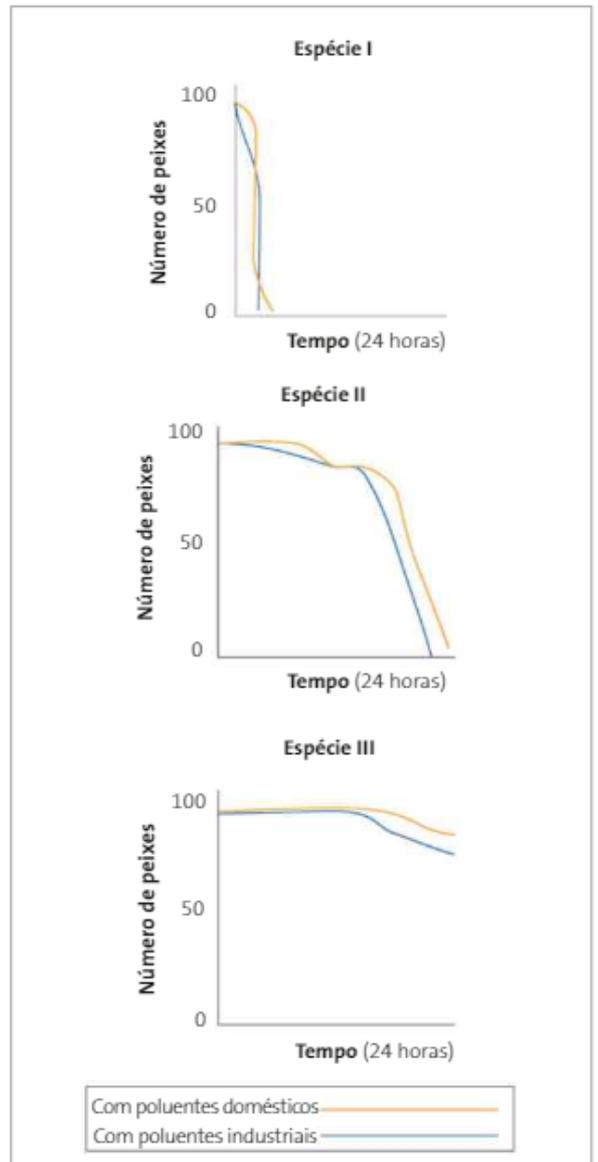
- a) sinônimo de lei científica, que descreve regularidades de fenômenos naturais, mas não permite fazer previsões sobre eles.
- b) sinônimo de hipótese, ou seja, uma suposição ainda sem comprovação experimental.
- c) uma ideia sem base em observação e experimentação, que usa o senso comum para explicar fatos do cotidiano.
- d) uma ideia, apoiada pelo conhecimento científico, que tenta explicar fenômenos naturais relacionados, permitindo fazer previsões sobre eles.
- e) uma ideia, apoiada pelo conhecimento científico, que, de tão comprovada pelos cientistas, já é considerada uma verdade incontestável.

2. (Enem) Quando um reservatório de água é agredido ambientalmente por poluição de origem doméstica ou industrial, uma rápida providência é fundamental para diminuir os danos ecológicos. Como o monitoramento constante dessas águas demanda aparelhos caros e testes demorados, cientistas têm se utilizado de biodetectores, como peixes que são colocados em gaiolas dentro da água, podendo ser observados periodicamente.

Para testar a resistência de três espécies de peixes, cientistas separaram dois grupos de cada espécie, cada um com cem peixes, totalizando seis grupos. Foi, então, adicionada a mesma quantidade de poluentes de origem doméstica e industrial, em separado. Durante o período de 24 horas, o número de indivíduos passou a ser contado de hora em hora.

Os resultados são apresentados a seguir.

Pelos resultados obtidos, a espécie de peixe mais indicada para ser utilizada como detectora de poluição, a fim de que sejam tomadas providências imediatas, seria:



- a) a espécie I, pois sendo menos resistente à poluição morreria mais rapidamente após a contaminação.
- b) a espécie II, pois sendo a mais resistente haveria mais tempo para testes.
- c) a espécie III, pois, como apresenta resistência diferente à poluição doméstica e industrial, propicia estudos posteriores.
- d) as espécies I e II juntas, pois tendo resistência semelhante em relação à poluição permitem comparar resultados.
- e) as espécies II e III juntas, pois como são pouco tolerantes à poluição propiciam um rápido alerta.

O texto a seguir refere-se às questões 3 e 4.

Podemos afirmar que uma borboleta, um caqueiro, um cogumelo e um humano são seres vivos, enquanto uma rocha, o vento e a água não são. Fazemos isso porque os seres vivos compartilham características que os distinguem de seres não vivos. Essas características incluem determinados tipos de organização e a presença de uma variedade de reações químicas que os capacitam a manter o ambiente interno estável, mesmo quando o ambiente externo varia, permitindo-lhes obter energia, deslocar-se no ambiente, responder a estímulos provindos dele e perpetuar a vida. Para realizar tais funções, os seres vivos são compostos de unidades básicas que constituem a totalidade do seu corpo, ou essas unidades estão agregadas, formando estruturas complexas que realizam determinadas funções, como impulsionar o sangue. Essas formas vivas podem produzir outras idênticas ou muito similares a si próprias, um processo realizado por uma série de estruturas que agem em conjunto. No início de suas vidas, essas formas vivas podem ser idênticas aos organismos que as formaram ou sofreram mudanças que as tornam similares a esses organismos em um estágio posterior, além de aumentarem o tamanho dos seus corpos durante esse processo.

3. (UFPB) No texto, estão citadas as conceituações das seguintes características dos seres vivos:
- x a) metabolismo, movimento, reatividade, crescimento, reprodução.
  - b) evolução, reatividade, ambiente, reprodução, crescimento.
  - c) evolução, composição química, movimento, reprodução, crescimento.
  - d) respiração, reprodução, composição química, movimento, crescimento.
  - e) metabolismo, ambiente, movimento, reatividade, crescimento.
4. (UFPB) Os níveis de organização da vida que se podem depreender do texto são:
- a) célula, órgão, população, ecossistema.
  - x b) célula, órgão, sistema, organismo.
  - c) tecido, sistema, organismo, biosfera.
  - d) tecido, órgão, sistema, comunidade.
  - e) órgão, sistema, organismo, população.

5. (Fuvest-SP) Considere as seguintes características atribuídas aos seres vivos:

- I. Os seres vivos são constituídos por uma ou mais células.
- II. Os seres vivos têm material genético interpretado por um código universal.
- III. Quando considerados como populações, os seres vivos se modificam ao longo do tempo.

Admitindo que possuir todas essas características seja requisito obrigatório para ser classificado como "ser vivo", é correto afirmar que:

- a) os vírus e as bactérias são seres vivos, porque ambos preenchem os requisitos I, II e III.
  - b) os vírus e as bactérias não são seres vivos, porque ambos não preenchem o requisito I.
  - x c) os vírus não são seres vivos, porque preenchem os requisitos II e III, mas não o requisito I.
  - d) os vírus não são seres vivos, porque preenchem o requisito III, mas não os requisitos I e II.
  - e) os vírus não são seres vivos, porque não preenchem os requisitos I, II e III.
6. (UFMG) Um estudante decidiu testar os resultados da falta de determinada vitamina na alimentação de um grupo de ratos. Colocou então cinco ratos em uma gaiola e retirou de sua dieta os alimentos ricos na vitamina em questão. Após alguns dias, os pelos dos ratos começaram a cair. Concluiu então que esta vitamina desempenha algum papel no crescimento e manutenção dos pelos. Sobre essa experiência podemos afirmar:
- a) A experiência obedeceu aos princípios do método científico, mas a conclusão do estudante pode não ser verdadeira.
  - b) A experiência foi correta e a conclusão também. O estudante seguiu as normas do método científico adequadamente.
  - x c) A experiência não foi realizada corretamente porque o estudante não usou um grupo de controle.
  - d) O estudante não fez a experiência de forma correta, pois não utilizou instrumentos especializados.
  - e) A experiência não foi correta porque a hipótese do estudante não era uma hipótese passível de ser testada experimentalmente.

## CAPÍTULO

## 2

Introdução  
à Ecologia

Luciano Cardicani



**Figura 2.1.** O sucesso do estabelecimento e da sobrevivência das espécies nos diferentes ambientes depende de diversos fatores físicos, químicos e biológicos, que interagem de maneira complexa e dinâmica. Na fotografia, aves trinta-réis-do-manto-negro, no Atol das Rocas, Rio Grande do Norte, são um exemplo da complexidade dessa interação, pois essas aves são migratórias e se reproduzem apenas em certas regiões. Assim, a transformação do Atol das Rocas em reserva ambiental, em 1979, tem se revelado fundamental para a sobrevivência dessa e de outras espécies que vivem ou se reproduzem nesse ecossistema. Essas aves medem cerca de 35 cm de comprimento.



## Pense nisso

- Descreva algumas características da região onde você mora:
  - O clima é frio, quente, chuvoso, seco ou úmido?
  - Qual é o tipo de vegetação mais comum?
  - A maior parte do terreno é plana ou montanhosa?
  - Há praia, rios ou lagos por perto?
- O Atol das Rocas está localizado próximo à linha do equador. Com essa informação, como você acha que é o clima no local? Compare-o com o clima de sua cidade.
- A vegetação da região onde você mora tem alguma relação com o clima local? Explique sua resposta.
- Como você caracterizaria a região em que mora: urbana ou rural? Que critérios adotou para essa caracterização?
- Em sua opinião, um ambiente urbano pode ser objeto de estudo da Biologia? Justifique sua resposta.

# 1. Ecologia

A palavra “ecologia” deriva de duas palavras gregas: *oikós* (casa) e *logos* (estudo). Assim, Ecologia significa literalmente o “estudo da casa”. Essa palavra foi usada pela primeira vez em 1870 pelo biólogo alemão Ernst Haeckel, para designar o estudo das interações dos organismos entre si e com os demais componentes do ambiente.

A Ecologia é um ramo da Biologia que tem se destacado cada vez mais, pois as alterações ambientais provocadas pela ação humana só serão reduzidas na medida em que se conheçam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas.

O nível mais amplo estudado pela Ecologia é a **biosfera**, que já foi apresentada no capítulo anterior. O termo “biosfera” foi criado por semelhança aos utilizados para designar camadas ou esferas relacionadas aos componentes abióticos (*a* = prefixo de negação, *bio* = vida; isto é, sem vida) da Terra, que são:

- **atmosfera** (*atmós* = gás): camada ou esfera da Terra formada pelo ar;
- **hidrosfera** (*hidro* = água): camada ou esfera da Terra formada pela água;
- **litosfera** (*lito* = pedra): camada ou esfera da Terra formada pelas rochas e pelos solos.

A biosfera, assim como as demais “esferas”, não é uma camada homogênea, pois as condições ambientais do nosso planeta variam de uma região para outra.

Os limites da biosfera são definidos em função de registros que indicam a presença de seres vivos. Esses limites vão desde aproximadamente 11 000 metros de

Se for possível, antes de prosseguir com o texto deste capítulo, explore com os estudantes duas explicações interativas acerca dos atlas disponíveis no site do IBGE (acessos em: jan. 2016): **O que é Cartografia?** <<http://atlascolar.ibge.gov.br/en/conceitosgerais/o-que-e-cartografia>> e **Sistema de Posicionamento Global (GPS)** <<http://atlascolar.ibge.gov.br/en/conceitos-gerais/conceitos-e-tecnicas>>.

## 2. A atmosfera e o efeito estufa

A atmosfera pode ser dividida em quatro camadas principais: a troposfera, a estratosfera, a mesosfera e a termosfera. O limite de cada uma dessas camadas é definido pela mudança abrupta da temperatura média (Fig. 2.2).

A troposfera é a camada mais próxima da superfície terrestre e a que apresenta a maior parte das moléculas de gases da atmosfera. É nela que encontramos as proporções aproximadamente de 78% de gás nitrogênio ( $N_2$ ), 21% de gás oxigênio ( $O_2$ ), 0,03% de gás carbônico ( $CO_2$ ) e 0,3% de vapor-d'água. Há, no entanto, diversos outros gases que, apesar de aparecerem em proporção muito pequena, podem ter enorme importância ambiental. É o caso do óxido nitroso ( $N_2O$ ), do

profundidade, nos oceanos, até cerca de 7 000 metros de altitude, na atmosfera.

As condições ambientais são muito importantes na distribuição dos seres vivos. Nos locais onde tais condições são mais favoráveis, a diversidade de formas vivas é maior, ocorrendo o contrário quando as condições não são favoráveis.

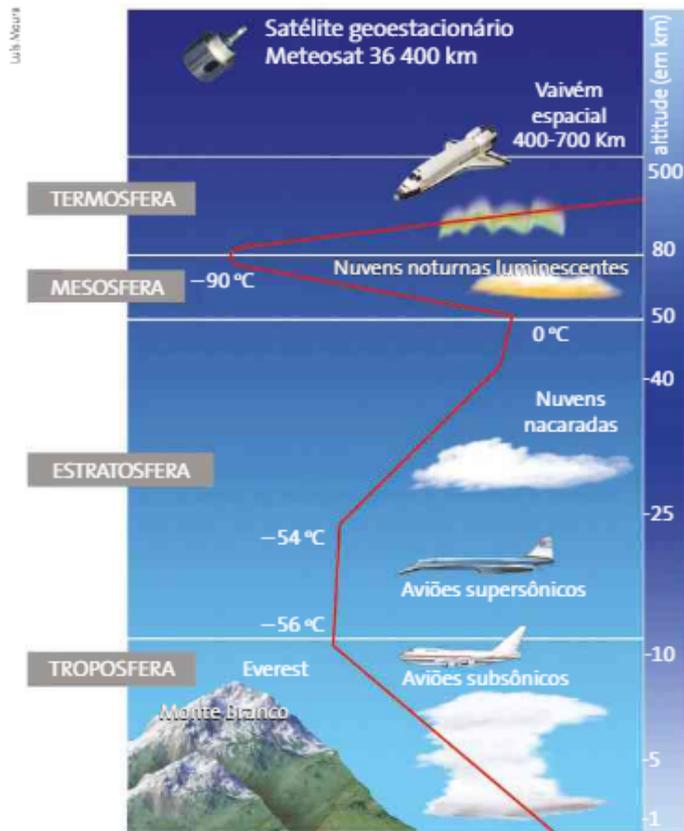
Um dos principais fatores que interferem nessas condições é o **clima** das diferentes regiões, que sofre influência da latitude, da altitude e de outros fatores, como estudaremos a seguir.

Ao longo deste capítulo, você notará a presença de conhecimentos estudados em outras disciplinas. Por exemplo, ao falarmos em calor, temperatura e densidade, usaremos os mesmos conceitos de Física. Quando falarmos do comportamento dos gases da atmosfera, de substâncias e de elementos químicos, empregaremos saberes da área de Química. Além disso, ao estudarmos nosso planeta usando mapas, falando em clima e em distribuição dos seres vivos com base em grandes padrões climáticos, estaremos aplicando habilidades e conhecimentos adquiridos no estudo da Geografia. Assim, o que apresentamos neste capítulo é fruto de pesquisas de diferentes áreas do saber.

O estudo deste capítulo será muito enriquecido se for acompanhado de um atlas geográfico ou mesmo do livro de Geografia. Nele você poderá obter informações adicionais a respeito de alguns dos aspectos que trataremos. Você pode encontrar muitas informações relevantes no site <<http://atlascolar.ibge.gov.br/en>> (acesso em: jan. 2016), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), do ozônio ( $O_3$ ) e do metano ( $CH_4$ ). É na troposfera que ocorrem os principais fenômenos climáticos. Essa camada é caracterizada pela diminuição da temperatura em função da altitude.

Acima da troposfera localiza-se a estratosfera, camada rica em ozônio ( $O_3$ ), gás que se forma com a quebra de moléculas de gás oxigênio ( $O_2$ ) pela energia radiante e posterior reorganização dos átomos em moléculas de  $O_3$ . Ele é o principal gás responsável pelo aumento da temperatura que se verifica nessa camada à medida que aumenta a altitude. O ozônio absorve a maior parte da radiação ultravioleta do Sol, que é convertida em energia térmica.



A terceira camada da atmosfera é a mesosfera, caracterizada pela diminuição da temperatura em função da altitude.

Na quarta camada, a termosfera, há novamente elevação da temperatura com o aumento da altitude, pois as poucas moléculas ali presentes absorvem radiação solar de alta energia, ocorrendo sua conversão em energia térmica.

A atmosfera é fundamental para a biosfera, pois, além de conter gases essenciais para a vida, impede que a Terra perca calor, atuando como um "cobertor" ou como uma estufa. É por isso que se fala em efeito de cobertura ou **efeito estufa** da atmosfera.

Figura 2.2. Principais divisões da atmosfera: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera. A linha vermelha indica as variações de temperatura ao longo das camadas da atmosfera. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).



## Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



### Efeito estufa e aquecimento

Você, juntamente com o grupo de estudos, pode fazer um experimento simples, a fim de testar a hipótese de que a ocorrência do efeito estufa depende do material que recobre a superfície.

#### Materiais

- 3 termômetros;
- 3 caixas de sapato de mesmo tamanho;
- filme plástico transparente;
- 1 placa de vidro transparente, pouco maior que a tampa da caixa de sapato.

#### Procedimento

1. Faça um furo na lateral de cada caixa, próximo ao fundo, com tamanho suficiente para a introdução do termômetro. Coloque o termômetro (Fig. 2.3).
2. Deixe uma das caixas sem cobertura (caixa 1). Cubra a segunda caixa com filme plástico, de forma a não deixar frestas que permitam a ventilação. Cubra a terceira caixa com a placa de vidro, cuidando também para que não haja frestas. A montagem deve ficar parecida com o esquema ao lado (Fig. 2.4).

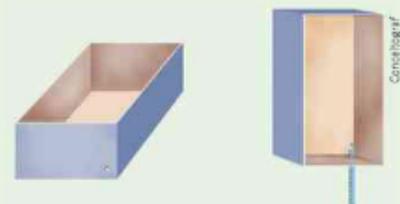


Figura 2.3. Esquema para montagem das caixas com termômetro.

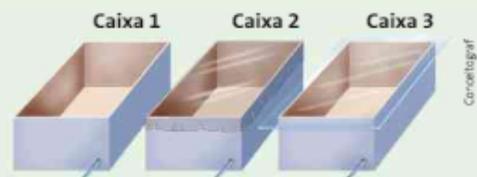


Figura 2.4. Esquema de montagem do experimento.

3. Coloque as 3 caixas sob o sol, lado a lado, e meça a temperatura interna de cada uma delas, em intervalos de 5 minutos, durante pelo menos meia hora. Assegure-se de que a medida no termômetro tenha se estabilizado antes de registrar a temperatura. Todas as medidas deverão ser organizadas em uma tabela, como a mostrada na **figura 2.5**.

Tempo	Caixa 1 (sem cobertura)	Caixa 2 (filme plástico)	Caixa 3 (vidro)
Início			
5 min			
10 min			

^ **Figura 2.5.** Tabela para organização das medidas extraídas do experimento.

4. Terminada a coleta de dados, utilize as informações da tabela para construir um gráfico de linhas que represente a variação de temperatura em função do tempo nas 3 caixas.

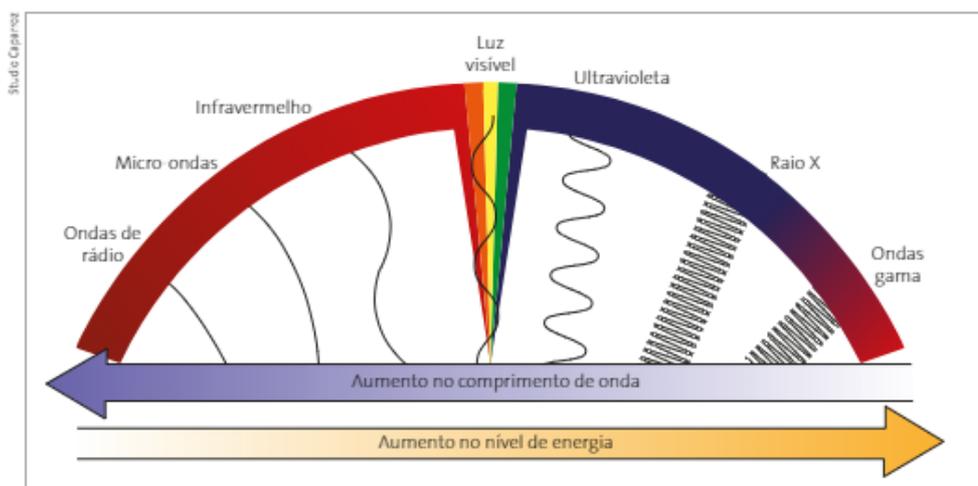
### Discussão

1. Nesse experimento, qual é a função da caixa sem cobertura?
2. Em qual caixa o interior ficou mais aquecido?
3. A hipótese foi corroborada?
4. O resultado será mais confiável caso você replique (isto é, repita) o experimento algumas vezes, calculando as temperaturas médias em cada momento observado. Isso se justifica porque podem ocorrer condições imprevistas que alterem o resultado, levando a conclusões erradas. Discuta com os colegas como esse experimento poderia ser melhorado.

Professor(a), no site <<http://www.sciencelearn.org.nz/Science-Stories/Harnessing-the-Sun/Sci-Media/Interactive/The-electromagnetic-spectrum>> (acesso em: mar. 2016) há um material interativo para explicar o espectro da luz solar. Apesar de estar em inglês, as imagens são bastante explicativas.

Os principais componentes da atmosfera que contribuem para o efeito estufa são o gás carbônico, o gás metano e o vapor-d'água.

A luz solar é a principal fonte de energia para a Terra. Ela é composta de um amplo espectro de radiação eletromagnética com diferentes comprimentos de onda, como mostra a **figura 2.6**.



^ **Figura 2.6.** Esquema do espectro da luz solar, indicando de forma esquemática os comprimentos de onda e os níveis de energia.

Apenas parte da radiação solar forma a luz que é visível aos nossos olhos, com os comprimentos de onda correspondentes às sete cores, na seguinte ordem crescente de energia: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

A radiação ultravioleta é a que promove o bronzeamento de nossa pele e cujo excesso pode causar câncer. Quando pensamos em efeito estufa, a radiação responsável pelo aquecimento é a infravermelha. Vamos ver como isso acontece.

Parte da radiação solar que chega à atmosfera volta para o espaço, refletida principalmente pelas nuvens. A luz solar que atinge a superfície terrestre é em grande parte absorvida pelo solo, pela água e pelos seres vivos. Essas superfícies aquecidas emitem de volta para a atmosfera radiação infravermelha, sendo a maior parte dela absorvida pelos gases do efeito estufa. A atmosfera impede, assim, que o calor se dissipe completamente, evitando o resfriamento da Terra. Só pequena quantidade da radiação infravermelha retorna para o espaço (Fig. 2.7).

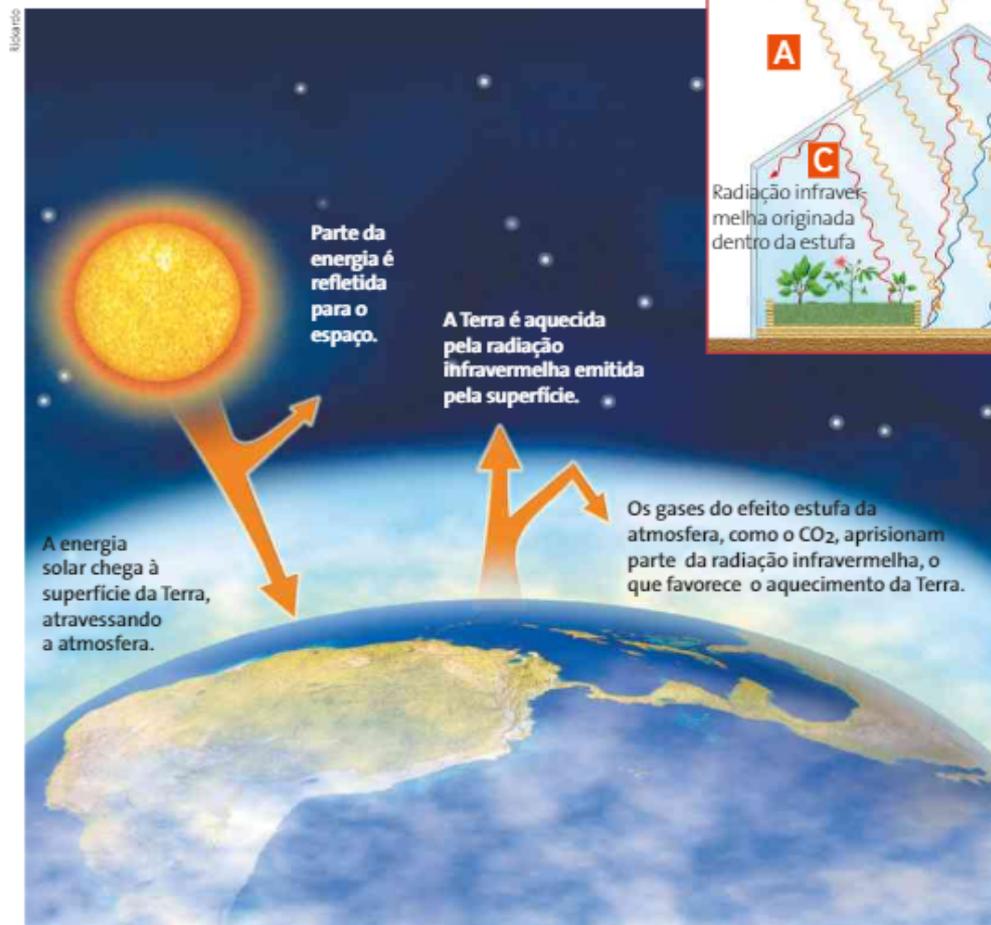


Figura 2.7. Esquema mostrando como ocorre o aquecimento da troposfera. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Fenômeno semelhante ocorre em uma estufa: o vidro da estufa é transparente à energia luminosa do Sol; essa energia é absorvida pelas plantas e pelo solo e reirradiada como infravermelho; o vidro retém parte desses raios dentro da estufa (Fig. 2.8).

Conhecendo-se a importância da atmosfera para o equilíbrio térmico da Terra, pode-se supor que a modificação em sua composição pode afetar a vida no planeta. O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, decorrente da queima de combustíveis fósseis (como gasolina e óleo diesel), pode provocar elevação da temperatura média, pois esse gás acentua o efeito estufa. Esse processo é conhecido como **aquecimento global**, assunto que será discutido no capítulo 6 desta unidade.

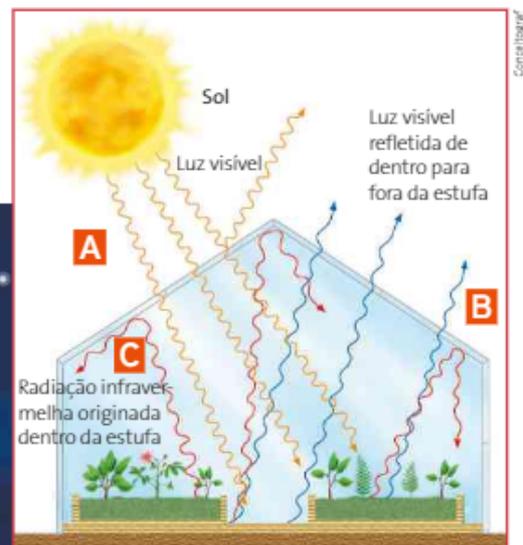


Figura 2.8. Esquema mostrando o aquecimento do ar dentro de uma estufa de plantas. Os vidros de uma estufa agem de maneira semelhante aos gases que envolvem a Terra. Na estufa, parte da energia do Sol que atravessa o vidro é absorvida pela superfície (A); parte da energia refletida pela superfície volta para a atmosfera (B); e parte da energia fica retida dentro da estufa (C) e, como consequência, ocorre o aquecimento. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

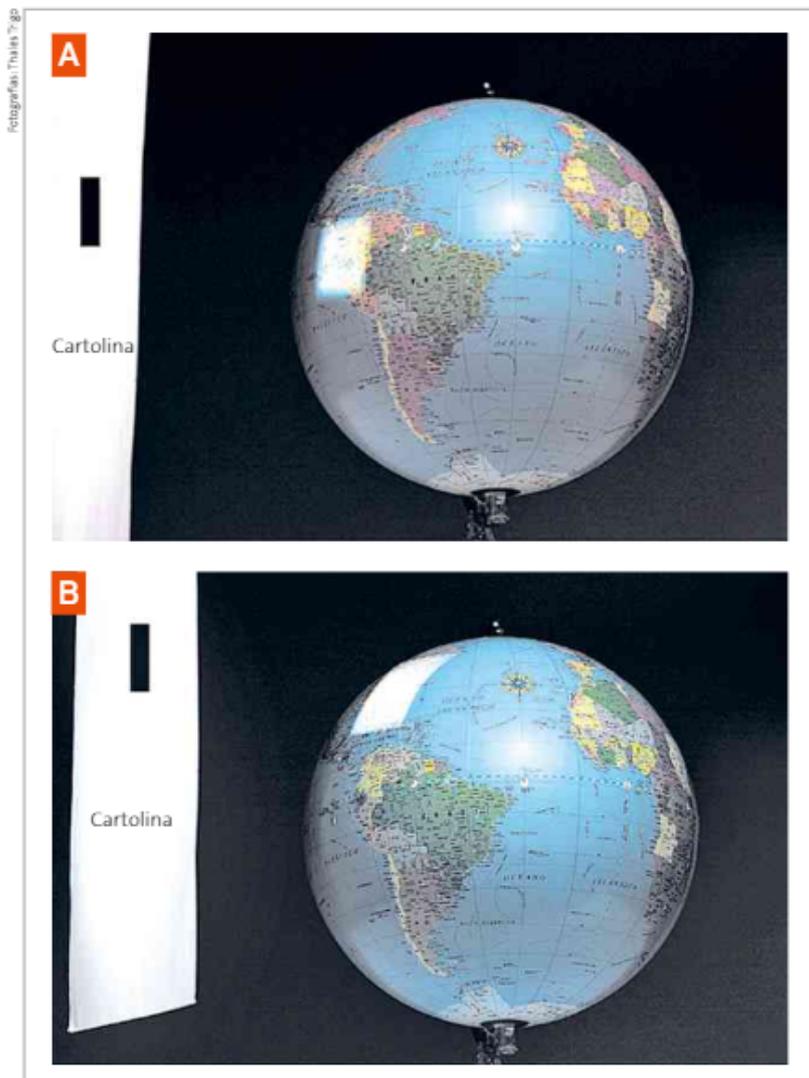
### 3. Os grandes padrões climáticos

Os grandes padrões climáticos estão relacionados a dois fatores básicos:

- variação da energia solar recebida pela Terra em função da latitude;
- movimentos de rotação e de circunvolução da Terra.

O Sol é a fonte de calor e de energia luminosa para a Terra. Os raios solares, no entanto, não atingem a superfície da Terra em todos os pontos com a mesma intensidade.

Observe na **figura 2.9** que uma mesma quantidade de luz, ao atingir o globo na região próxima à linha do Equador, ilumina uma área de superfície menor do que na região dos polos. Isso ocorre porque nessa área os raios solares são quase perpendiculares à superfície do globo, o que não acontece nos polos. Dessa forma, há maior concentração de energia luminosa no Equador, e também maior aquecimento nessa região. A partir desse fenômeno, estabelece-se um gradiente térmico em função da latitude, verificando-se temperaturas mais altas na região da linha do Equador e mais baixas nos polos.



< **Figura 2.9.** Fotografia de montagens com globo terrestre mostrando a área iluminada por uma mesma quantidade de luz no Equador (A) e em latitudes maiores (B). Compare a superfície iluminada pelo Sol em (A) e em (B). A mesma quantidade de luz atinge uma área menor na região do Equador (A), afetando a temperatura e os padrões climáticos dessa região.

O eixo da Terra, no entanto, é inclinado e, por isso, ao longo do ano, nem sempre é a região da linha do Equador que recebe os raios solares perpendicularmente. Esse fato, associado aos movimentos de rotação e circunvolução da Terra, permite que a quantidade de energia solar que atinge certo ponto da Terra varie de hora para hora e de estação do ano para estação do ano (**Fig. 2.10**).

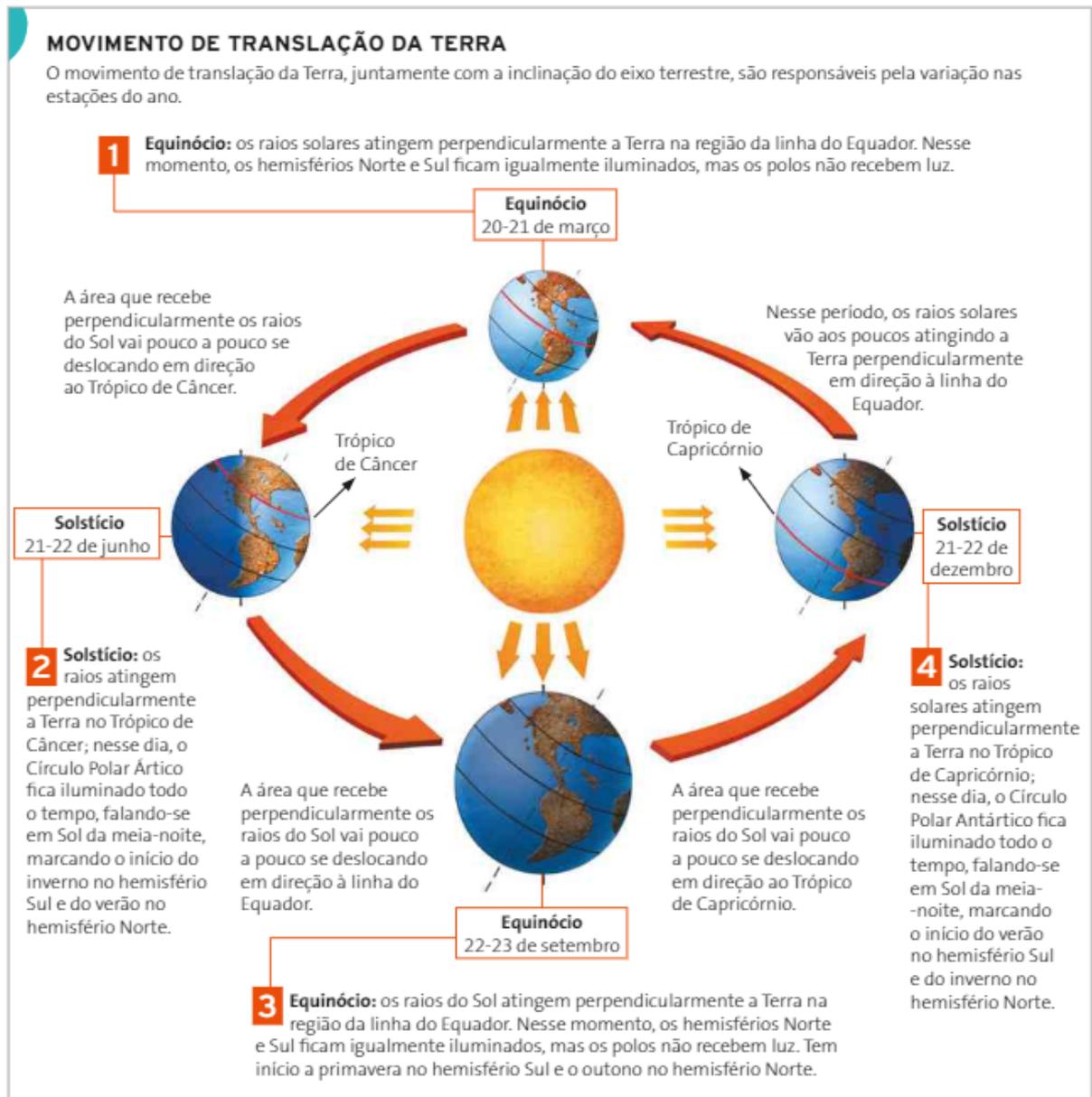


Figura 2.10. Esquema mostrando as diferentes posições da Terra nos equinócios (palavra que significa “noites iguais”) e nos solstícios (palavra que significa “Sol parado”) em sua órbita ao redor do Sol. As datas indicadas marcam o início das estações do ano. No nosso verão, o hemisfério Sul está mais voltado para o Sol devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano orbital; no nosso inverno, o hemisfério Norte recebe mais radiação, pelo mesmo motivo. Nesta representação em perspectiva, a órbita da Terra ao redor do Sol parece ter uma forma elíptica acentuada; no entanto, a órbita da Terra é praticamente circular. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O aquecimento diferencial da Terra em função da latitude, associado ao movimento de rotação e de translação da Terra, determina em grande extensão a localização das principais zonas climáticas: a **polar**, a **temperada** e a **tropical**, que são importantes no estabelecimento dos grandes padrões de distribuição dos seres vivos. Esse aquecimento diferencial determina também os grandes padrões de circulação do ar que ocorrem em escala global.

Em 1735, o meteorologista inglês George Hadley (1685-1768) propôs o **modelo celular de circulação atmosférica**, modificado posteriormente pelo meteorologista estadunidense William Ferrel (1817-1891) no século XIX. Segundo esse modelo, a circulação atmosférica ocorre por meio de três tipos de células em cada hemisfério, que são simétricas em relação à linha do Equador. Posteriormente, verificou-se que essa simetria ocorre apenas no outono e na primavera.

Entre o Equador e as latitudes de 30° Norte e 30° Sul formam-se duas células de circulação, chamadas **células de Hadley** (Fig. 2.11). Vamos acompanhar uma delas. Em seu ramo inferior, próximo à superfície terrestre, o ar flui em direção à linha do Equador. Nesse percurso, o ar sofre aquecimento e adquire umidade, formando os chamados **ventos alísios**. Perto do Equador, esse ar aquecido e rico em vapor-d'água sobe, criando áreas de baixa pressão, onde se formam as calmarias. Ao subir, ele se expande, sofre resfriamento e o vapor se condensa, dando origem a precipitações intensas. O ramo superior dessa célula transporta, agora, uma massa de ar relativamente fria e sem umidade. Em torno dos 30° de latitude, esse ar seco desce e é responsável pelos grandes desertos encontrados ao redor dessa latitude (Fig. 2.12).

Entre 30° e 60°, também ao norte e ao sul, formam-se outras duas células de circulação, chamadas **células de Ferrel**, onde o ar aquecido sobe ao redor dos 60° de latitude. Em geral, nas regiões de ar descendente há poucas chuvas e nas de ar ascendente há maior pluviosidade.

Finalmente, entre 60° e 90° de latitude, também no norte e no sul, formam-se as células polares.

Essa dinâmica da atmosfera, além de estabelecer padrões climáticos, permite a transmissão vertical e horizontal da energia térmica, impedindo o superaquecimento das regiões tropicais nos meses mais quentes e o excessivo resfriamento das regiões temperadas e polares nos meses mais frios.

Em escala local, a circulação do ar ocorre da seguinte maneira: os raios solares aquecem a superfície da Terra, o ar próximo a ela se expande e diminui sua densidade. Sendo menos denso, o ar aquecido sobe; e por ser aquecido, sua capacidade de reter vapor-d'água aumenta, o que acelera a evaporação da água presente em solos, lagos, rios e mares. Enquanto sobe, o ar se expande ainda mais, em razão da redução de pressão atmosférica. Como na troposfera a temperatura diminui com o aumento da altitude, o ar resfria-se. Isso causa a condensação do vapor-d'água contido nele e formam-se as nuvens e/ou chuvas. O ar, agora resfriado, é mais denso e desce. Ao chegar próximo à superfície terrestre, sofre aquecimento, dando início a outro ciclo.

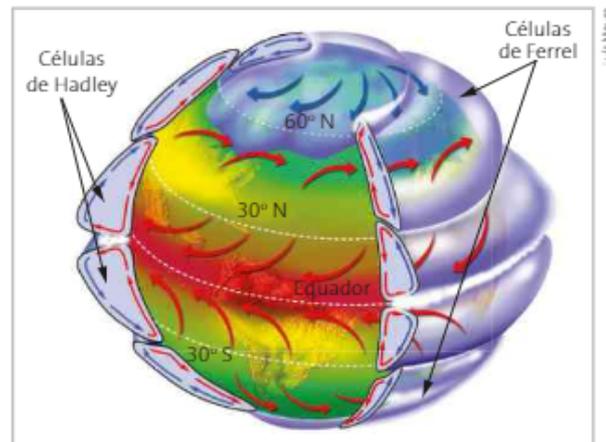


Figura 2.11. Esquema mostrando as células de circulação atmosférica. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

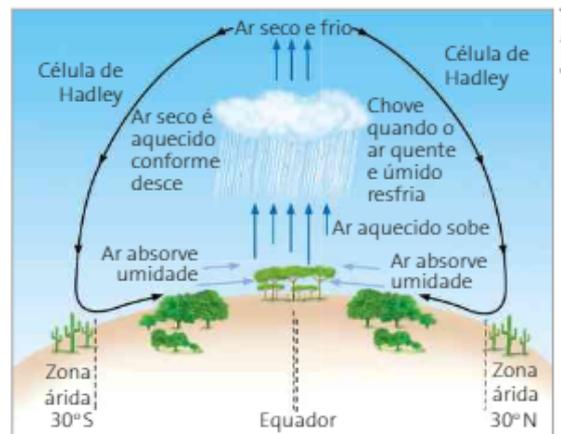


Figura 2.12. Detalhe da circulação do ar entre o equador e as latitudes 30° N e 30° S, mostrando as duas células de Hadley. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A quantidade de vapor-d'água na atmosfera é denominada **umidade do ar**. A umidade do ar é fator determinante na redução dos contrastes entre temperaturas diurnas e noturnas. Em regiões desérticas, a umidade do ar é baixa. Assim, como durante o dia o ar é aquecido por transferência térmica direta do solo, ao chegar a noite a ausência de nuvens e de vapor-d'água permite a rápida dissipação do calor e a temperatura cai drasticamente.

## 4. O efeito da altitude no clima

Os grandes padrões climáticos sofrem alterações locais em função de outros fatores, como a altitude.

A cada 200 m de altitude, a temperatura cai aproximadamente 1 °C e há modificação no regime de chuvas. Assim, em regiões montanhosas mais altas,

as temperaturas são mais baixas, mesmo que estejam próximas ao equador. O monte Kilimanjaro, por exemplo, localizado na África, está exatamente sobre a linha do Equador, mas, pelo fato de ser muito alto, apresenta neve cobrindo seu cume.

## 5. O efeito dos oceanos no clima

Outro fator de fundamental importância na manutenção do equilíbrio térmico na Terra são os oceanos.

O aquecimento dos oceanos acontece de forma diferente daquela descrita para a troposfera. Enquanto a troposfera é aquecida de baixo para cima, os oceanos são aquecidos da superfície para o fundo.

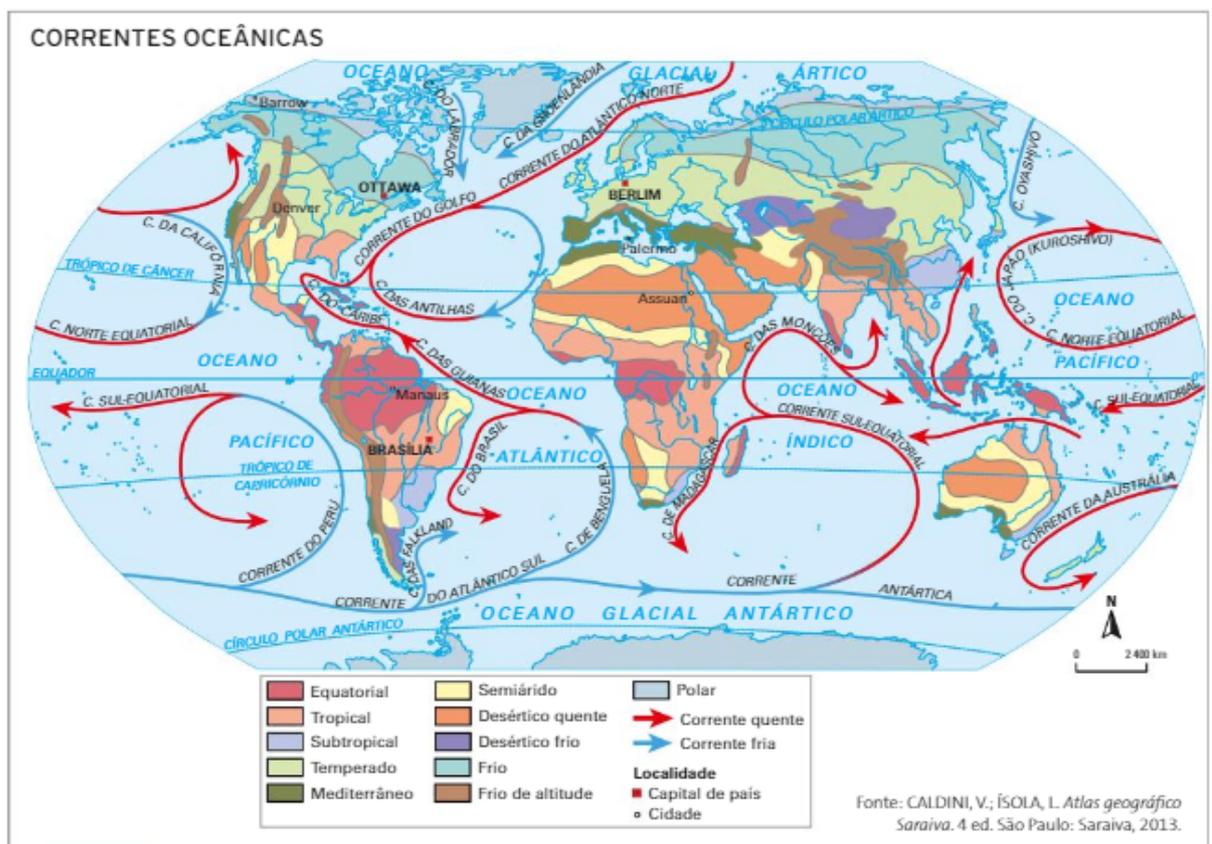
A energia solar que incide sobre os oceanos é parcialmente transformada em calor, que é refletido ou transmitido, principalmente por meio da turbulência gerada pelas ondas, para as camadas de água mais profundas (até cerca de 100 m de profundidade).

Além da distribuição vertical do calor até cerca de 100 m de profundidade, as correntes oceânicas superficiais redistribuem horizontalmente o calor absorvido e transferem esse calor para a atmosfera, determinando alterações locais no clima (Fig. 2.13).

Nos oceanos, a variação diária da temperatura é geralmente inferior à que ocorre no continente. Além disso, eles retêm mais calor e se aquecem mais

lentamente que o solo terrestre. Devido a isso, os oceanos contribuem de modo efetivo na moderação do clima, uma vez que a reserva de calor nas águas adquirida nos meses mais quentes é, em parte, dissipada nos meses mais frios.

Além de reter e de distribuir calor, os oceanos também participam do controle da temperatura do planeta de outra maneira: eles retiram do ar atmosférico cerca de um terço do CO<sub>2</sub> proveniente da atividade humana, o que reduz a quantidade desse gás no ar e consequentemente diminui o efeito dele no fenômeno de aquecimento global. No entanto, ao retirar esse CO<sub>2</sub> em excesso do ar, ocorre a acidificação da água em função da reação entre esse gás e a água, formando ácido carbônico. A acidificação traz problemas para algas calcárias e animais que têm exoesqueleto calcário, pois a reação do calcário com o ácido carbônico promove a descalcificação nesses organismos, o que pode levá-los à morte.



**Figura 2.13.** Mapa das principais correntes oceânicas, as quais exercem profundo efeito sobre o clima. A corrente do Golfo, que é quente, propicia temperaturas mais moderadas na Europa do que as da América do Norte em latitudes semelhantes. A costa do Brasil recebe influência da corrente do Brasil, que é quente. A corrente do Peru, que é fria, influencia o clima mais frio da costa ocidental da América do Sul, em comparação com a costa oriental, na mesma latitude. Nos continentes, o mapa mostra os tipos de clima, representados por cores distintas (veja legenda abaixo do mapa) e também algumas cidades e capitais de países.



## Colocando em foco

### EL NIÑO E LA NIÑA E SUA AÇÃO NO CLIMA

#### O que é El Niño?

É um fenômeno climático de escala global caracterizado pelo aquecimento acima do normal [padrão acima das médias anuais] das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, que se estende desde a costa oeste da América do Sul (próximo ao Peru e Equador) até aproximadamente a Linha Internacional de Data (longitude de 180°). Este aquecimento anormal é geralmente observado no mês de dezembro, ou seja, próximo ao Natal.

Dependendo da intensidade e duração do aquecimento da água do mar, os episódios de El Niño podem ser classificados como fracos, moderados e fortes. Normalmente eles ocorrem em intervalos irregulares de 3, 7 e 12 anos, podendo durar de 12 a 18 meses. A **figura 2.14** ilustra os efeitos causados pelo El Niño em todo o continente Sul-americano.

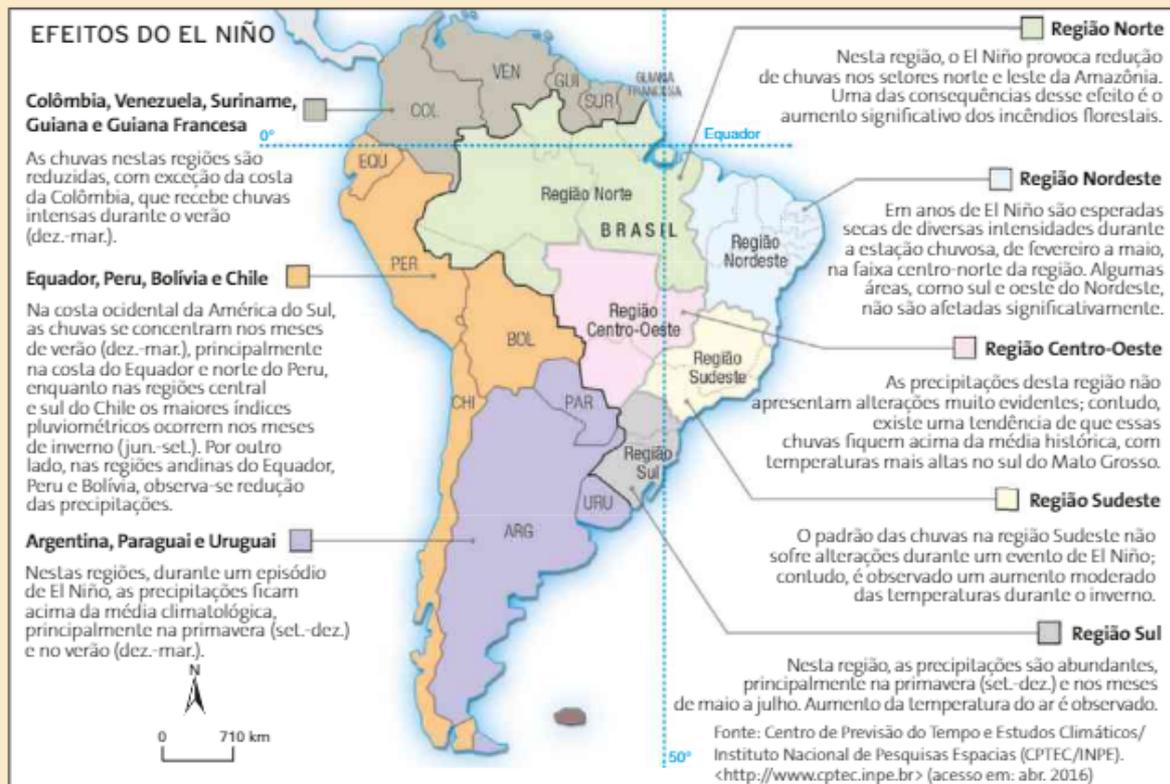


Figura 2.14. Mapa apresentando os principais efeitos do fenômeno El Niño na América do Sul.

#### Circulação de Grande Escala durante o fenômeno El Niño

A Circulação de Grande Escala [...] é responsável por todo o clima na Terra. É esta circulação que transporta calor e umidade de uma região para outra, ou seja, retira a umidade de uma região como os oceanos e florestas e provoca chuvas em outras, a exemplo do Nordeste brasileiro.

Com a ocorrência do fenômeno El Niño, a Circulação de Grande Escala é modificada, provocando mudanças no clima em diferentes regiões do planeta, como aumento no volume das chuvas na costa do Peru e sul do Brasil e secas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

[...] anomalias climáticas associadas ao fenômeno El Niño são desastrosas e provocam sérios prejuízos socioeconômicos e ambientais.

### O que é La Niña?

La Niña é um fenômeno com características opostas ao El Niño, ou seja, apresenta um resfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial. Este termo La Niña, que quer dizer “a menina”, em espanhol, também pode ser chamado de episódio frio, ou ainda El Viejo (“o velho”, em espanhol). Algumas pessoas chamam o La Niña de anti-El Niño, porém [como] El Niño se refere ao menino Jesus, o anti-El Niño seria então “o Diabo” e, por esse motivo, esse termo é pouco utilizado.

[...]

Em geral, os episódios La Niña também têm frequência de ocorrência em torno de 2 a 7 anos e seus episódios têm periodicidade de aproximadamente 9 a 12 meses. Alguns poucos episódios persistem por mais que 2 anos. [...]

INSTITUTO do Meio Ambiente e recursos hídricos. *O que é o El Niño?* Disponível em: <[www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/11/Informações-do-El-Niño.pdf](http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/11/Informações-do-El-Niño.pdf)>. *O que é o La Niña?* Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/11/Informações-do-La-Niña.pdf>>. Acessos em: mar. 2016.



## Tema para discussão



### Cidades e ecossistemas

Quando pensamos em Ecologia, podemos associar uma ideia errônea de que essa ciência se preocupa apenas com os ambientes não urbanos. Há, no entanto, uma área dentro da Ecologia que se chama Ecologia Urbana.

Para falar um pouco sobre esse importante assunto, selecionamos trechos de dois artigos que merecem ser lidos na íntegra, caso seja possível.

#### Artigo 1: Ecologia Urbana

##### O sistema urbano é um ecossistema?

“Alguns consideram as cidades como ecossistemas por estarem sujeitas aos mesmos processos que operam em sistemas silvestres. Outros argumentam que, a despeito de as cidades possuírem algumas características encontradas em ecossistemas naturais, não podem ser consideradas **ecossistemas** verdadeiros, devido à influência do homem. O fato é que se definirmos ecossistema como um conjunto de espécies interagindo de forma integrada entre si e com o seu ambiente, as cidades certamente se encaixam nessa definição. As grandes cidades e outras áreas povoadas estão repletas de organismos. O construtor destes habitats artificiais é o homem, mas uma infinidade de outras criaturas aproveitam e se adaptam a esses novos habitats recém-criados. Os organismos urbanos, incluindo o homem, também se relacionam com os outros organismos e essas interações podem ser estudadas, sob o ponto de vista conceitual, da mesma forma que relações ecológicas de ecossistemas naturais. [...]

##### O microclima urbano

As estruturas urbanas e a densidade e atividade dos seus ocupantes criam microclimas especiais. A pedra, o asfalto e outras superfícies impermeáveis que substituem a vegetação têm uma alta capacidade de absorver e reirradiar calor. A chuva é rapidamente escoada antes que a evaporação consiga esfriar o ar. O calor produzido pelo metabolismo dos habitantes e aquele gerado pelas indústrias e veículos ajudam a aquecer a massa de ar. Estas atividades também liberam na atmosfera vapor, gases e partículas em grandes quantidades.

Estes processos geram uma região de calor sobre as cidades onde a temperatura pode ser até 6 °C mais alta do que no ambiente circundante. Este fenômeno é mais marcante no verão em áreas temperadas, quando os prédios irradiam o calor absorvido.

[...]

##### Problemas ecológicos das grandes áreas urbanas

Alguns dos aspectos [...], como a importação de alimento e energia, são comuns a qualquer centro urbano, independentemente do seu tamanho. Outros, no entanto, acontecem de forma

problemática somente nas **grandes cidades**. Entre estes últimos, foram mencionados a poluição do ar e o destino dos resíduos sólidos. A construção desordenada em áreas de risco e as deficiências no saneamento básico também afetam de modo mais drástico as grandes cidades.

[...]

[...] Devido à forte ligação dos organismos urbanos com o homem, é necessário um envolvimento mais efetivo das ciências naturais com as sociais para integrar os conceitos ecológicos ao processo de planejamento urbano. [...]"

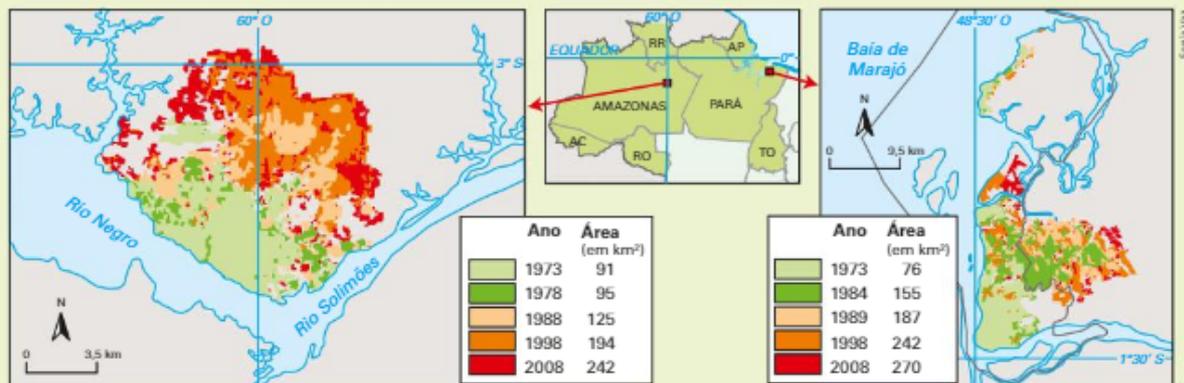
JACOBI, C. M. *Bases ecológicas para o desenvolvimento sustentável: ecologia urbana.*

Disponível em: <<https://ecoprofundo.wordpress.com/ecologia-urbana/>>. Originalmente disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/big/beds/arquivos/ecourbana.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

## Artigo 2: Ilha de calor na Amazônia

[...]

Polos de desenvolvimento da Amazônia brasileira, encravadas na imensa, quente e úmida floresta tropical, Manaus e Belém começam a apresentar alterações climáticas típicas das grandes cidades. Entre 1961 e 2010, a temperatura média da capital amazonense aumentou 0,7 grau Celsius (°C) e atingiu 26,5 °C, segundo levantamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). No mesmo período, a temperatura média da capital paraense subiu 1,51 °C e alcançou 26,3 °C. Em ambos os casos, a elevação se deve principalmente ao crescimento da área urbanizada das cidades, processo que se acentuou nas duas últimas décadas, embora efeitos mais globais, ligados às mudanças climáticas de grande escala, também possam ter tido algum impacto sobre esse índice. [...]



▲ Crescimento da área urbana de Manaus, de 1973 a 2008.

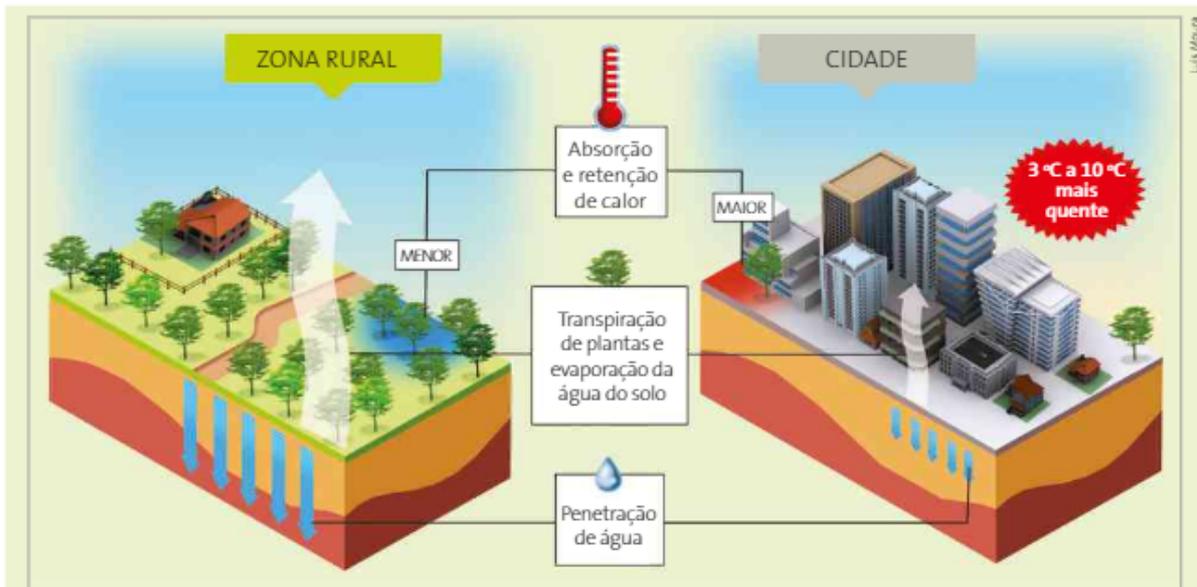
▲ Crescimento da área urbana de Belém, de 1973 a 2008. A região metropolitana triplicou em 35 anos.

Com mais prédios, concreto e asfalto tomando o lugar da vegetação nativa, o chamado efeito ilha urbana de calor, fenômeno conhecido há tempos por paulistanos e cariocas, também apareceu com força nas duas principais capitais da região Norte. Numa mesma hora do dia, a temperatura nas áreas dessas cidades mais densamente povoadas e ocupadas por construções e edifícios é consistentemente maior do que nas zonas rurais próximas, onde a floresta se mantém preservada. Os dados sobre ilhas de calor são mais nítidos no caso de Manaus, hoje a sétima cidade brasileira mais populosa, com mais de 1,8 milhão de habitantes, à frente de capitais do Nordeste, como Recife, e do Sul, como Porto Alegre e Curitiba.

[...]

O trabalho também indica que a atmosfera das áreas urbanizadas de Manaus se tornou mais seca do que a das florestas vizinhas. Durante o período analisado, a umidade relativa do ar nas zonas centrais da capital amazonense foi, em média, 1,7% menor do que nas matas adjacentes. Essa distinção alcançou seu nível máximo em fevereiro, no meio da estação mais chuvosa, quando a cidade chegou a ser 3,5% mais seca do que a floresta. "Esses dados mostram claramente o efeito ilha de calor em Manaus, afirma Regina [Alvalá], engenheira cartográfica especializada no mapeamento de usos e cobertura da terra para modelagem meteorológica.

[...]



^ Diferenças entre a zona rural e a região metropolitana considerando a absorção e a retenção de calor, a transpiração das plantas, a evaporação da água do solo e a penetração de água no solo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

PIVETTA, M. Ilha de calor na Amazônia. *Revista Pesquisa Fapesp*, 200, out. 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/ilha-de-calor-na-amazonia/>>. Acesso em: mar. 2016.

1. Considere os textos sobre cidades e ecossistemas. De acordo com eles, por que o sistema urbano pode ser considerado um ecossistema?
2. De 1973 a 2008, em quanto aumentou a área urbana das cidades de Manaus e Belém? Se for possível, obtenha esses dados para a cidade onde mora. Ela aumentou ou diminuiu? Quanto?
3. Analise a cidade onde você mora e procure investigar se, nas áreas com construções e ruas asfaltadas, a temperatura do ar é mais alta em locais com pouca ou nenhuma arborização ou em locais arborizados. Explique seus dados.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Retomando

Retome suas respostas para as questões da seção **Pense nisso** e procure reavaliá-las. Como deve variar o clima ao longo do ano no Atol das Rocas? Como você explicaria as diferenças e as semelhanças entre o clima do Atol e o da sua cidade?



## Ampliando e integrando conhecimentos

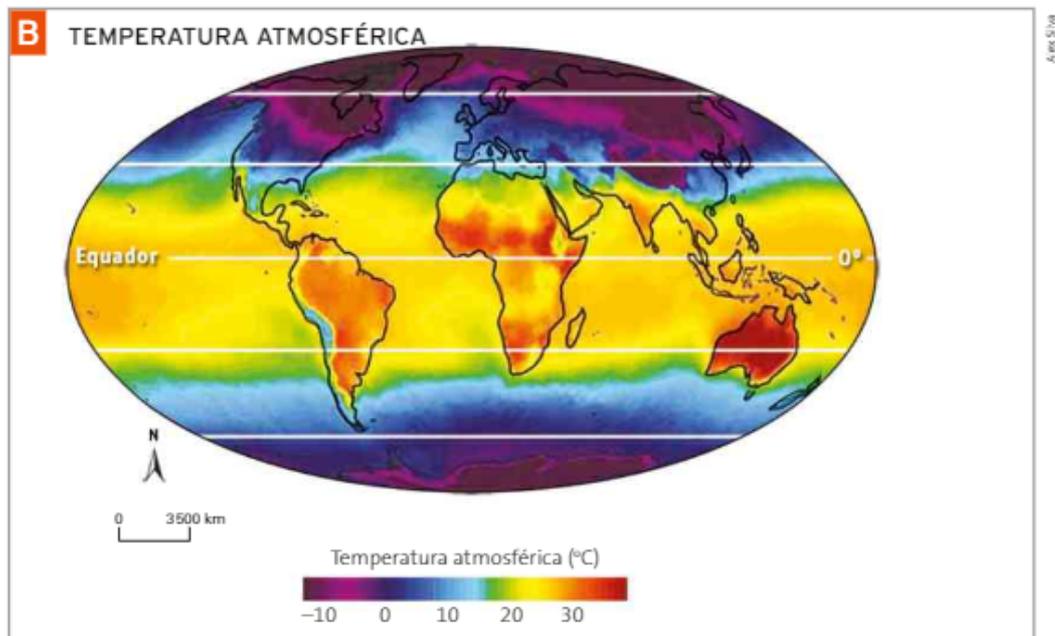
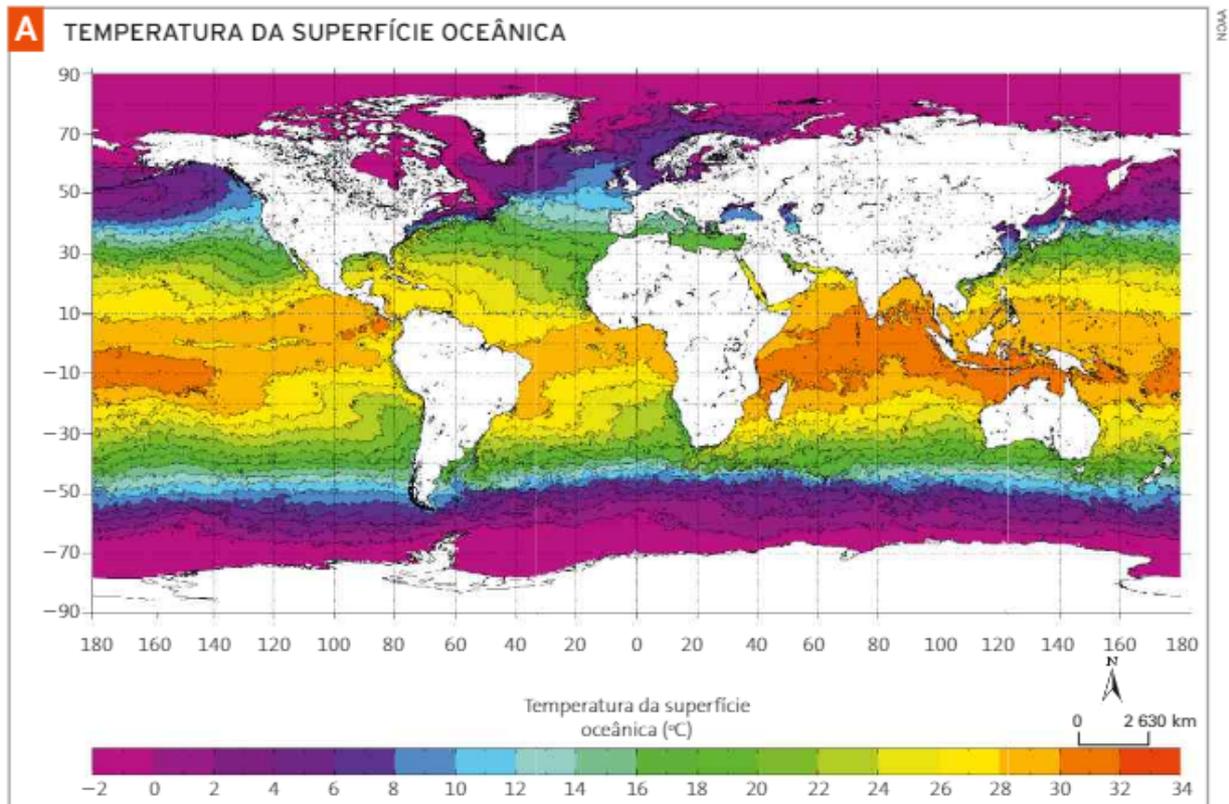
REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Correntes oceânicas e padrões térmicos globais

Habilidades do Enem: H1, H3, H9, H12, H17, H20.

Nesta atividade, vamos explorar padrões térmicos globais e sua relação com uma propriedade importante da água, que é sua capacidade térmica. Essa propriedade física é o que torna as massas de água boas transportadoras de calor. Note que estamos tratando de propriedades do meio que explicam aspectos do ambiente, o qual, como sabemos, estabelece a natureza dos processos ecológicos. Física, Química, Biologia, Geografia e outras disciplinas são indissociáveis quando se quer explicar certos padrões naturais.

Observe os mapas a seguir, referentes às temperaturas da superfície da água dos oceanos (A) e às temperaturas atmosféricas (B). Nas duas figuras, o vermelho, o laranja e o amarelo representam temperaturas mais altas; o verde, intermediárias; o azul e o púrpura, as mais baixas.



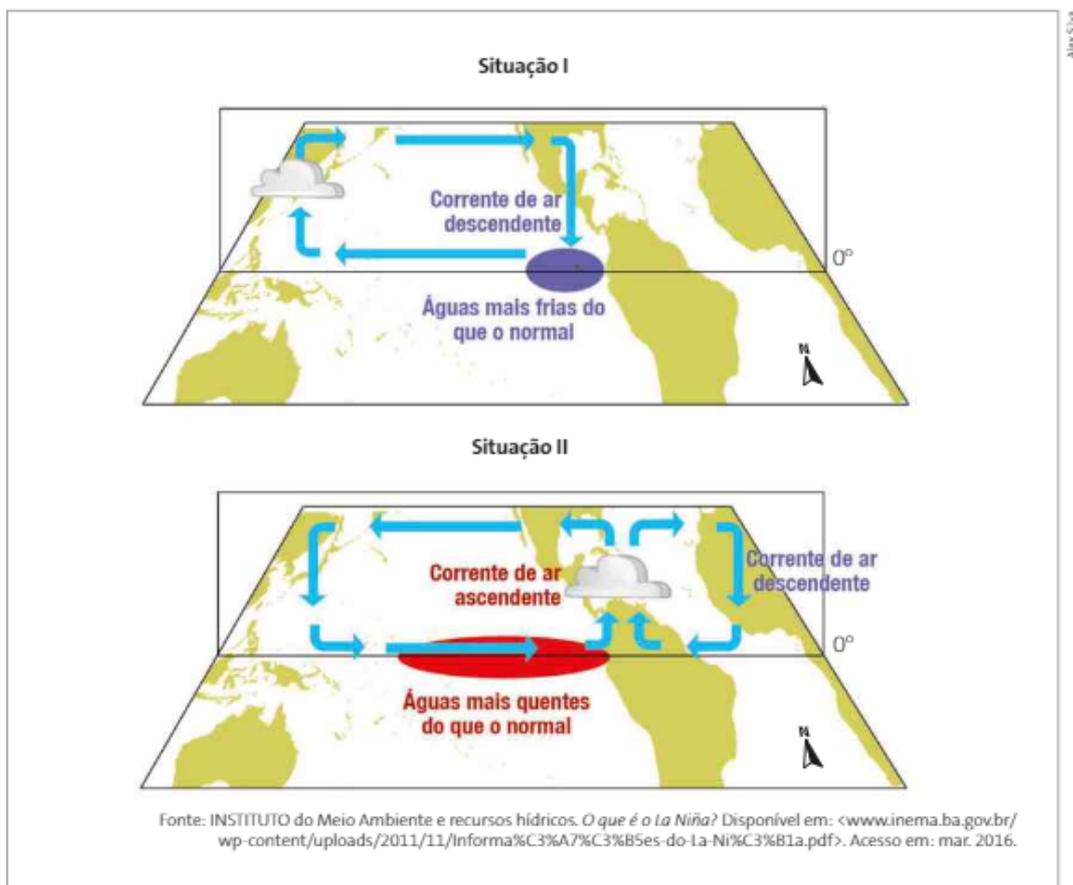
Imagens de satélite mostrando as temperaturas da superfície da água dos oceanos (A) e as temperaturas atmosféricas (B), ambas relativas ao mês de janeiro, em escala global. (Cores fantasia.)

Para responder às questões a seguir, compare as imagens anteriores com o mapa das principais correntes oceânicas de superfície que apresentamos neste capítulo.

- Que diferença há na temperatura da superfície do oceano quando se compara o lado leste com o lado oeste da América do Sul e da África na latitude do Trópico de Capricórnio? E entre a Inglaterra e a costa leste do Canadá? Como se explicam as diferenças encontradas?
- Há alguma correspondência entre o padrão de temperaturas da água oceânica superficial e da atmosfera sobre os oceanos? Como isso pode ser explicado?
- Como você explicaria o fato de que, ao longo do Círculo Polar Ártico, o norte da Europa é mais quente que o norte do Canadá?

**Atividade 2** El Niño, La Niña e o clima global Habilidades do Enem: H9, H10, H17, H20, H21.

Observe os esquemas abaixo, referentes à circulação vertical de ar ao longo da região da linha do Equador em duas situações diferentes (I e II).



Esquemas demonstrando a circulação atmosférica de grande escala em duas situações distintas (I e II). (Cores fantasia.)

- Qual situação (I ou II) corresponde ao El Niño? E à La Niña? Justifique sua resposta.
- Por que o aumento no volume de chuvas acontece em locais diferentes dependendo de se tratar do El Niño ou da La Niña? Quais são esses locais, respectivamente?
- Quais as consequências do El Niño no clima da região onde você mora? Pesquise sobre isso neste livro e em outras fontes confiáveis de consulta para responder.



## Testes

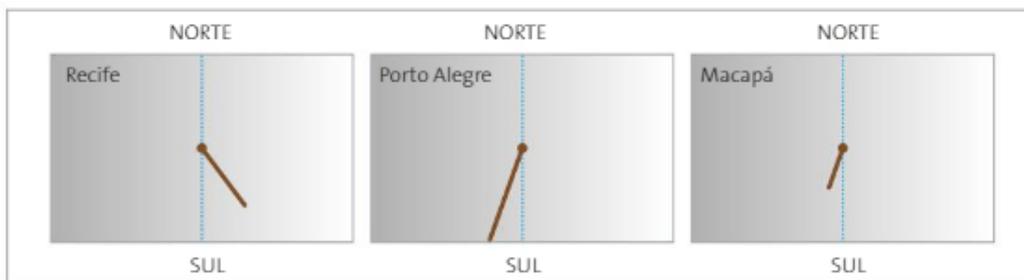
REGISTRE  
NO CADERNO 

Enunciado para as questões 1 e 2.

(Enem) No primeiro dia do inverno no hemisfério Sul, uma atividade de observação de sombras é realizada por estudantes de Macapá, Porto Alegre e Recife. Para isso, utiliza-se uma vareta de 30 cm fincada no chão na posição vertical. Para marcar o tamanho e a posição da sombra, o chão é forrado com uma folha de cartolina, como mostra a figura:



Nas figuras abaixo, estão representadas as sombras projetadas pelas varetas nas três cidades, no mesmo instante, ao meio-dia. A linha pontilhada indica a direção norte-sul.



- Levando-se em conta a localização dessas três cidades no mapa, podemos afirmar que os comprimentos das sombras serão tanto maiores quanto maior for o afastamento da cidade em relação ao
  - litoral.
  - Equador.
  - nível do mar.
  - Trópico de Capricórnio.
  - Meridiano de Greenwich.
- Pelos resultados da experiência, num mesmo instante, em Recife a sombra se projeta à direita e, nas outras duas cidades, à esquerda da linha pontilhada na cartolina. É razoável, então, afirmar que existe uma localidade em que a sombra deverá estar bem mais próxima da linha pontilhada, em vias de passar de um lado para o outro. Em que localidade, dentre as listadas a seguir, seria mais provável que isso ocorresse?
 

a) Natal	c) Cuiabá	e) Boa Vista
b) Manaus	<input checked="" type="checkbox"/> d) Brasília	

3. (UFPI) Na atmosfera terrestre, a uma altitude de mais ou menos 30 km, existe uma camada de gás ozônio ( $O_3$ ). Esse gás se forma espontaneamente a partir da decomposição do oxigênio ( $O_2$ ) sob ação da radiação ultravioleta do Sol. Esta camada de ozônio tem importante papel para os seres vivos porque:

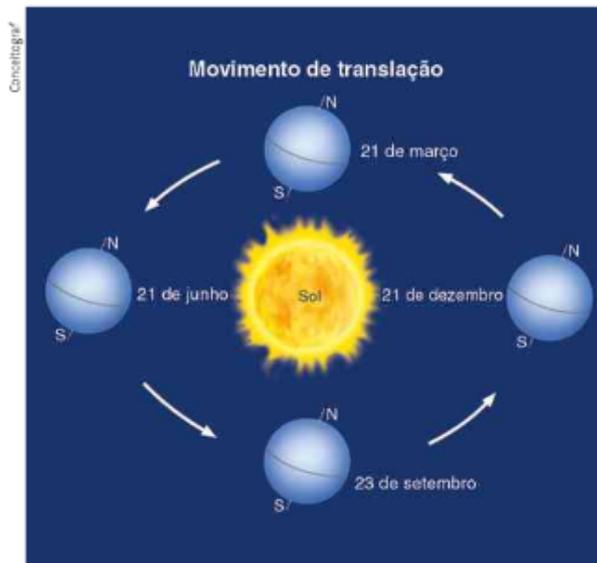
I. absorve os raios ultravioleta danosos presentes na radiação solar, diminuindo sua incidência na superfície.

II. protege os animais contra o câncer e prejuízos à visão.

III. protege o planeta contra as chuvas ácidas.

Indique a alternativa correta.

- a) Apenas I está correta.  
 b) Apenas II está correta.  
 c) Apenas III está correta.  
 x d) Apenas I e II estão corretas.  
 e) Apenas II e III estão corretas.
4. (UFMS) A Terra possui uma inclinação de  $23^\circ 27'$  em seu eixo, em relação ao plano da órbita. Tal inclinação, associada ao seu movimento de rotação e translação, propicia a incidência dos raios solares de maneira diferente sobre o globo terrestre. Sobre o movimento de translação identificado no esboço abaixo, é correto afirmar que



(01) o movimento de translação é o movimento que a Terra realiza em torno de um eixo imaginário que a atravessa de polo a polo.

(02) no dia 21 de março nós temos o equinócio de primavera para o hemisfério Sul e o equinócio de outono para o hemisfério Norte.

x (04) nos dias 21 de junho e 21 de dezembro ocorrem os dias de solstício, ou seja, quando há máxima desigualdade na distribuição de luz e calor entre os hemisférios.

x (08) os dias 21 de março e 23 de setembro, também conhecidos como equinócio, são os dias do ano em que os raios solares estão distribuindo de forma equitativa luz e calor para os dois hemisférios.

x (16) no dia 21 de junho temos o solstício de verão no hemisfério Norte e o solstício de inverno no hemisfério Sul.

(32) no solstício de inverno, no hemisfério Sul, ocorre o dia mais longo e a noite mais curta do ano.

Resposta: 28 (04 + 08 + 16)

5. (UFMT) A fração da energia solar incidente na superfície do planeta na forma de luz visível que, em parte, é temporariamente absorvida, é posteriormente reemitida em direção ao espaço interplanetário na forma de radiação infravermelha. No entanto, ao se encontrar com determinadas substâncias, como compostos de carbono, existentes na atmosfera, reflete-se e retorna em parte à superfície da Terra. Esse fenômeno denomina-se efeito estufa. O aumento de compostos de carbono no ar intensifica o efeito estufa, aquecendo ainda mais o planeta. Em relação ao assunto, assinale a afirmativa correta.

a) A radiação reemitida pela superfície do planeta tem menor comprimento de onda que a incidente.

x b) A radiação incidente na superfície do planeta possui maior frequência que a reemitida.

c) Os fótons da radiação incidente são menos energéticos que os da reemitida.

d) A luz visível incidente transforma-se em radiação infravermelha devido ao fenômeno de reflexão na superfície do planeta.

e) O efeito estufa viola o princípio de conservação de energia, por isso o planeta se aquece.

## CAPÍTULO

## 3

## Ecosistemas terrestres e aquáticos

Luciano Candiani



**Figura 3.1.** Os ecossistemas terrestres e aquáticos muitas vezes estão intimamente ligados, como mostra essa imagem do Pantanal, um ecossistema terrestre que sofre forte influência dos ciclos de cheias e vazantes dos abundantes rios que cortam essa região. Já falamos sobre isso na abertura do capítulo 1 e agora temos uma vista aérea do auge da época de cheia em uma região conhecida oficialmente como Nhecolândia. O curso de água mais abundante é um rio temporário, à esquerda, pelo qual a água da cheia escoar. Na seca, é um ambiente tipicamente terrestre, pelo qual circulam onças e tamanduás, formigas e minhocas. Na cheia, surgem plantas aquáticas e peixes. É uma alternância e um mosaico de ambientes terrestres e aquáticos.



## Pense nisso

- Considerando as informações e a imagem acima, você saberia dizer se há algum outro ecossistema terrestre no Brasil no qual ocorra essa alternância de cheias e vazantes dos rios?
- Quais ecossistemas terrestres brasileiros você conhece em que há grande escassez de água e de rios?
- Em sua opinião, em qual tipo de ambiente natural são encontradas plantas com as seguintes características:
  - ambiente 1: folhas com ampla superfície e árvores de grande porte?
  - ambiente 2: caule esverdeado, rico em água e com folhas modificadas em espinhos?
 Justifique suas respostas.

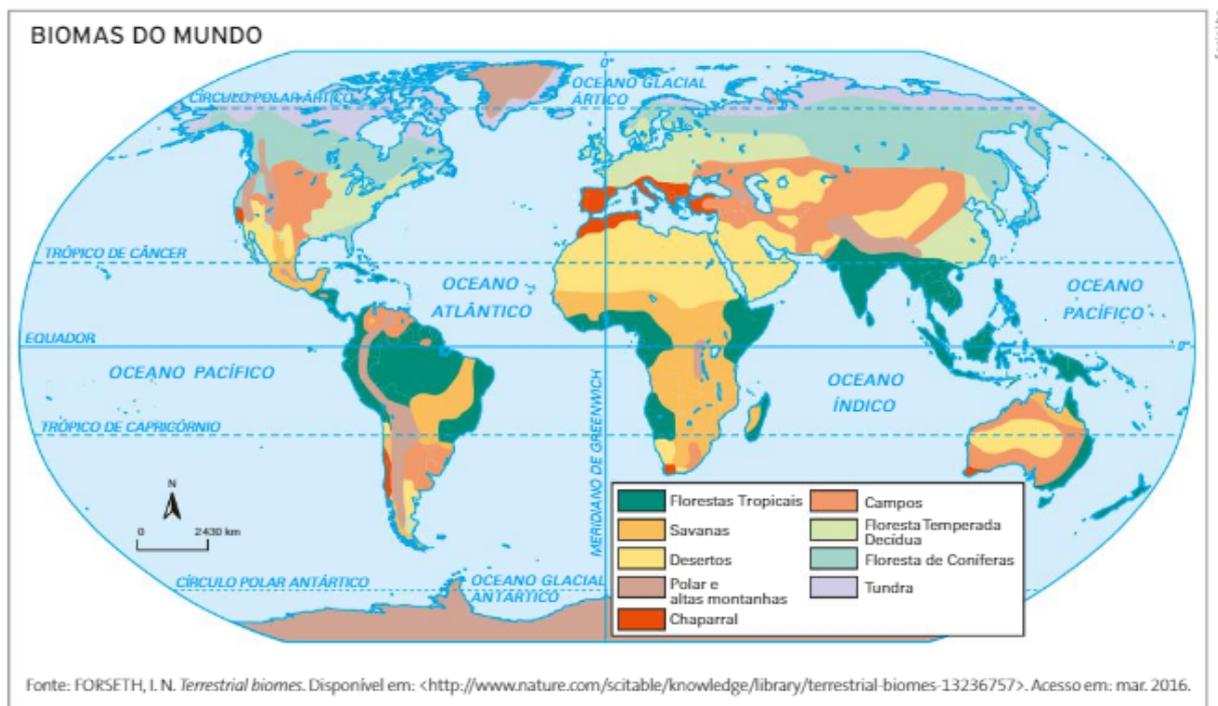
# 1. Ecossistemas terrestres

As condições do clima, representadas principalmente pela temperatura média anual e pela pluviosidade média anual para grandes regiões continentais, propiciam o desenvolvimento e a manutenção de ampla variedade de ecossistemas terrestres caracterizados por vegetação com características específicas. Conjuntos de grandes ecossistemas com fisionomias vegetais semelhantes em função desses aspectos macroclimáticos formam os **biomas**.

Dentro da área correspondente a um bioma, no entanto, podem ocorrer vários ecossistemas diferentes,

dependendo das condições microclimáticas locais. Falamos em **microclimas** quando queremos nos referir a condições climáticas presentes em uma área reduzida e que são diferentes das condições macroclimáticas, que são as que caracterizam uma área maior. Assim, quando caracterizamos os biomas, estamos nos referindo a grandes áreas, mas dentro deles podem ocorrer outros ecossistemas com características distintas, que não serão aqui discutidos.

O mapa a seguir (Fig. 3.2) apresenta os principais tipos de biomas do mundo.



▲ **Figura 3.2.** Mapa da distribuição dos principais biomas do mundo.

Vamos, agora, comentar brevemente a respeito desses biomas para depois discutirmos um pouco mais a respeito dos biomas brasileiros.

## 1.1. Florestas Tropicais e Savanas

Analise no mapa anterior a região entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio.

Note que, nesse intervalo, há vários tipos de biomas, entre eles as Florestas Tropicais e as Savanas.

Esses dois tipos de biomas ocorrem em regiões de clima quente, com temperaturas médias anuais altas e semelhantes, em torno de 21 °C a 32 °C. Apesar disso,

eles são diferentes em função da pluviosidade. As Florestas Tropicais desenvolvem-se em locais onde a pluviosidade é alta, ao redor de 1 700 mm a 2 700 mm em média anual. Já as Savanas ocorrem em locais em que a pluviosidade é baixa, ao redor de 200 mm a 1 000 mm em média anual. Assim, as Florestas Tropicais ocorrem em clima quente e úmido e as Savanas, em locais em que o clima é quente e seco.

No bioma Floresta Tropical (Fig. 3.3), a vegetação é muito diversificada, com árvores de grande porte, sendo o bioma com a maior diversidade vegetal do mundo. Além disso, as folhas das plantas nunca caem todas de uma só vez, e quando caem são logo substituídas por outras, falando-se que essas florestas estão sempre verdes.

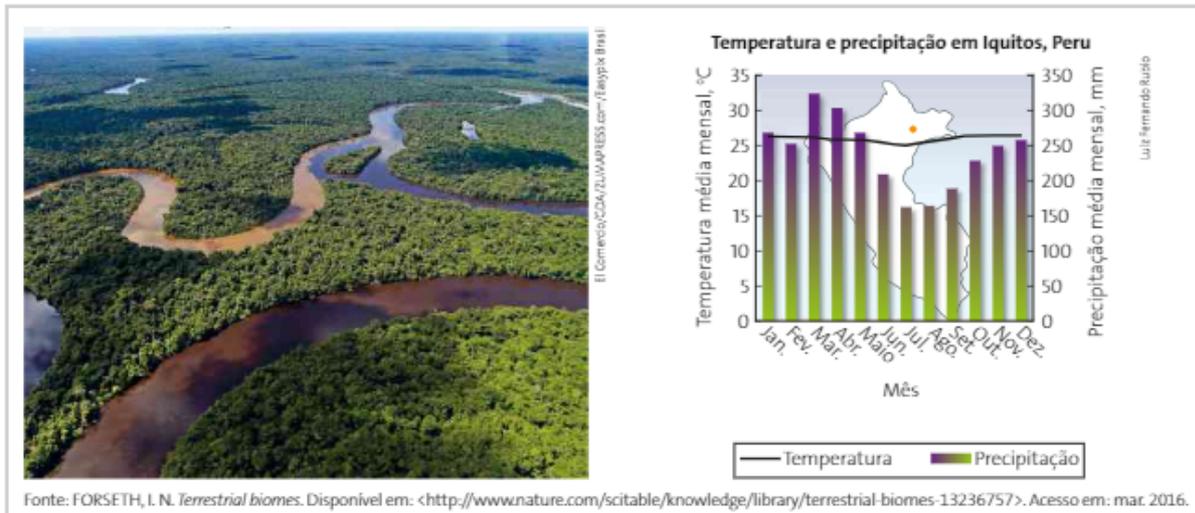


Figura 3.3. Fotografia de Floresta Tropical, no Peru (2013), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Iquitos, Peru.

No bioma Savana, a diversidade vegetal é menor e composta basicamente de plantas herbáceas, podendo ocorrer arbustos e árvores esparsas de pequeno porte (Fig. 3.4). Muitas dessas árvores perdem todas as folhas nas estações mais secas do ano, falando-se em plantas decíduas (do latim: *deciduus* = que cai).

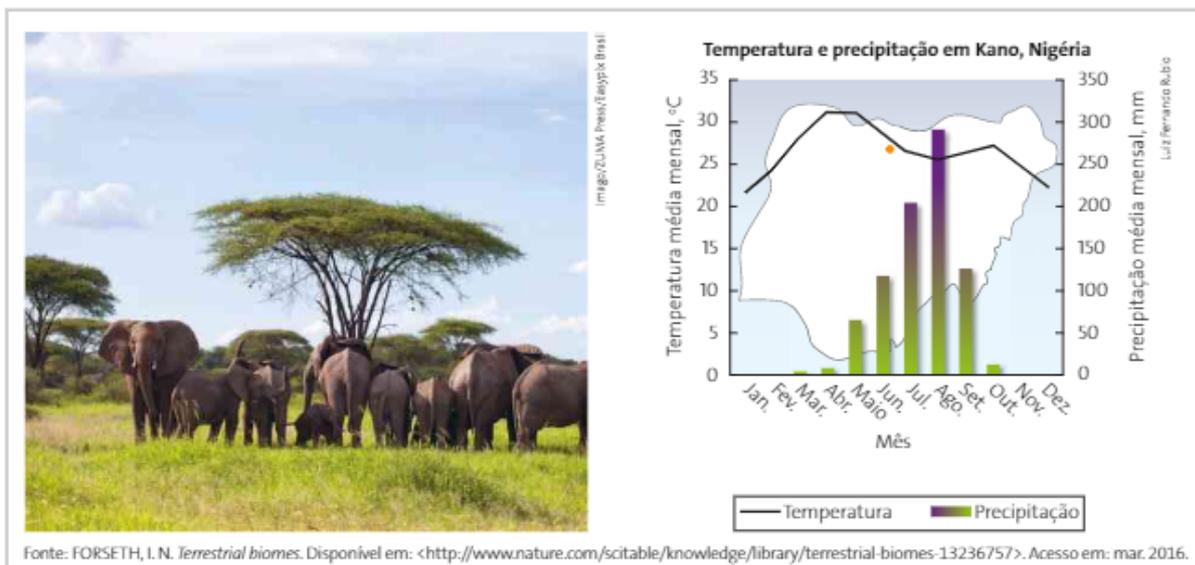


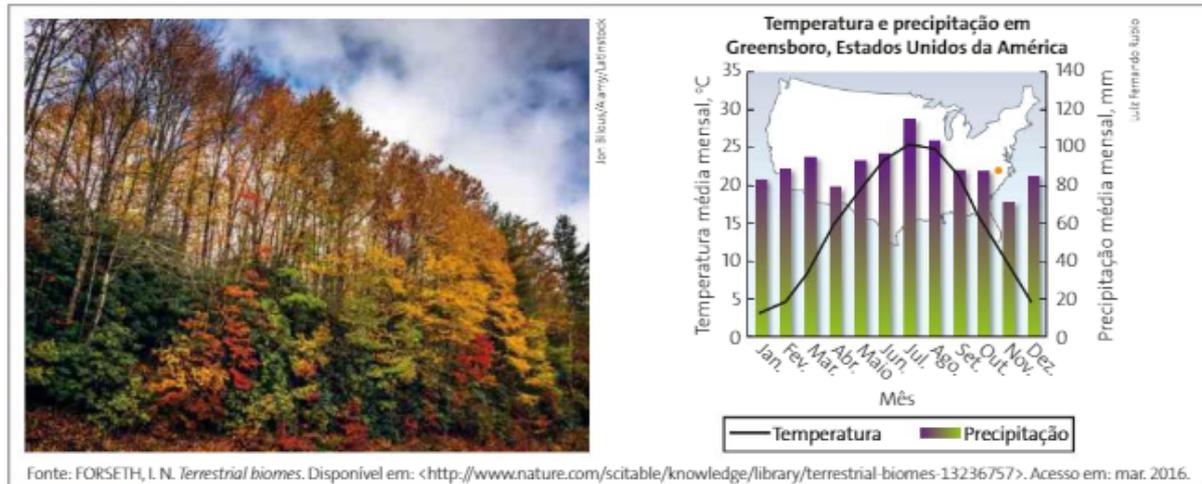
Figura 3.4. Fotografia de Savana, na África (2015), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Kano, Nigéria.

## 1.2. Florestas Temperadas Decíduas e Florestas de Coníferas

Analisando novamente o mapa da figura 3.2, é possível notar que há outros tipos de biomas que são considerados florestas: as Florestas Temperadas Decíduas e as de Coníferas. Elas ocorrem no hemisfério Norte em regiões de clima mais frio.

As Florestas Temperadas Decíduas ocorrem em locais com estações do ano bem definidas e temperaturas que vão de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pluviosidade média anual em torno de 750 mm a 1 000 mm. Nesse bioma a vegetação

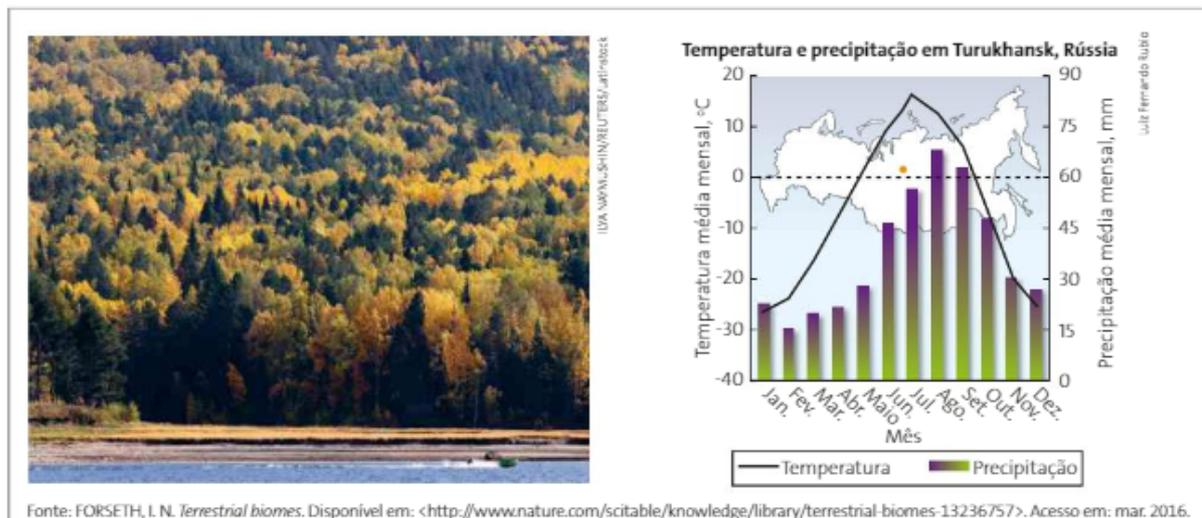
predominante perde as folhas no inverno, sendo assim, decídua. É característico também dessas plantas a presença de folhas que sofrem mudança de cor no outono, passando de verde para diferentes coloridos, como amarelo, laranja e vermelho, e depois caem, voltando a nascer na primavera (Fig. 3.5).



Fonte: FORSETH, I. N. *Terrestrial biomes*. Disponível em: <<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/terrestrial-biomes-13236757>>. Acesso em: mar. 2016.

Figura 3.5. Fotografia de Floresta Temperada Decídua, nos Estados Unidos da América (2014), no outono, antes de perder suas folhas, e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Greensboro, EUA.

As Florestas de Coníferas ocorrem em locais onde as temperaturas e a pluviosidade médias anuais são ainda mais baixas do que nas Florestas Temperadas. A vegetação dominante dá o nome ao bioma: coníferas (Fig. 3.6). São os pinheiros e os abetos. Essas plantas nunca perdem as folhas, mesmo no inverno mais rigoroso. As folhas são em forma de agulha, com cutícula grossa, resistente ao frio e à neve.



Fonte: FORSETH, I. N. *Terrestrial biomes*. Disponível em: <<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/terrestrial-biomes-13236757>>. Acesso em: mar. 2016.

Figura 3.6. Fotografia de Floresta de Coníferas, na Rússia (2014), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Turukhansk, Rússia.

### 1.3. Desertos

Os Desertos ocorrem nos locais onde a pluviosidade média anual é muito baixa, entre zero e 500 mm e a umidade relativa do ar também é baixa. Em função disso, as temperaturas nos desertos variam muito ao longo das 24 horas do dia. Durante o período em que há sol, as temperaturas são mais elevadas por causa do aquecimento do solo, mas à noite as temperaturas caem, pois a baixa umidade do ar não propicia a retenção do calor. Além do clima seco, há os chamados **desertos quentes**, em que as temperaturas durante o período de sol são em média

muito altas, caso do maior deserto do mundo que é o Saara. Há, no entanto, **desertos frios**, com temperaturas diurnas baixas, como o deserto de Gobi, na Ásia, e o da Patagônia, no sul da Argentina. Nesses desertos as temperaturas no inverno são negativas e pode haver neve.

Há também **desertos de altitudes**, como parte do deserto do Atacama no Chile, que ocorre a cerca de 2 400 m de altitude.

A vegetação dos Desertos é diversificada e muito esparsa, formada basicamente por gramíneas e plantas arbustivas (Fig. 3.7). Em certos casos, há cactos, plantas com adaptações à seca, como caule que armazena água e faz fotossíntese, e folhas reduzidas em espinhos. O formato das folhas reduz a superfície de perda de água da planta por transpiração.

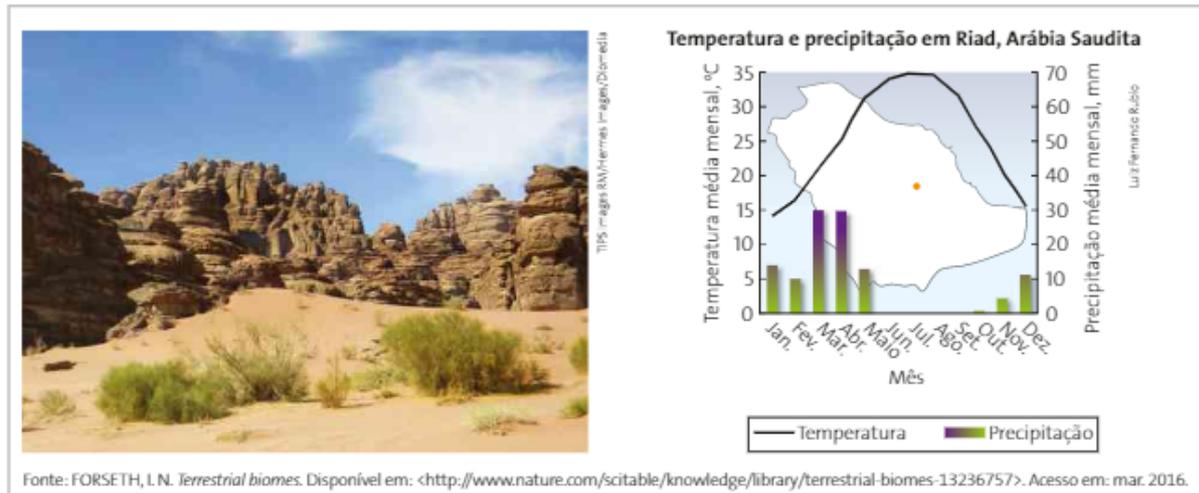


Figura 3.7. Fotografia de Deserto, na Arábia Saudita (2013), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Riad, Arábia Saudita.

## 1.4. Campos, Chaparral e Tundra

Os Campos também recebem o nome de **Pradarias** na América do Norte e **Estepes** na Ásia. Ocorrem em locais onde há verões muito quentes e invernos muito frios, com grandes variações de pluviosidade ao longo do ano, com o máximo no verão. A vegetação dominante é composta principalmente por gramíneas (Fig. 3.8).

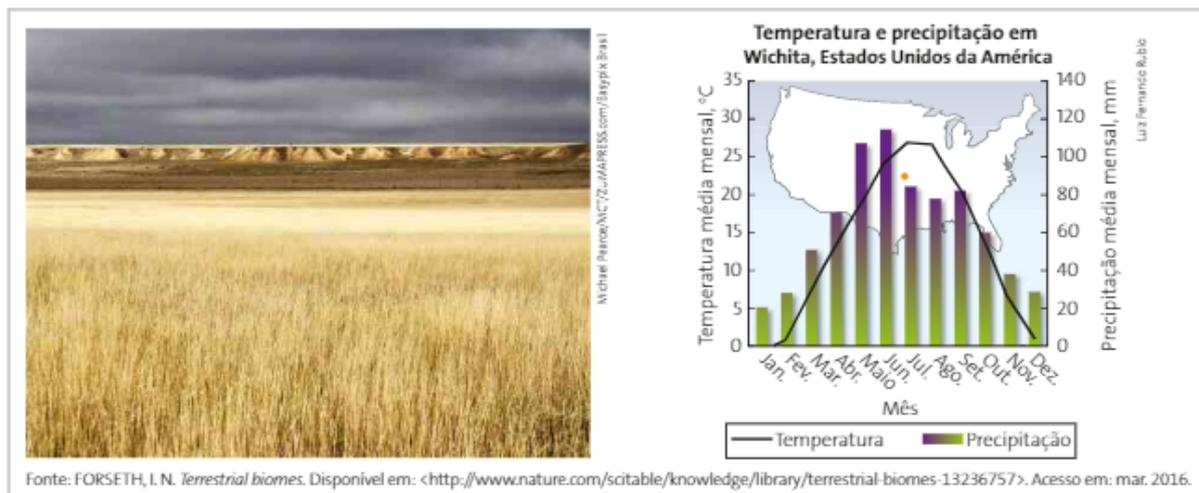


Figura 3.8. Fotografia de Campo, nos Estados Unidos da América (2013), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Wichita, Estados Unidos da América.

O Chaparral ocorre em locais onde os verões são quentes e secos e os invernos, moderadamente frios e úmidos. A vegetação predominante é arbustiva, com folhas perenes e duras (Fig. 3.9).

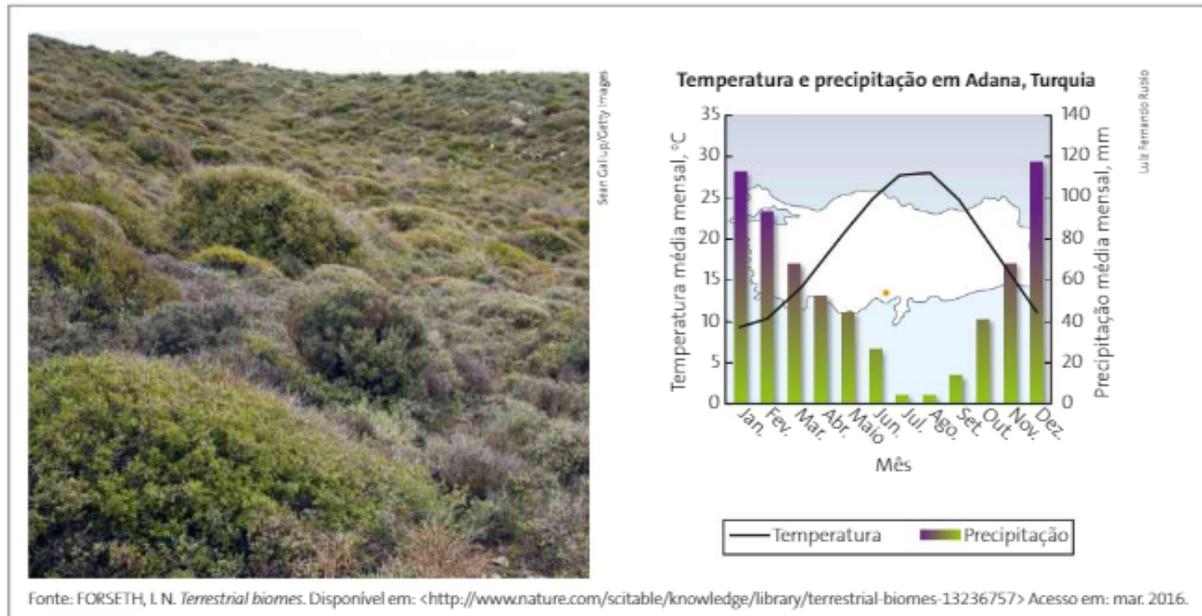


Figura 3.9. Fotografia de Chaparral, na Turquia (2015), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Adana, Turquia.

A Tundra ocorre no hemisfério Norte próximo à calota polar (região de gelo permanente). O clima é muito frio e seco com apenas três meses do ano com temperaturas mais altas, mas que raramente ultrapassam os 10 °C. O solo fica congelado, exceto no verão quando ocorre o degelo da camada superficial, formando grandes brejos. A vegetação é herbácea e não há árvores ou arbustos (Fig. 3.10).

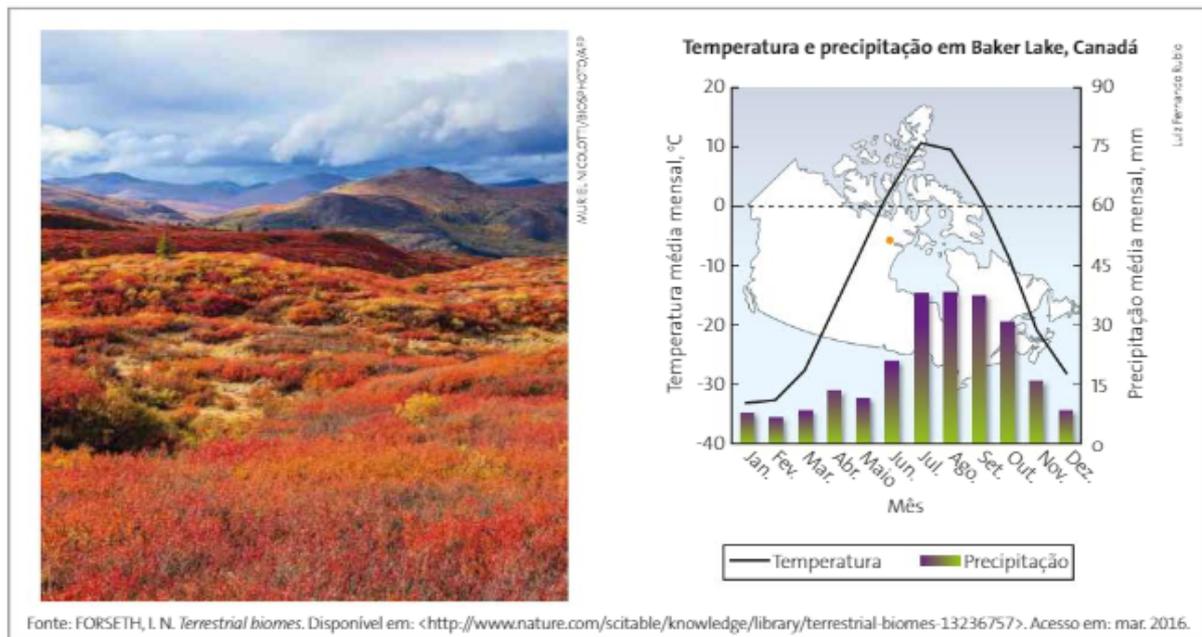


Figura 3.10. Fotografia de Tundra, no Canadá (2014), e gráfico com exemplo das variações médias mensais da temperatura em graus Celsius (ordenada da esquerda) e da pluviosidade em milímetros (ordenada da direita), ao longo dos meses do ano (abscissa), em Baker Lake, Canadá.

## 2. Biomas do Brasil

Os biomas brasileiros, segundo a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2004, estão representados no mapa a seguir (Fig. 3.11). Os limites representados são os mais prováveis na época da chegada dos portugueses ao Brasil, no final do século XV. Atualmente, os limites dos biomas brasileiros se mantêm, mas a vegetação nativa já é bastante alterada em função do crescimento das cidades e de desmatamentos provocados principalmente com o intuito de abrir áreas para plantio de alimentos vegetais e para pecuária.

Vivemos em uma sociedade em crescimento, que tem necessidade de mais área para habitação e produção de alimentos, mas devemos pensar em soluções sustentáveis que possam garantir o equilíbrio entre as ações humanas e os ecossistemas.



Figura 3.11. Mapa indicando a ocorrência dos diferentes biomas brasileiros.

### 2.1. Amazônia

A Amazônia é a maior Floresta Tropical do planeta. Abrange nove países da América do Sul, a maior parte dela fica no Brasil (Fig. 3.12). Estima-se que a Floresta Amazônica abrigue quase 25% de todas as espécies de seres vivos da Terra. Nela está a maior bacia fluvial do mundo, representando o maior reservatório de água doce do planeta, com cerca de 20% de toda a água potável disponível.

Nessa região, o clima é quente e úmido. A temperatura média anual é de 28 °C e a pluviosidade supera os 2500 mm por ano.



Figura 3.12. Mapa da área total da Floresta Amazônica, mostrando também a delimitação legal para preservação e a área relativa à Amazônia brasileira.

Fonte: Revista Pesquisa Fapesp, 212, out. 2013.

Quase 25% de toda a extensão da Amazônia é ocupada pelas chamadas florestas alagadas ou de várzea (Fig. 3.13). Elas ocorrem em locais de baixa altitude próximos ao litoral, sofrendo influência das marés, e no interior da floresta em áreas próximas aos rios, em especial ao Rio Amazonas, onde esse tipo de floresta ocupa maior área.



Figura 3.13. Fotografia aérea da Floresta Amazônica, com destaque para o Rio Tapajós, no município de Jacareacanga, PA (2014). Esse rio é um dos que deságuam no Rio Amazonas, contribuindo para que este seja o maior rio do mundo em volume de água.

As florestas de várzea ficam submetidas ao alagamento diário, sazonal ou imprevisível, dependendo do regime de chuvas. Com o alagamento, o solo fica enriquecido com grandes quantidades de nutrientes minerais, importantes para o desenvolvimento das plantas, o que gera maior riqueza de recursos naturais nessas áreas.

Esse é um dos fatores que têm levado à maior ocupação humana na região. Todas as grandes cidades amazônicas, e boa parte das pequenas, estão localizadas nessas áreas.

Dentro da imensa diversidade de plantas da Amazônia, destacam-se espécies que são importantes para a alimentação humana, como a castanheira, o guaraná (Fig. 3.14), o coco-de-açaí e o cupuaçu (Fig. 3.15), cultivadas ou exploradas nas chamadas **reservas extrativistas**, espaços territoriais destinados à exploração sustentável e à conservação dos recursos naturais renováveis, por populações tradicionais. Em tais áreas, é possível equilibrar interesses ecológicos de conservação ambiental, com interesses sociais de melhoria de vida das populações que ali habitam.



Figura 3.14. Frutos do guaraná. Um fruto mede cerca de 2,5 cm de diâmetro.



Figura 3.15. Frutos de cupuaçu. Um fruto mede cerca de 15 cm de comprimento.

As seringueiras, de onde se extrai o látex para a fabricação de borracha, também são plantas comercialmente importantes. Existem ainda inúmeras espécies de plantas medicinais que já proporcionaram importantes descobertas para a farmacologia, caso do curare, um potente anestésico, e do quinino, usado em remédios contra a malária.

Apesar da alta diversidade de plantas, o solo das Florestas Tropicais é pobre em nutrientes. A matéria orgânica que cai sobre o solo é logo decomposta pela ação de bactérias e fungos. Em função das altas temperaturas e da umidade, o processo de decomposição é acelerado. Os nutrientes liberados são logo aproveitados pelas plantas, por isso a camada de **húmus** (matéria orgânica resultante da decomposição) é fina e superficial. O húmus contém nutrientes inorgânicos fundamentais para o desenvolvimento e o crescimento das plantas. Isso explica uma das adaptações das plantas que vivem nesses ambientes: elas têm raízes superficiais.

Os nutrientes inorgânicos retirados do solo não são suficientes para as plantas crescerem. Elas dependem da fotossíntese, processo que ocorre na presença de luz e de clorofila, em que as plantas produzem sua própria matéria orgânica a partir da água absorvida pelas raízes e do gás carbônico, que é incorporado principalmente pelas folhas.

Como as árvores nas Florestas Tropicais apresentam raízes pouco profundas, elas são facilmente derrubadas nos processos de desmatamento.

Outra característica das plantas arbóreas desse bioma é a presença de folhas com superfície ampla e lisa e extremidade afilada, o que facilita o escoamento da água das chuvas e reduz o impacto da água no solo. Sem a cobertura das árvores, o solo fica desprotegido e a água das chuvas cai diretamente sobre ele, com mais intensidade, “lavando-o” e deixando-o pobre em nutrientes. Este processo é chamado **lixiviação**.

Além do desmatamento de grandes áreas, estudos têm indicado que pequenas clareiras formadas em função da extração de madeira de valor comercial, caso do mogno, produzem efeitos prejudiciais à manutenção da diversidade, alterando inclusive o número de espécies animais que têm nessas plantas sua principal fonte de alimento.

## Colocando em foco

### PESCA E CAÇA DESORDENADAS

Além do desmatamento, outros modos de uso inadequado do meio vêm afetando a Amazônia. Os rios amazônicos, por exemplo, têm sido alvo da pesca desordenada, levando à redução do estoque de peixes, em especial dos que são usados na alimentação humana. É o caso do tambaqui (Fig. 3.16), um dos maiores peixes da bacia do Amazonas, que atinge cerca de 90 cm de comprimento e chega a pesar 30 kg. Antigamente, eram capturados exemplares com até 45 kg, mas em função da sobrepesca praticamente não existem mais exemplares desse porte.

Além dos peixes, os botos vermelhos (ou botos-cor-de-rosa), mamíferos aquáticos, são caçados ilegalmente para uso de sua carne como isca para peixes, em especial para a captura do peixe sem escamas conhecido por piracatinga (Fig. 3.17), que é exportado para outros países. Com isso, a população dos botos está diminuindo muito e a espécie está na lista vermelha de animais em risco de extinção.

No ambiente terrestre, a caça desordenada tem reduzido o número de animais, gerando o que alguns pesquisadores chamam de “florestas vazias”, em que há vegetação, mas as principais espécies animais não estão mais presentes ou ocorrem em número bem reduzido.



Andria Florêncio/Agência/Comida

Figura 3.16. Os tambaquis são alvo da pesca desordenada para consumo na alimentação humana. Chegam a medir 90 cm de comprimento.



Danielle Pedrodini / Instituto Mamíferos

Figura 3.17. Piracatingas, em cuja pesca é utilizada a carne de botos como isca. Chegam a medir 40 cm de comprimento.

## 2.2. Mata Atlântica

A Mata Atlântica (Fig. 3.18), assim como a Amazônia, também é uma Floresta Tropical, e ambas apresentam algumas características em comum. A diferença mais expressiva entre elas está na topografia do terreno que ocupam: a Floresta Amazônica ocupa planícies e planaltos do interior do Brasil, enquanto a Mata Atlântica ocorre na região costeira, em planícies e montanhas como a Serra do Mar. A temperatura média anual gira em torno de 21 °C, e a pluviosidade, em torno de 2 240 mm.

Figura 3.18. Fotografia da Mata Atlântica em Nova Iguaçu, RJ (2014). Note a topografia da região serrana, uma das características que diferencia esse bioma da Floresta Amazônica. >



loggic/Bea/Pulsar/Imagens

A cadeia costeira de montanhas atua como uma barreira contra o vapor d'água que vem do oceano. Ao atingir as montanhas, esse vapor sobe e sofre resfriamento. Ocorre condensação e precipitação da água sob a forma de chuva (Fig. 3.19). Assim, produz-se uma região úmida o suficiente para suportar essa densa mata com flora e fauna exuberantes.



Figura 3.19. Esquema mostrando a movimentação de ar e a formação de chuva na Serra do Mar. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Segundo o IBGE, a área ocupada pelo bioma Mata Atlântica corresponde a cerca de 13% do território brasileiro. Tal área, todavia, vem sendo devastada pelo ser humano para extração de madeira, como o pau-brasil, e construção de cidades. Hoje está reduzida a aproximadamente 7% da área que ocupava no final do século XV e início do século XVI.

Mesmo reduzida e muito fragmentada (Fig. 3.20), a Mata Atlântica tem enorme importância social e ambiental: aproximadamente 70% da população brasileira vive em seu domínio. A Mata Atlântica regula o fluxo dos mananciais hídricos, influencia o clima e protege escarpas e encostas das serras. Nela nascem diversos rios que abastecem cidades e metrópoles brasileiras.

A Mata Atlântica conta com cerca de 5 mil espécies de plantas, das quais se destacam bromélias e palmeiras.

O total de mamíferos, aves, répteis e anfíbios que ocorrem na Mata Atlântica corresponde a cerca de 1360 espécies, das quais 567 são endêmicas (só são encontradas ali), representando 2% de todas as espécies do planeta referentes apenas a esses grupos de vertebrados. Muitos desses animais estão ameaçados de extinção. Das 202 espécies ameaçadas no Brasil, 171 são da Mata Atlântica. Entre os mamíferos ameaçados de extinção estão a onça-pintada e o bugio. Entre as aves está a araponga, conhecida como a "voz da Mata Atlântica".

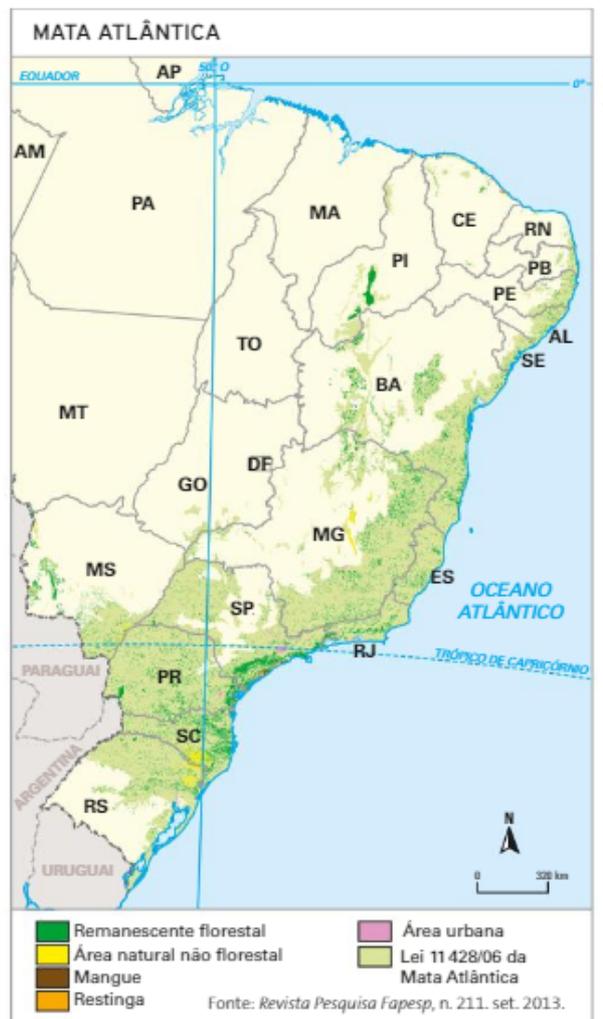


Figura 3.20. Mapa indicando o bioma Mata Atlântica e as áreas remanescentes de floresta, não florestal, de mangue e de restinga.

Na classificação de biomas empregada pelo IBGE (2004), faz parte do grande bioma Mata Atlântica a Mata de Araucárias (Fig. 3.21), que em outras classificações é considerada um bioma à parte.



Figura 3.21. Fotografia da Mata de Araucárias, no Parque Nacional das Araucárias, SC (2016).

A Mata de Araucárias ocorre no Sul do Brasil, estendendo-se de São Paulo e sul de Minas Gerais até o norte do Rio Grande do Sul, ocupando principalmente regiões do Paraná e de Santa Catarina. A temperatura média anual é de 16 °C e a pluviosidade, 1400 mm por ano. Nela, predominam o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e o pinheiro do gênero *Podocarpus*. A madeira do pinheiro-do-paraná tem grande importância econômica e por isso a espécie tem sido intensamente explorada, o que vem provocando drásticas reduções da mata: hoje corresponde a menos de 2% do que foi originalmente. A gralha-azul e a gralha-picaça são aves típicas dessa região.

### 2.3. Manguezal: um ecossistema especial

O Manguezal brasileiro desenvolve-se na região litorânea onde os rios desembocam no mar, desde o Amapá até Santa Catarina. Ele é extremamente importante, pois o local é o “berçário” de grande número de animais marinhos. Além disso, participa de modo fundamental na produtividade das regiões costeiras (Fig. 3.22). As plantas típicas desse ecossistema são popularmente chamadas de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue seriba (*Avicennia schaueriana*) e mangue branco (*Laguncularia racemosa*).

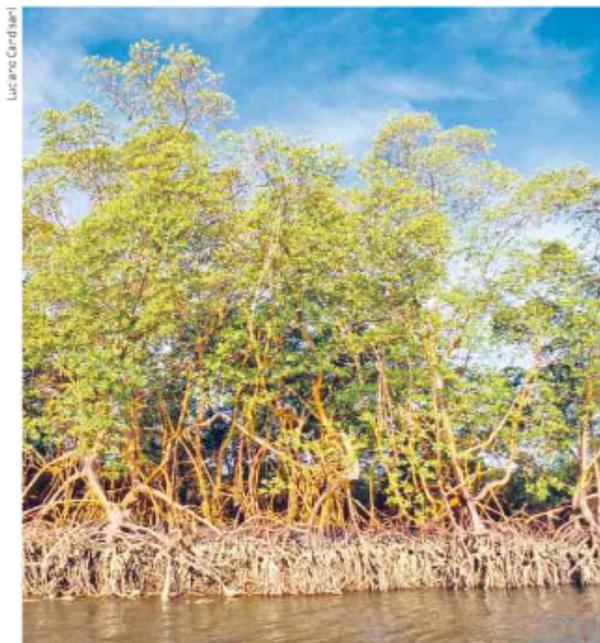


Figura 3.22. Fotografia de manguezal no estuário do rio Mamanguape, PB (2004). Por ser úmido, rico em matéria orgânica em decomposição e pobre em oxigênio, o solo dos manguezais apresenta um odor característico de enxofre (ovo podre), que é mais intenso em áreas degradadas e poluídas.

### 2.4. Caatinga

A Caatinga ocorre principalmente em estados do Nordeste, ocupando cerca de 10% do território brasileiro. Nessa região a temperatura média anual é de 27 °C. Há uma estação chuvosa e uma seca, com irregularidades frequentes. A pluviosidade fica entre 500 e 700 mm por ano.

A palavra **caatinga** tem origem tupi e significa “mata branca”. Nos períodos de seca, que podem se prolongar por mais de 9 meses, a maioria das plantas perde as folhas, ficando apenas os galhos esbranquiçados (Fig. 3.23). A perda das folhas constitui um dos mecanismos de proteção contra a perda de água. Além desse mecanismo, verificam-se vários outros em diferentes espécies de plantas desse bioma, tais como a redução das folhas, que em algumas espécies (como as cactáceas) têm a forma de espinhos, e o acúmulo de água nas folhas, nas raízes e nos caules.

A Caatinga tem cerca de 6 mil espécies de plantas descritas, muitas delas endêmicas (só ocorrem naquela região). Por exemplo, das 87 espécies de cactos da Caatinga, 83% são exclusivas do bioma, como o mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), esses dois ameaçados de extinção.



Figura 3.23. Fotografia da Caatinga em Carnaúba dos Dantas, RN (2014). Esse é o único bioma exclusivamente brasileiro, o que torna sua preservação extremamente importante.

As leguminosas são também muito comuns na Caatinga. Elas desempenham importante função ecológica por terem, associadas às suas raízes, bactérias capazes de fixar nitrogênio. Essa relação ecológica é fundamental para o desenvolvimento das plantas, as quais não são capazes de assimilar o gás nitrogênio ( $N_2$ ) disponível no ar e no solo, mas conseguem aproveitar produtos nitrogenados derivados da transformação desse gás. As bactérias fixadoras de nitrogênio são as responsáveis por transformar o  $N_2$  em substâncias que as plantas podem assimilar.

São exemplos de leguminosas exclusivas da Caatinga o mucunã (*Dioclea grandiflora*) e a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) (Fig. 3.24).



Figura 3.24. Fotografia de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), em Lagoa dos Gatos, PE (2012). Essa é uma planta da família das leguminosas endêmicas da Caatinga.

Com relação aos animais, destaca-se a ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii*) (Fig. 3.25), espécie possivelmente extinta na natureza segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza. Ainda restam 79 indivíduos que vivem em cativeiro. O projeto Ararinha na Natureza, criado em 2012, luta para que a espécie volte a existir na Caatinga.



Figura 3.25. Ararinha-azul é uma espécie que atualmente só pode ser encontrada em cativeiro. Mede cerca de 60 cm de comprimento.

A área ocupada pela vegetação original da Caatinga está reduzida a 54% do que era, e a principal causa do desmatamento é a derrubada de árvores nativas para a produção de lenha e carvão, usados como fonte de energia em atividades industriais (Fig. 3.26).

Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente, há na Caatinga 241 espécies de peixes, 79 de anfíbios, 177 de répteis, 591 de aves, 178 de mamíferos e 221 de abelhas. Estima-se que 41% das espécies animais da Caatinga ainda permaneçam desconhecidas.

Há grande endemismo da fauna, que chega a 57% no caso dos peixes, 37% no caso dos lagartos, 12% dos anfíbios e 7% das aves.



Fonte: Revista Pesquisa Fapesp, nº 209, jul. 2013.

Figura 3.26. De acordo com a Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente, de 2002 a 2008 a área desmatada na região de Caatinga foi de 15 mil km<sup>2</sup> – pouco mais de 2 mil km<sup>2</sup> por ano.

Quando o número de espécies endêmicas de uma região é alto, como ocorre nesse bioma, há um indicativo de que, no processo evolutivo, foram selecionadas adaptações específicas a esse ambiente. Por exemplo, são comuns nessa região duas espécies de anfíbios: a perereca *Corythomantis greeningi* e a rã *Pleurodema diplolister* (Fig. 3.27). A perereca pode permanecer entre pequenas frestas de rochas por meses, usando a cabeça altamente modificada para bloquear a entrada de seu esconderijo. Permanecendo assim, esse animal fica protegido de predadores e da dessecação. Quando chove, a perereca sai do esconderijo em busca de poças de água que se formam temporariamente, onde se reproduz. No caso da rã, ela se protege nas épocas de seca enterrando-se a mais de 1,5 m de profundidade e a reprodução só ocorre em épocas de chuva.

Figura 3.27.

A rã *Pleurodema diplolister* se enterra a mais de 1,5 metro de profundidade nas épocas de seca da Caatinga. Mede cerca de 30 cm de comprimento.



## 2.5. Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, correspondendo a cerca de 24% do território nacional. É menor apenas que o bioma amazônico. É considerado a savana tropical mais diversificada do mundo, abrigando cerca de 7 mil espécies de plantas, sendo 44% delas endêmicas da região. Uma das características marcantes das paisagens de Cerrado é a presença de árvores com tronco e galhos bastante retorcidos (Fig. 3.28).

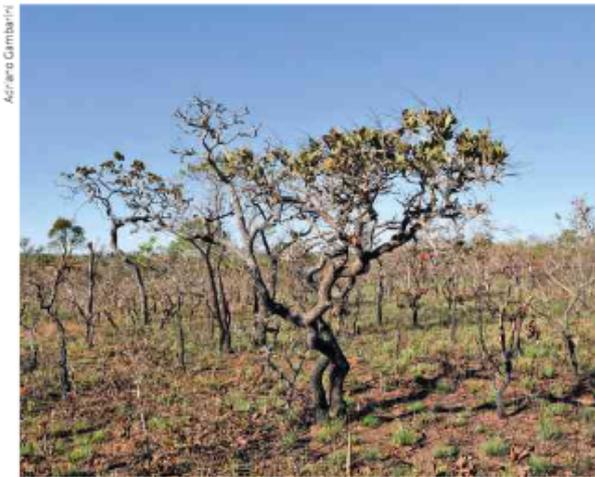


Figura 3.28. Fotografia de uma árvore de galhos retorcidos, típica de Cerrado, no Parque Nacional das Emas, GO (2015).

As plantas do Cerrado distribuem-se por paisagens bastante distintas, que podem ser classificadas em pelo menos três fisionomias: a **campestre**, composta predominantemente por gramíneas; a **savânica**, formada por campos abertos com árvores entre 5 m e 12 m de altura; e a **florestal** ou **cerradão**, com árvores que podem chegar a 20 m de altura (Fig. 3.29).



Figura 3.29. Fotografia de paisagem do Cerrado brasileiro: florestal ou cerradão, em Porto Nacional, TO (2015).

Essas fisionomias surgiram a partir de condições ambientais relacionadas principalmente a quatro fatores:

- **Clima:** que no Cerrado é marcadamente estacional, com períodos bem definidos de seca, intercalados com períodos de chuvas intensas.
- **Profundidade do lençol subterrâneo** (água que fica sob o solo): é maior o predomínio de gramíneas quanto mais perto da superfície está o lençol subterrâneo. Os arbustos e as árvores do Cerrado não estão adaptados ao solo úmido, mas ao solo seco. Suas raízes, no entanto, aprofundam-se e chegam até a água sob o solo, que pode estar a mais de 2 m de profundidade.
- **Solo:** ácido, pobre em nutrientes e rico em alumínio.
- **Fogo:** pode ocorrer de forma natural no Cerrado. As plantas apresentam adaptações a essa condição ambiental; o fogo é um estímulo para o brotamento de muitas plantas, para a floração, para a abertura de frutos e também para a germinação de sementes. Árvores e arbustos possuem caule com casca bem desenvolvida (cortiça), que atua como isolante térmico, conferindo proteção contra o fogo.

Em regiões onde a ocorrência do fogo é mais comum, há predomínio de gramíneas, pois suas raízes superficiais utilizam os nutrientes depositados na forma de cinzas. Dessa forma, pode-se dizer que o fogo natural é um agente importante na determinação das fisionomias do Cerrado.

Entretanto, a frequência de incêndios causados por ações humanas tem aumentado. Para o Cerrado, mesmo com todas as adaptações apresentadas pelas plantas nesse bioma, isso pode ser devastador. Uma das alternativas é fazer o manejo controlado do fogo, evitando-se danos e incêndios de grandes proporções.

Algumas das principais plantas encontradas no Cerrado são indaiá (palmeira de caule subterrâneo que em certos locais domina a paisagem, formando os campos de indaiá), capim-flecha (chega a atingir 2,5 m de altura e pega fogo com facilidade) e buriti (palmeira encontrada nas margens dos rios do Cerrado, característica das chamadas veredas).

A fauna é muito rica, incluindo a ema, maior ave das Américas, o lobo-guará, o tamanduá e o veado-campeiro.

No Cerrado é muito comum a presença de cupinzeiros, que se elevam do solo e servem de abrigo para larvas de vaga-lumes. Em determinadas épocas do ano, quando essas larvas são abundantes, elas iluminam o Cerrado à noite e proporcionam um belíssimo espetáculo de bioluminescência.



## 2.7. Pantanal

O Pantanal abrange os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (cerca de 1,7% do território brasileiro), estendendo-se pela Bolívia e pelo Paraguai. É uma região plana, onde os rios da bacia do rio Paraguai extravasam suas águas nos meses de cheia (outubro a abril), inundando extensas áreas (Fig 3.33). Nos meses de seca (maio a setembro), os rios voltam a seus cursos normais, deixando nutrientes que fertilizam os solos. Entretanto, muitas regiões ainda permanecem alagadas, originando pequenas lagoas entremeadas por terras firmes. Nesses locais há plantas típicas de brejos, e em locais com inundações raras pode-se encontrar vegetação típica de Cerrado, de campo e de floresta, além de buritizais, áreas ricas em uma palmeira chamada buriti.

A principal característica dessa região é a dependência de quase todas as espécies de plantas e animais em relação ao fluxo das águas. O Pantanal é a maior planície inundável do mundo e apresenta fauna muito rica. Embora o número de espécies seja inferior ao registrado na Amazônia, o número de indivíduos de algumas espécies é muito maior no Pantanal. No caso das aves, estima-se que esse bioma reúna a maior concentração do continente, observando-se com frequência árvores completamente ocupadas por grupos de garças, patos-selvagens e jaburus ou tuiuiús (ave-símbolo da região) (Fig. 3.34).

A flora e fauna do Pantanal sofrem forte influência dos biomas que estão ao redor. É possível encontrar no Pantanal vegetações típicas da Caatinga e dos Pampas. O mesmo ocorre com a fauna pantaneira: grande parte dos mamíferos ocorre no Cerrado e a maioria das aves está presente na Mata Atlântica e na Amazônia. Há também muitos peixes que ocorrem nos rios da Amazônia e do Pantanal.



Andre Delp/Plurall imagens

^ **Figura 3.33.** Fotografia aérea do Pantanal, em Poconé, MT (2014). Esse bioma se desenvolve em uma das maiores planícies inundáveis do mundo.

São poucas as espécies endêmicas do Pantanal, não sendo essa a característica que marca sua biodiversidade. O que marca é a abundância de indivíduos: estima-se que existam cerca de 45 mil cervos-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*), mais de 3 milhões de jacarés (*Caiman yacare*) (Fig. 3.35), 5 mil araras-azuis (*Anodorhynchus hyacinthinus*) e de 3 a 5 mil onças-pintadas (*Panthera onca*).



Eta Birnboim

^ **Figura 3.34.** Tuiuiú (*Jabiru mycteria*), ave símbolo da região do Pantanal. Mede cerca de 1,60 m de altura.



Luciano Cardiliani

^ **Figura 3.35.** Fotografia de população de jacarés (*Caiman yacare*). Estima-se que existam mais de 3 milhões de indivíduos dessa espécie vivendo no Pantanal. Medem cerca de 2 m de comprimento.



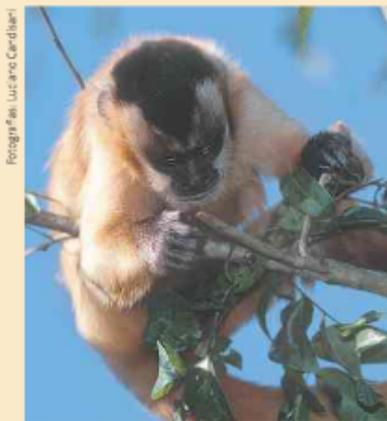
## Colocando em foco

### O PANTANAL E AS ATIVIDADES HUMANAS

A criação de gado bovino no Pantanal teve início no final do século XIX e é a principal atividade econômica dessa região. Tradicionalmente, a pecuária extensiva também obedecia ao ritmo das águas, tendo se desenvolvido inclusive raças pantaneiras de bovinos e equinos, adaptadas ao pastejo em águas rasas. Entretanto, a modernização dessa pecuária promoveu a divisão de terras e trouxe variedades exóticas de capim e a necessidade de interferir no fluxo das águas com pequenas represas, estradas, dragagens e drenagens, além de difundir o uso de pesticidas.

A pesca é outra atividade bastante desenvolvida, pois há riqueza de peixes de interesse para a alimentação humana. Porém os peixes estão diminuindo de tamanho e tornando-se mais raros, nítidos sinais de superexploração. A isso se somam problemas de contaminação por pesticidas e poluição industrial, sobretudo nos rios que vêm do planalto. O aumento que vem ocorrendo no turismo na região precisa ser bem orientado para não causar mais danos ao ambiente. Além disso, ocorrem ainda problemas com a mineração, caça ilegal, aumento do lixo urbano e projetos de navegação.

O Pantanal é hoje considerado uma área vulnerável e de prioridade máxima para conservação. A **figura 3.36** mostra um exemplo de interação entre espécies animais que pode vir a sofrer consequências da intervenção humana sobre a região.



Fotografia: Luciano Cardiani



◀ **Figura 3.36.** Pesquisadores observaram que peixes chamados piraputangas (comprimento: 50 cm) concentram-se em regiões de nascente, caracterizadas pela limpidez das águas. Quando macacos-prego (comprimento: 35 a 50 cm) se alimentam dos frutos das árvores ao redor da água, deixam cair frutos, e estes servem de alimento aos peixes. À medida que os macacos se deslocam de árvore em árvore, os cardumes de piraputangas os seguem.

## 3. Ecossistemas aquáticos

O estudo dos ecossistemas aquáticos envolve pesquisas nas áreas de Química, Física, Biologia e Geologia. Para entender esses ambientes, precisamos saber qual é a composição química dos corpos d'água, sejam eles rios, lagos ou oceanos; precisamos conhecer características como temperatura, pressão e turbidez da água; devemos entender a estrutura geológica do local, entre outros aspectos. Todos esses fatores interferem na ocorrência e distribuição dos organismos.

Os ecossistemas aquáticos estão representados pelos oceanos, rios (lóticos) e lagos (lênticos). Neles, os seres vivos são classificados em três grandes categorias:

- **plâncton:** compreende organismos geralmente microscópicos que vivem em suspensão na coluna de

água, sendo passivamente carregados pelas correntezas. No plâncton os organismos clorofilados compõem o **fitoplâncton** (algas) (Fig. 3.37), e os não clorofilados, especialmente protozoários e pequenos animais, constituem o **zooplâncton** (Fig. 3.38);

- **nécton:** compreende os animais nadadores ativos que vivem na coluna de água, como é o caso de muitos peixes;
- **bentos:** compreende organismos que vivem em contato com o substrato do fundo, de forma fixa (sésil), como os corais e as algas, ou de forma vágil, isto é, deslocando-se livremente, como os caranguejos.



Figura 3.37. Fotomicrografia de fitoplâncton marinho. As formas alongadas, como a que aparece no centro, são algas filamentosas multicelulares. As células individualizadas medem entre 10  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$  de comprimento.



Figura 3.38. Fotomicrografia de zooplâncton marinho. Os animais fotografados são pequenos crustáceos copépodes que medem entre 1 mm e 5 mm de comprimento.

### 3.1. Oceanos

A ciência que estuda os oceanos, incluindo seus aspectos físico-químicos, geológicos e biológicos, é a **Oceanografia**.

Os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície da Terra, constituindo o maior ambiente natural do planeta. Sua profundidade média fica em torno de 4 000 m; a máxima é cerca de 11 000 m, nas fossas Marianas, no mar das Filipinas.

Quando comparados ao ambiente terrestre, os oceanos apresentam menor variação dos fatores abióticos, sendo que os mais importantes são: temperatura, salinidade, penetração de luz e disponibilidade de nutrientes minerais, além das correntes e marés.

A **temperatura** superficial da água varia de acordo com as estações do ano e com a latitude. No entanto, essa variação é menor que a observada no ambiente terrestre, pois os oceanos retêm maior quantidade de calor, liberando-o mais lentamente que a terra.

A temperatura da água tende a diminuir com a profundidade, mantendo-se mais constante nas águas profundas, entre 2,5 °C e 4 °C.

A água do mar contém sais dissolvidos em forma de íons. Mais de 75% desses íons correspondem ao  $\text{Cl}^-$  (cloro) e ao  $\text{Na}^+$  (sódio). A **salinidade** da água em mar aberto, medida em função desses íons, é da ordem de 35 partes por mil. Em regiões próximas à costa, a salinidade da água do mar pode ser menor e mais variável do que em regiões de mar aberto, devido à influência dos rios e das chuvas.

As **correntes marinhas** resultam da ação combinada dos ventos, da rotação da Terra e de diferenças de densidade da água em função da temperatura e da salinidade. As águas mais frias e mais salinas são mais densas e tendem a afundar, enquanto as águas mais quentes e com menor salinidade são menos densas e tendem a subir.

As principais correntes oceânicas contribuem para a dispersão dos organismos marinhos e exercem importante papel no clima, como vimos no capítulo anterior.

As **marés** se expressam pelos ciclos diários de variação do nível da água, em uma faixa que vai de poucos decímetros até mais de 10 m. Os ciclos de maré resultam da influência conjunta da atração gravitacional do Sol e da Lua.

Em função da **penetração de luz** nos oceanos, é possível distinguir duas zonas principais:

- **zona fótica:** iluminada e rica em algas, que realizam fotossíntese, e em animais. O limite inferior dessa zona varia em função da turbidez da água. Em regiões de pequena turbidez, como em alto-mar, a zona fótica estende-se até cerca de 200 m de profundidade. À medida que a luz penetra na água, ocorre absorção dos comprimentos de onda longos, como os correspondentes ao vermelho e ao amarelo. Os comprimentos de onda curtos, correspondentes ao verde e ao azul, penetram mais profundamente na água. Por isso o mar profundo nos parece azul. Com a perda gradual desses comprimentos de onda, a escuridão passa a ser total. A fotossíntese ocorre na zona fótica, estando ausente na escuridão total das profundezas oceânicas;
- **zona afótica:** ausência total de luz. É a condição encontrada nas profundezas oceânicas, abaixo da zona fótica.

Os oceanos geralmente apresentam baixa concentração de **nutrientes minerais**, que são fundamentais para o desenvolvimento de vida. Nas regiões próximas à costa, a concentração desses nutrientes é maior, principalmente em virtude do desaguamento de rios, que trazem nutrientes lixiviados da terra.

Em alto-mar, a concentração desses nutrientes é baixa: grande parte deles encontra-se no fundo. Assim, há menor número de organismos em alto-mar do que em regiões próximas à costa. Entretanto, em

certos locais existem correntes, chamadas **correntes de ressurgência**, que trazem para a superfície parte dos nutrientes minerais acumulados no fundo. As águas superficiais ficam, então, enriquecidas, havendo proliferação de algas e de animais. Nesses locais de ressurgência há abundância de peixes, como ocorre na costa do Peru e em menor intensidade no Brasil, na região de Cabo Frio, Rio de Janeiro.

Durante muito tempo pensou-se que nas zonas profundas dos oceanos não houvesse vida. Entretanto, foi possível verificar que nessas regiões há animais que apresentam adaptações à ausência de luz e à escassez de alimento.

Nos oceanos, plantas e animais mortos da zona fótica caem lentamente em direção ao fundo, fenômeno denominado chuva de detritos. Ao longo do trajeto, esse material vai sendo aproveitado por animais das camadas mais inferiores. Além disso, bactérias iniciam a degradação dos organismos mortos. O material que não é aproveitado durante esse trajeto atinge finalmente as regiões profundas, servindo de alimento para os animais que aí vivem — animais saprófagos. Além dos saprófagos, encontram-se também predadores, que se alimentam de outros animais.

Muitos dos peixes das profundezas são pequenos, não atingindo mais que alguns centímetros. Apresentam boca ampla e estômago dilatável, adaptações importantes à escassez de alimento. Apesar de alguns desses animais serem cegos, a maioria apresenta bioluminescência (produção de luz) e olhos bem desenvolvidos e sensíveis à luz. Essas características parecem estar relacionadas com o reconhecimento entre as espécies, com um modo de assustar os inimigos ou com uma maneira de atrair presas (Fig. 3.39).

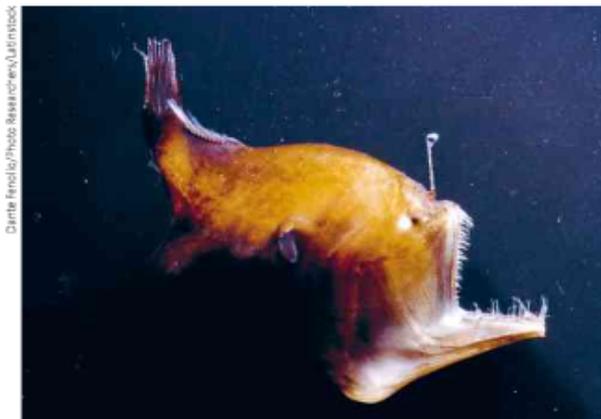


Figura 3.39. Fotografia de peixe abissal do gênero *Melanocetus*, que é bioluminescente. Os machos de *Melanocetus johnsonii* medem cerca de 3 cm, e as fêmeas, em torno de 18 cm. Os dentes permitem segurar presas proporcionalmente enormes, quase do comprimento do predador.

Em 1977 foram descobertas, na região de Galápagos, comunidades abissais diferentes das comunidades até então conhecidas. Elas ocorrem entre 2 000 m e 4 000 m de profundidade dos oceanos, desenvolvendo-se junto às chamadas fontes termais, que podem ser formadas em fendas existentes na crosta terrestre no fundo do mar. Por essas fendas a água do mar penetra e é aquecida pelo calor interno da Terra. A água aquecida sobe e sai por pequenos orifícios do assoalho marinho, formando as fontes termais. Ao subir, além de aquecer toda a região ao seu redor, essa água carrega nutrientes e gases dissolvidos, como o  $H_2S$ , utilizado por bactérias especiais em um processo de síntese de matéria orgânica a partir da inorgânica, na ausência de luz. Esse processo é chamado de quimiossíntese. Ao redor dessas fontes termais submarinas desenvolve-se toda uma comunidade especial, com grande número de indivíduos e com algumas espécies típicas representadas por indivíduos de grande porte, como alguns bivalves (Fig. 3.40) e vermes tubícolas (Fig. 3.41).

Toda essa comunidade é sustentada por organismos produtores não fotossintetizantes — as bactérias quimiossintetizantes — e não depende da matéria orgânica que cai das camadas superiores de água.

Figura 3.40. Fotografia de bivalve típico das comunidades ao redor das fontes termais submarinas. Mede cerca de 35 cm de comprimento.



Figura 3.41. Fotografia de organismos típicos das fontes termais: os animais tubícolas chegam a medir cerca de 1 m de altura. Não têm sistema digestório e dependem da matéria orgânica produzida pelas bactérias quimiossintetizantes que vivem em mutualismo em seus tecidos.



## 3.2. Lagos e rios

Os ecossistemas de água doce são estudados por uma área irmã da oceanografia, a **limnologia** (do grego: *limne* = lago e *logos* = estudo).

Os ecossistemas de água doce podem ser divididos em duas categorias:

- **ecossistemas lênticos:** formados por lagos, lagoas e poças e caracterizados por águas paradas;
- **ecossistemas lóticos:** formados pelos rios, que têm água em movimento.

Os lagos (Fig. 3.42) são considerados locais de águas paradas, pois não apresentam correntezas, como os oceanos e os rios. No entanto, lagos podem apresentar movimentos verticais periódicos em suas massas de água superficiais e profundas. Seu padrão de circulação vertical depende especialmente da temperatura ao longo das estações do ano.

A água, como todos os líquidos, sofre contração com o resfriamento. Entretanto, ela apresenta uma particularidade importante: entre 0 °C e 4 °C, sofre expansão

e diminuição da densidade. Isso faz com que o gelo, sendo menos denso que a água líquida, flutue sobre ela. Explica-se, assim, por que os *icebergs* (blocos de gelo que flutuam nos mares das regiões ártica e antártica) não afundam e por que os lagos das regiões frias ficam cobertos por camadas de gelo no inverno.

Nos ecossistemas lóticos, como os rios (Fig. 3.43), o constante movimento das águas formando correntes determina um ambiente rico, verticalmente mais homogêneo em termos de temperatura, oxigênio e nutrientes minerais.

As características dos organismos dos rios dependem da velocidade das correntes de água. Em águas rápidas praticamente não há plâncton. Nesses locais existem pequenas algas e musgos aderidos à superfície das pedras, além de animais invertebrados com o corpo achatado, uma característica que lhes permite viver sob as pedras. Há ainda animais que nadam livremente e outros com estruturas especiais de fixação às pedras, não sendo arrastados pelas correntes, como as larvas do borrachudo.



Luciano Gandiani

Figura 3.42. Grande proliferação de fitoplâncton em um lago, formando uma densa camada superficial mais turva, na Península de Yucatán (México).



Luciano Gandiani

Figura 3.43. Em rios, a movimentação da água dificulta a proliferação de plâncton, possibilitando a ocorrência de ambientes mais límpidos. Fotografia da nascente do Rio Sucuri, no Mato Grosso do Sul.



### Tema para discussão

#### O fogo: inimigo ou amigo?

Entre os grandes causadores do aumento do efeito estufa estão as queimadas e os incêndios florestais. Além desse aspecto negativo do fogo, há outros relacionados com a destruição da flora, da fauna e dos solos.

Há, no entanto, um ecossistema brasileiro particular que depende do fogo para se manter: o cerrado. [...]

REGISTRE  
NO CADERNO



#### A vida que surge das cinzas

[...]

Espantosa é a rapidez com que novos brotos são emitidos logo após uma queimada. Poucas semanas são necessárias para que o verde volte à tona, deixando de lado o pálido cinza impresso pelo fogo. Muitas espécies, ainda, ressurgem com flores, e o cerrado, quase que milagrosamente, transforma-se em um verdadeiro jardim.



▲ Fotografia de canela-de-ema (*Vellozia squamata*) rebrotando após incêndio no Cerrado. Essa planta chega a medir cerca de 2 m de altura.

### A tortuosidade do fogo

[...]

Adaptadas durante anos com a condição de clima seco e quente da zona de ocorrência do bioma, as espécies típicas do cerrado desenvolveram uma fisionomia peculiar, resultante da constante ação das queimadas. Parece que o fogo impede o crescimento de caules retilíneos (ou monopodiais), à medida que provoca a morte de gemas terminais, que são as estruturas responsáveis pelo crescimento em altura. Com o brotamento das gemas laterais, responsáveis pelo crescimento lateral, o caule acaba tomando essa aparência tortuosa tão característica. A espessura do caule também parece ser uma adaptação ao fogo, já que o súber, constituinte da casca, serve como um isolante térmico, impedindo, assim, a morte de tecidos vivos mais internos ao caule, principalmente no estrato arbustivo e arbóreo.

### Bicho que corre de fogo

Quando se fala em incêndios em áreas de reserva ambiental, não se deve esquecer dos danos à fauna. Instintivamente, os animais sabem se proteger do fogo à sua maneira: fugindo. Antigamente, já ocorriam queimadas em cerrados iniciadas por um raio, por exemplo. O grande problema de hoje em dia, porém, está na limitação à liberdade dos bichos imposta pelo homem. [...] Há fazendas com plantações e cercas de arame farpado que impedem os animais de escaparem do árduo e mortal calor.

Porém, não se deve conferir ao fogo apenas o atributo de devastador quando se fala em fauna. Logo após uma queimada, com o ressurgimento de flores, há imensa disponibilidade de néctar e pólen, um verdadeiro banquete para muitos insetos. [...]

### Conservação pelo fogo

Parece bastante controverso sugerir a preservação do cerrado ateando-se fogo. Mas não. Protegê-lo totalmente do fogo é impossível, visto que as queimadas ocorrem naturalmente por fatores já mencionados anteriormente. Logo, é razoável que se façam queimadas programadas a fim de se evitar incêndios desastrosos e de gravidade bastante ampla. Utilizando-se de queimadas de forma adequada, levando-se em consideração o objetivo do seu uso para o manejo do cerrado, a direção do vento e as condições climáticas da região, pode-se diminuir periodicamente a biomassa seca e evitar possíveis grandes danos de uma queimada não planejada. Dessa forma, atear fogo em áreas limitadas e restritas reduziria os efeitos de incêndios predatórios e descontrolados, podendo ser muito benéfico para o ecossistema.

MARTIN, G. *A fênix do cerrado*. Disponível em: <<http://www2.ibb.unesp.br/departamentos/Educacao/Trabalhos/coisasdecerrado/FOGO/fogodocerrado.htm>>. Acesso em: mar. 2016.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Selecione no texto termos que não conhece e pesquise o significado deles. Depois, elabore um resumo com esses significados. Uma vez concluída essa tarefa, troque com os colegas os resumos e discutam sobre os termos em que houver discordância de interpretação.
2. A cultura de um povo é fundamental para a aceitação de procedimentos pautados na ciência. A informação e a educação são fatores fundamentais nesse processo. Assim, seja um agente na difusão do conhecimento. Junto com os colegas, releiam o texto e, com base nas informações que ele contém e em outras fontes de consulta, elaborem um folheto explicativo sobre a importância do fogo no Cerrado.
3. No parágrafo final do texto, é mencionado um aspecto positivo dos incêndios, naturais ou provocados, no Cerrado. Se você fosse o administrador de um parque na Mata Atlântica, estenderia o que se menciona nesse trecho para o parque? Justifique sua resposta.

Professor(a), com estas questões, pretendemos incentivar o uso de dicionário e estimular a elaboração de texto por parte dos estudantes. Aproveite também para trabalhar noções de cidadania com as questões 2 e 3.



## Retomando

Como você viu, a diversidade de ecossistemas terrestres e aquáticos é muito grande. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e procure reescrevê-las, adicionando o conhecimento que obteve com o estudo deste capítulo. Pense também no que aprendeu no capítulo anterior e amplie sua interpretação: que relações você consegue identificar entre a localização geográfica dos grandes biomas e suas características abióticas? A região onde você mora se insere em qual bioma? Quais características do ambiente lhe permitem afirmar isso?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Construindo um pluviômetro Habilidades do Enem: H2, H6, H7, H8, H17, H20.

Nosso pluviômetro será extremamente simples, mas adequado para medir a pluviosidade ao longo de períodos curtos, desde que instalado de maneira correta. Nesta atividade, você empregará seus conhecimentos matemáticos.

#### Material:

- uma garrafa PET;
- um recipiente graduado que permita medir volumes de líquidos, como uma mamadeira ou um copo de medida;
- régua;
- tesoura.

#### Siga as instruções:

Corte a garrafa PET transversalmente, pouco abaixo da altura em que ela se afunila para formar o gargalo, como no esquema abaixo. Esse será o recipiente coletor de água da chuva.

Com a régua, meça o diâmetro da boca em centímetros, com uma casa decimal de precisão. Calcule, então, a área aproximada da abertura do recipiente em  $\text{cm}^2$ . Para isso, use a fórmula que se segue:

$$\text{Área} = \pi \cdot R^2$$

em que:

$$\pi \approx 3,14$$

R é o raio (metade do diâmetro).

Esse valor será importante para o cálculo da precipitação.

Posicione seu recipiente coletor em um local aberto, de maneira que não vire com o vento ou devido a outro fator qualquer. Depois de uma chuva, meça a quantidade de água contida nele usando o recipiente dosador e anote no caderno a data e o volume de água em mililitros (ou centímetros cúbicos:  $1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$ ).

Resolva, então, os seguintes problemas:

- Quantas vezes a área da abertura de seu pluviômetro (em  $\text{cm}^2$ ) cabe em um metro quadrado (que equivale a  $10000 \text{ cm}^2$ )?
- Considerando a quantidade de água de chuva que você coletou e mediu, qual seria o volume coletado (em litros) se a abertura de seu recipiente fosse de  $1 \text{ m}^2$ ?
- Considerando que cada litro de água que cai em uma área de  $1 \text{ m}^2$  corresponde a  $1 \text{ mm}$  de precipitação, qual é a medida da precipitação durante o período de exposição?
- Analisando de modo crítico o seu artefato, e considerando que ele está aberto e exposto ao ar, qual seria um possível motivo para sua medida ser imprecisa, representando uma pluviosidade menor que a real?

$\pi$  (letra grega Pi) = constante matemática resultante da razão entre a circunferência de qualquer círculo e seu diâmetro; é um número irracional.



Esquema demonstrando como pode ser montado o recipiente para coleta de água da chuva.

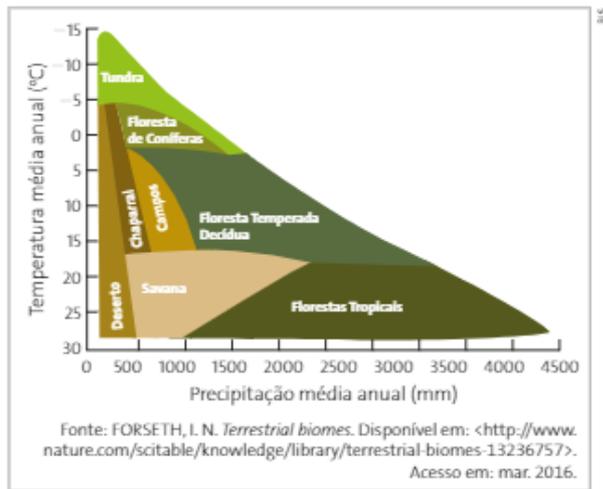
- e) Como você modificaria a construção de seu pluviômetro de modo a evitar essa possível deficiência?
- f) Se em vez de um recipiente dosador você apenas tivesse uma régua, como você faria para medir o volume captado de água? Explique todo o procedimento.

### Atividade 2 Reconhecendo os biomas mundiais por sua temperatura e precipitação

Habilidades do Enem: H9, H17, H19, H28.

No gráfico a seguir, cada área colorida representa um bioma e está delimitada por uma faixa de variação na precipitação anual e por outra, de variação da temperatura.

- a) Analise os dados da tabela a seguir e localize em que parte do gráfico situam-se os diferentes pontos (de A a I), identificando o bioma correspondente a cada um deles.
- b) Para cada um dos biomas que você relacionou no item a, consulte o texto do livro e também outras fontes de informação, para fazer um resumo com as características básicas da vegetação.



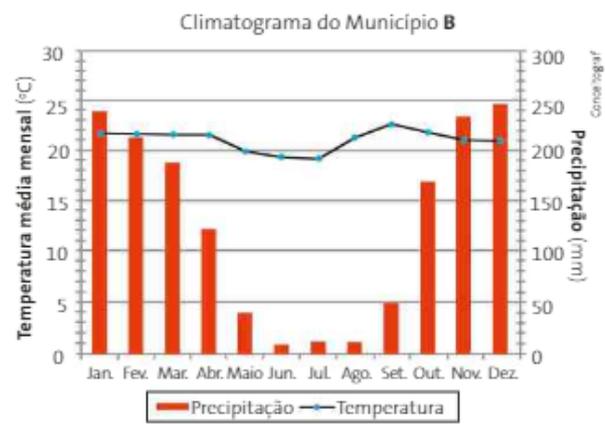
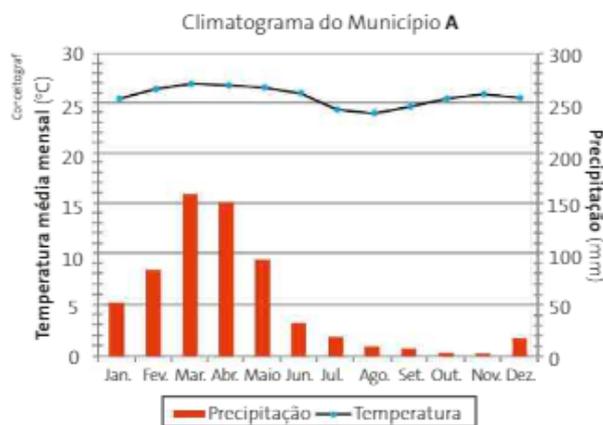
Locais	Temperatura média anual (°C)	Precipitação anual (mm)
A	-8	500
B	-1	890
C	12	1660
D	26	253
E	27	700
F	8	750
G	25	3760
H	27	2240
I	13	505

- ↗ Distribuição dos biomas mundiais em relação à média anual da temperatura e da precipitação. Note que há desertos em regiões frias, em função dos baixos índices pluviométricos.

### Atividade 3 Biomas savânicos brasileiros

Habilidades do Enem: H1, H4, H17, H28.

A seguir são apresentados climatogramas de dois municípios brasileiros, identificados como A e B:



Dados elaborados pelos autores.

- ↗ Climatogramas de dois municípios brasileiros, contendo informações de temperatura e precipitação ao longo do tempo.
- a) Com os dados apresentados nos gráficos, construa no caderno duas tabelas (A e B) com 3 colunas cada uma. Na primeira coluna de cada tabela deverão estar listados os 12 meses do ano; na segunda, os valores aproximados da temperatura média mensal; e na terceira coluna ficarão os valores da precipitação mês a mês, também aproximados.

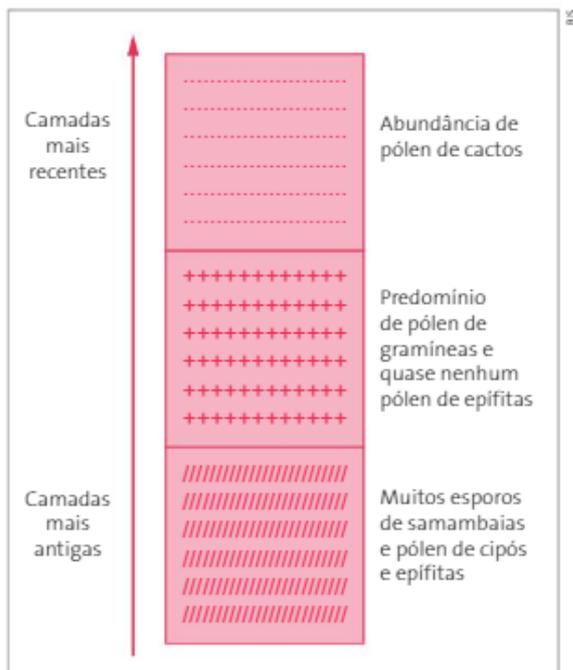
- Faça o cálculo aproximado das temperaturas médias anuais para cada um dos municípios (A e B).
- Qual é o intervalo entre as temperaturas médias mensais mínima e máxima em cada município? Compare esses valores entre A e B. Você acha que essas variações são muito grandes?
- Com os dados organizados nas tabelas, some os valores aproximados de precipitação dos 12 meses para cada município. Qual é a precipitação anual em cada um deles?
- Você percebe sazonalidade no regime de chuvas dos municípios A e B? Justifique.
- Com as informações que você extraiu dos gráficos e com base no texto do livro, identifique em que bioma ou biomas provavelmente se situam os municípios A e B.



## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

- (Enem) A análise de esporos de samambaias e de pólen fossilizados contidos em sedimentos pode fornecer pistas sobre as formações vegetais de outras épocas. No esquema a seguir, que ilustra a análise de uma amostra de camadas contínuas de sedimentos, as camadas mais antigas encontram-se mais distantes da superfície.



Essa análise permite supor-se que o local em que foi colhida a amostra deve ter sido ocupado, sucessivamente, por

- a) floresta úmida, campos cerrados e caatinga.
- b) floresta úmida, floresta temperada e campos cerrados.

- c) campos cerrados, caatinga e floresta úmida.
- d) caatinga, floresta úmida e campos cerrados.
- e) campos cerrados, caatinga e floresta temperada.

- (Enem) Dentre outras características, uma determinada vegetação apresenta folhas durante três a quatro meses ao ano, com limbo reduzido, mecanismo rápido de abertura e fechamento dos estômatos e caule suculento. Essas são algumas características adaptativas das plantas ao bioma onde se encontram. Que fator ambiental é o responsável pela ocorrência dessas características adaptativas?

- a) Escassez de nutrientes no solo.
- b) Estratificação da vegetação.
- c) Elevada insolação.
- d) Baixo pH do solo.
- e) Escassez de água.

- (Enem) Dois pesquisadores percorreram os trajetos marcados no mapa. A tarefa deles foi analisar os ecossistemas e, encontrando problemas, relatar e propor medidas de recuperação.



A seguir, são reproduzidos trechos aleatórios extraídos dos relatórios desses dois pesquisadores. Trechos aleatórios extraídos do relatório do pesquisador P<sub>1</sub>:

- I. "Por causa da diminuição drástica das espécies vegetais deste ecossistema, como os pinheiros, a gralha-azul também está em processo de extinção."
- II. "As árvores de troncos tortuosos e cascas grossas que predominam nesse ecossistema estão sendo utilizadas em carvoarias."

Trechos aleatórios extraídos do relatório do pesquisador P<sub>2</sub>:

- III. "Das palmeiras que predominam nesta região podem ser extraídas substâncias importantes para a economia regional."
- IV. "Apesar da aridez desta região, em que encontramos muitas plantas espinhosas, não se pode desprezar a sua biodiversidade."

(*Ecossistemas brasileiros: mapa da distribuição dos ecossistemas.*  
Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/ciencias/ult1885u52.jhtm>.  
Acesso em: 20 abr. 2010. Adaptado.)

Os trechos I, II, III e IV referem-se, pela ordem, aos seguintes ecossistemas:

- a) Caatinga, Cerrado, Zona dos Cocais e Floresta Amazônica.
- b) Mata de Araucárias, Cerrado, Zona dos Cocais e Caatinga.
- c) Manguezais, Zona dos Cocais, Cerrado e Mata Atlântica.
- d) Floresta Amazônica, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas.
- e) Mata Atlântica, Cerrado, Zona dos Cocais e Pantanal.

4. (UFPI) Considere o texto a seguir:

"São encontrados(as) desde o Amapá até Santa Catarina, nos estuários de vários rios, apresentando solos alagados e instáveis, ricos em matéria orgânica e pouco oxigenados e são áreas de reprodução de diversas espécies marinhas."

O texto refere-se:

- a) às florestas tropicais.
- b) às florestas temperadas.
- c) aos manguezais.
- d) aos cerrados.
- e) às matas de araucária.

5. (Enem)



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/IBGE. Biomas. 2004 (adaptado).

No mapa estão representados os biomas brasileiros que, em função de suas características físicas e do modo de ocupação do território, apresentam problemas ambientais distintos. Nesse sentido, o problema ambiental destacado no mapa indica

- a) desertificação das áreas afetadas.
- b) poluição dos rios temporários.
- c) queimadas dos remanescentes vegetais.
- d) desmatamento das matas ciliares.
- e) contaminação das águas subterrâneas.

6. (Fuvest-SP)

*São Paulo gigante, torrão adorado  
Estou abraçado com meu violão  
Feito de pinheiro da mata selvagem  
Que feita a paisagem lá do meu sertão*

Tonico e Tinoco, *São Paulo Gigante*.

Nos versos da canção dos paulistas Tonico e Tinoco, o termo "sertão" deve ser compreendido como

- a) descritivo da paisagem e da vegetação típicas do sertão existente na região Nordeste do país.
- b) contraposição ao litoral, na concepção dada pelos caiçaras, que identificam o sertão com a presença dos pinheiros.
- c) analogia à paisagem predominante no Centro-Oeste brasileiro, tal como foi encontrada pelos bandeirantes no século XVII.
- d) metáfora da cidade-metrópole, referindo-se à aridez do concreto e das construções.
- e) generalização do ambiente rural, independentemente das características de sua vegetação.

## CAPÍTULO

## 4

# Estrutura dos ecossistemas, fluxo de energia e ciclo da matéria

Biosphoto/Thierry Marifford/Diomedea



**Figura 4.1.** Os beija-flores, exemplificados nessa fotografia pelo beija-flor-tesoura (*Eupetomena macroura*; mede cerca de 20 cm de comprimento), são muito ágeis. Essas aves são capazes de bater as asas dezenas de vezes por segundo e, por isso, conseguem pairar no ar. Os beija-flores têm o metabolismo mais acelerado entre as aves, portanto alimentam-se com mais frequência. O seu principal alimento é o néctar de flores, mas eles também caçam pequenos insetos com grande habilidade em voos curtos. Além disso, têm um papel importante na polinização de muitas plantas. Na época da reprodução, após a cópula, a fêmea constrói o ninho em uma árvore usando musgos, líquens e restos de folhas e de teias de aranha. O macho defende o território enquanto a fêmea incuba os ovos. Os filhotes são alimentados pela fêmea, principalmente com insetos, e deixam o ninho com 14 a 22 dias de vida.



## Pense nisso

- Na legenda da fotografia acima são descritos aspectos da vida de beija-flores. Para construir o ninho, essas aves precisam de alguns elementos. De onde vêm esses elementos?
- O beija-flor depende de outros organismos para viver? Quais?
- Cite alguns animais que você conhece e do que cada um deles se alimenta.
- Como é a nutrição de outros organismos, como plantas, fungos e bactérias? De onde vem o alimento desses organismos? A função do alimento para os seres que citou é a mesma função do alimento que você come?
- O que acontece com o corpo de um organismo quando ele morre?
- Explique a importância da água para a nossa vida e para a dos demais seres vivos.

# 1. Hábitat e nicho ecológico

No capítulo anterior, foram discutidos os biomas terrestres e os ecossistemas aquáticos. Durante o estudo, foram destacados os principais fatores abióticos que atuam sobre as comunidades.

Considerando qualquer um dos ecossistemas mencionados, os organismos neles presentes estão constantemente interagindo entre si e com os fatores abióticos, dando origem a uma complexa rede de relações. Cada organismo tem o seu lugar e a sua função nessa rede de relações.

O lugar onde um organismo vive é o seu **hábitat**, e o modo de vida, ou forma de interagir com os demais

componentes do ecossistema, constitui o seu **nicho ecológico**. Podemos dizer que hábitat refere-se ao ambiente, enquanto nicho diz respeito ao organismo (Fig. 4.2).

Assim, em um ecossistema representado por uma lagoa, o hábitat de uma alga microscópica planctônica é a coluna de água em que há luz para a fotossíntese. Seu nicho ecológico pode ser assim resumido: ela necessita de luz, de nutrientes minerais, de temperatura adequada, realiza fotossíntese, reproduz-se, serve de alimento para determinados animais e afeta a composição química do meio, especialmente quanto aos gases e nutrientes dissolvidos.



Figura 4.2. As fotografias acima exemplificam algumas das interações que uma sucuri (à esquerda) e um muriqui (à direita) estabelecem com o ambiente. A sucuri tem como hábitat rios, lagos e matas próximas a esses locais. Faz parte de seu nicho ser predadora, alimentando-se de diversos animais, caso do peixe piraputanga, na fotografia, que ela capturou dentro de um rio no Pantanal. Já o muriqui tem como hábitat a copa das árvores na região da Mata Atlântica. Faz parte de seu nicho alimentar-se do néctar das flores. A sucuri da fotografia mede cerca de 4 m de comprimento e o muriqui, cerca de 80 cm de comprimento, sem contar a cauda.

## 2. Os componentes estruturais de um ecossistema

Os ecossistemas apresentam dois componentes estruturais básicos e intimamente inter-relacionados:

- componentes **abióticos**: podem ser físicos (como a radiação solar, a temperatura, a luz, a umidade, os ventos), químicos (como os nutrientes presentes nas águas e nos solos) ou geológicos (como o solo);
- componentes **bióticos**: são os seres vivos. Em um ecossistema podem-se reconhecer dois tipos de componentes bióticos:
  - organismos autótrofos (*auto* = próprio; *trofos* = = alimento): sintetizam seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas, como o gás carbônico e a água, e uma fonte de energia, por exemplo, a energia luminosa;
  - organismos heterótrofos (*hetero* = diferente; *trofos* = alimento): não são capazes de sintetizar seu próprio alimento como fazem os autótrofos; os he-

terótrofos dependem direta ou indiretamente da matéria orgânica sintetizada pelos autótrofos para obter a matéria-prima para seu crescimento, reprodução e reparação de perdas, além da energia necessária para a manutenção de seus processos vitais.

Os organismos autótrofos são chamados **produtores**. Entre eles, os mais importantes em termos ecológicos são os que realizam a fotossíntese. Por esse processo, moléculas de gás carbônico e de água participam de reações químicas, que dependem direta ou indiretamente da energia luminosa captada pelo pigmento verde clorofila, dando origem a moléculas orgânicas, como é o caso de açúcares.

Na fotossíntese, portanto, a energia luminosa é transformada em energia química, que fica armazenada nas moléculas orgânicas. Praticamente todo o oxigênio presente na atmosfera ou dissolvido na água provém da fotossíntese.

Os organismos heterótrofos podem ser:

- **consumidores:** alimentam-se de outros organismos ou restos de organismos (detritos). Todos os animais são consumidores. Os animais que se alimentam de produtores são chamados consumidores primários. Os **herbívoros**, animais que se alimentam de plantas, são consumidores primários. Os animais que se alimentam de herbívoros são chamados consumidores secundários. Os animais que se alimentam de consumidores secundários são chamados consumidores terciários, e assim por diante. Com exceção dos consumidores primários, que são herbívoros, os demais consumidores de matéria viva são **carnívoros** (alimentam-se de outros animais) ou **onívoros** (alimentam-se de plantas ou animais). Consumidores de detritos são chamados **detritívoros**. Em um ecossistema, no entanto, nem sempre ocorrem todas essas categorias de consumidores;

- **decompositores:** organismos heterótrofos que degradam a matéria orgânica contida em produtores ou em consumidores mortos. Eles utilizam alguns produtos da decomposição como alimento e liberam para o meio minerais e outras substâncias (processo chamado remineralização) que podem ser novamente utilizadas pelos produtores. Os decompositores estão representados por certas bactérias e fungos.

Os limites de um ecossistema nem sempre são fáceis de se estabelecer. A biosfera toda pode ser considerada um grande ecossistema. Partes da biosfera, tais como oceanos, florestas e lagos, também são ecossistemas. Eles podem ser encontrados até mesmo em espaços muito pequenos, como poças d'água, onde vivem diversas espécies. Independentemente das dimensões, pode-se considerar como um ecossistema qualquer unidade funcional da biosfera em que se verificam **fluxo de energia** e **ciclo de matéria**. Vamos ver o que isso significa.



## Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



### Ciclo de matéria e fluxo de energia em um ecossistema

#### Objetivo

Vamos fazer uma analogia, usando um modelo, para compreender o significado de ciclo de matéria e de fluxo de energia.

#### Procedimento

1. Pegue uma folha de cartolina e recorte um círculo de cerca de 20 cm de diâmetro. Depois, recorte uma série de aletas em volta do círculo e dobre uma das margens de algumas delas, como mostra a **figura 4.3**.
2. Faça um furo no centro e passe uma vareta através dele. Você construiu uma roda d'água.
3. Abra uma torneira e posicione-a de modo que a água caia nas dobras das aletas, como mostra a **figura 4.4**.

Ilustração: Alberto De Saffaro



Figura 4.3. Representação da montagem do círculo de cartolina com aletas.



Figura 4.4. Esquema representando como a cartolina deve ser colocada sob a água da torneira.

#### Questões

1. Qual é a diferença entre fluxo e ciclo?
2. Nessa montagem, o que seria equivalente ao fluxo de energia e ao ciclo da matéria?
3. O que você diria sobre a relação entre fluxo de energia e ciclo da matéria?

### 3. Cadeia e teia alimentar

O alimento produzido pelos autótrofos é utilizado por eles e pelos organismos heterótrofos.

Como já vimos, o processo mais importante de produção de matéria orgânica a partir da inorgânica é a fotossíntese, no qual a energia luminosa captada pelo autótrofo é transformada em energia química, que fica armazenada nas moléculas orgânicas.

O processo mais importante de liberação da energia contida nos alimentos orgânicos é a **respiração aeróbica**. Por meio dela, a molécula orgânica, em presença de oxigênio, é totalmente degradada em gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Um indivíduo autótrofo degrada, por respiração, a matéria orgânica produzida por ele mesmo. Um indivíduo heterótrofo degrada a matéria orgânica produzida direta ou indiretamente por um autótrofo. É direta quando o heterótrofo se alimenta diretamente do autótrofo, como ocorre com os herbívoros, e indireta quando o heterótrofo se alimenta de outro heterótrofo, como ocorre com os carnívoros.

Nos ecossistemas, a energia química contida na matéria orgânica que faz parte do corpo do produtor

pode ser transferida para os demais seres vivos ao longo de uma cadeia, em que um ser vivo serve de alimento para o outro.

Essa sequência de organismos, em que um serve de alimento para o outro, é chamada **cadeia alimentar**. Em todas as cadeias alimentares, a matéria sofre transformações e é reciclada. A quantidade de energia, por sua vez, vai diminuindo à medida que passa dos produtores para os consumidores, e de um consumidor para outro, pois uma parte dela é utilizada para a realização dos processos vitais do organismo e outra é liberada sob a forma de calor, restando apenas uma parcela menor de energia disponível para o nível seguinte. Assim, a transferência de energia é **unidirecional**. A matéria, no entanto, pode ser reciclada, falando-se em **ciclo da matéria**.

As cadeias alimentares podem ser de dois tipos: de pastejo ou de detritos. A cadeia de pastejo inicia-se com um produtor, que pode ser um fotossintetizante, que é o mais comum (Fig. 4.5), ou quimiossintetizante, que ocorre em certas condições especiais, como as fontes termais submarinas.

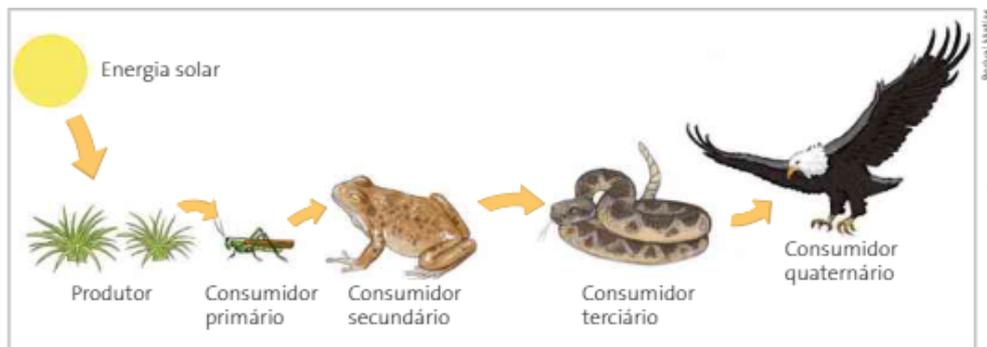


Figura 4.5. Esquema simplificado representando uma cadeia alimentar de pastejo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A cadeia de detritos (Fig. 4.6) inicia-se com a matéria orgânica finamente particulada, que é o detrito resultante da decomposição de organismos mortos. Os equivalentes a consumidores primários em uma cadeia de detritos podem ser bactérias, fungos ou animais.

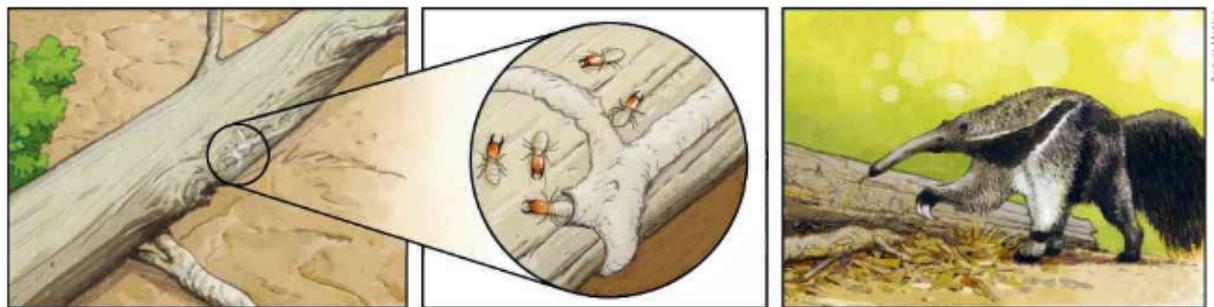
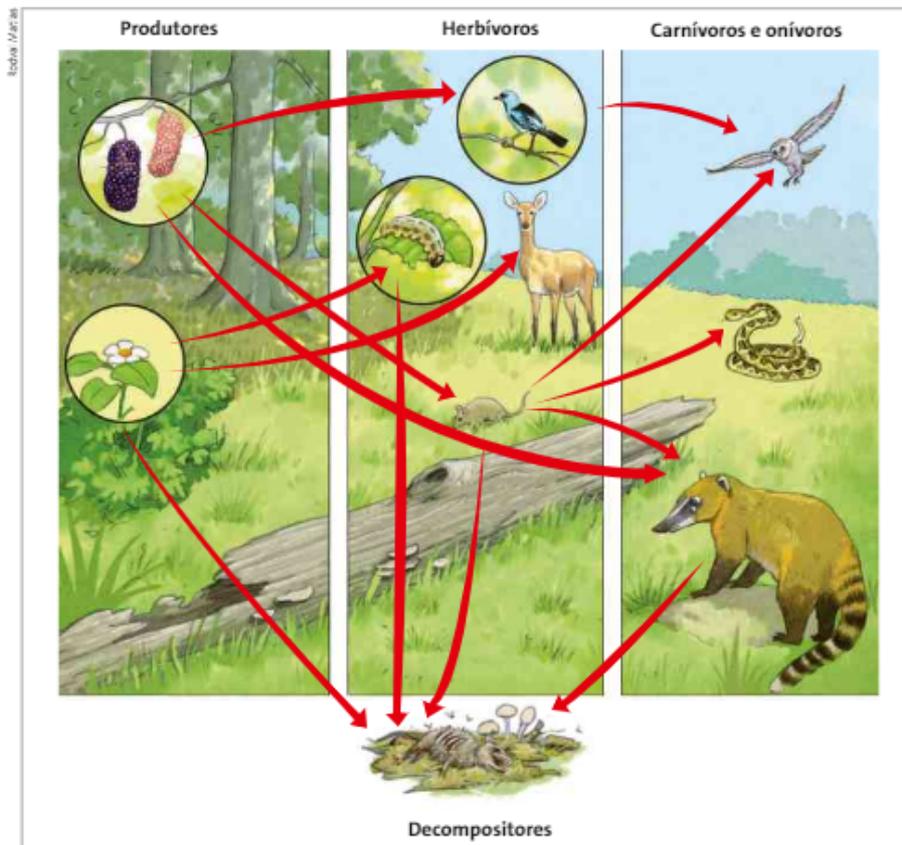


Figura 4.6. Esta cadeia de detritos tem os cupins como consumidores primários e o tamanduá como secundário. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Em um ecossistema, entretanto, as relações alimentares entre os organismos que o compõem não são tão simples. Existem várias cadeias alimentares que se interligam, formando uma complexa rede de transferência de matéria e de energia, que chamamos **teia alimentar** (Fig. 4.7).



◀ **Figura 4.7.** Esquema de teia alimentar. Os organismos, quando morrem, são decompostos. No esquema, algumas setas em direção aos decompositores foram omitidas para facilitar a visualização. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 4. Os níveis tróficos

De maneira geral, em cada ecossistema existem várias espécies de organismos produtores, várias de consumidores e várias de decompositores. O conjunto de todos os organismos de um ecossistema com o mesmo tipo de nutrição constitui um **nível trófico** ou **alimentar**.

Os organismos autótrofos de um ecossistema formam, por definição, o primeiro nível trófico, que é o dos produtores. Os consumidores primários formam o segundo nível trófico; os consumidores secundários formam o terceiro nível trófico; os consumidores terciários formam o quarto nível trófico e assim por diante (Fig. 4.8).

Além dos organismos que fazem parte apenas de um determinado nível trófico, existem outros com hábitos alimentares menos especializados, que podem ocupar mais de um nível trófico. É o caso dos animais **onívoros** (*omnis* = tudo), como o ser humano, por exemplo.

Os decompositores ocupam o último nível de transferência de energia entre organismos de um

ecossistema. Formam um grupo especial, nutrindo-se de elementos mortos provenientes de diferentes níveis tróficos, remineralizando tanto produtores como consumidores.

Níveis tróficos		Posição na cadeia alimentar	
Autótrofos — Produtores		1º	
Heterótrofos	Consumidores	primários	2º
		secundários	3º
		terciários	4º
		quaternários	5º
	Decompositores	*	

\* A ação dos decompositores se dá sobre organismos mortos de todos os níveis tróficos.

▲ **Figura 4.8.** Tabela relacionando os níveis tróficos com a posição na cadeia alimentar.

Nos ecossistemas, o número de níveis tróficos é limitado em função da disponibilidade de energia. Isso porque, ao ocorrer a passagem de um nível trófico para outro, parte da energia de um nível trófico é liberada para o meio sob a forma de calor e não é aproveitada pelo nível trófico seguinte. Dessa maneira, quanto mais distante estiver um nível trófico do nível do produtor, menor será a energia química disponível no conjunto de seus integrantes. Nos ecossistemas mais complexos, o número de níveis tróficos é maior que em ecossistemas mais simples.

Apesar de o número de níveis tróficos variar de ecossistema para ecossistema dependendo de sua complexidade, os níveis tróficos são sempre os mesmos. Assim, ao se comparar dois ecossistemas diferentes, como um campo e os oceanos, verifica-se que, apesar de serem habitados por espécies diferentes, é possível identificar em cada um deles níveis tróficos equivalentes.

Nos dois ecossistemas, os decompositores estão representados por bactérias e fungos, que podem ser de espécies diferentes em cada ambiente (Fig. 4.9).

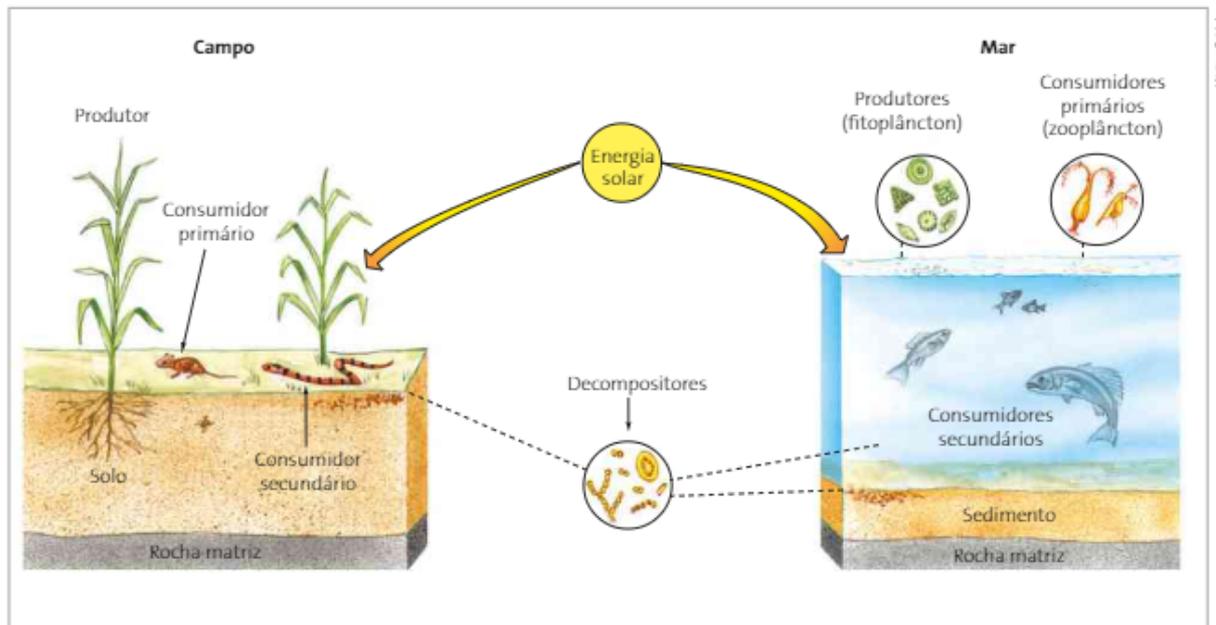


Figura 4.9. Esquema comparativo entre a estrutura geral de um ecossistema terrestre (campo) e de um ecossistema aquático (mar). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 5. Pirâmides ecológicas

As relações entre os diferentes níveis tróficos de cada ecossistema são representadas por gráficos que lembram pirâmides. Essa forma se deve ao fato de haver redução da quantidade de matéria e energia de um nível trófico para o seguinte.

As pirâmides ecológicas podem ser de números, de biomassa ou de energia. Nessas pirâmides, cada nível trófico é representado por um retângulo ou, então, por um paralelepípedo, cuja dimensão horizontal é proporcional ao número de indivíduos na pirâmide de números, à biomassa na pirâmide de biomassa e à produtividade na pirâmide de energia. A dimensão vertical (altura) dessas figuras geométricas é sempre a mesma para os diversos níveis tróficos.

### 5.1. Pirâmide de números

Indica o número de indivíduos em cada nível trófico. Em um campo, por exemplo, há 5 000 plantas das quais dependem 300 gafanhotos, que garantem a alimentação de apenas uma ave.

Dependendo do ecossistema, a pirâmide de números pode ter o ápice para cima (pirâmide direta) ou para baixo (pirâmide invertida). No exemplo dado, a pirâmide tem o ápice para cima: é necessário grande número de produtores para alimentar uns poucos herbívoros, que, por sua vez, servirão de alimento para um número menor ainda de carnívoros.

A pirâmide de números pode ser totalmente invertida quando são consideradas certas redes alimentares, como as que envolvem parasitas, pois um único hospedeiro pode abrigar muitos deles.

Em outros casos, a figura formada não se parece perfeitamente com uma pirâmide, como no seguinte exemplo: em uma floresta, uma única árvore pode sustentar um grande número de herbívoros, que servem de alimento para um pequeno número de carnívoros. Compare, na [figura 4.10](#), esse caso com a pirâmide direta.

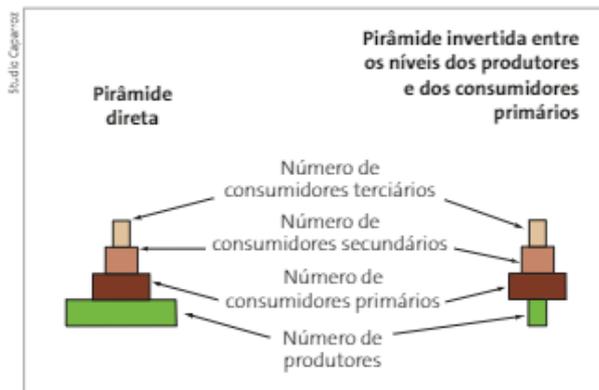


Figura 4.10. Pirâmides de número direta e invertida.

A pirâmide de números não é muito utilizada por ecologistas, pois não representa adequadamente a quantidade de matéria orgânica existente nos diversos níveis tróficos. Ela considera o número de indivíduos, ignorando o seu tamanho.

As pirâmides mais utilizadas são as de biomassa e de energia.

## 5.2. Pirâmide de biomassa

A biomassa (ou massa orgânica) representa a quantidade de matéria orgânica, por área ou por volume, em unidades ecológicas, como os ecossistemas, níveis tróficos, populações ou mesmo indivíduos.

A quantidade de matéria orgânica pode ser estimada de diferentes formas, mas vamos considerar como exemplo **massa seca** (material colocado em estufa a cerca de 100 °C para perder água).

Supondo um campo rico em gramíneas, pode-se determinar a biomassa desses produtores do seguinte modo: delimita-se uma área, colhe-se toda a vegetação contida nela e coloca-se o material em estufa para determinação da massa seca. Essa massa, dividida pela área da amostra (por exemplo, em m<sup>2</sup>), resulta em uma estimativa da quantidade de matéria orgânica seca por unidade de área (gramas/m<sup>2</sup> ou kg/m<sup>2</sup>). Se for conhecida a área total do campo, pode-se estimar sua biomassa total.

A forma da pirâmide de biomassa também pode variar, dependendo do ecossistema. De modo geral, a biomassa dos produtores é maior que a dos herbívoros, que é maior que a dos carnívoros ([Fig. 4.11](#)). Nesses casos, a pirâmide apresenta o ápice voltado para cima. Isso ocorre nos ecossistemas terrestres, onde, em geral, os produtores têm grande porte e ciclos de vida longos.

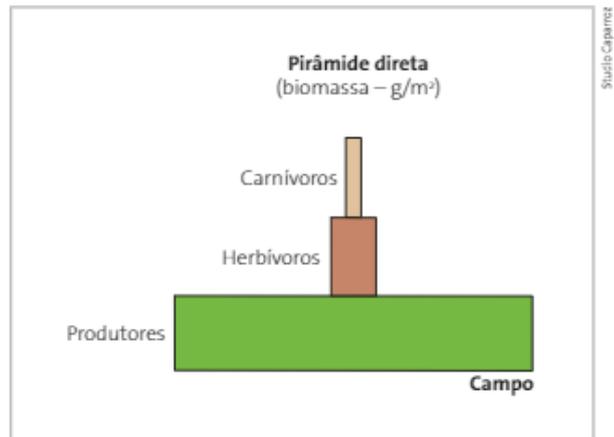


Figura 4.11. Pirâmide de biomassa.

A pirâmide de biomassa pode apresentar-se invertida, como ocorre eventualmente nos oceanos e nos lagos ([Fig. 4.12](#)). Nesses casos, os produtores são representados por algas microscópicas com ciclo de vida curto e de aproveitamento rápido pelo zooplâncton. A pirâmide é, então, invertida entre esses níveis tróficos. Uma pirâmide com essa forma pode dar a falsa impressão de que uma biomassa pequena suporta uma biomassa grande de consumidores primários. Deve-se lembrar, entretanto, que a medida de biomassa é feita para um determinado instante e que em razão da alta taxa de reprodução do fitoplâncton em relação à do zooplâncton, e devido ao rápido aproveitamento do fitoplâncton pelo zooplâncton, obtém-se uma biomassa de produtores menor que a de consumidores de primeira ordem. [Professor\(a\), veja mais informações sobre este item nas Orientações didáticas.](#)

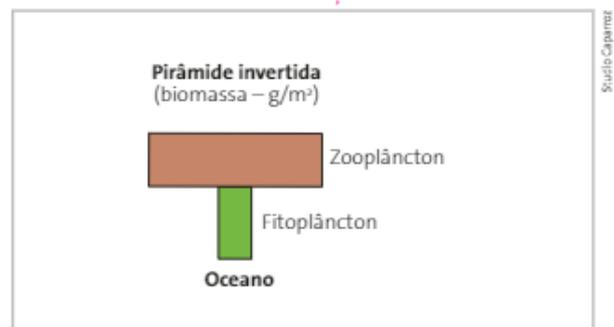


Figura 4.12. Pirâmide invertida de biomassa.

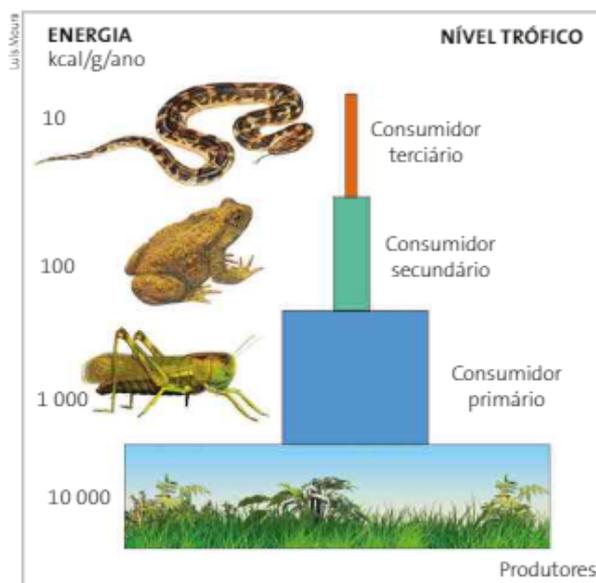
Apesar de a pirâmide de biomassa expressar melhor a distribuição de matéria em um ecossistema que a pirâmide de números, ela apresenta dois inconvenientes básicos:

- atribui a mesma importância a diferentes tipos de tecidos dos vegetais e dos animais. Como há tecidos com composição química diferente, cada um deles tem diferentes valores energéticos. Por exemplo: tecidos ricos em carboidratos têm maior conteúdo energético que tecidos ricos em proteínas;
- não leva em consideração o fator tempo. A biomassa é uma medida obtida para um dado instante, não levando em consideração o tempo que um organismo leva para acumular aquela matéria orgânica. O fitoplâncton, por exemplo, acumula em alguns dias e uma árvore demora vários anos.

Assim, se as pirâmides de biomassa invertidas fossem construídas levando-se em consideração esses fatores, elas apresentariam o ápice voltado para cima. Por isso, uma das melhores maneiras de expressar graficamente a transferência de matéria e de energia é a pirâmide de energia.

### 5.3. Pirâmide de energia

Essa pirâmide é construída levando-se em consideração a biomassa acumulada por unidade de área ou volume, por unidade de tempo, em cada nível trófico (Fig. 4.13).



^ **Figura 4.13.** Exemplo de pirâmide de energia. Esse tipo de pirâmide nunca é invertido, qualquer que seja o ecossistema analisado. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Podemos afirmar que essa pirâmide representa o fluxo de energia, ou seja, a quantidade de energia que passa ao longo dos níveis tróficos. Essa energia pode entrar no primeiro nível trófico na forma de luz (no caso dos produtores fotossintetizantes) e nos demais na forma de energia química presente nos alimentos. Ao longo dos níveis tróficos, parte da energia é dissipada para o meio abiótico na forma de calor.

A pirâmide de energia nunca é invertida, pois mostra uma consequência natural das leis da termodinâmica, que são universais. A primeira lei afirma que a energia pode ser transformada (energia luminosa em energia química, por exemplo), porém jamais é criada ou destruída. A segunda lei afirma que em todo processo de transformação de energia há sempre liberação de energia calorífica, não aproveitável. Assim, o fluxo unidirecional de energia é um fenômeno universal.

No caso dos ecossistemas, há sempre perda de energia calorífica ao se passar de um nível trófico para outro. Por isso, as pirâmides de energia nunca são invertidas.

O primeiro nível da pirâmide de energia corresponde à quantidade de matéria orgânica produzida pelos autótrofos de um ecossistema em determinado tempo. Isso é o que se chama de **produtividade primária bruta (PPB)**. Parte da PPB é usada na respiração e, portanto, gasta pelo próprio autótrofo na sua manutenção. A matéria orgânica não utilizada na respiração é incorporada aos tecidos dos autótrofos, estando disponível para os níveis tróficos seguintes. Essa matéria orgânica acumulada em corpos vegetais em um período de tempo corresponde à **produtividade primária líquida (PPL = PPB – Respiração)**.

A produtividade primária bruta ou a líquida podem ser expressas em gramas/m<sup>2</sup>/ano, em kg/m<sup>2</sup>/ano, em kcal/m<sup>2</sup>/ano ou ainda em J/m<sup>2</sup>/ano. O joule (J) é uma medida de energia. Essa última é a unidade mais utilizada por ecologistas.

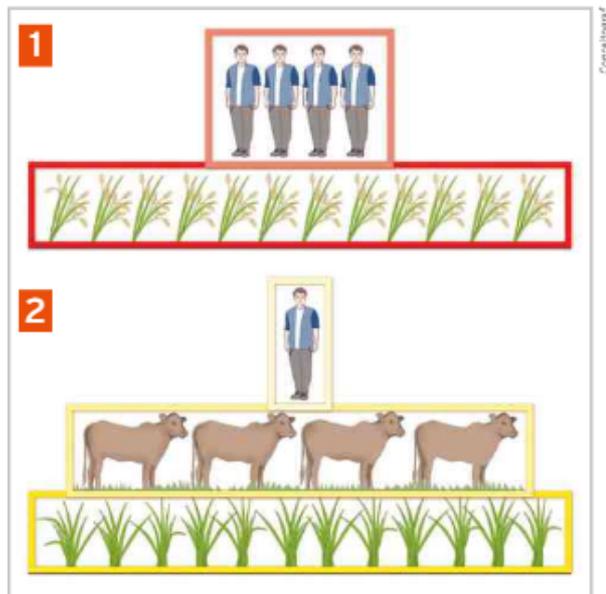
A PPL representa, portanto, a energia disponível para o segundo nível trófico (herbívoros) na forma de matéria orgânica por unidade de tempo.

Os herbívoros não consomem toda a biomassa de produtores. Além disso, parte do que eles ingerem não é aproveitada, pois é eliminada sob a forma de fezes. Do alimento digerido e assimilado, parte é excretada através da urina, parte é utilizada na respiração e parte é incorporada aos tecidos do organismo. A matéria incorporada é a que está disponível para o nível trófico seguinte: o dos consumidores secundários. Nesse nível trófico, ocorre processo semelhante ao que foi descrito para os consumidores primários.

A quantidade de matéria orgânica acumulada pelos heterótrofos de um ecossistema em uma determinada área, em um determinado intervalo de tempo, é denominada **produtividade secundária líquida (PSL)**.

Por causa dessa redução da energia disponível em cada nível trófico, quanto mais curta for a cadeia, maior será a quantidade de energia disponível para os níveis tróficos mais elevados (Fig. 4.14). Por exemplo: uma plantação de arroz que cobre uma área de 40 km<sup>2</sup> é suficiente para alimentar 24 pessoas durante um ano. Se essa mesma área fosse usada para a criação de gado, a carne produzida seria suficiente para alimentar apenas uma pessoa durante um ano.

**Figura 4.14.** Esquema ilustrativo de duas pirâmides (1 e 2) de energia. Devido à redução de energia ao longo dos níveis tróficos, quanto mais curta for a cadeia, mais energia estará disponível para os níveis mais elevados. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



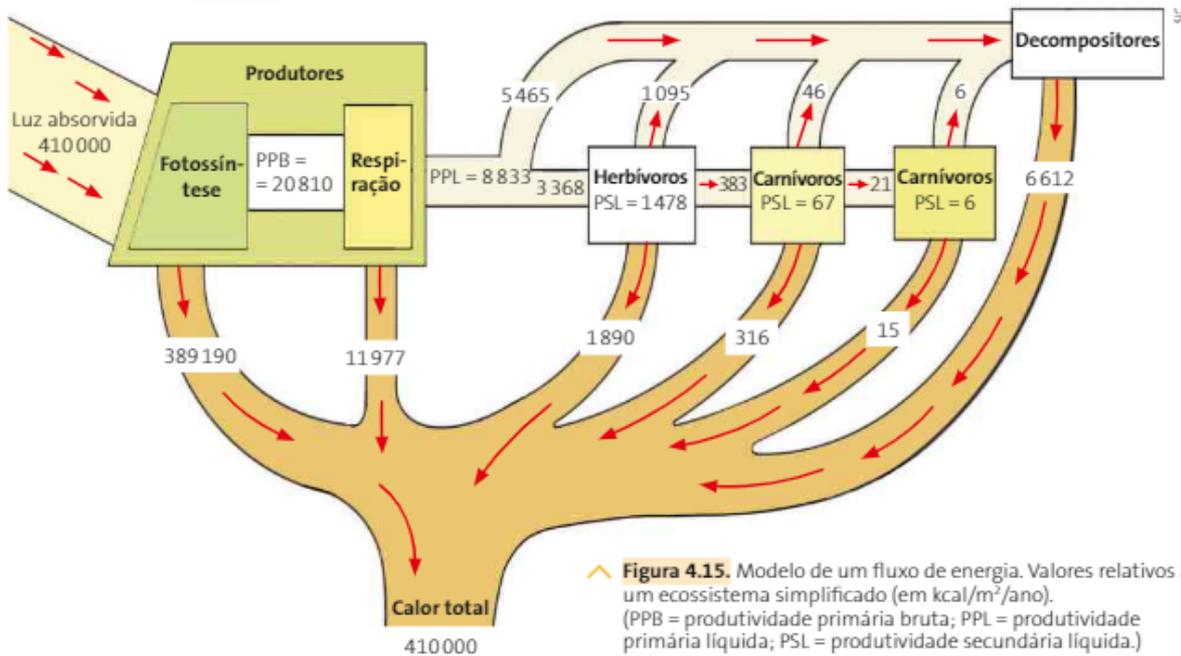
Professor(a), se possível, desenvolva com os estudantes a sugestão de atividade extra descrita nas Orientações didáticas. Com ela será possível estabelecer uma analogia ao modo como se dá o fluxo energético ao longo dos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar.

## 6. Modelo do fluxo energético

Apesar de as pirâmides de energia representarem de modo satisfatório o fluxo de energia nos ecossistemas, elas têm três inconvenientes básicos, que também são comuns às outras pirâmides ecológicas. Elas não representam:

- os decompositores, que são uma parcela importante dos ecossistemas;
- a matéria orgânica armazenada, que é a matéria não utilizada e não decomposta;
- a importação de matéria orgânica de outros ecossistemas e sua exportação para eles, uma vez que os ecossistemas são sistemas abertos, realizando intercâmbio com outros ecossistemas.

Uma alternativa em que é possível representar tanto a produção de um ecossistema como a importância dos decompositores da matéria orgânica armazenada e da matéria orgânica importada ou exportada é o **modelo do fluxo energético** (Fig. 4.15).



**Figura 4.15.** Modelo de um fluxo de energia. Valores relativos a um ecossistema simplificado (em kcal/m<sup>2</sup>/ano). (PPB = produtividade primária bruta; PPL = produtividade primária líquida; PSL = produtividade secundária líquida.)

## 7. Os ciclos biogeoquímicos

Ao contrário da energia, que flui unidirecionalmente, a matéria é reciclada dentro ou entre ecossistemas, por ciclos chamados biogeoquímicos. Como o próprio termo especifica, os ciclos da matéria envolvem processos biológicos, geológicos e químicos.

Os processos biológicos são os que se referem a toda e qualquer atividade realizada por um ser vivo, como nutrição, trocas gasosas, digestão do alimento e eliminação de resíduos no meio.

Os processos geológicos são os que promovem modificações da crosta terrestre, seja em sua forma, estrutura ou composição. É o caso do intemperismo, processo de desagregação e modificação de rochas por ação das águas superficiais e subterrâneas, do vento, da chuva, do gelo e dos organismos.

Os processos químicos são os que promovem a alteração na composição da matéria, como a queima de um tronco de árvore, a transformação de suco de uva em vinho e do leite em iogurte.

Além desses, também participam do ciclo da matéria os processos físicos, que são os que modificam a matéria sem alterar sua composição química. São exemplos de processos físicos a passagem do gelo para água líquida, ou desta para vapor.

À medida que a matéria se move no ciclo, ela é transformada. Nos próximos capítulos, veremos que as atividades humanas podem interferir nos ciclos biogeoquímicos.

Vamos analisar aqui os ciclos dos principais elementos químicos que entram na composição da ma-

téria orgânica: carbono, hidrogênio, oxigênio, fósforo e nitrogênio. As trocas de hidrogênio entre seres vivos e ambiente serão estudadas no ciclo da água.

### 7.1. Ciclo da água

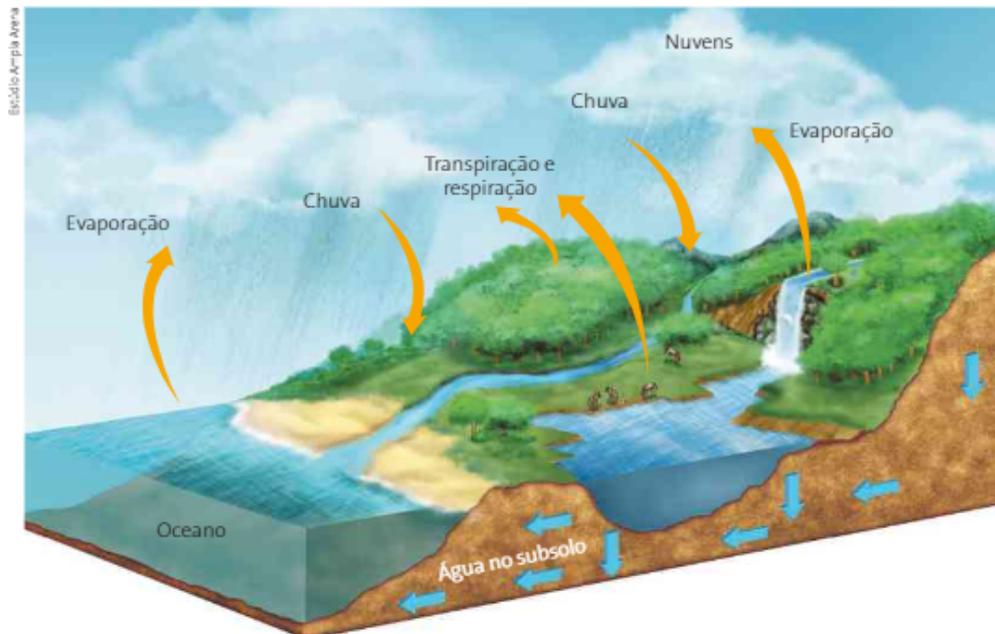
O ciclo da água na natureza está representado de modo simplificado na **figura 4.16**.

A água está em constante mudança de estado físico e há permanente troca dessa substância entre rios, lagos, mares, solos, atmosfera e seres vivos.

A água presente sob a forma líquida na superfície da Terra sofre **evaporação** e passa para a atmosfera. Com o resfriamento nas camadas mais altas da atmosfera, os vapores de água condensam-se, formam nuvens e depois voltam aos continentes e mares sob a forma de chuva, neve ou granizo. Nos continentes, parte dessa água vai para rios e lagos ou penetra pelas camadas permeáveis do solo e se acumula em reservatórios subterrâneos.

Os seres vivos absorvem ou ingerem água, pois ela é fundamental para a sobrevivência deles. Parte da água presente no corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela respiração, pela excreção e principalmente pela **transpiração**.

A água participa de vários processos dentro do corpo dos seres vivos. Participa, por exemplo, da fotossíntese, e os átomos de hidrogênio são incorporados à matéria orgânica, que fica disponível para os produtores e, por meio da cadeia alimentar, para os consumidores e decompositores.



**Figura 4.16.** Esquema simplificado do ciclo da água. Assim como a evaporação ocorre tanto no mar como em terra e na água doce, a chuva também ocorre em todos esses ambientes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).

## 7.2. Ciclo do carbono

O ciclo do carbono inicia-se com a fixação desse elemento pelos seres autótrofos, principalmente por meio da fotossíntese. Nesse processo, o carbono das moléculas de  $\text{CO}_2$  do meio é usado para a síntese de moléculas orgânicas que ficam disponíveis para os produtores

e, ao longo da cadeia alimentar, para os consumidores e decompositores. O  $\text{CO}_2$  retorna para o ambiente pela respiração celular e pelos diferentes processos de degradação da matéria orgânica. Além disso, retorna também pela queima de combustíveis fósseis e pelas queimadas das plantas. O ciclo do carbono está representado de forma reduzida na figura 4.17.

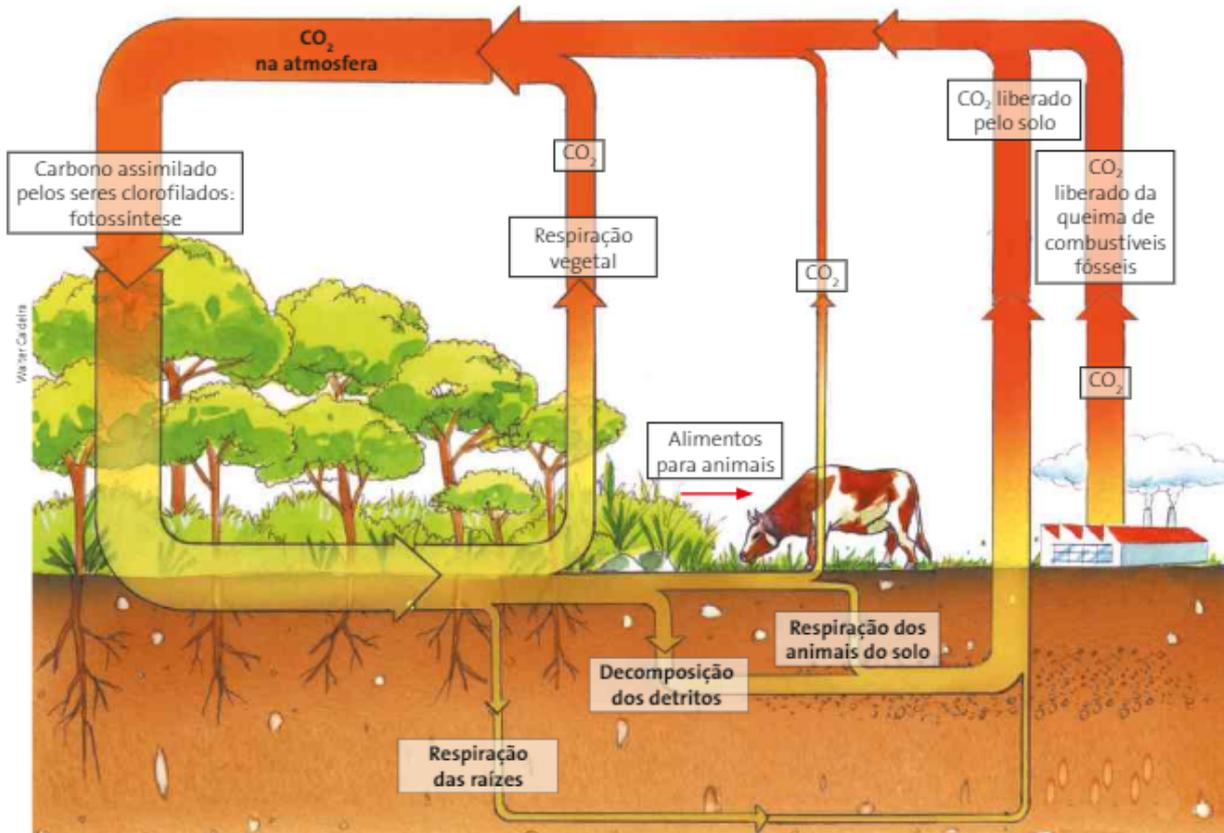


Figura 4.17. Esquema simplificado do ciclo do carbono. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



### Colocando em foco

#### O CICLO DO CARBONO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Quando falamos em ciclo do carbono, devemos entender que há o ciclo recente, em que o carbono é fixado por fotossíntese e liberado pela respiração dos seres atuais, e há o ciclo mais longo, que envolve o uso de reservas de carbono de períodos geológicos passados, armazenado nos combustíveis fósseis. Com a queima desses combustíveis, vem sendo introduzida na atmosfera quantidade maior de carbono, que não faz parte naturalmente do ciclo recente.

O aumento do teor de  $\text{CO}_2$  na atmosfera atual relaciona-se não apenas com a queima de combustíveis fósseis, mas também com o desmatamento, com as queimadas e com a poluição das águas. Quando árvores são derrubadas, a fixação do  $\text{CO}_2$  pela fotossíntese dessas plantas deixa de ocorrer. A poluição das águas pode reduzir ou eliminar populações de seres fotossintetizantes, o que também reduz a absorção de  $\text{CO}_2$  do ambiente. O fogo das queimadas (Fig. 4.18) libera o carbono da matéria orgânica muito mais rapidamente do que nos processos biológicos e em uma quantidade maior do

que é possível ser aproveitado pela fotossíntese das plantas remanescentes em curto prazo.

Em função desses fatores principais, está havendo elevação do teor de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, favorecendo o aumento de temperatura ambiente por efeito estufa, que vem preocupando em função das alterações ambientais que já estão ocorrendo. Assim, entender os processos dinâmicos dos ecossistemas é fundamental nas medidas de controle visando à preservação da vida.

**Figura 4.18.** Fotografia em vista aérea de queimada na Chapada Diamantina, em Lençóis (BA), ocorrida em novembro de 2015. >



### 7.3. Ciclo do oxigênio

O átomo do elemento químico oxigênio não participa apenas da composição da água e do gás carbônico, mas também de numerosos compostos orgânicos e inorgânicos. Na atmosfera e na hidrosfera ele é encontrado também sob a forma de substância pura simples, chamada gás oxigênio, de fórmula  $\text{O}_2$ . Esse gás é liberado pelos organismos fotossintetizantes e participa da respiração de plantas, animais e outros organismos aeróbios. Desse processo resulta a produção de gás carbônico.

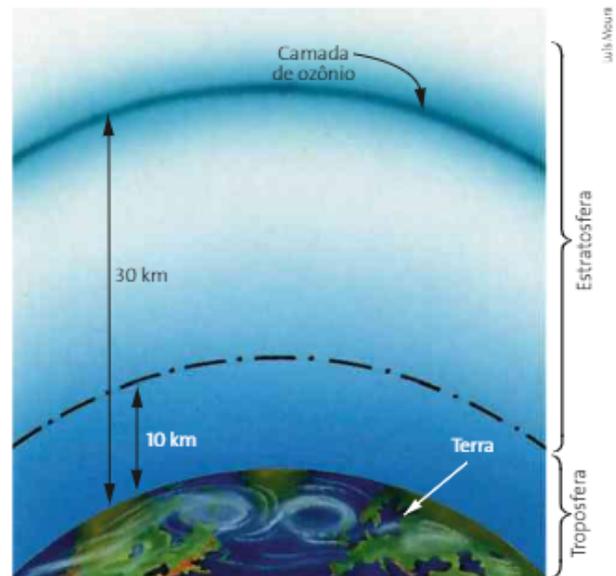
A manutenção das taxas de gás oxigênio e de gás carbônico no ambiente depende desses dois processos: fotossíntese e respiração. A fotossíntese é realizada pelos seres clorofilados na dependência da luz; a respiração é um processo realizado continuamente pelos seres aeróbios.

É interessante notar que o gás oxigênio é uma substância que não somente garante a vida na Terra como a conhecemos, mas também se origina da atividade de seres vivos. Praticamente todo o gás oxigênio livre da atmosfera (cerca de 21% da composição de gases da atmosfera corresponde ao  $\text{O}_2$ ) e da hidrosfera tem origem biológica, no processo de fotossíntese. Por esse processo a água é decomposta, sendo o oxigênio liberado e o hidrogênio utilizado na síntese de matéria orgânica.

O  $\text{O}_2$  produzido pode participar também da formação da camada de ozônio ( $\text{O}_3$ ) da atmosfera, que se encontra cerca de 30 km de altitude acima do nível do mar (Fig. 4.19). Nessa altitude, uma das formas de radiação emitida pelo Sol, a ultravioleta curta, provoca a quebra da molécula de  $\text{O}_2$ . Cada átomo liberado pode reagir com outra molécula íntegra de  $\text{O}_2$  em presença de um agente catalisador, formando  $\text{O}_3$ .

A presença de ozônio na alta atmosfera é extremamente importante para a vida, pois exerce papel de filtro de outro tipo de radiação emitida pelo Sol: a ultravioleta longa, capaz de aumentar a taxa de mutação dos genes e uma das principais responsáveis pelo câncer de pele.

Apesar de importante em altitudes elevadas da atmosfera, em baixas altitudes o ozônio é considerado um poluente do ar, sendo uma das causas de problemas respiratórios e irritação nos olhos. Nesses casos, a formação de ozônio é potencializada principalmente pela liberação de gases como óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos pelos escapamentos dos veículos automotores.



**Figura 4.19.** Esquema das camadas da atmosfera até cerca de 30 km de altura da superfície da Terra. (Cores fantasia.)



## Colocando em foco

### PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

A camada de ozônio ( $O_3$ ) funciona como uma proteção natural contra a radiação dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol. Sem esse filtro formado ao longo de milhares de anos, teria sido impossível o desenvolvimento das incontáveis e variadas formas de vida encontradas no planeta.

Apesar da sua relevância, a camada de ozônio começou a sofrer os efeitos da poluição crescente com a industrialização mundial. Durante a década de 1990, cientistas verificaram que ela estava sendo destruída pela ação de substâncias destruidoras de ozônio (SDOs), principalmente gases conhecidos como clorofluorcarbono (CFC). Esses gases foram largamente usados até o fim da década de 1980 e meados dos anos 1990, na composição de espuma plástica, aerossóis e na indústria de eletrônicos. Alterações nessa camada são mais evidentes em certas regiões do que em outras. Na Antártida a camada de ozônio é bem fina (Fig. 4.20).

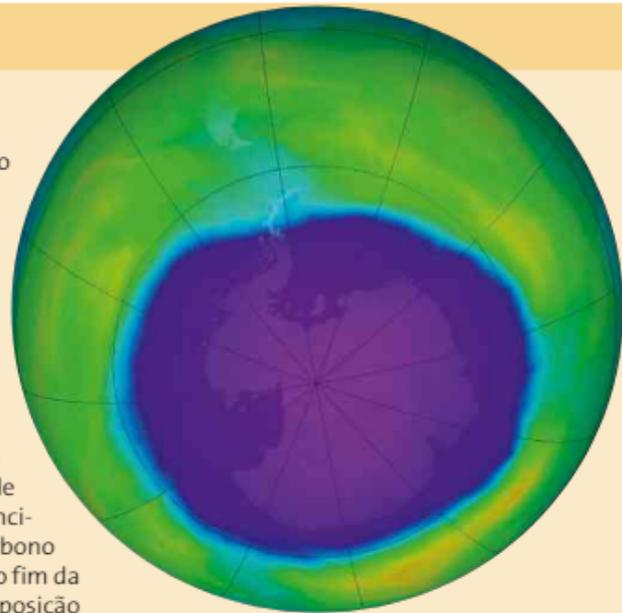
As reduções no uso de CFCs começaram a partir de 1987 com a assinatura do Protocolo de Montreal, um acordo ambiental em que 197 países se comprometeram a assumir metas para a proteção da camada de ozônio.

No ano de 1989, o Brasil aderiu ao Protocolo de Montreal e, a partir de então, passou a tomar diversas medidas para reduzir o uso e a produção de CFC. Veja algumas das ações adotadas:

- **Componentes eletrônicos**  
A limpeza de componentes eletrônicos deixou de ser feita com produtos à base de SDOs.
- **Plantas ornamentais**  
As plantas passaram a ser cultivadas sem a SDO brometo de metila, reduzindo os riscos às pessoas e ao meio ambiente.
- **Medicamentos**  
Produtos que utilizavam CFC como propelentes deixaram de ser produzidos.
- **Ar-condicionados**  
Os fluidos frigoríficos utilizados atualmente possuem menor potencial de destruição do ozônio.
- **Estofados**  
As espumas com SDOs vêm sendo substituídas por outras que não agredem a camada de ozônio.
- **Geladeiras**  
A adoção de novas tecnologias tem proporcionado a eliminação das SDOs do circuito de refrigeração e da espuma de isolante térmico.
- **Aerossóis**  
O CFC deixou de ser utilizado como agente propelente em aerossóis.

O resultado de todas essas mudanças foi que em 2010 o Brasil eliminou totalmente a sua produção e consumo de CFC, ganhando posição de destaque entre os países do Protocolo de Montreal. Desde 2011, o país esforça-se para reduzir também a produção e o consumo de hidroclorofluorcarboneto (HCFC), outra SDO. A meta é que até 2040 não se produza nem se consuma o HCFC no país.

Fonte das informações: Ministério do Meio Ambiente. *Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio*. Brasília: MMA, 2014. Disponível em: <[http://protocolodemontreal.org.br/revistas/Acoes\\_Brasileiras\\_para\\_Protecao\\_da\\_Camada\\_de\\_Ozonio\\_-\\_Alta.pdf](http://protocolodemontreal.org.br/revistas/Acoes_Brasileiras_para_Protecao_da_Camada_de_Ozonio_-_Alta.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.



NASA/Goddard Space Flight Center

▲ **Figura 4.20.** Imagem de satélite colorida artificialmente que representa a espessura da camada de ozônio no hemisfério Sul da Terra, em setembro e outubro de 2015. As linhas são meridianos convergindo no polo Sul. As menores espessuras da camada de ozônio estão representadas em roxo e correspondem a cerca de 40% da espessura normal. O termo “buraco na camada de ozônio” refere-se a essa parte mais delgada. Esse buraco se forma em função do comportamento das massas de ar na atmosfera, que concentram as SDOs em certas regiões, sendo que a maior delas fica sobre a Antártida, e se acentua nos meses correspondentes à primavera no hemisfério Sul.

## 7.4. Ciclo do nitrogênio

O gás nitrogênio ( $N_2$ ) está presente na atmosfera na proporção aproximada de 79%. Apesar disso, não é utilizado de forma direta pela maior parte dos seres vivos.

O aproveitamento do nitrogênio pela generalidade dos seres vivos depende de sua fixação, que pode ser feita por **radiação** (por exemplo, radiação cósmica e raios, que fornecem energia para que ocorra reação entre o nitrogênio, o oxigênio e o hidrogênio da atmosfera) ou por **biofixação**, sendo esse último processo o mais importante. Por isso, será nele que deteremos nossa atenção (Fig. 4.21).

A biofixação é realizada principalmente por bactérias associadas a raízes de plantas, formando as **bacteriorrizas**, e algumas bactérias e cianobactérias, que podem viver livres no solo. Esses organismos convertem o  $N_2$  atmosférico em íons amônio ( $NH_4^+$ ). Quando produzidos pelos biofixadores associados às raízes, são transferidos diretamente para a planta, que os utiliza na síntese dos aminoácidos, unidades que formam as proteínas, e dos nucleotídeos, que formam os ácidos nucleicos (DNA e RNA).

Íons amônio produzidos pelos biofixadores de vida livre são transformados em íons nitrito ( $NO_2^-$ ) e depois em íons nitrato ( $NO_3^-$ ) pela ação das bactérias **nitrificantes** (ou **nitrobactérias**) dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Essas bactérias são autotróficas, mas não realizam fotossíntese. Elas executam outro processo autotrófico, chamado quimiossíntese. Nesse processo, a substância orgânica é formada a partir de água e de gás carbônico, devido à energia liberada na reação entre íons amônio ou íons nitrito e o oxigênio.

Tanto os íons amônio quanto os íons nitrato podem ser absorvidos diretamente pelas plantas, e o nitrogênio neles contido é utilizado na síntese de aminoácidos e nucleotídeos.

Os animais obtêm o nitrogênio de que necessitam por meio da alimentação.

O nitrogênio do corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela excreção e pelo processo de decomposição. Esse nitrogênio entra no ciclo como íons amônio. A produção de  $N_2$  atmosférico é feita pelas **bactérias desnitrificantes** a partir do nitrato ( $NO_3^-$ ).

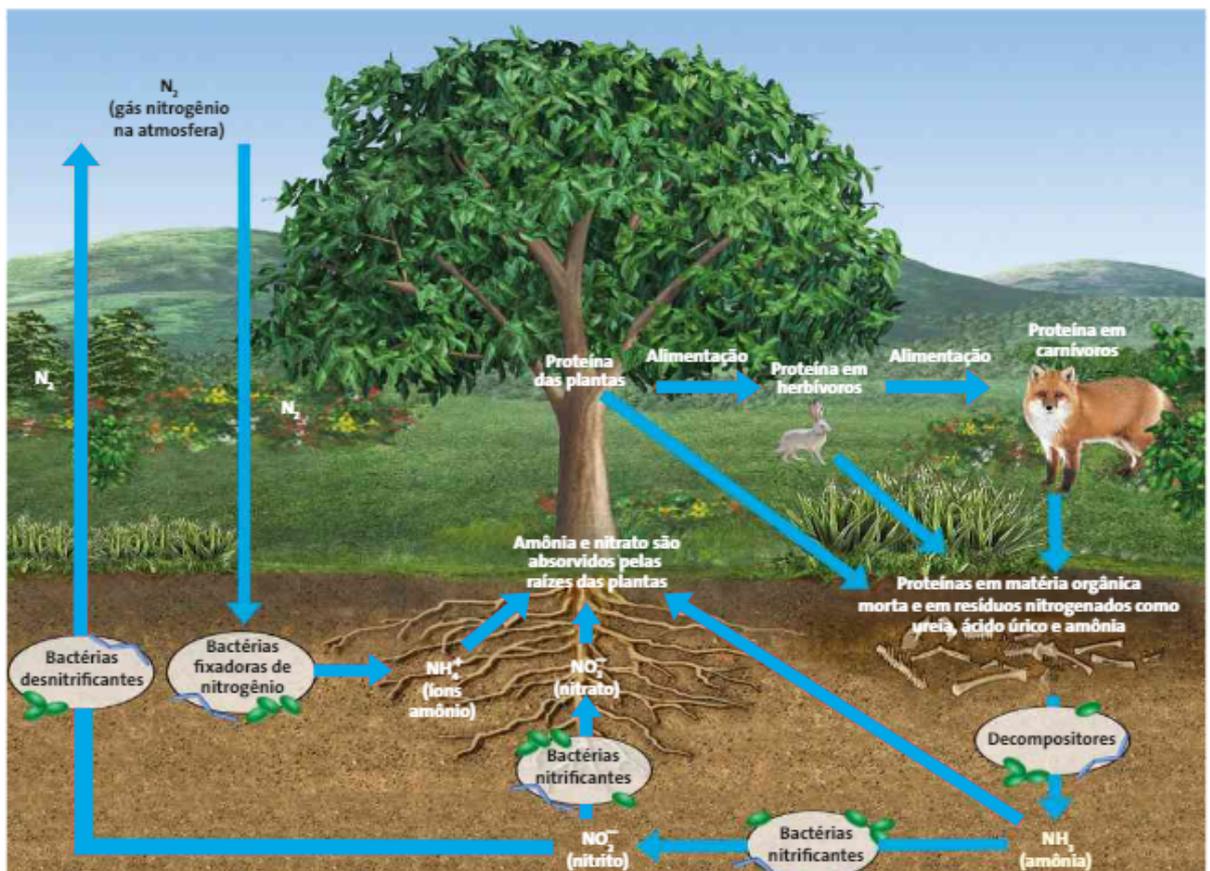


Figura 4.21. Esquema simplificado do processo de biofixação, o qual tem grande importância no ciclo do nitrogênio. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## Adubação verde e adubação química

Visando melhorar a produção de suas lavouras, agricultores têm utilizado duas formas básicas de adubação para aumentar no solo a taxa de nitrogênio assimilável pelas plantas: a adubação verde e a química.

Na adubação verde, plantam-se leguminosas, pois elas têm em suas raízes as bactérias fixadoras de nitrogênio. Isso aumenta o teor de nitrogênio no solo, constituindo uma forma natural de adubação. O plantio de leguminosas para esse fim pode ser feito basicamente de duas maneiras:

- em períodos alternados com outras culturas de plantas não leguminosas, como o milho, o que é chamado **rotação de culturas**;
- concomitantemente, realizando plantação de leguminosas juntamente com plantas não leguminosas, o que recebe o nome de **plantação consorciada**.

Na adubação química, adicionam-se ao solo adubos sintéticos que contêm nitrogênio fixado por meios industriais e transformado em nitrato. Nos adubos químicos, além de nitratos, geralmente estão presentes outros produtos, como o fósforo.

Com a adubação verde e especialmente a química, o ser humano está interferindo de modo significativo no ciclo do nitrogênio, aumentando a taxa de aproveitamento desse elemento pelos seres vivos.

Entretanto, o uso de fertilizantes químicos ricos em nitrato precisa ser feito com critério, pois, se aplicados em excesso, esses fertilizantes são transportados pelas chuvas, atingindo rios, mares e o lençol subterrâneo, que alimenta muitos poços construídos para abastecimento de água. Alguns tipos de verdura, quando cultivados em solos com excesso de nitrato, absorvem e concentram essa substância.

A ingestão de água ou de verduras com excesso de nitrato pode causar uma doença chamada **meta-hemoglobinemia**, uma forma grave de anemia, decorrente da união do nitrogênio com a hemoglobina.



## Colocando em foco

### AS CONTRIBUIÇÕES DE JOHANNA DÖBEREINER

Johanna Döbereiner (1924-2000), uma pesquisadora naturalizada brasileira, revolucionou os estudos sobre bactérias fixadoras de nitrogênio e a produção de soja no país (Fig. 4.22). Isso porque um dos resultados que obteve com seu trabalho foi a viabilidade dessas bactérias como substitutas dos fertilizantes minerais. Leia mais sobre essa pesquisadora no texto a seguir

Johanna Döbereiner foi uma das maiores cientistas brasileiras. Seu ramo era a microbiologia do solo e, principalmente, o papel das bactérias fixadoras de nitrogênio nas plantas. De origem tcheca, formou-se em engenharia agrônoma pela Universidade de Munique, vindo para o Brasil após a 2ª Grande Guerra e sendo contratada em 1951 pelo Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas, hoje transformado no Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia da Embrapa. Johanna foi a cientista brasileira com o maior número de citações em publicações indexadas internacionais.

Seus estudos sobre as bactérias foram fundamentais para que a agricultura brasileira diminuísse o uso de fertilizantes. O impacto imediato de suas pesquisas foi a economia brutal que pôde ser feita na cultura da soja, colocando o Brasil como um dos maiores exportadores mundiais dessa leguminosa. Outro impacto imediato foi a diminuição drástica da poluição das águas por fertilizantes agrícolas. O sucesso dessa estratégia tornou o Brasil o segundo maior produtor mundial, economizando mais de US\$ 1 bilhão por ano em fertilizantes e tornando o produto nacional competitivo nos mercados internacionais. A crise do petróleo dos anos 1970, o aumento da poluição causada pela maciça adubação, principal-



Alexandre Campos / Sciencypress

**Figura 4.22.** A pesquisadora Johanna Döbereiner em seu laboratório na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em fotografia de 1995. >

mente nos EUA, e o uso da técnica de redução do acetileno, que serve para se detectar a atividade das bactérias fixadoras, acabaram por atrair a atenção do mundo inteiro para o trabalho da dra. Döbereiner. O mundo científico começou a tentar entender os conhecimentos adquiridos e as experiências desenvolvidas pela dra. Johanna e sua equipe, especialmente no campo da pesquisa sobre a associação entre bactérias diazotróficas (fixadoras de nitrogênio) e cereais, gramíneas e tuberosas.

[...]

*Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*. v. 39, n. 3. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpm/v39n3/16992.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

## BIOTECNOLOGIA E A FIXAÇÃO DO NITROGÊNIO DO AR

Cientistas da Universidade de Nottingham, no Reino Unido, divulgaram em 2013 o desenvolvimento de uma tecnologia que permite que plantas não leguminosas consigam fixar nitrogênio direto do ar. As bactérias fixadoras são implantadas na semente, sem uso de modificação genética. Com essa técnica, as células da semente passam a ter associadas a elas bactérias fixadoras de nitrogênio. Desse modo, todas as células da planta adulta serão capazes de fixar nitrogênio, dispensando o uso dos adubos nitrogenados.

O uso de adubos nitrogenados na agricultura é muitas vezes fundamental para o desenvolvimento das plantas, entretanto, esses adubos encarecem a produção e seu uso inadequado causa poluição do solo e da água.

## 7.5. Ciclo do fósforo

O fósforo é um elemento químico (P) fundamental para os seres vivos, pois faz parte das moléculas de ácidos nucleicos (DNA e RNA), de moléculas que atuam nas células como armazenadoras da energia (ATP) e da composição de estruturas como membranas celulares, ossos e dentes. Ele é muito reativo e só é encontrado associado a outros elementos. Para os seres vivos, a forma mais importante é a de íon fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

O principal reservatório de íons fosfato na natureza são rochas. Ao serem erodidas, liberam gradualmente esse íon, que é muito solúvel em água, sendo carregado pelas chuvas para rios, lagos e mares. Grande parte do fosfato fica retida nos sedimentos profundos dos oceanos e dificilmente volta a participar de seu ciclo. Outra parte é absorvida por fotossintetizantes, como as plantas, e empregada na síntese de moléculas que passam a fazer parte do corpo desses organismos. O fosfato passa, assim, de sua forma inorgânica para a orgânica. Uma vez incorporado ao corpo desses produtores primários, é transferido aos consumidores pela cadeia alimentar. Esses íons retornam ao ambiente pelo processo de decomposição da matéria orgânica presente nos organismos mortos ou pela eliminação de excrementos, caso do guano das aves. O ciclo está representado de maneira simplificada na figura 4.23.

Os adubos usados na agricultura são ricos em fosfato, considerando que os solos nem sempre dispõem de quantidades adequadas para a nutrição e o crescimento das plantas.



**Figura 4.23.** Esquema simplificado do ciclo do fósforo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.) >



## Tema para discussão

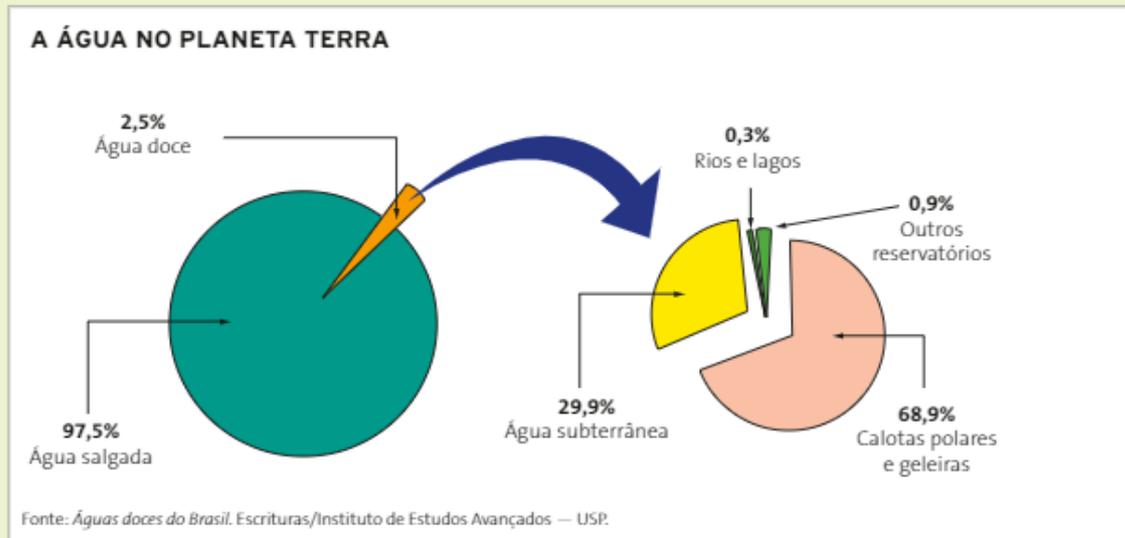
REGISTRE  
NO CADERNO



### Pegada de água ou pegada hídrica

A Terra é poeticamente chamada de “Planeta Água”, o que se justifica pelo fato de a água cobrir cerca de 70% de sua superfície. A água disponível para consumo humano, que é a doce e líquida, corresponde a menos de 1% do total

existente no planeta. Mesmo que pareça uma porcentagem muito pequena, estamos falando de mais de 8 475 200 km<sup>3</sup> de água nos rios, lagos e reservatórios subterrâneos (com 1 km<sup>3</sup> de água, daria para encher 1 milhão de piscinas semiolímpicas).



↗ Distribuição de água no planeta Terra e principais locais de armazenamento de água doce.

Os valores anteriormente descritos podem ser considerados constantes ao longo do tempo, pois existe o ciclo da água. A água é usada, então, como se fosse um recurso natural renovável, que não vai se esgotar, ao contrário do petróleo, que é um recurso natural não renovável. No entanto, a quantidade de água disponível para consumo humano é limitada e tem se tornado insuficiente para sustentar a crescente população mundial. Os riscos de uma futura falta de água em nível planetário são elevados e acredita-se que a crise da água será uma das grandes questões do século XXI. A ONU prevê situação crítica para 2025, quando estima que 2/3 da população mundial viverão em condições de escassez de água.

Um conceito que tem sido muito considerado nos estudos recentes sobre o uso da água é o da pegada de água (traduzido do inglês *water footprint*) ou pegada hídrica. Segundo esse conceito, deve-se considerar no cálculo do consumo de água não apenas a água que usamos diretamente para beber, cozinhar e lavar, mas também a água empregada de forma indireta: na produção de

alimentos, papel, roupas, eletrônicos etc. A pegada de água de uma pessoa, comunidade ou empresa é, portanto, definida como o volume total de água doce utilizado para produzir todos os bens e serviços consumidos por elas.

Essa forma de calcular o consumo de água foi elaborada pelo pesquisador holandês Arjen Hoekstra e procura mostrar que a chamada água virtual – aquela que não vemos e está embutida na produção de alimentos e de bens de consumo – é fundamental nas análises sobre estratégias de uso consciente da água.

Veja na figura a seguir alguns exemplos da quantidade de água empregada na produção de alguns itens do cotidiano e uma tabela sobre o uso da água em situações do dia a dia.



◀ Símbolo da pegada de água.



Quantidade, em litros, de água necessária para produzir alguns itens usados na alimentação humana.

Uso	Água consumida em uma casa (em litros)	Água consumida em um apartamento (em litros)
Escovar os dentes (5 minutos)	12	80
Lavar pratos (15 minutos)	117	243
Chuveiro elétrico (banho de 15 minutos)	45	243
Descarga no vaso sanitário com caixa acoplada (uma utilização)	10	10

Fonte: Dados da Sabesp, que gerencia o tratamento e fornecimento de água na cidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: jan. 2016.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

- De toda a água doce disponível no mundo, 14% encontra-se em território brasileiro. A abundância de recursos hídricos, no entanto, não justifica o uso sem responsabilidade da água. Segundo dados da ONU, o uso diário de água por pessoa deve ficar em torno de 80 litros e um uso de mais de 120 litros por dia é considerado desperdício. Com base nos dados da tabela, faça uma estimativa do seu consumo diário de água e compare-o com o de seus colegas. Caso os valores ultrapassem as recomendações da ONU, discutam algumas medidas necessárias para evitar o desperdício no uso doméstico da água.



## Retomando

Como você pôde notar, matéria e energia percorrem caminhos interconectados nos ecossistemas. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e procure reescrevê-las com base no que você aprendeu neste capítulo. A água é um recurso renovável? Pense nos alimentos que você ingere. Você diria que eles são um recurso renovável? Justifique sua resposta.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Ampliando e integrando conhecimentos

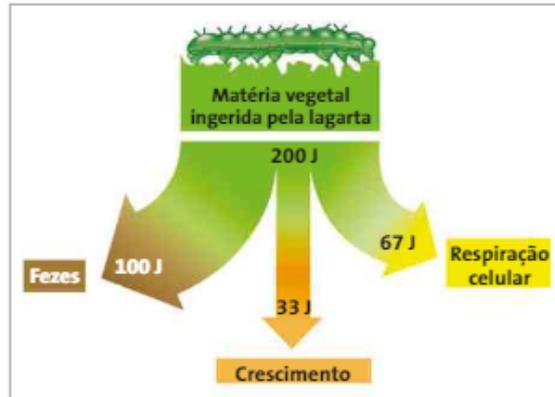
REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Fluxo energético Habilidades do Enem: H8, H9, H17, H21.

Inicialmente, vamos visualizar a essência de um fluxo energético analisando a figura a seguir. Nela está representada uma lagarta, animal que se alimenta de folhas. Nesse esquema, a largura de cada seta é uma medida da quantidade de material transferido, em joules (unidade de energia) por unidade de tempo, que neste exemplo consideramos ser um dia.

Com base na figura ao lado, responda:

- Qual é a quantidade de energia incorporada pela lagarta na forma de alimento por dia?
- A lagarta consegue usar todo o material que comeu para manter-se viva ou para crescer? Justifique.
- Qual é a proporção que corresponde ao material efetivamente utilizado pela lagarta em relação ao que ela comeu?
- Considerando todo o trabalho necessário para ingerir, digerir e absorver material, você diria que a lagarta é muito eficiente no aproveitamento do alimento?
- Qual é a proporção de energia efetivamente aproveitada como combustível para a lagarta manter-se viva, realizando todas as suas atividades? Qual é a proporção destinada para a construção do corpo e, portanto, para o crescimento?
- Se você pudesse escolher entre comer essa lagarta ou comer exatamente a quantidade de folhas que ela ingeriu para crescer, o que você escolheria? Para responder, pense **somente em termos energéticos**.



Esquema de fluxo energético.

### Atividade 2 Pirâmides ecológicas de números e biomassa Habilidades do Enem: H8, H9

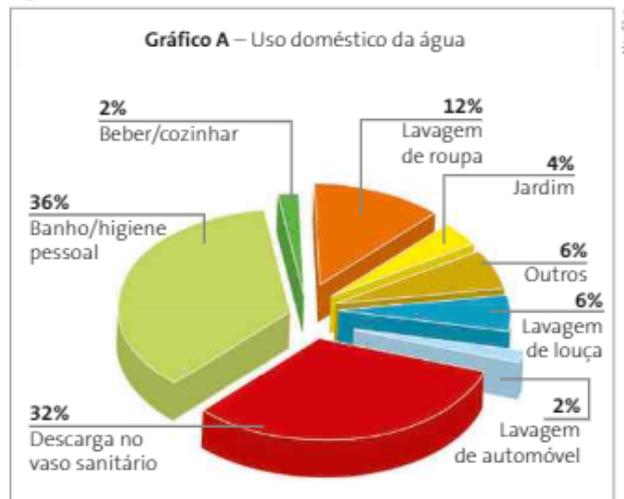
Vamos considerar uma área onde há uma comunidade hipotética estável, cujas espécies e seus respectivos números de indivíduos e peso seco médio por indivíduo estão registrados na tabela a seguir. Na comunidade estável, para cada indivíduo eliminado, outro da mesma espécie o substitui.

Espécie	Nº total de indivíduos	Peso seco médio por indivíduo (g)
Goiabeira	1	20 000
Gafanhoto	130	6
Morcego frugívoro	8	38
Pássaro insetívoro	9	130
Gavião predador de animais grandes	1	580
Lagartas de uma espécie de borboleta	230	10
Capim	83	173
Pássaro frugívoro	3	45
Morcego insetívoro	12	163

- Liste em seu caderno as espécies que integram os níveis tróficos dos produtores e consumidores primários, secundários e terciários.
- A partir da tabela, construa as pirâmides de números e de biomassa.
- Observe sua pirâmide de números. Ela é típica? Justifique sua resposta.
- Agora, observe a pirâmide de biomassa. Ela é típica? Considerando a dieta dos herbívoros, você acha que toda a biomassa de produtores está disponível para eles? Justifique.

### Atividade 3 Consumo de água Habilidades do Enem: H3, H4, H8, H17.

Observe os gráficos a seguir, que trazem informações a respeito do consumo de água por setor e nas atividades domésticas em uma capital brasileira.



Fonte dos dados: Atlas Ambiental de Porto Alegre. Rualdo Menegat (Coord.). Porto Alegre: Ed. Universidade/UFGRS, 1998. p. 180.

Gráficos de consumo de água em uma capital brasileira. O gráfico **A** mostra a proporção do consumo total que cabe a cada setor e destinação no ambiente doméstico, respectivamente. O gráfico **B** apresenta o volume médio de água consumido em cada atividade doméstica específica.

Analise os dados e responda:

- O gráfico **A** mostra que lavar carros não é uma atividade que consome muita água, proporcionalmente. Mas no gráfico **B** essa atividade aparece em primeiro lugar como maior consumo. Como você explica essa aparente incoerência?
- Considerando o uso doméstico da água, quais são as duas atividades que respondem pelo maior consumo ao longo do tempo? Seu total corresponde a que porcentagem de todo o consumo doméstico?
- Suponha que você execute diariamente todas as atividades descritas no gráfico **B**. Se você quiser economizar água, o que você mudaria nos seus hábitos?

## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

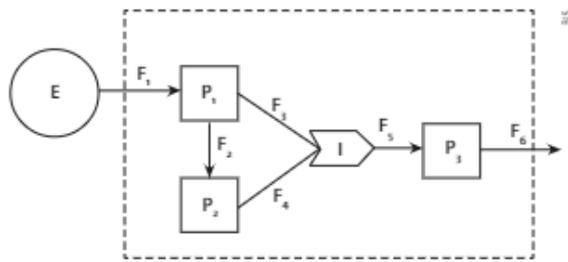
1. (Enem) O cultivo de camarões de água salgada vem se desenvolvendo muito nos últimos anos na região Nordeste do Brasil e, em algumas localidades, passou a ser a principal atividade econômica. Uma das grandes preocupações dos impactos negativos dessa atividade está relacionada à descarga, sem nenhum tipo de tratamento, dos efluentes dos viveiros diretamente no ambiente marinho, em estuários ou em manguezais. Esses efluentes possuem matéria orgânica particulada e dissolvida, amônia, nitrito, nitrato, fosfatos, partículas de sólidos em suspensão e outras substâncias que podem ser consideradas contaminantes potenciais.

CASTRO, C. B.; ARAGÃO, J. S.; COSTA-LOTUFO, L. V. *Monitoramento da toxicidade de efluentes de uma fazenda de cultivo de camarão marinho*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 2006 (adaptado).

Suponha que tenha sido construída uma fazenda de carcinicultura próximo a um manguezal. Entre as perturbações ambientais causadas pela fazenda, espera-se que:

- a) a atividade microbiana se torne responsável pela reciclagem do fósforo orgânico excedente no ambiente marinho.
  - b) a relativa instabilidade das condições marinhas torne as alterações de fatores físico-químicos pouco críticas à vida no mar.
  - c) a amônia excedente seja convertida em nitrito, por meio do processo de nitrificação, e em nitrato, formado como produto intermediário desse processo.
  - d) os efluentes promovam o crescimento excessivo de plantas aquáticas devido à alta diversidade de espécies vegetais permanentes no manguezal.
  - e) o impedimento da penetração da luz pelas partículas em suspensão venha a comprometer a produtividade primária do ambiente marinho, que resulta da atividade metabólica do fitoplâncton.
2. (Enem) Na natureza a matéria é constantemente transformada por meio dos ciclos biogeoquímicos. Além do ciclo da água, existem os ciclos do carbono, do enxofre, do fósforo, do nitrogênio e do oxigênio. O elemento que está presente em todos os ciclos nomeados é o
- a) fósforo.
  - b) enxofre.
  - c) carbono.
  - d) oxigênio.
  - e) nitrogênio.

3. (Enem) A figura representa um dos modelos de um sistema de interações entre seres vivos. Ela apresenta duas propriedades,  $P_1$  e  $P_2$ , que interagem em I, para afetar uma terceira propriedade,  $P_3$ , quando o sistema é alimentado por uma fonte de energia, E. Essa figura pode simular um sistema de campo em que  $P_1$  representa as plantas verdes;  $P_2$  um animal herbívoro e  $P_3$  um animal onívoro.



E: função motriz. P: propriedades. F: fluxos. I: interações.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

A função interativa I representa a proporção de:

- a) herbivoria entre  $P_1$  e  $P_2$ .
  - b) polinização entre  $P_1$  e  $P_2$ .
  - c)  $P_3$  utilizada na alimentação de  $P_1$  e  $P_2$ .
  - d)  $P_1$  ou  $P_2$  utilizada na alimentação de  $P_3$ .
  - e) energia de  $P_1$  e de  $P_2$  que saem do sistema.
4. (Enem) O menor tamanduá do mundo é solitário e tem hábitos noturnos, passa o dia repousando, geralmente em um emaranhado de cipós, com o corpo curvado de tal maneira que forma uma bola. Quando em atividade, se locomove vagarosamente e emite som semelhante a um assobio. A cada gestação, gera um único filhote. A cria é deixada em uma árvore à noite e é amamentada pela mãe até que tenha idade para procurar alimento. As fêmeas adultas têm territórios grandes e o território de um macho inclui o de várias fêmeas, o que significa que ele tem sempre diversas pretendentes à disposição para namorar! Essa descrição sobre o tamanduá diz respeito ao seu:
- a) habitat.
  - b) biótopo.
  - c) nível trófico.
  - d) nicho ecológico.
  - e) potencial biótico.

5. (Enem) O nitrogênio é essencial para a vida e o maior reservatório global desse elemento, na forma de  $N_2$ , é a atmosfera. Os principais responsáveis por sua incorporação na matéria orgânica são microrganismos fixadores de  $N_2$ , que ocorrem de forma livre ou simbiotes com plantas.

ADUAN, R. E. et al. *Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta*. Planaltina: Embrapa, 2004 (adaptado).

Animais garantem suas necessidades metabólicas desse elemento pela

- a) absorção do gás nitrogênio pela respiração.
  - b) ingestão de moléculas de carboidratos vegetais.
  - c) incorporação de nitritos dissolvidos na água consumida.
  - d) transferência da matéria orgânica pelas cadeias tróficas.
  - e) protocooperação com microrganismos fixadores de nitrogênio.
6. (Enem) Os personagens da figura estão representando uma situação hipotética de cadeia alimentar.



(Fonte em: <http://www.cienciasgaspar.blogspot.com>)

Suponha que, em cena anterior à apresentada, o homem tenha se alimentado de frutas e grãos que conseguiu coletar. Na hipótese de, nas próximas cenas, o tigre ser bem-sucedido e, posteriormente, servir de alimento aos abutres, tigre e abutres ocuparão, respectivamente, os níveis tróficos de

- a) produtor e consumidor primário.
- b) consumidor primário e consumidor secundário.
- c) consumidor secundário e consumidor terciário.
- d) consumidor terciário e produtor.
- e) consumidor secundário e consumidor primário.

7. (Ufes - Adaptada) .

**O autor da natureza**

“ [...]”

Admiro demais o beija-flor  
Que com medo da cobra inimiga  
Só constrói o seu ninho na urtiga  
Recebendo lição do Criador  
Observo a coragem do condor  
Que nos montes rochosos come a presa  
Urubu empregado na limpeza  
Como é triste a vida do abutre  
Quando encontra um morto é que se nutre  
Quanto é grande e suprema a natureza.

[...]”

Zé Vicente da Paraíba, Passarinho do Norte e Bráulio Tavares.

Considerando-se o fluxo direcional de energia em um ecossistema, conclui-se que o ponto final do fluxo observado na música é:

- a) o condor.  d) o urubu.
- b) o beija-flor.  e) a cobra.
- c) a urtiga.

8. (UFPB) Sobre os ciclos biogeoquímicos, analise as proposições a seguir, identificando as verdadeiras.

- 01. O carbono que compõe o corpo dos organismos vivos chega até eles através da fotossíntese, da quimiossíntese e do consumo de outros organismos ou de seus produtos.
- 02. A atmosfera é uma via importante no ciclo do carbono, do nitrogênio e do fósforo.
- 04. A expressão “Ciclos Biogeoquímicos” é utilizada para se referir ao movimento de um determinado elemento químico através do corpo dos organismos e dos ambientes físicos do nosso planeta.
- 08. As plantas, através da transpiração, liberam vapor de água para a atmosfera, sendo esse vapor parte do ciclo da água e uma importante contribuição para a manutenção de condições favoráveis à vida no nosso planeta.
- 16. A forma mais comum de absorção do nitrogênio pelos organismos é o nitrogênio molecular ( $N_2$ ), abundante na atmosfera, mas vários grupos de plantas precisam da interferência de bactérias fixadoras e bactérias nitrificantes para a obtenção desse elemento químico.

Indique a soma dos valores atribuídos às proposições verdadeiras. **Resposta: 01 + 04 + 08 = 13**

## CAPÍTULO

## 5

## Comunidades e populações

Jeff Rutman/Getty Images



**Figura 5.1.** Essa fotografia ilustra uma das interações existentes nas comunidades biológicas: estrelas-do-mar (chegam a medir 50 cm de diâmetro) predando mariscos (cor escura). A manutenção do equilíbrio dos ecossistemas depende dessas interações entre populações e também entre os indivíduos de cada população. A teia da vida é intrincada e delicada e dela participam também os fatores abióticos do meio.



## Pense nisso

- Analisando a fotografia e a legenda acima, você saberia dizer que tipo de interação entre os indivíduos da população de mariscos pode estar ocorrendo? E entre os indivíduos da população de estrelas-do-mar? Explique sua resposta.
- As estrelas-do-mar são animais carnívoros, enquanto os mariscos são animais que se alimentam de diminutos seres que filtram da água do mar. O fato de a estrela-do-mar se alimentar de mariscos é prejudicial à população de mariscos? Explique sua resposta.
- Localize no mapa de biomas do IBGE, apresentado no Capítulo 3, a região onde você mora. Em qual dos biomas sua região está incluída? A vegetação do local onde você mora corresponde à vegetação predominante nesse bioma? Cite alguns exemplos de populações de plantas e de animais que vivem nesse bioma. Essas populações compõem uma comunidade?
- Se você fosse estudar uma comunidade do bioma escolhido, que características investigaria? Explique sua resposta.
- Pense agora em uma das populações que citou. Quais características você considera importantes para entender como é essa população?

# 1. Características estruturais de comunidades

O primeiro procedimento a ser realizado ao estudar uma comunidade é a identificação das diferentes espécies que a compõem. Para isso são necessárias diversas coletas de informações ao longo do ano, visto que as populações não são constantes o tempo todo. Há populações, por exemplo, que ocorrem apenas em algumas estações do ano ou são mais abundantes em determinados meses.

Teoricamente, desse levantamento deveriam constar todas as espécies que existem no local; como na prática isso é quase impossível, a solução mais adotada pelos pesquisadores consiste em estudar as populações de algumas espécies da comunidade.

Uma vez identificadas as espécies que compõem a comunidade, é importante determinar a frequência relativa de determinada espécie. A frequência relativa fornece estimativa da **dominância** numérica dessa espécie em relação às demais.

Para calcular a frequência relativa numérica, divide-se o número de indivíduos de uma população pelo número total de indivíduos da comunidade. Para obter a porcentagem, deve-se multiplicar o resultado por 100. A espécie que apresenta maior fre-

quência relativa é chamada de espécie dominante.

Conhecendo o número de espécies e suas respectivas frequências relativas, podemos calcular a **diversidade** de espécies da comunidade.

O termo diversidade biológica ou biodiversidade tem atualmente um significado mais amplo que inclui, além da diversidade de espécies, a diversidade genética em uma população, comunidade ou ecossistema. No nosso caso, estamos considerando e analisando a diversidade de espécies em uma comunidade, que reflete a diversidade genética dessa comunidade.

Uma comunidade submetida a alterações do ambiente ou a interferências humanas intensas tende a apresentar diminuição de sua diversidade específica. Isso se deve ao estabelecimento de condições rigorosas, a que nem todas as espécies originais conseguem resistir, e ao possível desenvolvimento de outras espécies que, por serem mais resistentes, se tornam mais numerosas, podendo tornar-se dominantes.

Você verá que o estudo das características estruturais de comunidades e populações é feito com o uso de saberes matemáticos, como elaboração e leitura de gráficos, cálculo de estatísticas e aplicação de equações.

# 2. A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica

Os seres vivos que compõem uma comunidade sofrem influência de seu ambiente, mas também atuam sobre ele, provocando alterações locais. Essas alterações podem estabelecer novas condições eventualmente favoráveis à instalação de outras espécies e desfavoráveis às espécies já existentes na comunidade. Assim, podem ocorrer mudanças na composição de espécies que, ao longo do tempo, podem levar ao estabelecimento de uma comunidade estável, autorregulada, que dificilmente sofre alterações significativas em sua estrutura. Todavia, é muito comum na natureza ocorrerem perturbações em várias escalas de tempo que impedem a comunidade de atingir estabilidade.

A comunidade estável é denominada **comunidade clímax**, e a seqüência de estágios de seu desenvolvimento é chamada **sucessão ecológica**. Cada estágio da

sucessão, ou seja, cada comunidade intermediária estabelecida durante o desenvolvimento da comunidade clímax é denominado **estágio seral**.

Uma sucessão ecológica apresenta três características básicas:

- é um processo não sazonal, contínuo;
- ocorre como resposta às modificações nas condições ambientais locais, provocadas pelos próprios organismos dos estágios serais;
- termina com o estabelecimento de uma comunidade clímax, que não sofre mais alterações importantes em sua estrutura, desde que as condições macroclimáticas não se alterem.

A sucessão ecológica pode ser primária ou secundária, dependendo de seu estágio inicial.

A sucessão é primária quando o início da colonização ocorre em regiões anteriormente desabitadas, que não reúnem condições favoráveis à sobrevivência da maioria dos seres vivos. É o que acontece, por exemplo, em superfícies nuas de rochas, de dunas de areia recém-formadas e de lavas vulcânicas recém-solidificadas; poucas espécies conseguem suportar as condições adversas de locais como esses (Fig. 5.2).

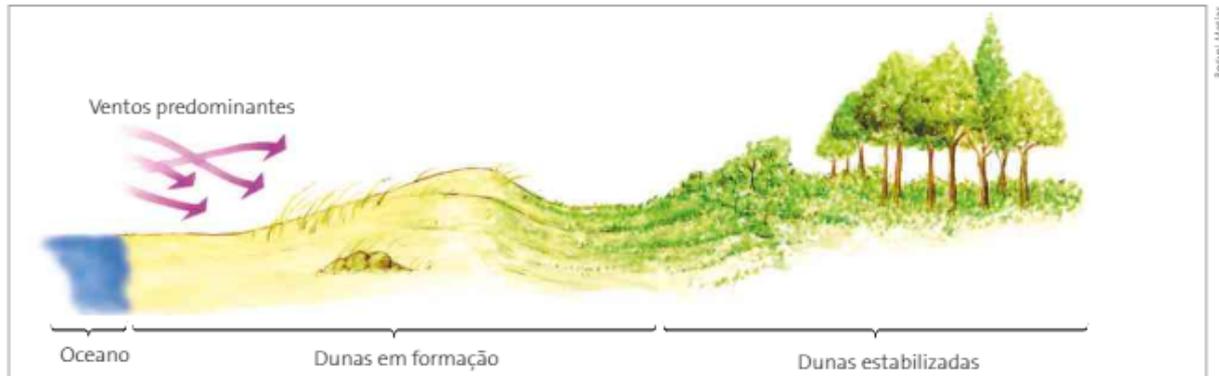


Figura 5.2. Esquema de sucessão primária em dunas. Estágios mais avançados estão representados mais à direita no esquema. (Elementos representados em diferentes escalas.)

A sucessão é secundária quando o desenvolvimento de uma comunidade tem início em uma área anteriormente ocupada por outras comunidades bem estabelecidas, como terras de cultura abandonadas, campinas aradas e florestas recém-derrubadas (Fig. 5.3).

Em geral, as sucessões primárias demoram mais tempo do que as secundárias para atingir o clímax. Alguns estudos de sucessão primária em dunas ou

em regiões de derramamento de lava estimam que sejam necessários pelo menos mil anos para o desenvolvimento de uma comunidade clímax. Por sua vez, a sucessão secundária em terras com clima úmido e temperado onde houve derrubada de matas pode levar apenas 100 anos.

As espécies que iniciam o processo de sucessão são chamadas **espécies pioneiras**.

Figura 5.3. Esquema de um exemplo de sucessão secundária em campo abandonado. (Elementos representados em diferentes escalas.)



Ao longo da sucessão, as comunidades que se instalam sofrem mudanças em sua estrutura. As principais estão resumidas na tabela a seguir (Fig. 5.4).

Características da comunidade	Tendências na sucessão, desde o estágio inicial até o clímax
<b>Composição em espécies</b>	Muda rapidamente no início e mais lentamente nos estágios intermediários, mantendo-se aproximadamente constante no clímax. As espécies pioneiras podem não ser abundantes na comunidade clímax ou mesmo não fazer parte dela.
<b>Diversidade de espécies</b>	A diversidade inicial é baixa, havendo predomínio de autótrofos. Ao longo da sucessão, ocorre aumento na diversidade e no número de heterótrofos. No clímax a diversidade é estável. Às vezes, a diversidade aumenta ao longo da sucessão e declina um pouco no clímax.
<b>Biomassa</b>	Aumenta.
<b>Teia alimentar</b>	Torna-se mais complexa.

Figura 5.4. Síntese das principais características das comunidades que se instalam ao longo de uma sucessão ecológica.



## Colocando em foco

### DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

O desmatamento da Amazônia está intimamente ligado ao projeto de ocupação da área, posto em prática na década de 1970. Estradas construídas legalmente abriram espaços para a construção ilegal de outras estradas e para a ocupação ilegal da área.

Fotografias de satélite permitem visualizar a localização de áreas desmatadas, que geralmente acompanham as estradas. As três fotografias mostradas a seguir (Fig. 5.5) são de uma mesma região no estado de Rondônia, a primeira tirada em 1985, a segunda em 1992 e a última em 2013. Elas evidenciam as marcas do processo de desmatamento.

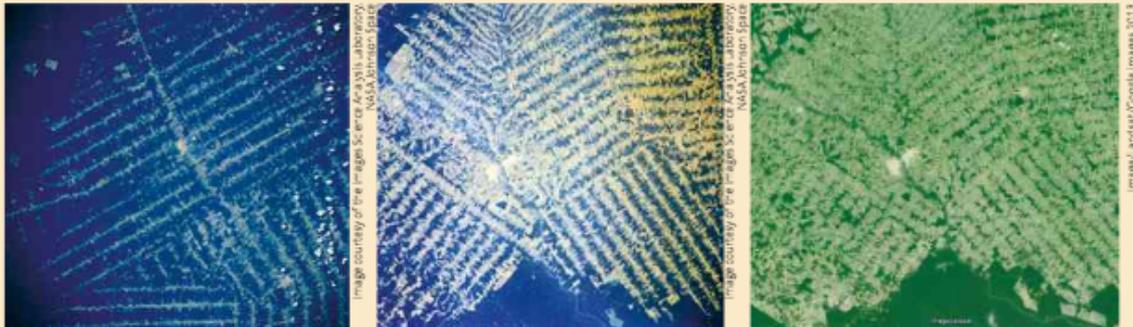


Figura 5.5. Fotografias de satélite de três áreas em uma mesma região do estado de Rondônia, tiradas, respectivamente, em 1985, 1992 e 2013, representando três estágios do avanço do desmatamento nesse período. A mata sem evidências de degradação aparece em tom escuro; as áreas desmatadas correspondem ao tom mais claro. É marcante o padrão em espinha de peixe: ao longo de uma rodovia são abertas estradas secundárias paralelas, distantes 4 a 5 km uma da outra, a partir das quais o desmatamento se intensifica. A largura das áreas fotografadas situa-se em torno de 50 km.

Atualmente, há três redes principais de desmatamento formadas pelas estradas da região, sendo que a combinação delas forma o chamado “arco do desmatamento”, mostrado na figura 5.6. Esse arco compreende a área do sudeste do Maranhão ao norte do Tocantins, leste do Pará, norte do Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e sudeste do Acre.

#### ARCO DO DESMATAMENTO

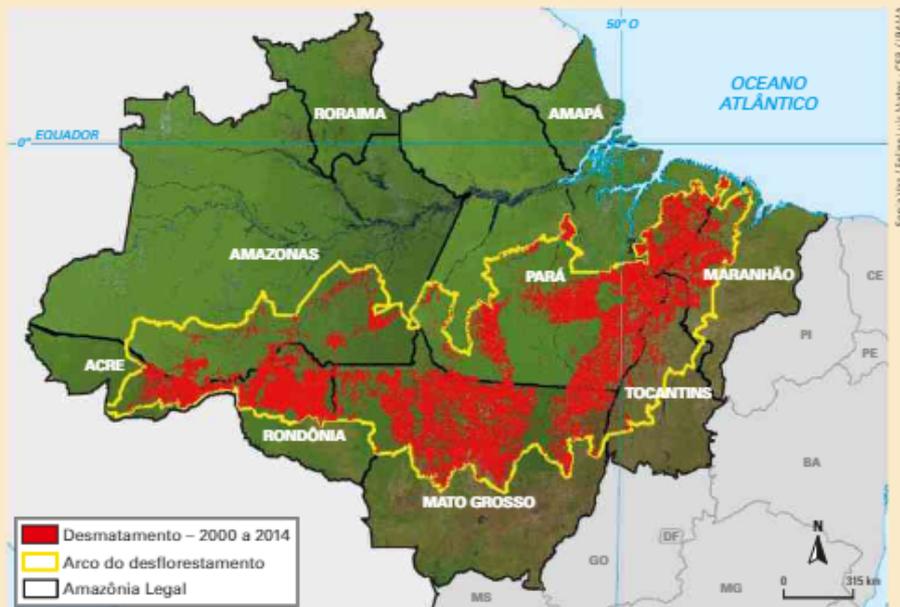


Figura 5.6. Mapa da região amazônica, com destaque para o arco do desmatamento (área vermelha).

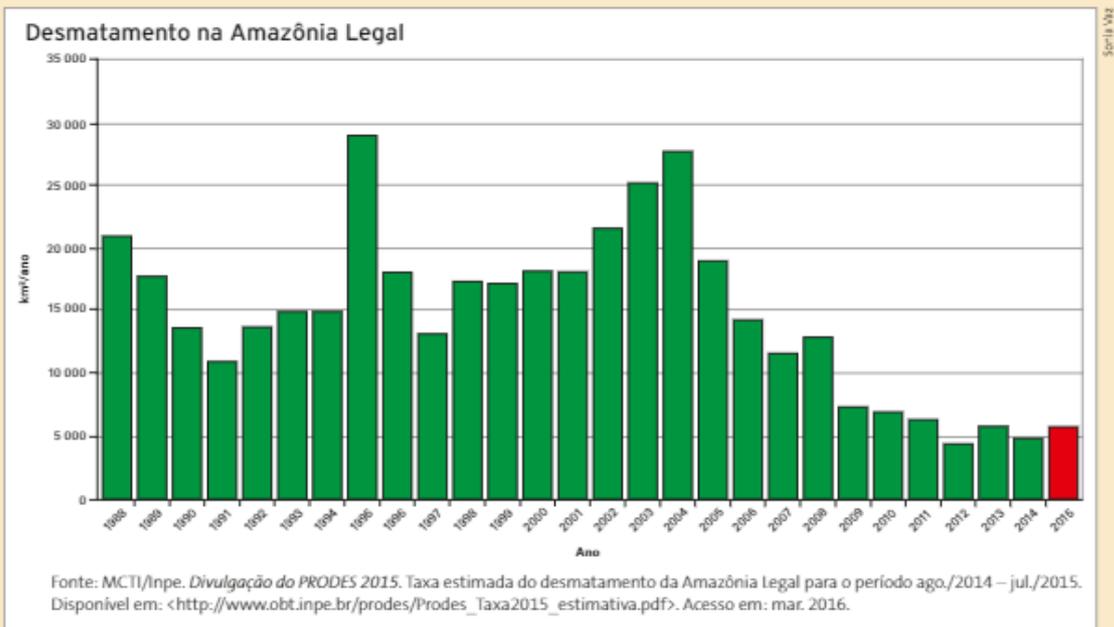
Fonte de dados: Ibama, 2014.

Além de estradas, o desmatamento está ligado ao estabelecimento e ao crescimento de cidades, à agricultura (em especial a mecanizada de soja e algodão), à criação de gado, à exploração de madeiras nobres, entre outras causas.

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), realiza o monitoramento na chamada Amazônia Legal e produz, desde 1988, relatórios anuais de desmatamento na região. Esses relatórios são disponibilizados para consulta pública no site <<http://www.obt.inpe.br/deter>> (acesso em: mar. 2016) e usados pelo governo federal para o estabelecimento de políticas públicas.

A taxa de desmatamento estimada pelo Prodes 2015 indicou aumento de 16% em relação a 2014. Ainda assim, essa taxa correspondeu a uma redução de 79% em relação à registrada em 2004, quando foi iniciado o Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm).

O gráfico a seguir (Fig. 5.7) apresenta a taxa de desmatamento anual nos estados que compõem a Amazônia Legal, desde 1988 até 2015.



▲ **Figura 5.7.** Gráfico comparativo das taxas de desmatamento na Amazônia Legal de 1988 a 2015 (dados desse último ano ainda não consolidados à época da publicação).

### Consequências do desmatamento

O desmatamento acarreta principalmente diminuição de produtividade primária (fotossíntese) e de biodiversidade, além de mudanças no regime hidrológico (ciclo da água), que trazem consequências para o clima em diferentes escalas.

Na Amazônia, o desmatamento é um processo extremamente preocupante, pois aumenta a rapidez do escoamento da água da chuva para os rios. Isso contribui para que as cheias se alternem com períodos de drástica redução no volume dos rios, com óbvias consequências para o ecossistema aquático e para os sistemas de várzea. Nesse caso há diminuição do volume de água retido na própria floresta e do exportado para outras regiões na forma de vapor. Boa parte da umidade que chega à região centro-sul, em certas épocas do ano, por exemplo, é trazida por correntes de ar da parte ocidental da Amazônia.

Na transição entre os meses secos e os chuvosos em São Paulo, pesquisadores avaliaram preliminarmente que cerca de 70% da precipitação no estado é originada de vapor-d'água trazido da Amazônia. Esse fenômeno impede o prolongamento da época seca na região onde o regime de chuvas tem implicações diretas na geração de energia elétrica.

A análise das consequências do desmatamento envolve também o decorrente corte seletivo de árvores de alto valor comercial e baixa densidade, que é muitas vezes subestimado. Com a derrubada de uma grande árvore, abre-se um espaço no dossel (cobertura geral da mata constituída pelas copas justapostas das árvores de grande porte). Com isso, o sol (e o vento) atinge o solo criando um microclima mais seco favorável a incêndios que devastam as plantas menores e afetam profundamente as maiores. Esses incêndios iniciais facilitam incêndios secundários muito mais desastrosos, com temperaturas mais altas e chamas maiores. Instaura-se assim um ciclo vicioso que culmina com a destruição total da floresta na área.

De acordo com previsões do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), caso o total desmatado alcance 50%, o bioma deverá sofrer um processo de savanização, com aumento da temperatura sobre o solo e redução nos índices de precipitação e evapotranspiração. Isso acarretaria ao mesmo tempo um avanço acelerado da desertificação da caatinga no Nordeste brasileiro. A savanização não deve ser considerada como transição para o bioma de cerrado, bastante rico em espécies. Muito provavelmente, o bioma resultante seria uma savana com baixa biodiversidade, ocupando toda a parte oriental da Amazônia. A porção ocidental, apesar disso, deve manter a formação florestal, mesmo no novo regime climático.

Fontes dos dados: FEARNSIDE, P. M. 2005 *Megadiversidade*, 1(1), p. 117-118 e SAMPAIO, G. Agência Fapesp, 25 nov. 2008.

INPE. *PRODES estima 5.831 km<sup>2</sup> de desmatamento na Amazônia em 2015*. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4058](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4058)>. Acesso em: mar. 2016.

## 3. Interações entre populações de uma comunidade

Os organismos de uma comunidade interagem exercendo influências recíprocas que se refletem nas populações envolvidas.

Essas interações podem ocorrer entre indivíduos da mesma população (**intraespecíficas**) ou entre indivíduos de populações de espécies diferentes (**interespecíficas**).

Quando analisadas isoladamente, essas interações podem se revelar harmônicas ou desarmônicas.

As **interações harmônicas** ou positivas são aquelas em que não há prejuízo para nenhuma das populações da interação. Já nas **interações desarmônicas** ou negativas, pelo menos uma das populações sofre algum tipo de desvantagem. Entretanto, considerando o total das interações em uma comunidade, verifica-se que mesmo as desarmônicas podem ter efeitos indiretos positivos, pois são importantes para o equilíbrio das populações que interagem.

### 3.1. Interações intraespecíficas

#### Interações intraespecíficas harmônicas

##### Sociedades

Sociedades são grupos de indivíduos da mesma espécie com divisão de trabalho não restrita a períodos reprodutivos.

Nesses grupos, as diferentes funções podem ser exercidas por indivíduos morfológicamente distintos. Quando isso ocorre, os tipos morfológicos constituem castas, e fala-se em **sociedades heteromorfas** (do grego: *héteros* = diferente; *morphé* = forma).

Em outras sociedades, apesar de também haver divisão de trabalho, os indivíduos não são morfológicamente modificados para a função que exercem. Nesses casos, fala-se em **sociedades isomorfas** (do grego: *ísos* = igual). Um bom exemplo de sociedade isomorfa é a sociedade humana, em que, apesar do isomorfismo, há uma complexa divisão de trabalho.

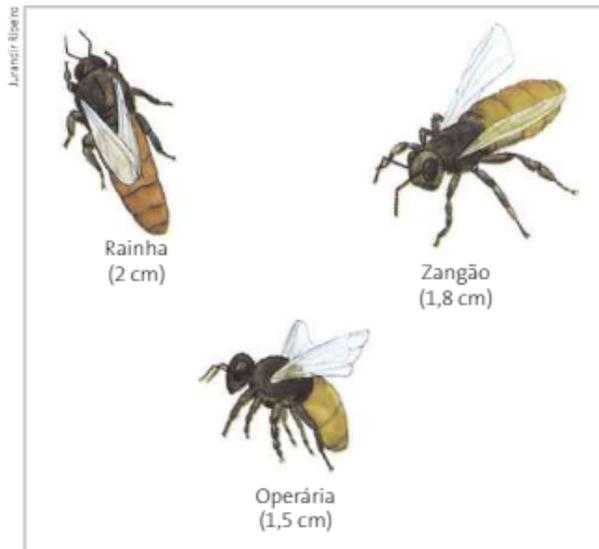
Os insetos sociais são excelentes exemplos de sociedades heteromorfas. É o caso de abelhas, formigas e cupins.

##### ● Abelhas

A maioria das espécies de abelhas não vive em sociedade, isto é, tem hábito solitário. As abelhas sociais, por sua vez, podem formar colmeias de 50 mil a 100 mil indivíduos. A sociedade das abelhas apresenta três castas (Fig. 5.8):

- **operárias:** são fêmeas estéreis, cuja função é realizar todos os trabalhos da colmeia;
- **rainha:** geralmente uma só por colmeia, encarregada da reprodução;

- **zangão**: é o macho, encarregado da fertilização de fêmeas. Seu número por colmeia é relativamente pequeno (apenas algumas centenas).



▲ **Figura 5.8.** Esquemas de indivíduos das diferentes castas em sociedade de abelhas (*Apis mellifera*). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).

Poucos dias depois de estar completamente desenvolvida, a rainha realiza o “voo nupcial”, no qual encontra um ou mais zangões, com os quais copula. Os espermatozoides são armazenados no sistema reprodutor da rainha e, no decorrer do tempo, vão fecundando os óvulos que ela produz. Os óvulos fecundados dão origem a fêmeas, na maioria operárias. Uma das fêmeas, no entanto, é alimentada por mais tempo do que as demais, além de receber um alimento especial: a geleia real. Devido à alimentação diferenciada, essa fêmea desenvolve-se morfologicamente em rainha.

A rainha tem vida relativamente longa, podendo viver alguns anos, enquanto as operárias dificilmente ultrapassam um mês de vida.

Os zangões originam-se de óvulos não fecundados, processo denominado **partenogênese**. Eles são formados ao longo da vida das rainhas, ao mesmo tempo que as operárias. Quando as rainhas envelhecem, formam-se apenas zangões, em virtude do esgotamento do estoque de espermatozoides.

Os zangões não têm vida longa, pois não são adaptados à procura e à captação de alimentos, além de deixarem de ser alimentados pelas operárias após o voo nupcial. Assim, eles morrem de fome após a reprodução.

#### ● Formigas

Todas as espécies de formigas são sociais. Os adultos (Fig. 5.9) são fêmeas (com raras exceções), que estão divididas em pelo menos duas castas:

- fêmeas férteis ou **rainhas**, cujo papel primordial é a postura de ovos. Dependendo da espécie de formiga, os ninhos podem ter uma ou várias rainhas;
- fêmeas estéreis ou **operárias**, que não têm asas e realizam todas as demais atividades da colônia, como coleta de água e alimento, alimentação da cria e da rainha e construção e defesa do ninho. As operárias podem apresentar duas ou mais formas diferentes, fato denominado polimorfismo, que se relaciona com a realização de tarefas diferentes. Elas podem, às vezes, ser chamadas de soldados, quando sua função principal é a defesa do ninho.

Os **machos** são alados e aparecem, em geral, apenas uma vez por ano, na época do acasalamento. Nessa época, as rainhas também desenvolvem asas e, junto com os machos, realizam o “voo nupcial”. Após a cópula, os machos morrem e as rainhas não retornam ao formigueiro de origem, mas fundam novos formigueiros. Um ninho de formigas é constituído basicamente de fêmeas sem asas.



▲ **Figura 5.9.** Esquemas de indivíduos de diferentes castas em sociedade de formigas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).

#### ● Cupins

Todas as espécies de cupins são sociais. Esses insetos apresentam maior diferenciação morfológica em relação às abelhas e às formigas.

Suas castas são (Fig. 5.10):

- **soldados**: machos ou fêmeas estéreis e vigorosos, com cabeça robusta e mandíbulas fortes; encarregados de defender o cupinzeiro, são agressivos e aparecem em grande número quando o ninho é perturbado;
- **operários**: machos ou fêmeas estéreis, responsáveis pela alimentação; constituem a maior parte dos indivíduos da colônia e são os cupins que geralmente podem ser vistos quando se observa madeira infestada;

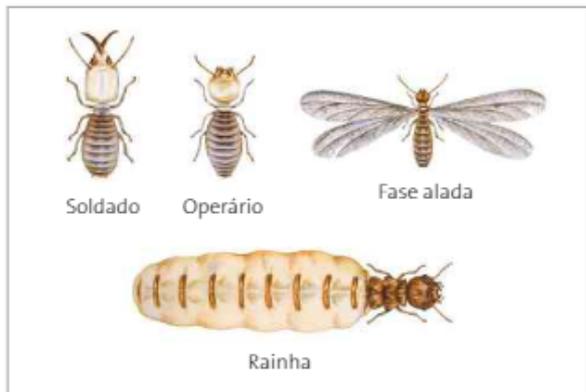


Figura 5.10. Esquemas de indivíduos de diferentes castas em sociedade de cupins. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

- **rei e rainha:** constituem o casal real e são os responsáveis pela reprodução. Eles ficam juntos na região central do ninho. A rainha é maior que o rei e apresenta grande desenvolvimento do abdômen em função do grande número de ovos que coloca por dia. Machos e fêmeas com asas só aparecem em determinadas épocas do ano. Eles saem em revoadas principalmente ao entardecer (depois das 18h) e são atraídos por focos de luz, como lâmpadas acesas. São conhecidos popularmente como aleluias ou siriris. A revoada não dura muito tempo. A cópula não ocorre durante o voo, mas no solo, após a perda das asas. Formam-se casais que procuram um lugar para construir seu ninho, originando os novos cupinzeiros. Eles serão o futuro casal real, rei e rainha do novo ninho.

### Colônias

Caracterizam-se pela associação mais ou menos íntima ou pela continuidade anatômica de indivíduos de uma mesma espécie, geralmente aparentados ou geneticamente idênticos.

As colônias também podem ser **isomorfas** ou **heteromorfas**, isto é, constituídas, respectivamente, por indivíduos de uma única forma ou com diferenciação morfológica.

Os corais são um exemplo em que não ocorre diferenciação morfológica (Fig. 5.11). As colônias que vivem fixas ao substrato, no ambiente marinho, são isomorfas e os indivíduos não apresentam divisão de trabalho.

Nas colônias heteromorfas (polimorfas) podem ocorrer várias formas diferentes de indivíduos. É o que acontece, por exemplo, com a *Physalia* sp., animal marinho conhecido popularmente como caravela, cuja colônia apresenta indivíduos especializados para flutuação, reprodução e defesa (Fig. 5.12).



Figura 5.11. Fotografia de coral-cérebro, exemplo de colônia isomorfa com cerca de 25 cm de diâmetro.



Figura 5.12. Fotografia de colônia heteromorfa do cnidário *Physalia* sp. (caravela). O contato da pele humana com os tentáculos dessa colônia provoca queimaduras dolorosas. O flutuador mede cerca de 15 cm de comprimento e situa-se acima da superfície da água (seta).

O termo colônia pode ser empregado também para grupos de indivíduos da mesma espécie que constroem ninhos ou criam a prole de forma cooperativa. Nesse caso, a união está relacionada à reprodução. Em razão disso, no caso dos insetos sociais aqui tratados, é comum chamar as colmeias, os formigueiros e os cupinzeiros de colônias.

### Interações intraespecíficas desarmônicas

#### Competição intraespecífica

A palavra competição refere-se à disputa entre indivíduos por recursos do ambiente que não existem em quantidade suficiente para todos.

São muitos os exemplos de competição intraespecífica. É o caso da disputa por alimento entre animais da mesma espécie, da competição entre plantas por luz, nutrientes e água do solo e da disputa entre machos da mesma espécie pela fêmea na hora da reprodução.

Quanto maior for o número de indivíduos de uma população em um meio em que não há recursos suficientes para todos, mais intensa será a competição.

A competição intraespecífica é um dos fatores que regulam o tamanho das populações. Quando fatores genéticos determinam diferenças adaptativas entre os indivíduos de modo que uns têm maior eficiência na exploração dos recursos e mais chance de reprodução, a competição intraespecífica torna-se intimamente relacionada com a mudança evolutiva por seleção natural.

### Predação intraespecífica ou canibalismo

Ocorre quando há predação entre indivíduos da mesma espécie. É o caso do besouro-castanho (*Tribolium castaneum*), cujas larvas se alimentam de ovos de sua própria espécie (Fig. 5.13).

**Figura 5.13.**  
Adulto de *Tribolium castaneum*. O animal mede de 2 mm a 3 mm de comprimento.



## 3.2. Interações interespecíficas

As interações interespecíficas podem ser:

- **harmônicas:** mutualismo, protocooperação, inquilinismo e comensalismo;
- **desarmônicas:** amensalismo (ou antibiose), predatismo, parasitismo e competição interespecífica.

O termo **simbiose**, criado em 1879 pelo biólogo De Bary, tem sido equivocadamente utilizado como sinônimo de mutualismo. Simbiose refere-se originalmente a toda e qualquer associação estável entre indivíduos de espécies diferentes, seja uma interação positiva, seja negativa.

Assim, poderíamos considerar três tipos bem definidos de simbiose: o parasitismo, o comensalismo e o mutualismo.

Atualmente, porém, a utilização do termo simbiose tem sido ampliada, aplicando-se a qualquer tipo de relação interespecífica.

A classificação das interações ecológicas pode variar muito. Em algumas, o comensalismo inclui o inquilinismo, que deixa de ser uma das categorias. Com o mutualismo e a protocooperação acontece algo semelhante: o mutualismo pode incluir a protocooperação, que deixa de ser uma categoria válida.

Além disso, há casos em que os limites entre uma categoria e outra não são muito nítidos, e há tipos de interações que não se encaixam bem em nenhuma categoria.

Nas interações ecológicas interespecíficas, costuma-se utilizar sinais para representar o efeito dessa relação sobre as populações envolvidas. O sinal **+** é usado quando a população cresce; o sinal **-**, quando a população diminui; e o sinal **0**, quando não há crescimento nem redução da população. Assim, temos:

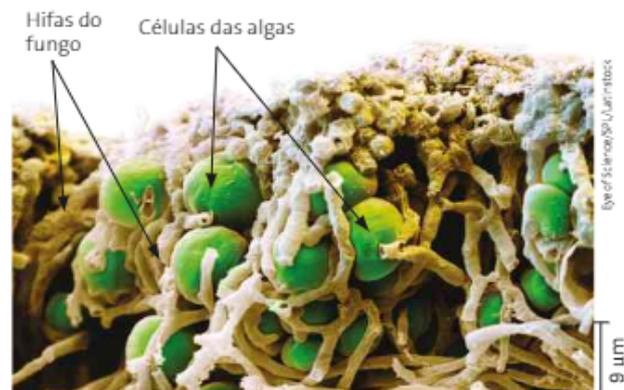
- **(- -):** competição;
- **(+ +):** mutualismo, quando as duas populações têm interação favorável e são completamente dependentes uma da outra;
- **(+ +):** protocooperação, quando ambas as populações interagem favoravelmente, mas não de forma obrigatória;
- **(+ 0):** comensalismo;
- **(- 0):** amensalismo;
- **(+ -):** predação, incluindo a herbivoria;
- **(+ -):** parasitismo.

## Interações interespecíficas harmônicas

### Mutualismo

É um tipo de relação interespecífica em que os participantes se beneficiam e mantêm relação de dependência. Às vezes, essa relação é extremamente íntima, como acontece com os líquens. Eles representam uma associação de fungos e algas dependentes funcionalmente e integrados morfológicamente.

Os líquens (Fig. 5.14) são classificados em espécies, embora na realidade cada espécie de líquen seja formada por duas espécies diferentes de organismos (alga ou cianobactéria e fungo).



**Figura 5.14.** Eletromicrografia de varredura de líquen. A maior parte do líquen é formada por hifas do fungo, com uma camada interna de algas ou cianobactérias. A relação mutualística entre esses organismos é altamente elaborada, chegando a apresentar estruturas especializadas para reprodução assexuada. (Cores artificiais.)

Alguns mamíferos herbívoros, principalmente ruminantes, abrigam em seu tubo digestório bactérias que produzem celulase, enzima que digere celulose, transformando-a em carboidratos aproveitáveis: as bactérias utilizam uma parte e o animal utiliza outra. Esse é mais um exemplo de mutualismo.

Outro caso é o de protozoários que também produzem células e vivem no tubo digestório de cupins, recebendo alimento já particulado ingerido por esses insetos. Isso possibilita aos cupins o aproveitamento dos nutrientes provenientes da digestão da madeira. Esses protozoários dependem dessa associação, pois só sobrevivem no corpo dos cupins.

Outros exemplos de mutualismo são as **micorrizas**, associações entre fungos e raízes de plantas, e as **bacteriorrizas**, associações entre bactérias fixadoras de nitrogênio e raízes de plantas.

Nas micorrizas, os fungos contribuem com a absorção de nutrientes minerais do solo, beneficiando as plantas, enquanto estas fornecem nutrientes orgânicos aos fungos. Nas bacteriorrizas, as bactérias fixam o nitrogênio do ar que está entre as partículas do solo e passam para a planta, que fornece proteção e energia às bactérias.

### Protocooperação

Na protocooperação, embora os participantes se beneficiem, eles podem viver de modo independente, sem a necessidade de se unir. No mutualismo, a união é obrigatória, e os indivíduos são interdependentes.

Um dos mais conhecidos exemplos de protocooperação é a associação entre a anêmona-do-mar e o paguro, um crustáceo semelhante ao caranguejo, também conhecido como bernardo-eremita ou ermitão (Fig. 5.15).

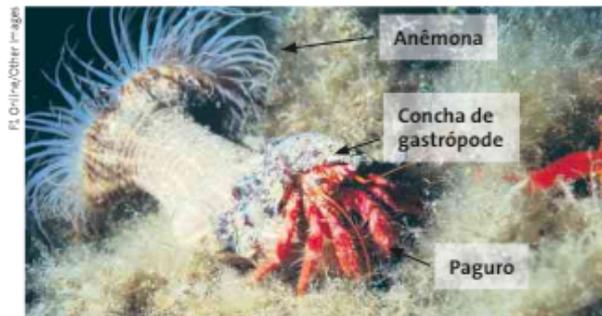


Figura 5.15. Fotografia mostrando exemplo de protocooperação: a anêmona-do-mar e o paguro. O corpo da anêmona tem cerca de 2 cm de diâmetro.

O paguro tem o abdômen mole e costuma ocupar o interior de conchas abandonadas de gastrópodes. Costuma colocar sobre a concha uma ou mais anêmonas-do-mar. Dessa união surge o benefício mútuo: a anêmona tem células urticantes, que afugentam os predadores, e o paguro, ao se deslocar, possibilita que a anêmona explore melhor o espaço em busca de alimento.

Um exemplo muito comum de protocooperação pode ser observado nas pastagens brasileiras: aves que pousam sobre bois e vacas para se alimentar de carrapatos. As aves encontram alimento, e os bois livram-se dos carrapatos que os parasitam (Fig. 5.16).



Figura 5.16. Fotografia mostrando um exemplo comum de protocooperação: bovino e gavião-carrapateiro, que mede cerca de 40 cm de altura.

### Comensalismo e inquilinismo

Nesses dois tipos de associação apenas um dos participantes se beneficia, sem, no entanto, causar prejuízo ao outro.

No comensalismo, a associação ocorre em função da obtenção de alimento. No inquilinismo, a associação ocorre frequentemente por proteção, abrigo ou suporte físico.

Um exemplo de comensalismo é a associação do tubarão com o peixe-piloto. Os peixes-pilotos (chamados comensais) vivem ao redor do tubarão, alimentando-se dos restos de comida que escapam da boca desse predador (Fig. 5.17).



Figura 5.17. Fotografia de tubarão cercado por peixes-pilotos: a relação ecológica que existe entre eles é o comensalismo. O peixe-piloto mede cerca de 70 cm de comprimento.

Um exemplo de inquilinismo envolve o fierásfer, um pequeno peixe que vive como um inquilino dentro do corpo do pepino-do-mar (gênero *Holothuria*). O fierásfer sai do corpo do pepino-do-mar para se alimentar e depois volta.

Nesse caso de inquilinismo, o peixe encontra proteção no corpo do pepino-do-mar, o qual, por sua vez, não recebe benefício nem sofre desvantagem.

As plantas epífitas, como as orquídeas, que usam as árvores apenas como substrato ou suporte sem parasitá-las nem prejudicá-las, são também exemplos de inquilinismo (Fig. 5.18).



Figura 5.18. Fotografia de orquídeas sobre o tronco de uma árvore. As flores medem cerca de 10 cm de diâmetro.

## Interações interespecíficas desarmônicas

### Amensalismo ou antibiose

Nessa relação desarmônica, indivíduos de uma população secretam substâncias que inibem ou impedem o desenvolvimento de indivíduos de populações de outras espécies. É o caso bem conhecido dos antibióticos, que, produzidos por fungos, impedem a multiplicação das bactérias.

Os antibióticos são largamente utilizados pela medicina no combate às infecções bacterianas. O mais antigo antibiótico conhecido é a penicilina, substância produzida pelo fungo *Penicillium notatum*.

Outro caso de amensalismo é o fenômeno conhecido como maré vermelha (Fig. 5.19). Sob determinadas condições ambientais, há intensa proliferação de certas espécies de organismos marinhos que produzem substâncias altamente tóxicas. Em razão do grande aumento no número de indivíduos, há formação de enormes manchas, geralmente vermelhas, no oceano. Com isso, a concentração das substâncias tóxicas aumenta e, além de impedir a proliferação de outros organismos, essas substâncias provocam grande mortalidade de animais marinhos, especialmente de vertebrados.



Figura 5.19. Fotografia aérea de uma região no litoral do Alasca, em que se nota a maré vermelha, mancha de coloração marrom-avermelhada na superfície do mar.

### Predação e parasitismo

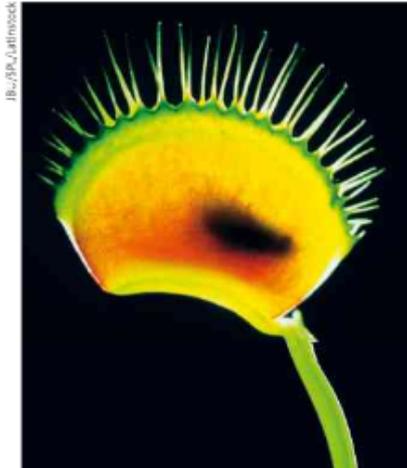
Com base no tipo de alimento ingerido, os consumidores podem ser carnívoros, herbívoros, onívoros ou detritívoros. Os detritívoros se alimentam de matéria orgânica morta (folhas caídas, fezes, carcaças). Eles não estão envolvidos em nenhuma das interações populacionais, pois não provocam efeito direto nas populações que se tornam detritos.

Considerando, agora, as interações desarmônicas interespecíficas, carnívoros, herbívoros e onívoros podem participar de dois tipos dessas interações: predação e parasitismo.

A interação é do tipo **predação** quando o consumidor mata e come outro indivíduo, suprimindo-o da população. Alguns exemplos são mais óbvios, como uma coruja comendo um rato; outros, nem tanto. Quando um pardal come uma semente, ele é um herbívoro atuando como predador, pois mata o embrião contido na semente. Outro exemplo é o do carneiro. Ele é herbívoro e atua como predador quando come uma planta, arrancando-a do solo com as raízes e, portanto, suprimindo-a da população. A ingestão de algas do fitoplâncton também é uma forma de predação.

Há casos de predação em que o predador é uma planta e a presa, um animal. As plantas carnívoras

apresentam folhas com adaptações para captura e digestão de pequenos animais, especialmente insetos (Fig. 5.20). Elas conseguem, dessa forma, nitrogênio e outros nutrientes, dependendo da espécie, mas não energia. Essas adaptações são especialmente importantes em locais em que o solo é pobre em nutrientes, nos quais essas plantas geralmente vivem.



◀ **Figura 5.20.** Fotografia de planta carnívora (*Dionaea muscipula*) com um inseto capturado (visto por transparência). A folha mede cerca de 3 cm de comprimento.



⤴ **Figura 5.21.** A lampreia, vertebrado ectoparasita, usa sua boca circular para ingerir sangue de seu hospedeiro. Mede cerca de 1 m de comprimento.

A interação é do tipo parasitismo quando o consumidor (parasita) retira seus alimentos orgânicos do corpo de um indivíduo vivo (hospedeiro), prejudicando-o, mas geralmente não o matando. Aí, o contato entre as partes é mais íntimo e duradouro do que na predação.

Quanto à localização no corpo do hospedeiro, os parasitas podem ser **ectoparasitas** (externos) ou **endoparasitas** (internos).

O plasmódio, protozoário que causa a malária, e a lombriga são exemplos típicos de endoparasitas. O pulgão, que se associa a uma planta e suga sua seiva orgânica, é, por sua vez, um ectoparasita.

A relação dos vírus com seus hospedeiros é um caso muito particular de parasitismo. Eles não se alimentam de seus hospedeiros, apenas os utilizam para sua reprodução, prejudicando-os. Os vírus são parasitas intracelulares obrigatórios.

O parasitismo praticado por vertebrados e por plantas superiores é extremamente raro. Um caso de vertebrado parasita é a lampreia. Ela se fixa em outros vertebrados aquáticos por sua boca circular (que atua como uma autêntica ventosa) e ingere sangue do hospedeiro (Fig. 5.21).

Um exemplo típico de planta parasita da flora brasileira é o cipó-chumbo (Fig. 5.22). Ele se fixa sobre outra planta, da qual retira seiva elaborada diretamente dos vasos liberianos através de finíssimas raízes especialmente adaptadas, denominadas **haustórios**.



⤴ **Figura 5.22.** Fotografia mostrando o cipó-chumbo semelhante a fios amarelados sobre um arbusto.

É interessante lembrar que as orquídeas, ao contrário do que popularmente se acredita, não são parasitas, pois não se nutrem da planta hospedeira. Elas são inquilinas, como estudamos anteriormente, e algumas nem sequer são epífitas, pois vivem no solo. As orquídeas são autótrofas, o que não ocorre com o cipó-chumbo.

No limiar do parasitismo, situa-se a erva-de-passarinho, planta que retira seiva do xilema da hospedeira, mas que também é clorofilada e, portanto, realiza fotossíntese. É uma planta classificada como **hemiparasita**.

Quanto à utilização do recurso alimentar, os herbívoros podem atuar como parasitas (pulgões), como

predadores (pardais e carneiros) ou em uma posição intermediária entre esses tipos de interação. Para essa última situação, alguns pesquisadores preferem se referir a uma categoria distinta, a dos **comedores de partes** de plantas, caso de bois, veados, antílopes, gnus e girafas.

### Competição interespecífica

A competição interespecífica ocorre quando indivíduos de duas populações de espécies diferentes, em uma mesma comunidade, apresentam nichos ecológicos iguais ou muito semelhantes. Caso um recurso do meio não seja suficiente para suprir as duas populações, é desencadeado um mecanismo de disputa pelo recurso. Esse mecanismo pode determinar o controle da densidade das duas populações que estão interagindo, a exclusão de uma delas ou ainda a especialização do nicho ecológico.

Quando duas populações de espécies diferentes ocupam o mesmo hábitat e têm exatamente o mesmo nicho, se os recursos forem escassos, uma delas é eliminada por competição. Esse é o **princípio da exclusão competitiva** ou

**princípio de Gause**, em homenagem ao pesquisador que o formulou, o ecólogo russo Georgy Gause (1910-1986). De acordo com esse princípio, duas espécies podem ter o mesmo hábitat, mas não podem ocupar o mesmo nicho por muito tempo, havendo exclusão de uma delas.

O princípio de Gause foi formulado em função de experimentações em laboratório com culturas de duas espécies de protozoários: *Paramecium caudatum* e *Paramecium aurelia* (Fig. 5.23). Quando populações dessas espécies eram cultivadas separadamente, porém em meios de cultura idênticos, elas cresciam até atingir determinado número de indivíduos. Não havendo alterações nas condições ideais das culturas, esse número em cada uma das populações permanecia relativamente constante ao longo do tempo. Quando as duas populações eram cultivadas no mesmo recipiente, com o mesmo tipo de meio, verificava-se crescimento de *P. aurelia*, que, aproveitando melhor o alimento fornecido, comprometia a viabilidade da população de *P. caudatum*, excluindo-a.

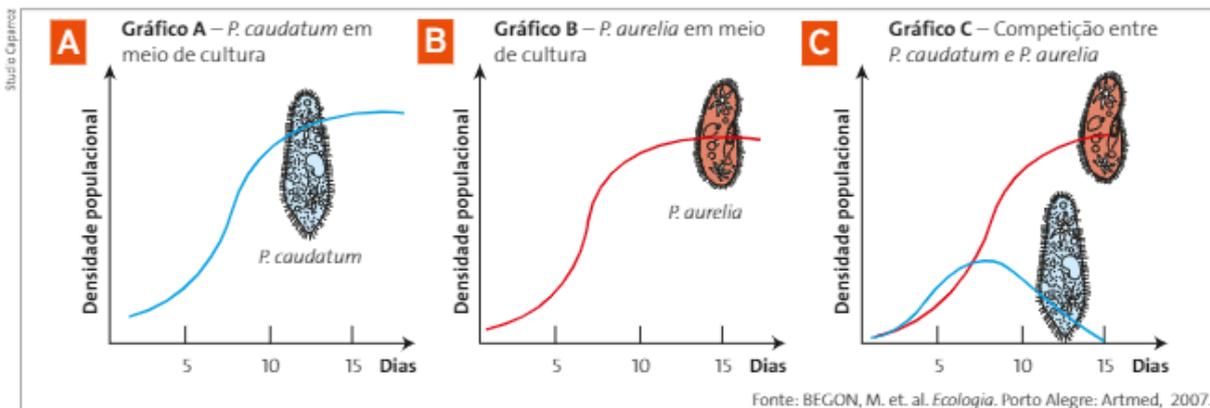


Figura 5.23. Representação esquemática de curvas de crescimento populacional de *Paramecium caudatum* e *Paramecium aurelia*. Os gráficos A e B mostram o crescimento das duas populações separadamente. No gráfico C, pode-se perceber que, quando as espécies são cultivadas no mesmo meio de cultura, *P. aurelia* exclui *P. caudatum* por competição. (Paramecíos representados em cores fantasia.)

## 4. Ecologia das populações

Nos ecossistemas em equilíbrio, o tamanho das populações mantém-se mais ou menos constante ao longo do tempo.

Alterações no tamanho de uma população podem determinar alterações em outras populações que com ela coexistem, provocando desequilíbrios ecológicos.

Estudaremos em seguida:

- as principais características de uma população;
- os principais fatores reguladores do tamanho das populações, fundamentais para a manutenção do equilíbrio do ecossistema.

### 4.1. Principais características de uma população

#### Densidade

A densidade corresponde ao número de indivíduos de uma população por unidade de área ou volume.

$$\text{Densidade (D)} = \frac{\text{Número de indivíduos da população (N)}}{\text{Unidade de área ou de volume (A)}}$$

Ou seja:  $D = \frac{N}{A}$

O crescimento de uma população depende de dois conjuntos de fatores: um que contribui para o aumento da densidade, do qual fazem parte as taxas de natalidade e de imigração; e outro que contribui para a diminuição da densidade, formado pelas taxas de mortalidade e de emigração. O modo como esses fatores interagem determina a taxa de crescimento da população.

A taxa de natalidade (**TN**) corresponde à velocidade com que novos indivíduos são adicionados à população por meio da reprodução.

A taxa de mortalidade (**TM**) corresponde à velocidade com que indivíduos são eliminados da população por morte.

Em ambas as taxas, o fator tempo é essencial.

Em populações naturais, a taxa de mortalidade geralmente é mais ou menos proporcional à taxa de natalidade. Uma população de ostras, por exemplo, produz milhares de ovos em cada estação reprodutiva, mas apenas alguns deles formam indivíduos que atingem a idade adulta ou reprodutiva. Nos grandes mamíferos, entretanto, a taxa de natalidade é menor do que a verificada em populações de ostras, mas a taxa de mortalidade também é menor.

Quando a taxa de natalidade é maior que a de mortalidade, a população tende a crescer; quando a taxa de mortalidade é mais alta do que a de natalidade, a população tende a diminuir.

Em países desenvolvidos, a taxa de natalidade e a taxa de mortalidade da espécie humana se aproximam.

A taxa de imigração (**TI**) e a taxa de emigração (**TE**) correspondem, respectivamente, ao número de indivíduos que entram em uma população e ao número dos que dela saem, por unidade de tempo. Esses dois mecanismos constituem a dispersão ou migração.

Isoladamente, cada uma dessas taxas diz pouco sobre o crescimento da população. A taxa de crescimento (**TC**) é definida do seguinte modo:

$$TC = (TN + TI) - (TM + TE)$$

## Potencial biótico e resistência ambiental

O **potencial biótico** de uma população corresponde à sua capacidade potencial para aumentar, por reprodução, seu número de indivíduos em condições ideais, isto é, sem fatores que impeçam esse aumento.

Os seres vivos sempre originam um número muito maior de descendentes do que o próprio meio comporta. Quando Darwin formulou sua teoria da seleção natural, utilizou essa observação da natureza como um de seus argumentos. Em seu livro *A origem das espécies*, Darwin escreveu:

“Não há exceção à regra de que todo ser orgânico cresce numa taxa tão alta que, se não destruído, a Terra seria rapidamente coberta pelos descendentes de um único casal”.

Para ilustrar esse exemplo, ele cita os elefantes:

“O elefante é tido como o reprodutor mais lento de todos os animais conhecidos, e eu sofri um pouco para estimar sua provável taxa mínima de crescimento natural: será mais seguro assumir que ele começa a reprodução aos 30 anos de idade e segue reproduzindo-se até os 90 anos, trazendo à luz seis filhotes nesse período, e sobrevivendo até os 100 anos de idade; se isso é assim, após um período de 740 a 750 anos, haveria aproximadamente 19 milhões de elefantes vivos, descendentes do primeiro casal”.

Um exemplo mais dramático é o de algumas bactérias que se dividem a cada 20 minutos. Nesse ritmo, se nada impedisse seu aumento numérico, a partir de uma única bactéria, em 36 horas a superfície terrestre estaria totalmente recoberta por uma camada contínua desses organismos.

Entretanto, verifica-se na natureza que o tamanho (densidade) das populações em comunidades estáveis permanece relativamente constante. Isso se deve a um conjunto de fatores que se opõem ao potencial biótico, reduzindo-o. Esse conjunto é denominado **resistência ambiental**, que é tanto maior quanto maior for o tamanho da população.

Os principais fatores de resistência ambiental são os fatores reguladores da densidade das populações.

Para determinar a resistência ambiental, calculamos a diferença entre a taxa teórica de crescimento de uma população sob condições ideais (potencial biótico) e a taxa real observada na natureza.

Colocando esses dados em um gráfico, obtemos uma **curva de crescimento populacional**, como a representada a seguir (Fig. 5.24):

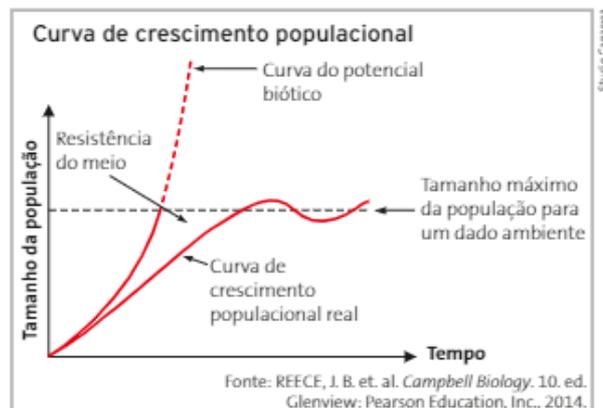


Figura 5.24. Gráfico do crescimento populacional em função do tempo.

Quando uma população inicia a colonização de um ambiente propício a seu desenvolvimento, verifica-se que o crescimento inicial é lento, pois há poucos indivíduos, e conseqüentemente a taxa de natalidade é baixa. À medida que aumenta o número de organismos, a taxa de natalidade também se eleva. Com isso, a velocidade de crescimento da população aumenta. Se não existissem fatores de resistência do meio, o crescimento da população seria exponencial, representando seu potencial biótico. No entanto, à medida que a população cresce, a resistência ambiental aumenta, reduzindo o crescimento populacional. Isso ocorre até que se estabeleça um equilíbrio entre a resistência ambiental e a tendência de crescimento da população. A partir de então, temos uma população cujo tamanho é máximo para aquele ambiente. Nessa situação a população terá atingido a **capacidade de suporte** do meio. No entanto, podem ocorrer pequenas oscilações em torno desse tamanho máximo ao longo do tempo.

Assim, a conservação, a redução ou o aumento do número de indivíduos de uma população depende da combinação de dois componentes opostos: a resistência do meio e o potencial biótico.

Quando se estabelece equilíbrio entre esses dois componentes, a população mantém-se relativamente estável. Ocorrendo quebra nesse equilíbrio, por aumento ou diminuição da resistência do meio, a população tende a sofrer de início, respectivamente, redução ou acréscimo numérico.

É interessante notar que o aumento populacional acaba por levar ao aumento da resistência do meio e à conseqüente redução populacional. É o que se observa, por exemplo, quando começa a faltar alimento em função do crescimento populacional exagerado.

Fatos como esses mostram que as relações desarmonicas entre os seres vivos, que representam resistência do meio para as espécies prejudicadas, não são desarmonicas em relação ao ecossistema, pois participam da manutenção do equilíbrio ecológico. O predatismo, por exemplo, que representa resistência do meio à espécie predada, beneficia o ecossistema e indiretamente favorece a própria espécie atingida por ele. Se os herbívoros não fossem caçados pelos carnívoros, por exemplo, provavelmente devastariam a vegetação e morreriam de fome.

Nos últimos séculos, principalmente a partir da Revolução Industrial, a população humana entrou em crescimento exponencial (Fig. 5.25), devido ao desenvolvimento tecnológico e científico, que redu-

ziu sensivelmente a resistência ambiental. O economista inglês Thomas Malthus já previa escassez futura de alimento, afirmando que, enquanto a população humana cresce em progressão geométrica, a produção de alimento cresce em progressão aritmética, não havendo, assim, alimento suficiente para todos.

Os efeitos da falta de alimento e os de outras alterações ambientais provocadas pelo ser humano podem tornar-se tão graves que a própria existência humana poderá ficar comprometida. Assim, a humanidade corre sérios riscos de enfrentar, no futuro, uma forte resistência ambiental com graves efeitos.

Isso não significa que devemos ser contra o desenvolvimento tecnológico e científico. Muito pelo contrário. O que precisamos é continuar tendo consciência da importância do planejamento familiar e do respeito ao meio ambiente.

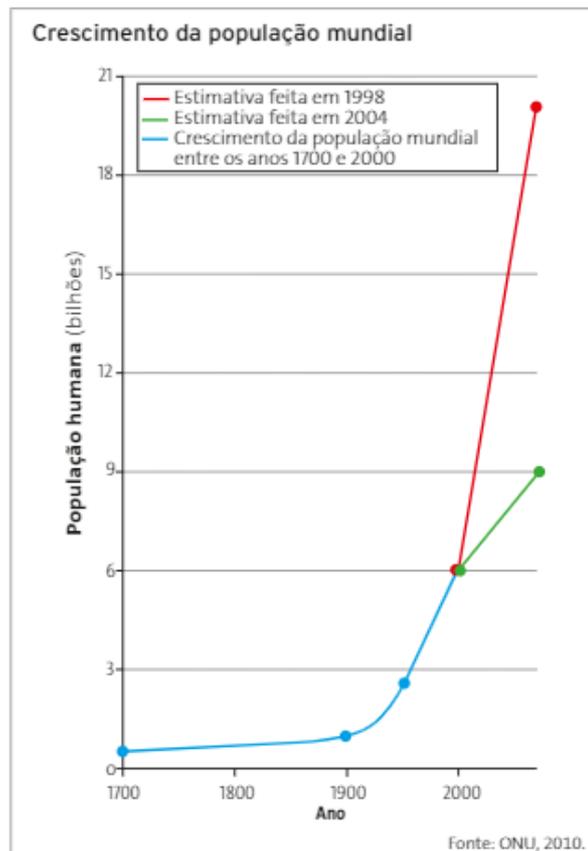


Figura 5.25. O gráfico mostra o crescimento da população humana mundial desde 1700 até 2000. Desse ano em diante, são apresentadas duas projeções feitas pela Organização das Nações Unidas (ONU), uma de 1998 e a outra de 2004. Note que a projeção de 1998 era mais pessimista, pois considerava que o crescimento exponencial continuaria.

## Estrutura etária

A estrutura etária de uma população refere-se à proporção de indivíduos nas várias faixas etárias.

Populações em crescimento têm muitos indivíduos jovens, enquanto populações estáveis apresentam maior equilíbrio entre o número de jovens e o de adultos. Populações em declínio apresentam menor proporção de jovens em relação às demais faixas etárias.

Esses dados podem ser apresentados em gráficos e neles podemos especificar para cada faixa etária a porcentagem de representantes dos sexos feminino e masculino. Observe nos gráficos (Fig. 5.26) que, nos Estados Unidos da América, por exemplo, os indivíduos se distribuem mais uniformemente entre as faixas etárias do que no Senegal.

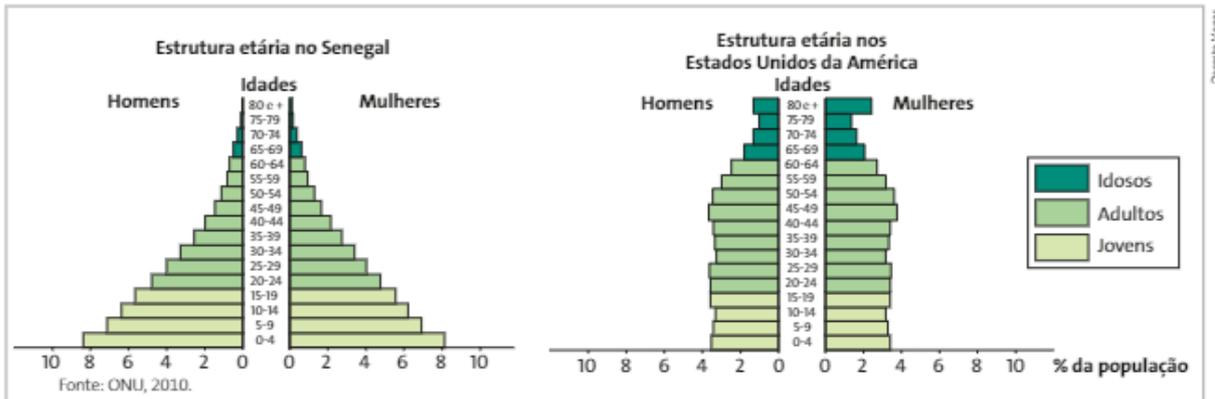


Figura 5.26. Gráficos da estrutura etária das populações do Senegal e dos Estados Unidos da América.

A estrutura etária da população brasileira pode ser encontrada no site do IBGE, em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao/2008/piramide/piramide.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2008/piramide/piramide.shtm)>, acesso em: mar. 2016.

## 4.2. Fatores reguladores do tamanho da população

Embora os fatores abióticos, como a temperatura e a umidade do ar, sejam importantes, vamos deter nossa atenção apenas nos fatores bióticos, entre os quais destacamos os quatro principais: competição intraespecífica, competição interespecífica, predação e parasitismo.

### Competição intraespecífica

A competição intraespecífica determina, basicamente, a densidade da população em certo local. Um exemplo desse tipo de competição é a **territorialidade**, ou seja, disputa por espaço.

A delimitação de um território, ou seja, de um espaço defendido em que indivíduos passam a agir sem a interferência de outros indivíduos dessa população, é um comportamento bem conhecido de muitas espécies de peixes, aves e mamíferos.

Uma forma interessante de territorialidade é a delimitação, por um macho, de um espaço que é defendido por ele contra outros machos da mesma população. Entretanto, nem todos os machos da população conseguem estabelecer o seu território. Assim, os que conseguem isso têm maior probabilidade de atrair fêmeas e se reproduzir (Fig. 5.27)

A territorialidade ajuda, portanto, a evitar a superpopulação, pois determina um espaço mínimo por casal ou por grupo de indivíduos.



Figura 5.27. Os leões-marinhos costumam constituir verdadeiros haréns. Para isso, o macho conquista, delimita e defende um território para o qual arrebanha as fêmeas. No início da organização do harém, os machos lutam entre si pela posse das fêmeas. O vitorioso, geralmente maior e mais forte, torna-se senhor do harém. Essa fotografia mostra um macho (ao fundo) e duas fêmeas de seu harém. Um macho chega a medir 2,4 m de comprimento.

## Competição interespecífica

Anteriormente neste capítulo, comentamos que a competição interespecífica exerce influência sobre a densidade de duas populações com nichos ecológicos muito parecidos. Essa interação pode resultar na especialização do nicho ecológico de uma das populações ou mesmo na sua extinção. Nesse último caso, verifica-se o princípio da exclusão competitiva ou princípio de Gause. Como já vimos, de acordo com esse princípio, duas espécies podem ter o mesmo hábitat, mas não podem ocupar exatamente o mesmo nicho por muito tempo, havendo exclusão de uma delas.

## Predação

A relação entre predador e presa em comunidades estáveis ajuda a estabelecer o equilíbrio entre as populações envolvidas. A população de predadores pode determinar a densidade da população de presas e vice-versa.

Um exemplo clássico de equilíbrio dinâmico de população de presas e respectivos predadores é dado pelas lebres e pelos linces que vivem nas regiões frias do Canadá. A Companhia da Baía de Hudson registrou, de 1845 a 1935, a quantidade de peles desses animais que eram caçados. Observe os dados no gráfico a seguir (Fig. 5.28).

Admitindo-se que o número de animais caçados é proporcional ao tamanho de suas respectivas populações, é possível fazer algumas observações interessantes. À medida que aumenta o número de lebres, aumenta o número de linces, que passam a ter mais alimento. O aumento do número de linces reduz a quantidade de lebres, pois elas serão mais predadas. Quando a população de lebres diminui, a população de linces também diminui, pois há menos alimento disponível. Havendo menos linces, menor número de lebres é predado e essa população aumenta, recomeçando o ciclo. A situação pode tornar-se mais complexa se houver influência de variações na disponibilidade de alimento das presas.

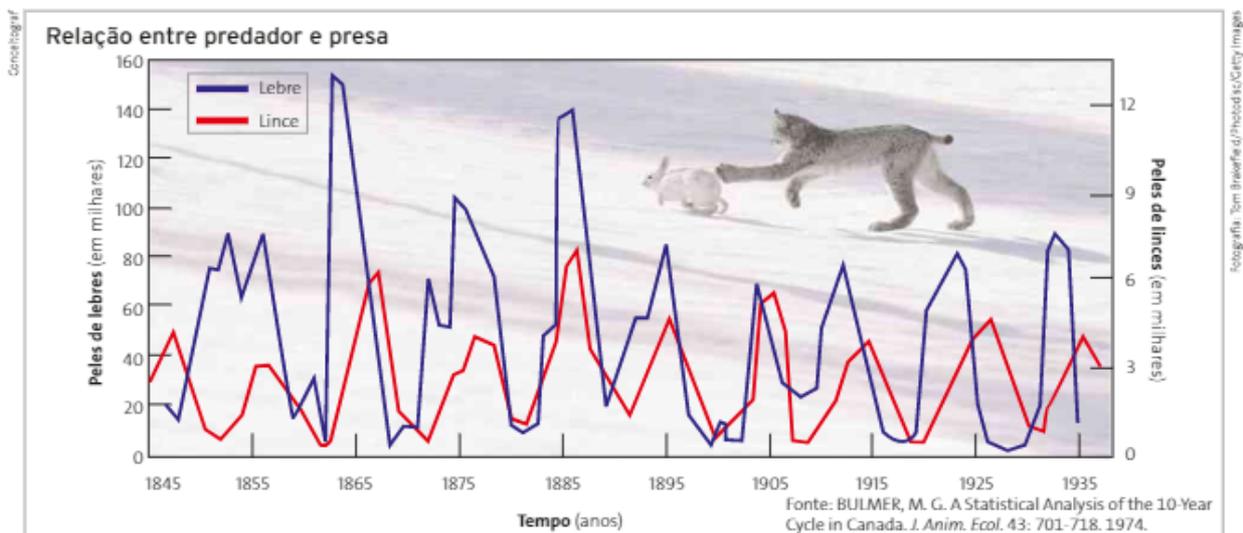


Figura 5.28. Gráfico relacionando as variações no tamanho das populações de lebres e linces em uma região do Canadá ao longo de 90 anos. Na fotografia, vemos um lince capturando uma lebre, que mede cerca de 40 cm de comprimento.



## Colocando em foco

### GRANDES PREDADORES INIBEM DEVASTAÇÃO DO ECOSISTEMA

Poucas coisas inspiram tanto medo na floresta quanto o uivo de um lobo. Soa como um alarme para que alces, veados e bisões busquem refúgio. E sua presença é mesmo imprescindível para garantir a integridade do ecossistema, segundo um estudo publicado [...] na revista *Nature Communications*. Nele, pesquisadores da Universidade de Ontário Ocidental, no Canadá, mostram como o medo despertado por estas espécies inibe a devastação causada por suas presas à vegetação e ao mar, impedindo o desequilíbrio da cadeia alimentar.

Os autores da pesquisa perceberam como a caça promovida pelos guaxinins está contribuindo para o sumiço de aves canoras, caranguejos e algumas espécies de peixes nas ilhas da Colúmbia Britânica, no Canadá. Seu comportamento atrevido é motivado pela ausência de grandes carnívoros, já que lobos e pumas foram dizimados na região há mais de 70 anos.

Para inibir os guaxinins, os cientistas espalharam pelas ilhas alto-falantes com o som dos antigos predadores — alguns comuns, outros raivosos. Foi o suficiente para que os “soberanos” locais diminuíssem significativamente o seu tempo de caça e passeio a céu aberto. O medo repercutiu no ecossistema. As populações de peixes, agora menos perseguidas, voltaram a crescer.

Os seres humanos aniquilaram grandes carnívoros em parte do planeta, levando a consequências ecológicas que somente agora começamos a entender — destaca Justin Suraci, pesquisador canadense e coautor do estudo. [...] Estas espécies diminuem significativamente a diversidade e abundância das plantas e animais que consomem, porque não existe mais aquela criatura maior que os mantinha sob controle.

Suraci revela que a inspiração para sua pesquisa veio de um projeto de reintrodução de lobos no parque americano de Yellowstone, em 1995. [...] [Fig. 5.29]. Ao perceber o estado miserável dos campos da região, a baixa estatura da floresta e o desaparecimento de diversas espécies, os administradores da unidade de conservação enviaram matilhas de lobos para conter a ampla população de alces. Estes herbívoros passaram a evitar locais onde estariam mais expostos, como os vales, possibilitando a regeneração destas áreas. Em alguns trechos, o tamanho das árvores quintuplicou em apenas seis anos, atraindo aves e castores, famosos por criar “represas” em rios, que se transformam em habitat para outros animais, como os patos e diversos anfíbios e répteis. Os ursos apareceram para aproveitarem a carne dos coiotes mortos por lobos. Livres dos antigos predadores, coelhos e ratos saíram da toca, chamando a atenção de águias e raposas.

O solo, agora menos explorado pelos alces, recuperou força e realçou o formato dos rios, que antes pareciam mais divididos e com aparência de fileiras dispersas. A floresta recomposta protegeu as nascentes e cabeceiras.

Comprovamos o projeto de Yellowstone: ao restaurar o medo aos predadores do topo da cadeia alimentar, suas presas vão se alimentar menos, o que beneficia todas as outras espécies — assinala Suraci. [...]

GRANDELLE, Renato. Grandes predadores inibem devastação do ecossistema. *O Globo*. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/grandes-predadores-inibem-devastacao-do-ecossistema-18735300>>. Acesso em: mar. 2016.



Figura 5.29. Os lobos (*Canis lupus*), como o mostrado na fotografia, foram reintroduzidos no Parque Nacional de Yellowstone em 1995 e provocaram diversas mudanças nas populações de outras espécies. Medem cerca de 1,3 m de altura.

## Parasitismo

Os parasitas são, via de regra, mais específicos que os predadores na obtenção de alimento. Enquanto os predadores podem procurar várias outras fontes de alimento quando uma população de presas é reduzida, os parasitas geralmente se instalam apenas em uma ou em algumas espécies.

Essa característica é importante para os estudos feitos atualmente sobre o controle biológico de pragas. O controle por meio de parasitas parece mais adequado, por ser específico. Já um predador empregado como agente controlador pode utilizar-se de outro recurso, provocando alterações nas redes alimentares. É o que aconteceu, por exemplo, com pardais originários da Inglaterra que foram introduzidos em Nova York para controlar uma espécie de lagarta. Como os pardais encontraram vários outros alimentos além dessa espécie de lagarta, espalharam-se pelos Estados Unidos tornando-se praga em alguns lugares.

Outro exemplo é o uso da joaninha *Harmonia axyridis* (Fig 5.30) no controle biológico de insetos parasitas de plantas, conhecidos como pulgões e cochonilhas.

Essa espécie é nativa da Ásia Central e, por ser altamente voraz, foi introduzida em vários países, inclusive no Brasil. Essa joaninha tem a capacidade de colonizar rapidamente grandes áreas e, depois de algum tempo, tornar-se predominante na comunidade, competindo com as espécies nativas de joaninhas, que têm sua população reduzida.

Uma vez estabelecida, a *Harmonia axyridis* dificilmente é erradicada. Portanto, ainda são necessários estudos para se verificar em que situações essa espécie de joaninha poderá ser utilizada como potencial agente de controle biológico e indicar diretrizes para a redução de seus efeitos negativos.

Figura 5.30. A joaninha *Harmonia axyridis* compete por recursos com as espécies de joaninhas nativas do Brasil. Mede cerca de 0,5 cm de comprimento.





## Colocando em foco

### USO DE PARASITAS E PARASITOIDES NO CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico surgiu na década de 1960 como uma alternativa ao uso de agrotóxicos contra diversas pragas, como insetos, ácaros e fungos, em diferentes culturas. Os agentes mais empregados são insetos, ácaros, nematoides, fungos, vírus e bactérias.

No Brasil, alguns dos agentes mais empregados estão na tabela a seguir:

Agente	Praga	Cultura
<i>Cotesia flavipes</i> (vespa)	Broca-da-cana	Cana-de-açúcar
<i>Neoseiulus barkeri</i> (ácaro)	Ácaro-branco e tripes	Hortaliças e fruteiras
<i>Neoseiulus californicus</i> (ácaro)	Ácaro-rajado	Hortaliças e fruteiras
<i>Deladenus siricidicola</i> (verme)	Vespa da madeira	Floresta de pinheiros
<i>Trichoderma harzianum</i> (fungo)	Mofa branco	Soja
<i>Metarhizium anisopliae</i> (fungo)	Cigarrinhas	Cana-de-açúcar
<i>Orius insidiosus</i> (besouro)	Tripos	Hortaliças e fruteiras

Fonte dos dados: VASCONCELOS, Y. Inseto contra inseto. *Revista Pesquisa Fapesp*, 194, maio, 2012. Disponível em: <[http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa\\_195-26.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa_195-26.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.

Os agentes que controlam essas pragas atuam basicamente como parasitas. Porém, há insetos que atuam como **parasitoides**. Nesses casos, os insetos colocam seus ovos no corpo ou nos ovos de outras espécies. Os ovos desses parasitoides desenvolvem-se e matam seus hospedeiros.

É o caso da vespa *Trichogramma galloi* (Fig. 5.31), que inocula seus próprios ovos nos ovos da mariposa conhecida como broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*). Os ovos da vespa desenvolvem-se, mas os da mariposa, não. Em sua forma adulta, a broca é uma mariposa de hábitos noturnos, de cor amarelo-palha (Fig. 5.32) e as fêmeas colocam os ovos nas folhas. É nesse momento que a vespa inocula seus próprios ovos, impedindo o desenvolvimento da lagarta, que é a forma larval da mariposa. São essas lagartas que penetram na cana-de-açúcar, parasitando a planta.

Outro exemplo de parasitoide utilizado como agente regulador de pragas na cultura da cana-de-açúcar é a vespa *Cotesia flavipes*, que também atua contra a broca-da-cana. Essa vespa põe seus ovos diretamente no corpo da lagarta.



^ **Figura 5.31.** Vespa da espécie *Trichogramma galloi* fazendo oviposição nos ovos da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*). Mede cerca de 0,5 cm de comprimento.



^ **Figura 5.32.** Indivíduo adulto da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*). Mede de 2 cm a 3 cm de envergadura.



## Tema para discussão



### Um exemplo real de desequilíbrio ecológico

Na década de 1960, a Organização Mundial da Saúde (OMS) aplicou, por via aérea, verdadeiras nuvens de DDT em extensas áreas da Ilha de Bornéu, localizada no Oceano Pacífico. Com isso, a OMS visava combater os pernilongos que transmitiam a malária, um sério problema de saúde no local.

Inicialmente, os resultados esperados foram alcançados: como os transmissores foram combatidos, houve grande redução no número de casos de malária.

Algum tempo depois, entretanto, dois grandes problemas começaram a surgir na Ilha de Bornéu: houve um surto de ratos, e as casas dos nativos, que eram construídas com palha de coqueiro, começaram a cair.

Depois de muitas investigações, foi constatado que esses problemas estavam relacionados com a aplicação do DDT. Esse inseticida, além de matar os pernilongos, também afetava outros insetos, como abelhas, besouros e baratas. Os que não chegavam a morrer ficavam contaminados pelo DDT e com menor possibilidade de fugir de seus predadores: os lagartos. Ao ingerirem suas presas, os lagartos ficavam contaminados, pois o DDT tem a propriedade de se acumular nos tecidos e ao longo das cadeias alimentares. Esses lagartos ficavam mais

lentos, tornando-se presas fáceis dos gatos, seus predadores. Ao ingerirem os lagartos contaminados, os gatos acabavam morrendo. Com a morte dos gatos, a população de ratos começou a aumentar, pois a quantidade de seus predadores havia diminuído. Instalou-se assim a praga de ratos na ilha, o que fez com que a OMS introduzisse gatos de outros locais para o controle dos ratos.

Ao mesmo tempo, com a redução do número de lagartos, começou a haver a proliferação de outro inseto que era comido pelo lagarto: uma espécie de barata que se alimenta principalmente de palha de coqueiro. As casas dos nativos, construídas com essa palha, começaram a cair, pois as baratas proliferaram excessivamente sem o seu predador. Para resolver esse problema, a OMS precisou levar para a Ilha de Bornéu um tipo de lagarto que controlasse a população desses insetos.

O equilíbrio, enfim, foi restabelecido.

Quem poderia imaginar que uma ação para combater a malária pudesse provocar o surto de ratos e a queda das casas?

O desequilíbrio ecológico pode acarretar o aumento de populações, como a de ratos. >



Thrinacos/Getty Images

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Esse caso é apenas mais um exemplo do que pode ocorrer pela falta de cuidado no manejo do meio ambiente. Represente por meio de um esquema as relações entre os fatos comentados no texto e discuta seu trabalho com os colegas de classe com a coordenação do(a) professor(a).
2. Faça uma pesquisa a respeito de casos de desequilíbrio ecológico no Brasil. Aparecerão muitas situações diferentes em várias regiões do país. Procure identificar um caso que ocorra na cidade onde você mora ou nas proximidades e elabore um texto descritivo explicando como faria para evitá-lo, caso fosse o(a) prefeito(a). Discuta o texto produzido em sala de aula, em um dia organizado pelo(a) professor(a). Escute com atenção as apresentações dos colegas e proponha ideias quando achar adequado.



## Retomando

Como você viu, os seres vivos interagem entre si de inúmeras maneiras, direta ou indiretamente, influenciando a dinâmica das populações, das comunidades e dos ecossistemas. Retorne às questões da seção **Pense nisso** e tente reescrever as suas respostas, adicionando o que aprendeu com o estudo deste capítulo. O que mantém a densidade de uma população praticamente estável? O que pode perturbar esse equilíbrio?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Estrutura etária de uma população Habilidade do Enem: H17.

Nesta atividade você vai construir duas pirâmides etárias, uma para um país em desenvolvimento e outra para um país desenvolvido. Para isso, estude no texto deste capítulo como se constroem gráficos desse tipo.

a) Com base na tabela a seguir, construa as pirâmides etárias dos dois países.

Faixa etária (anos)	País em desenvolvimento		País desenvolvido	
	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres
0-4	10	9	4	4
5-9	7	7	4	4
10-14	6	5	4	4
15-19	4	4	4	4
20-24	3	4	3	3
25-29	3	4	3	3
30-34	4	3	2	3
35-39	3	3	4	4
40-44	2	3	3	3
45-49	2	2	4	4
50-54	2	2	3	3
55-59	1	2	3	3
60-64	1	1	3	3
65-69	1	1	2	2
70-74	1	0	2	2
75-79	0	0	1	1
80-84	0	0	0	1
85+	0	0	0	0

\*Dados elaborados pelos autores.

b) Como pode ser explicada a diferença na forma das duas pirâmides?

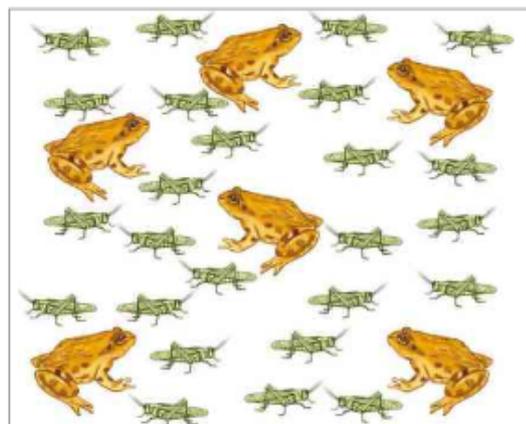
c) Como seria a pirâmide etária referente a um país com população em declínio?

### Atividade 2 Fatores que determinam variações do tamanho populacional Habilidades do Enem: H9, H15, H17.

A figura ao lado representa uma área de  $60 \text{ m}^2$ , na qual vamos considerar duas populações: gafanhotos e sapos.

O estudo do tamanho das populações ao longo do tempo (dinâmica populacional) é essencialmente uma aplicação da Matemática: taxas e funções estão entre os conceitos usados. Esse tipo de abordagem também é usado em Física, quando são trabalhados espaço, tempo, velocidade e aceleração, nos estudos de Cinemática.

- Qual é o tamanho de cada população? E a densidade populacional de cada espécie?
- Suponha que não ocorram imigração, emigração e nascimentos, mas apenas mortes por predação. Se cada sapo comer um gafanhoto a cada 5 dias, qual será a densidade populacional de gafanhotos no final de 10 dias?



Esquema representando uma população de sapos e uma de gafanhotos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

- c) Nas condições do item anterior, qual seria a taxa de mortalidade (em indivíduos por dia)? Quanto tempo levaria para a população de gafanhotos se extinguir?
- d) Imagine outra situação: a mesma taxa de mortalidade, mas introduzindo a imigração de dois gafanhotos por dia. Nesse caso, você diria que a população irá se extinguir ou crescer? Justifique. Qual seria o ritmo de variação do tamanho da população de gafanhotos (em indivíduos por dia)?
- e) Supondo que o ambiente onde estão esses animais só consiga manter uma população de 50 gafanhotos e que, uma vez atingido esse número, cesse a imigração, em quantos dias o tamanho da população irá se estabilizar em torno de 50 indivíduos?

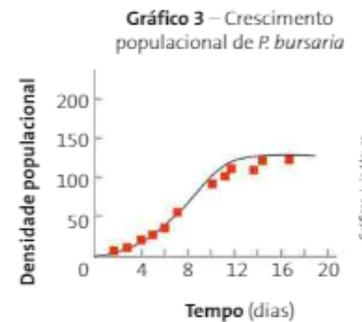
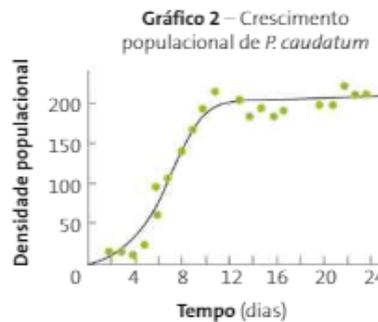
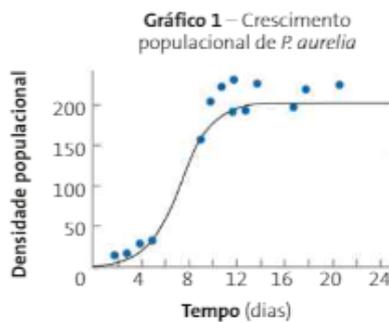
Habilidades do Enem: H14, H15, H16, H19, H28, H29.

### Atividade 3 Reconhecendo tipos de interação a partir de gráficos de crescimento populacional

Nesta atividade, vamos trabalhar com gráficos que representam a variação do tamanho de populações de espécies envolvidas em interações bióticas.

São apresentados a seguir gráficos referentes a populações de três espécies de protozoários ciliados de água doce, todas do gênero *Paramecium*: *P. aurelia*, *P. caudatum* e *P. bursaria*, mantidas em diversas condições. Sabe-se que as populações crescem até atingir a capacidade de suporte do ambiente, que é o número máximo de indivíduos de cada população que o ambiente pode suportar. Por esse motivo, muitas populações vão desacelerando seu crescimento até estabilizarem seu tamanho na medida em que a capacidade de suporte vai sendo atingida. Em alguns casos, uma vez atingido o limite, a população pode declinar até quase a extinção.

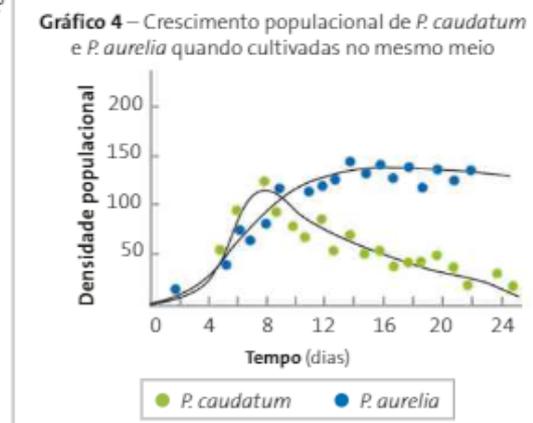
Analise os gráficos 1 a 3 e responda às questões:



Gráficos de crescimento populacional em paramécios.

Fonte: BEGON et al. *Ecology*. 3. ed. 1996.

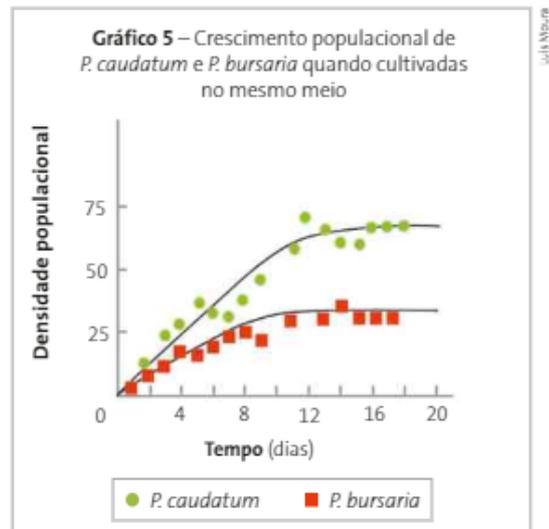
- a) Os gráficos apresentados referem-se ao crescimento das populações das três espécies de paramécios quando cultivadas em separado. Qual é, aproximadamente, a capacidade de suporte do meio para as culturas dessas espécies (em número de indivíduos)?
- b) Além da diferença nos tamanhos máximos das populações, também há uma diferença nas taxas de crescimento. Qual é a espécie com menor taxa de crescimento? Que característica da curva você observou para chegar a essa conclusão?
- c) Agora, observe o gráfico 4, que descreve as variações de tamanho populacional de *P. caudatum* e *P. aurelia* cultivadas juntas, no mesmo meio. Alguma das populações atinge o tamanho que atingiria se estivesse separada da outra? Como você explicaria isso em termos da capacidade de suporte? Que tipo de interação interespecífica você acha que acontece entre as duas espécies? Justifique.



Fonte: BEGON et al. *Ecology*. 3. ed. 1996.

Crescimento populacional em *P. caudatum* e *P. aurelia*.

- d) Descreva o que acontece com as duas populações, ao longo do tempo, no experimento representado pelo gráfico 4. Qual é o princípio ecológico que está sendo evidenciado nesse caso?
- e) Das duas espécies mencionadas no item c, qual você consideraria como competidor mais forte? Justifique.
- f) Qual tipo de interação revela o gráfico 5? Justifique.
- g) Sabendo que *P. caudatum* se alimenta de bactérias em suspensão no meio líquido, enquanto *P. bursaria* come células de levedo no fundo do recipiente de cultura, que hipótese você levantaria para explicar a coexistência das duas espécies em um meio com os dois tipos de alimento, aparentemente contrariando o princípio da exclusão?



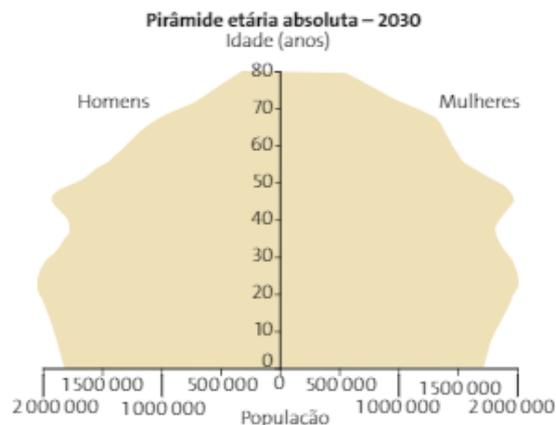
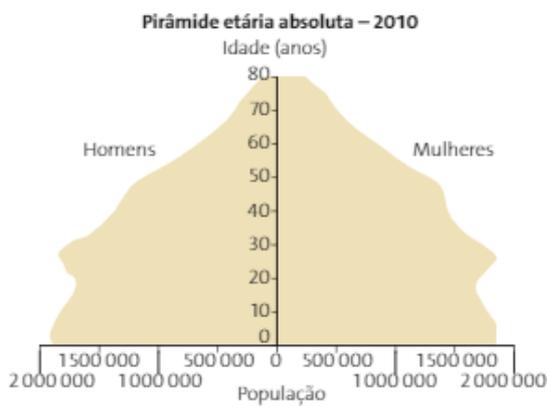
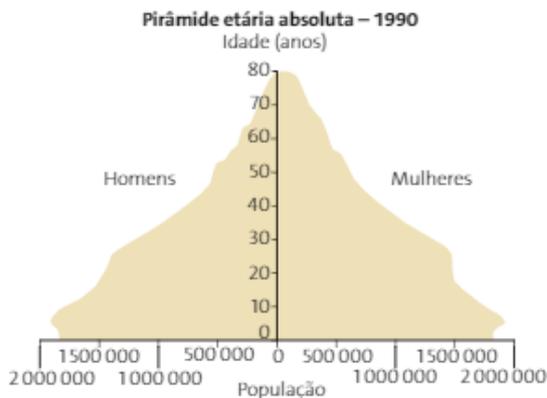
▲ Crescimento populacional em *P. caudatum* e *P. bursaria*.



## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

(Enem) Os gráficos abaixo, extraídos do *site* do IBGE, apresentam a distribuição da população brasileira por sexo e faixa etária no ano de 1990 e projeções dessa população para 2010 e 2030.



- A partir da comparação da pirâmide etária relativa a 1990 com as projeções para 2030 e considerando-se os processos de formação socioeconômica da população brasileira, é correto afirmar que:
  - a expectativa de vida do brasileiro tende a aumentar na medida em que melhoram as condições de vida da população.
  - a população do país tende a diminuir na medida em que a taxa de mortalidade diminui.
  - a taxa de mortalidade infantil tende a aumentar na medida em que aumenta o índice de desenvolvimento humano.

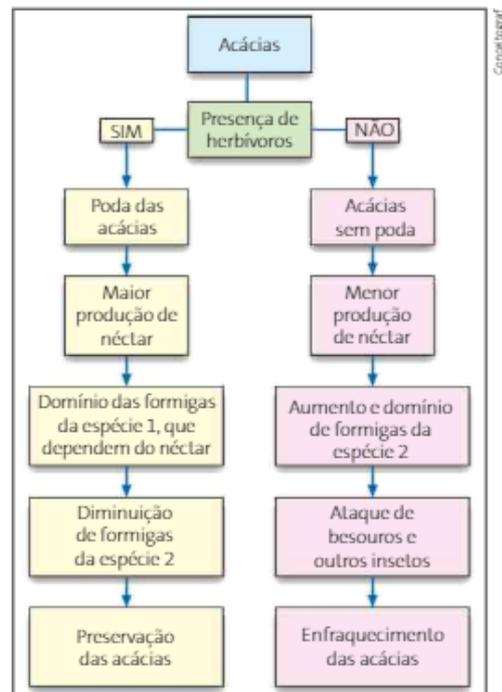
- d) a necessidade de investimentos no setor de saúde tende a diminuir na medida em que aumenta a população idosa.
- e) o nível de instrução da população tende a diminuir na medida em que diminui a população.
2. Se for confirmada a tendência apresentada nos gráficos relativos à pirâmide etária, em 2050,
- a população brasileira com 80 anos de idade será composta por mais homens que mulheres.
  - a maioria da população brasileira terá menos de 25 anos de idade.
  - a população brasileira do sexo feminino será inferior a 2 milhões.
  - a população brasileira com mais de 40 anos de idade será maior que em 2030.
  - a população brasileira será inferior à população de 2010.
3. Se forem confirmadas as projeções apresentadas, a população brasileira com até 80 anos de idade será, em 2030,
- menor que 170 milhões de habitantes.
  - maior que 170 milhões e menor que 210 milhões de habitantes.
  - maior que 210 milhões e menor que 290 milhões de habitantes.
  - maior que 290 milhões e menor que 370 milhões de habitantes.
  - maior que 370 milhões de habitantes.
4. (Enem) "Um estudo recente feito no Pantanal dá uma boa ideia de como o equilíbrio entre as espécies, na natureza, é um verdadeiro quebra-cabeça. As peças do quebra-cabeça são o tucano-toco, a arara-azul e o manduvi. O tucano-toco é o único pássaro que consegue abrir o fruto e engolir a semente do manduvi, sendo, assim, o principal dispersor de suas sementes. O manduvi, por sua vez, é uma das poucas árvores onde as araras-azuis fazem seus ninhos. Até aqui, tudo parece bem encaixado, mas... é justamente o tucano-toco o maior predador de ovos de arara-azul — mais da metade dos ovos das araras são predados pelos tucanos. Então, ficamos na seguinte encruzilhada: se não há tucanos-toco, os manduvis se extinguem, pois não há dispersão de suas sementes e não surgem novos manduvinhos, e isso afeta as araras-azuis, que não têm onde fazer seus ninhos. Se, por outro lado, há muitos tucanos-toco, eles dispersam as

sementes dos manduvis, e as araras-azuis têm muito lugar para fazer seus ninhos, mas seus ovos são muito predados."

Fonte: <<http://oglobo.globo.com>>.

De acordo com a situação descrita,

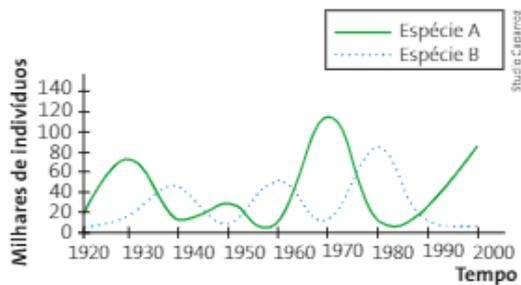
- o manduvi depende diretamente tanto do tucano-toco como da arara-azul para sua sobrevivência.
  - o tucano-toco, depois de engolir sementes de manduvi, digere-as e torna-as inviáveis.
  - a conservação da arara-azul exige a redução da população de manduvis e o aumento da população de tucanos-toco.
  - a conservação das araras-azuis depende também da conservação dos tucanos-toco, apesar de estes serem predadores daquelas.
  - a derrubada de manduvis em decorrência do desmatamento diminui a disponibilidade de locais para os tucanos fazerem seus ninhos.
5. (Enem) Um grupo de ecólogos esperava encontrar aumento de tamanho das acácias, árvores preferidas de grandes mamíferos herbívoros africanos, como girafas e elefantes, já que a área estudada era cercada para evitar a entrada desses herbívoros. Para espanto dos cientistas, as acácias pareciam menos viçosas, o que os levou a compará-las com outras de duas áreas de savana: uma área na qual os herbívoros circulam livremente e fazem podas regulares nas acácias, e outra de onde eles foram retirados há 15 anos. O esquema a seguir mostra os resultados observados nessas duas áreas.



De acordo com as informações citadas,

- a) a presença de populações de grandes mamíferos herbívoros provoca o declínio das acácias.
- b) os hábitos de alimentação constituem um padrão de comportamento que os herbívoros aprendem pelo uso, mas que esquecem pelo desuso.
- x c) as formigas da espécie 1 e as acácias mantêm uma relação benéfica para ambas.
- d) os besouros e as formigas da espécie 2 contribuem para a sobrevivência das acácias.
- e) a relação entre os animais herbívoros, as formigas e as acácias é a mesma que ocorre entre qualquer predador e sua presa.

6. (Fuvest-SP)



Que tipo de interação biológica pode ser representado pelo gráfico?

- x a) Predação.
  - b) Protocooperação.
  - c) Inquilinismo.
  - d) Mutualismo.
  - e) Comensalismo.
7. (UFSE) As proposições a seguir referem-se a conceitos de ecologia.



- x (0) O esquema acima representa as relações tróficas de um ecossistema terrestre. Nele, somente o gavião ocupa dois níveis tróficos.
- x (1) Na teia alimentar acima representada, a relação ecológica existente entre o camundongo e o preá é a competição.
- x (2) A destruição generalizada de florestas tropicais afeta ecossistemas distantes da floresta, uma vez que as florestas tropicais ajudam a regular o clima e a ciclagem de nutrientes em escala global.

- x (3) O fitoplâncton, pequenos organismos fotossintetizantes que habitam a zona fótica da zona pelágica, fornece a maioria do alimento para a vida nos oceanos.
- (4) Quanto maior for o grau de adaptação das espécies a uma determinada condição ambiental, mais equipada ela estará para sobreviver e reproduzir-se quando as condições ambientais apresentarem problemas para os quais a espécie não está adaptada.

Resposta: 6 (0 + 1 + 2 + 3)

8. (UFPR) Bromélias, orquídeas e ervas-de-passarinho são plantas que habitam as árvores. As primeiras (bromélias e orquídeas) são plantas que de fato apenas habitam as árvores, não retirando do hospedeiro recurso algum, tais como água e nutrientes minerais ou orgânicos. As últimas (ervas-de-passarinho), no entanto, são plantas que fazem fotossíntese, mas tiram, através de suas raízes, água e nutrientes minerais do seu hospedeiro. Sobre esses dois exemplos de relações entre organismos, é correto afirmar:

- v  Ambos os casos tratam de relações ecológicas interespecíficas, já que as partes envolvidas pertencem a espécies diferentes.
- F  Duas espécies de plantas não são capazes de estabelecer uma relação ecológica, tendo em vista que plantas não se deslocam e, portanto, não interagem. Relações ecológicas ocorrem sempre entre animais ou entre animais e plantas.
- v  As bromélias e as orquídeas são plantas epífitas e utilizam o hospedeiro apenas como suporte. Dessa forma, elas não causam dano ao hospedeiro, à exceção de possíveis quebras devido ao seu peso, quando presentes em grande quantidade.
- v  As ervas-de-passarinho são plantas parasitas, explorando recursos retirados do hospedeiro. Dessa forma, elas causam dano ao hospedeiro, já que este perderá recursos importantes que poderiam ser utilizados para o seu crescimento ou reprodução.
- F  A relação das bromélias e orquídeas com seu hospedeiro é do tipo "mutualismo", visto que ambas as partes (epífitas e hospedeiro) beneficiam-se dessa relação.
- v  As relações ecológicas têm uma importância muito grande na manutenção da biodiversidade. Ambientes com representantes que interagem através de relações ecológicas complexas têm mais nichos a serem explorados e, portanto, maior riqueza de espécies.

## CAPÍTULO

## 6

## Alterações ambientais

Daniela Duncan/Getty Images



**Figura 6.1.** Esta fotografia de um lixão ilustra um exemplo preocupante do descaso com o ambiente. Ela evidencia também a enorme quantidade de sacos plásticos usados para envolver o lixo. A degradação desse material plástico é muito lenta. Hoje em dia, é comum o uso de sacolas retornáveis – as chamadas *ecobags* – no lugar das sacolas plásticas para as compras do dia a dia. Já parou para pensar quantas embalagens plásticas deixariam de ser gastas por dia, no seu bairro e na sua cidade, se todos adotassem as *ecobags*?



## Pense nisso

- Que outras medidas simples poderiam minimizar os impactos do lixo no ambiente? Por que o lixo é tão prejudicial?
- Você conhece algum caso em que tenha ocorrido quebra do equilíbrio ambiental na região onde você mora? Explique.
- Na cidade onde você mora há sistema de coleta e tratamento do lixo? E sistema de tratamento de esgoto? Como isso é feito? Por que saber disso é importante para você?
- Você conhece alguma espécie da fauna da região onde você mora que esteja em risco de extinção? Qual?
- Imagine que alguns representantes de uma espécie de caracol que não habita determinada região tenham sido trazidos e deixados livres na natureza. Quais seriam as consequências que a introdução dessa espécie poderia trazer para o ambiente?

# 1. Introdução

Em qualquer ecossistema, todos os componentes, vivos ou não vivos, mantêm equilíbrio entre si, podendo-se falar em **equilíbrio ambiental**. Tanto um organismo como um ecossistema em seu todo têm o poder de se adaptar a pequenas alterações, restabelecendo o equilíbrio. No entanto, modificações bruscas ou violentas normalmente não são compensadas em prazos razoáveis, impondo quebra duradoura do equilíbrio, com reflexos danosos para a saúde do organismo ou de todo o ecossistema.

Por motivos didáticos, analisaremos separadamente as alterações bióticas e as abióticas responsáveis pela quebra do equilíbrio ambiental, mas é importante lembrar que, nos ecossistemas, fatores bióticos e abióticos estão em constante interação.

## 2. Alterações bióticas

Entre as alterações bióticas que podem provocar desequilíbrio em um ecossistema destacam-se a **introdução de espécies** e a **eliminação** ou **extinção de espécies**.

### 2.1. Introdução de espécies

Quando uma espécie exótica (que se instala em locais onde não é naturalmente encontrada) é introduzida em um ecossistema, é difícil prever as consequências. Uma possibilidade é que a espécie exótica seja mais eficiente do que as espécies nativas na utilização dos recursos do ambiente. A disponibilidade dos recursos que estariam destinados às espécies nativas diminui e, como consequência disso, há redução da abundância dessas espécies. Isso caracteriza um desequilíbrio ecológico. A situação se agrava quando a espécie introduzida não tem predadores naturais no novo ambiente, o que acelera muito seu crescimento populacional.

Existem vários casos de introdução de espécies no Brasil e no mundo, com consequências danosas ao meio.



## Colocando em foco

### O CARAMUJO GIGANTE AFRICANO

O caramujo gigante africano *Achatina fulica* (Fig. 6.2) é nativo da África e foi introduzido no Brasil na década de 1980 como uma alternativa ao consumo de *escargot*. Sem aceitação no mercado, porém, os caramujos foram soltos no ambiente, onde encontraram condições ideais para se reproduzir devido ao clima e à ausência de predadores. Hoje são considerados pragas em várias regiões do país e combatidos, muitas vezes, de modo indiscriminado, o que tem colocado em risco as populações de espécies nativas semelhantes a eles e que acabam confundidas com o *Achatina*, como é o caso do *Megalobulimus* sp. Leia mais sobre o assunto no texto a seguir.

### Impactos no meio ambiente

O caramujo africano invasor *Achatina fulica* foi introduzido no Brasil a partir de estados do Sul e Sudeste em pelo menos três ocasiões. [...] Populações densas dessa espécie vêm causando incômodos à populações humanas, danos a jardins e pequenas plantações, além de atuarem como transmissoras de duas zoonoses (angiostrongilíase abdominal e meningoencefalite eosinofílica) e outras parasitoses de interesse veterinário. [...]

Atualmente, o Brasil vive a fase explosiva da invasão de *Achatina fulica*, estando presente em 24 dos 26 estados brasileiros (sem registro apenas no Acre e Amapá) e no Distrito Federal [...].



Figura 6.2. Fotografia do caramujo gigante africano. A concha mede cerca de 8 cm de comprimento.

A *Achatina fulica* pode ainda atuar como praga agrícola ou levar à perda da biodiversidade local [...], em razão do seu potencial competitivo, predatório [...], ou de transmissão de doenças para animais selvagens [...]. Recentemente, [pesquisadores] relataram impactos à biodiversidade causados pela infestação de *Achatina fulica*, tanto decorrentes da competição por espaço e alimento com os moluscos nativos, quanto pela interferência na cadeia alimentar.

ZANOL, J. et. al. O caramujo exótico invasor *Achatina fulica* (Stylommatophora, Mollusca) no Estado do Rio de Janeiro (Brasil): situação atual. *Biota Neotropica*, 2010. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n3/pt/fullpaper?bn00610032010+pt>>. Acesso em: mar. 2016.

## 2.2. Extinção de espécies

As espécies podem extinguir-se por processos que não dependem da atividade humana ou ser extintas em decorrência dela.

As extinções sempre ocorreram, mesmo antes da evolução da espécie humana, e continuarão ocorrendo, já que são resultado das constantes modificações dos ecossistemas e da seleção adaptativa. Provas evidentes da existência, no passado, de organismos atualmente extintos são os **fósseis**.

Quanto à ação humana contribuindo para a extinção de espécies, merecem ênfase o desmatamento e a caça indiscriminada e criminosa de diversos animais, principalmente daqueles que já encontram grande resistência do meio e apresentam baixo potencial biótico. Baleias e peixe-boi (Fig. 6.3) são exemplos de animais que vivem diante desses problemas.

A ação educativa faz-se necessária, aliada à ação fiscalizadora e punitiva. Não se pode permitir que o número de representantes de uma espécie atinja seu limiar, abaixo do qual não há mais poder de recuperação, e a espécie se extinga. Esse número mínimo de representantes varia de uma espécie para outra, pois depende de diferentes fatores, sempre relacionados com a resistência do meio, o potencial biótico e a variabilidade genética dentro da população.

As principais medidas legais de ordem geral que visam à proteção dos animais proíbem sua captura, pesca ou caça em época de reprodução, sua exportação e, em alguns casos, a caça em qualquer época. Um exemplo típico em relação à época de reprodução é a proibição legal da pesca durante a piracema, período em que os peixes sobem os rios para se reproduzir. A preservação dos habitats também é essencial para proteger suas espécies de modo geral, incluindo as mais ameaçadas de extinção.



^ **Figura 6.3.** Fotografia de um dos tanques de água do mar (oceanários) da base do Projeto Peixe-boi, na ilha de Itamaracá (PE). Eles foram construídos entre 1991 e 2000 e são uma das principais atrações do estado. Esse projeto visa à preservação da espécie. Um peixe-boi mede cerca de 2 m de comprimento.



## Colocando em foco

### LISTAS VERMELHAS

A União Internacional pela Conservação da Natureza (IUCN) é a maior organização ambiental internacional, atuando fortemente na conservação da biodiversidade ao redor do mundo. Ela é responsável, por exemplo, pelas **Listas Vermelhas**, que classificam plantas e animais de acordo com seus riscos de extinção. Para que essas listas sejam elaboradas, é necessário o esforço conjunto de milhares de pesquisadores de vários países, especializados nos mais diversos grupos de seres vivos. Abaixo, seguem alguns dos critérios, determinados pela IUCN, nos quais os pesquisadores se baseiam para determinar se a espécie está muito ou pouco ameaçada:

- **Indivíduos maduros:** refere-se ao número de indivíduos conhecido, estimado ou inferido, com capacidade de reproduzir-se.
- **População e tamanho da população:** número total de indivíduos da população. Por razões funcionais, principalmente em razão das diferenças entre as formas de vida, o tamanho da população se mede apenas com o número de indivíduos maduros.
- **Subpopulações:** grupos da população que estão separados geograficamente ou por outros fatores, dentre os quais o baixo intercâmbio genético ou demográfico.
- **Flutuações extremas:** pode-se dizer que flutuações extremas estão ocorrendo em certos táxons quando o tamanho da população ou a área de distribuição varia de forma muito ampla, rápida e frequente.
- **Localidade:** define uma área distinta geográfica ou ecologicamente, na qual apenas um evento pode afetar drasticamente todos os indivíduos da população nela presentes.

Fonte dos dados: Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Disponível em: <[www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/livro-vermelho/volumel/vol\\_1\\_parte2.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/livro-vermelho/volumel/vol_1_parte2.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.

## 3. Poluição dos ecossistemas

Toda e qualquer contaminação do ar, da água ou do solo por quantidades indesejáveis de matéria ou energia, prejudicando a vida, é considerada **poluição ambiental**. Vamos falar da poluição causada por liberação de energia ou de matéria no ambiente.

A poluição gerada pela liberação de energia, como luz, calor e som, é particularmente grave para o ser humano e geralmente observada nas grandes cidades. Afeta principalmente a saúde mental, pois causa irritação, nervosismo, fadiga e outros sintomas relacionados aos órgãos do sistema nervoso e aos órgãos dos sentidos.

### 3.1. Poluição sonora

O barulho ou o alto volume de aparelhos de som ou outros aparelhos produz o que chamamos poluição sonora. A curto e a médio prazos, esse tipo de poluição provoca irritação nas pessoas, determinando alterações de comportamento; a longo prazo, provoca diminuição da audição e até surdez. Por esse motivo, danceterias estadunidenses, por exemplo, estão sendo obrigadas a afixar em seus ambientes internos o seguinte aviso: “Aqui você está sujeito à surdez”.

Em certas fábricas, o problema da poluição sonora é tão grave que os funcionários precisam usar protetores auriculares para operar máquinas barulhentas. Se não se protegerem, podem ficar surdos em curto intervalo de tempo.

### 3.2. Poluição por eutroficação

O termo eutroficação deriva de **eutrófico** (*eu* = verdadeiro; *trophein* = nutrir), que significa “bem nutrido”.

A eutroficação pode ser natural ou provocada por resíduos urbanos, industriais ou agrícolas.

O lançamento de esgoto doméstico diretamente nos rios sem tratamento adequado é uma das principais causas de eutroficação e tem sido responsável pela destruição da fauna e da flora de muitos rios que banham as grandes cidades.

O lançamento de dejetos humanos no meio ambiente traz outra preocupação em termos de saúde, pois contribui para a propagação de várias doenças, como as causadas por certos vermes, amebas, bactérias e vírus.

A **figura 6.4** a seguir resume os principais processos que ocorrem na eutroficação em um lago.

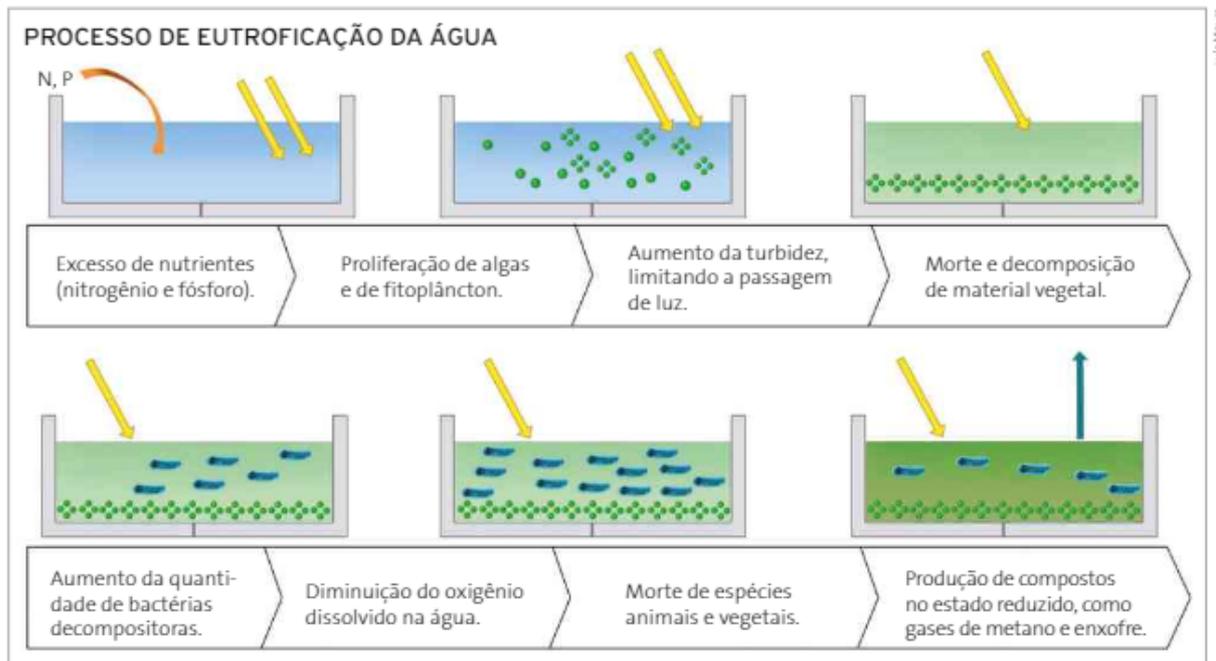


Figura 6.4. A eutroficação envolve uma série de processos que irão produzir desequilíbrio ecológico. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A eutroficação envolve várias etapas, que são explicitadas na imagem acima. São elas: 1) introdução de material rico em nitrogênio e fósforo no ambiente; 2) proliferação de algas diversas e de fitoplâncton tanto no fundo quanto na massa d'água; 3) aumento da turbidez, bloqueando a luz e fazendo com que a fotossíntese fique restrita apenas à lâmina mais superficial de água; 4) ao morrer, a matéria vegetal decanta e acumula-se no fundo do ambiente aquático; 5) crescimento da população de bactérias heterotróficas, favorecendo a decomposição aeróbica dos detritos; 6) consumo de gás oxigênio pelas bactérias, reduzindo o teor desse gás dissolvido na água; 7) morte dos organismos aeróbicos (insetos, crustáceos, peixes etc.), cuja decomposição consome gás oxigênio e agrava o problema da ausência desse gás (anoxia); 8) aparecimento, no meio anóxico, de compostos reduzidos e gases tóxicos como o metano e os compostos de enxofre.

### 3.3. Poluição térmica

O aumento da temperatura da água, provocando alteração no meio, é denominado poluição térmica. Em certos lagos e mares, o aumento da temperatura deve-se principalmente à ação de usinas elétricas e atômicas, pelo uso de sistemas de resfriamento dos reatores durante a geração de energia. Quando em equilíbrio em certo ambiente, as populações têm seu bom desempenho dentro da faixa normal de variação dos fatores ambientais, entre eles a temperatura. A isso,

se acresce o fato de que a tolerância de certas espécies a variações além dessa faixa pode ser maior do que de outras.

A poluição térmica desloca a temperatura do meio, interferindo no sucesso de cada espécie em relação às demais. Com isso, as abundâncias das diversas populações da comunidade se alteram, caracterizando o desequilíbrio ecológico. Em cenários mais graves, podem ocorrer extinções de populações, acompanhadas ou não pela colonização do local por novas espécies. A elevação da temperatura propicia, além disso, o desenvolvimento de fungos e bactérias, muitos dos quais causam doenças em alguns organismos, aumentando suas taxas de mortalidade.

Outro importante efeito do aumento da temperatura é a diminuição do teor de  $O_2$  dissolvido na água (quanto mais quente, mais  $O_2$  é perdido para o ar). Com isso, os organismos que dependem do gás oxigênio para respiração não conseguem sobreviver.

### 3.4. Poluição do ar

A poluição do ar pode ser causada pelo aumento da quantidade de gás carbônico, que acentua o efeito estufa causando o aquecimento global, pela introdução de partículas que ficam em suspensão no ar e pela introdução de outros gases poluentes. Entre esses, merecem destaque monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e hidrocarbonetos, como o metano ( $CH_4$ ).

Um dos principais agentes poluidores da atmosfera é o motor a explosão dos veículos automotores. Quando a queima do combustível é completa, libera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mas a combustão incompleta libera monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e fuligem.

O monóxido de carbono é um gás extremamente perigoso, inodoro, que se mistura ao ar e acaba sendo inspirado também. Ao passar para o sangue, associa-se à hemoglobina, pigmento vermelho do sangue e principal responsável pelo transporte de oxigênio em nosso corpo. A união do  $\text{CO}$  com a hemoglobina, no entanto, forma um composto relativamente estável: a **carboxi-hemoglobina**. A hemoglobina, associada ao monóxido de carbono, não pode transportar oxigênio, causando um tipo de asfixia que pode comprometer a vida. É sempre necessário extremo cuidado com os gases liberados por veículos parados com o motor em funcionamento em garagens, túneis e outros lugares onde a ventilação é limitada (Fig. 6.5).



Figura 6.5. Em túneis longos há necessidade de ventiladores para movimentação do ar, reduzindo os efeitos do monóxido de carbono. Na fotografia, túnel na Rodovia dos Imigrantes, em São Paulo, 2012.

Os motores a explosão não são os únicos agentes poluidores da atmosfera. Indústrias siderúrgicas e queimadas de florestas também são importantes fontes de poluentes.

As combustões incompletas de alguns combustíveis podem produzir, além do monóxido de carbono, alguns hidrocarbonetos gasosos e óxidos de nitrogênio. Esses dois subprodutos combinam-se na atmosfera em presença de luz solar, produzindo outras substâncias mais tóxicas: o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o nitrato peroxiacetilico (PAN). Essas duas substâncias provocam nos humanos desconforto respiratório e irritação nos olhos, seguida de lacrimejamento.

O excesso de  $\text{O}_3$  determina aumento na taxa respiratória das plantas, que acabam morrendo por consumir desnecessariamente a glicose armazenada. Além disso, o PAN inibe a fotossíntese, causando a morte da planta, uma vez que ela não pode mais sintetizar seus

alimentos. Certas variedades de plantas são muito sensíveis a esses fatores, e seu cultivo não tem sido mais possível em áreas próximas a grandes cidades.

Além da gasolina, a queima de outro derivado do petróleo, o óleo diesel, e a queima do carvão mineral pelas indústrias também liberam produtos tóxicos na atmosfera. É o caso do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e do dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), gases que causam distúrbios respiratórios no ser humano, como bronquite e asma. Esses gases reagem com o vapor-d'água da atmosfera, originando, respectivamente, ácido sulfúrico e ácido nítrico, que chegam à superfície sob a forma da chamada **chuva ácida**. Essa chuva pode provocar acidentes ecológicos graves, como destruição da vegetação (Fig. 6.6) e contaminação de solos e águas. O aumento da acidez da água de certos lagos, por exemplo, tem causado grande mortalidade de peixes. Além disso, a chuva ácida pode destruir monumentos, mármore, grades metálicas e carrocerias de carros.



Figura 6.6. Fotografia tirada na República Tcheca mostrando árvores mortas pela chuva ácida.

As partículas sólidas em suspensão no ar, da mesma forma que os gases componentes da atmosfera e os poluidores, são levadas pelas **correntes de convecção** para as camadas mais altas da atmosfera, por onde se dissipam. Esse processo diminui a poluição atmosférica local e reduz seus efeitos.

## Inversão térmica

A troposfera torna-se cada vez mais fria à medida que aumenta a altitude (Fig. 6.7). No entanto, uma massa de ar quente pode penetrar na camada mais fria. Quando isso acontece, as correntes de convecção tornam-se fracas e incapazes de dispersar o ar, e com ele as substâncias poluidoras. Então, a atmosfera próxima ao solo torna-se densa, escura e imprópria à vida normal e saudável. Esse processo, caracterizado pela presença de uma massa de ar quente onde normalmente a atmosfera é fria, é conhecido por **inversão térmica** (Fig. 6.8).

A inversão térmica é particularmente grave em cidades industriais, pois aprisiona grande quantidade de poluentes no ar que a população respira.

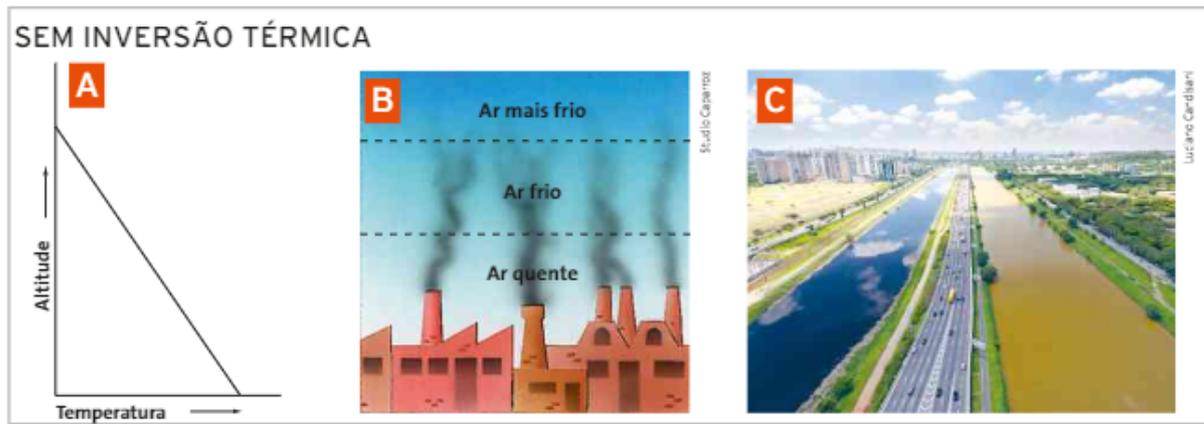


Figura 6.7. Características da atmosfera na ausência de inversão térmica: em A, gráfico da temperatura da atmosfera em função da altitude; em B, esquema de área industrializada; e em C, fotografia de parte da cidade de São Paulo em um dia sem inversão térmica. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Figura 6.8. Características da atmosfera com inversão térmica: em A, gráfico da temperatura da atmosfera em função da altitude; em B, esquema de área industrializada; e em C, fotografia de parte da cidade de São Paulo em um dia com inversão térmica. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

### 3.5. Aquecimento global

A temperatura média do planeta Terra está aumentando nas últimas décadas: fala-se atualmente em aquecimento global. Ainda há discordâncias a respeito das causas desse fenômeno. De um lado, uma corrente defende que esse aumento na temperatura média tem causas naturais. De outro, há defensores de que ações humanas têm influência sobre o aquecimento do planeta, principalmente em função do aumento do consumo de combustíveis fósseis e de queimadas, o que aumenta o teor de gás carbônico na atmosfera. Esta última é a corrente mais aceita pela maioria dos pesquisadores da área.

Em 2015, a concentração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera ultrapassou pela primeira vez (nos últimos milhões de anos) a marca de 400 partes por milhão (ppm) em escala global. Essa marca é vista por muitas pessoas como um limite emblemático do

fracasso dos esforços globais em controlar as emissões desse gás na atmosfera, tido como o principal responsável pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Antes da Revolução Industrial, no século XVIII, a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera era de aproximadamente 280 ppm.

Além do  $\text{CO}_2$ , o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é outra preocupação nos processos de intensificação do efeito estufa. Isso porque ele é 20 vezes mais potente na retenção de energia térmica do que o gás carbônico. Nos últimos 200 anos, a proporção de metano na atmosfera mais que dobrou. O  $\text{CH}_4$  é liberado nos processos de decomposição de materiais orgânicos nos pântanos e charcos, em vazamento de gasodutos, durante a mineração de carvão, no derretimento do *permafrost* na Sibéria, na irrigação agrícola e por bovinos.

As potenciais consequências do aquecimento global são muitas e algumas delas estão resumidas no quadro a seguir (Fig. 6.9).

## SINAIS DO AQUECIMENTO GLOBAL

### Derretimento da banquisa Ártica

#### Desaparecimento da calota glacial em 20-30 anos

Cientistas concluíram que nos últimos 20 anos as geleiras da Groenlândia perderam, em média, 152 bilhões de toneladas de gelo por ano.

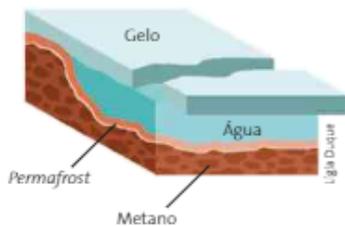
O derretimento das calotas expõe o solo e a água do mar, que absorvem mais calor, acelerando o aquecimento e o derretimento das geleiras locais.

-  Menor extensão de gelo em setembro de 1982
-  Menor extensão de gelo em setembro de 2007

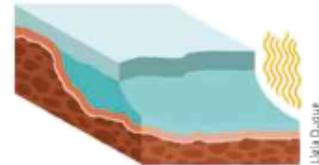


### Liberação do metano do permafrost siberiano

A pressão e as baixas temperaturas mantêm o metano preso sob o permafrost (solo constantemente congelado).



A água do mar, quando aquecida, aumenta a temperatura do permafrost, possibilitando a liberação do metano, que se difunde na água e é liberado na atmosfera. Esse gás tem efeito estufa 20 vezes mais potente que o gás carbônico.

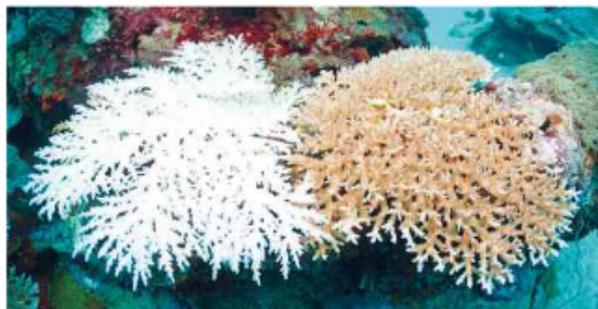


### Acidificação dos oceanos pelo aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> na água

A acidificação da água causa a morte dos corais e de suas fontes alimentares, como o plâncton. Diminui também a capacidade do fitoplâncton de realizar fotossíntese, ou seja, de absorver o CO<sub>2</sub>.

#### Aumento do nível do mar

O aumento de um metro no nível do mar significaria cerca de 120 milhões de pessoas desabrigadas no mundo.



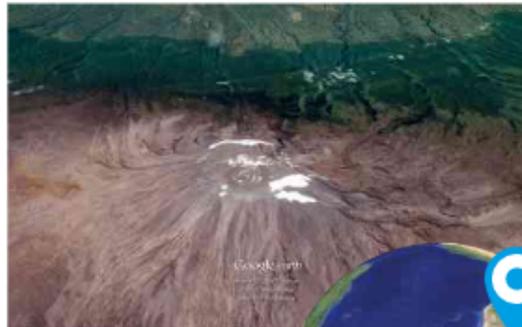
### Alteração no ritmo de vida das espécies

Com o aumento da temperatura, algumas plantas antecipam a produção de flores e de frutos. Esse fenômeno altera não só a reprodução vegetal, mas também o ritmo de vida dos animais que utilizam esses recursos como alimento.

(Elementos da página representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

### Derretimento das geleiras de altitude

As geleiras, fontes de água insubstituíveis, podem desaparecer de várias cadeias de montanhas durante o século XXI.



Monte Kilimanjaro, na Tanzânia, em 1993 (à esquerda) e em 2015 (à direita).



### Mudanças climáticas no Brasil

No mapa a seguir, são resumidas as consequências das mudanças climáticas mais diretamente relacionadas com o Brasil:



Fonte: Magrin, G.O. et al., 2014. Central and South America. In: *Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B. Regional Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Figura 6.9. Algumas consequências do aquecimento global.

### 3.6. Poluição por elementos radiativos

Elementos radiativos causam mutações genéticas que podem desencadear doenças, como o câncer, e até mesmo provocar a morte dos indivíduos. Além disso, mutações que ocorrem nas células produtoras de gametas podem ser transmitidas ao longo das gerações. Assim, a preocupação sobre o que fazer com o lixo radiativo e como evitar a poluição por esses elementos deve ser sempre muito grande.

Na década de 1980, ocorreram dois graves acidentes radiativos no mundo: em Chernobyl (na antiga União Soviética) e em Goiânia (no Brasil).

Em 1986, a usina atômica de Chernobyl teve um de seus quatro reatores nucleares destruído por uma explosão seguida de incêndio (Fig. 6.10). O acidente provocou a liberação de uma nuvem radiativa que atingiu não só as pessoas da cidade mais próxima (Kiev), como vários países da Europa. Foi, sem dúvida, o pior acidente nuclear da história, matando várias pessoas, mutilando outras e provocando doenças de vários tipos, desde câncer e lesões de pele até mutações genéticas preocupantes para as gerações futuras. Além de ter afetado diretamente o ser humano, essa nuvem radiativa contaminou a vegetação, os animais, o solo, os rios e os mares da região. Frutas, verduras, carne, leite e derivados não puderam mais ser consumidos, pois a radiação neles contida poderia contaminar as pessoas.

No Brasil, em 1987, uma pequena cápsula contendo um pó radiativo, o céσιο-137, foi aberta por pessoas desavisadas, provocando um dos acidentes mais

graves já registrados no mundo envolvendo esse elemento radiativo. Nessa cápsula, havia apenas 19 g de céσιο, que fazia parte de um equipamento de céσιο-137 usado em radioterapia e que foi abandonado nos escombros do antigo Instituto Goiano de Radioterapia. A cápsula foi removida do local por sucateiros para ser vendida como ferro-velho. Ao abri-la, as pessoas ficaram atraídas pela luminescência do céσιο e manipularam o pó, passando-o pelo corpo e distribuindo-o entre parentes e amigos, inclusive crianças. Evidentemente não sabiam do perigo que estavam correndo. Um material como esse nunca poderia ter sido simplesmente deixado em um hospital desativado.

O saldo desse triste acontecimento: quatro mortes, uma pessoa com braço amputado e mais de duzentas pessoas contaminadas.

Mais recentemente, em 2011, no Japão, o reator Daichi I da usina nuclear de Fukushima teve seu sistema de refrigeração afetado por um *tsunami* provocado por um forte terremoto (magnitude de 8,9 pontos na escala Richter). Isso levou à explosão do reator, que liberou grandes quantidades de material radiativo, especialmente céσιο-137.

Os fatos ocorridos em Chernobyl, em Goiânia e em Fukushima não podem ser esquecidos. Eles nos servem como alerta para o grande perigo que os acidentes nucleares podem representar e despertam a atenção para mais um problema a ser resolvido pela humanidade: o que fazer com o lixo radiativo.

Alguns países cogitam eliminar completamente sua dependência da energia nuclear. A Alemanha foi o primeiro a tomar essa decisão: em 2012, o governo alemão optou por desativar todas as suas 17 usinas nucleares até 2022.



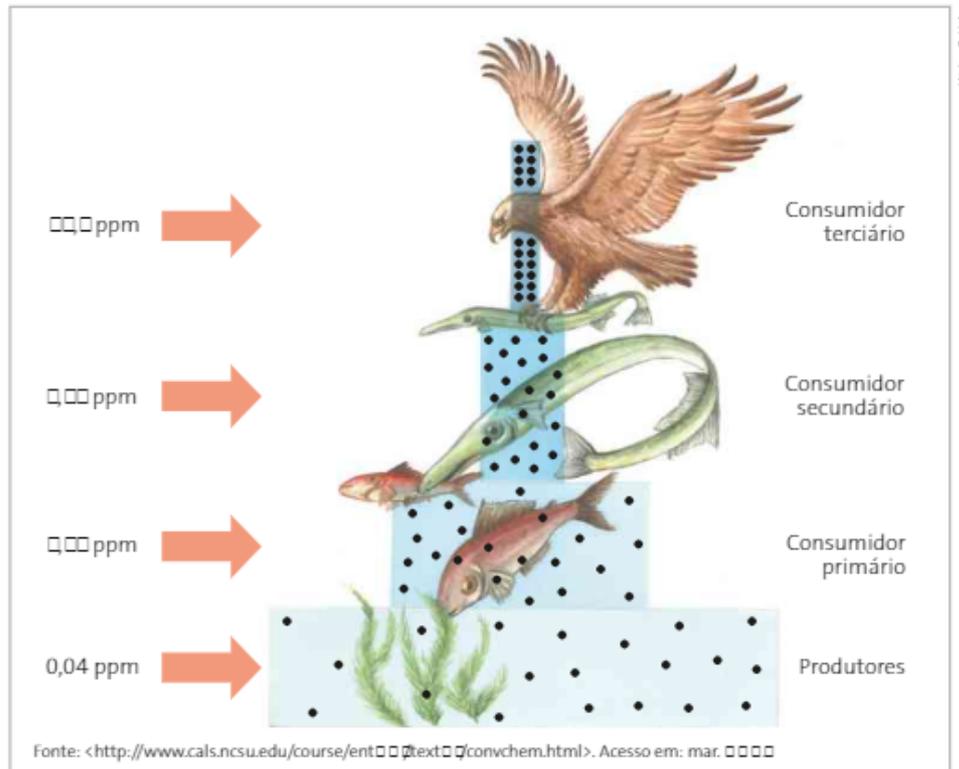
Figura 6.10. Usina atômica de Chernobyl, em abril de 1986, após a explosão.

### 3.7. Poluição por substâncias não biodegradáveis

O aumento da quantidade de substâncias não biodegradáveis no ambiente traz sérios problemas aos ecossistemas. As substâncias biodegradáveis são decompostas por organismos, principalmente bactérias. Já os produtos não biodegradáveis não sofrem decomposição, caso principalmente das substâncias organocloradas e dos metais pesados, como o mercúrio. Essas substâncias podem se acumular nos tecidos dos organismos e vão se concentrando ao longo das cadeias alimentares, acarretando sérios problemas aos organismos.

O mais persistente dos organoclorados é o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT). Uma vez lançado no ambiente, ele permanece intacto por vários anos, acumulando-se nos tecidos dos organismos, passando inalterado pelos sucessivos níveis das cadeias alimentares.

No tecido dos produtores, como as plantas, a concentração de DDT pode ser baixa, mas os herbívoros, ao se alimentarem de produtores, acumulam a maior parte do DDT ingerido e excretam uma pequena porção. O mesmo processo ocorre com os carnívoros, com prejuízos para esses animais (Fig. 6.11).



Water Calhira

Figura 6.11 Pirâmide de energia mostrando o aumento da concentração de DDT (em partes por milhão — ppm) nos tecidos dos organismos ao longo de uma cadeia alimentar. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Aves que se alimentam em áreas de amplo uso de DDT colocam ovos com casca muito fina, que se quebra facilmente (Fig. 6.12). Isso causa elevada taxa de mortalidade entre os filhotes, levando a uma diminuição na densidade populacional desses animais.

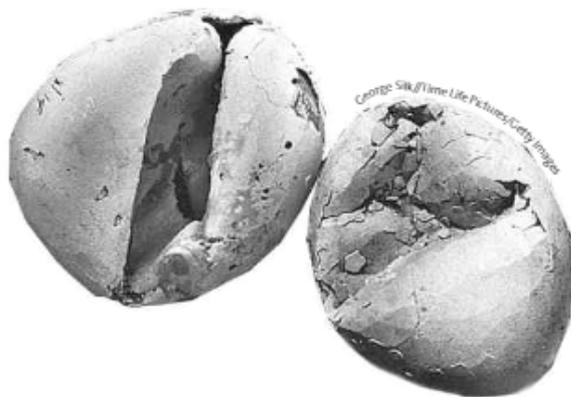


Figura 6.12. Fotografia de ovos de aves que se alimentam em áreas de amplo uso de DDT; os ovos se quebram porque a casca é muito fina.

Um poluente importante encontrado principalmente na água é o mercúrio, amplamente utilizado em indústrias químicas de tintas, de fungicidas, de pesticidas e de papel. Na forma inorgânica, o mercúrio é relativamente inócuo, por ser pouco absorvido no trato digestório. Entretanto, torna-se altamente tóxico quando associado a compostos orgânicos, caso principalmente do metilmercúrio. Essa substância, se ingerida, provoca lesões nervosas que podem levar o indivíduo à morte.

Assim como o DDT, o metilmercúrio concentra-se nos tecidos dos organismos ao longo das cadeias alimentares. Na baía de Minamata, no Japão, pescadores foram envenenados ao comer peixes contaminados por metilmercúrio, que foi introduzido nessa baía junto com dejetos lançados por uma indústria química.

A indústria química responsável por esse desastre lançava na água, desde 1930, seus dejetos contendo mercúrio. Somente 20 anos depois surgiram os sintomas da contaminação: peixes, moluscos e pássaros

começaram a morrer. Em 1956, foi registrado o primeiro caso de intoxicação humana: uma criança com danos cerebrais. Depois desse caso, surgiram vários outros com o mesmo quadro e passou-se a falar em doença ou mal de Minamata. Verificou-se depois que a doença era provocada pela contaminação por mercúrio.

Esse elemento não é facilmente detectável na água, por sua baixa concentração, mas, como se acumula no corpo dos organismos ao longo das cadeias alimentares, é mais fácil avaliar sua presença em um meio pela análise de tecidos do corpo dos organismos que vivem na região.



## Colocando em foco

### CONTROLE DE PRAGAS POR FEROMÔNIOS

O uso de pesticidas, como o DDT e outros, para o controle de pragas na agricultura não só resulta na contaminação do solo e da água como também deixa de ser eficiente a longo prazo. A resistência das pragas a esses pesticidas tem sido um fenômeno cada vez mais observado. Com frequência, as pragas tornam-se resistentes aos pesticidas ou então mais abundantes depois que o produto se dissipa, já que seus inimigos naturais também são destruídos pelo pesticida. Além disso, uma praga eliminada por esse processo pode ser substituída por outra, mais resistente.

Com o objetivo de desenvolver um controle mais eficiente de pragas, sem causar alterações ambientais, os cientistas estão produzindo uma nova geração de pesticidas baseada no uso de feromônios (do grego *féro* = transportar; *órmon* = excitar) sintetizados naturalmente por esses animais. Os feromônios (ou ferormônios) são substâncias usadas na comunicação química entre os animais, muitas vezes agindo como “atrativos sexuais”.

No caso dos insetos, as fêmeas produzem feromônios capazes de atrair os machos de sua espécie que estejam a até 5 km de distância. Sabendo desse processo natural de atração, com a ajuda desses feromônios, o ser humano pode capturar os machos de insetos, interrompendo a reprodução e reduzindo a população. Além de não causar prejuízos ao meio, esse processo tem outra vantagem: cada feromônio atrai apenas indivíduos da espécie que o produziu, portanto é altamente específico.

## 3.8. Poluição por derramamento de petróleo

Os derramamentos de petróleo no mar são causados principalmente por acidentes com navios petroleiros, em plataformas de petróleo e pela água usada na lavagem dos reservatórios de petróleo dos navios, que depois é lançada diretamente no mar.

O petróleo derramado forma extensas manchas na camada superficial das águas e, com isso, bloqueia a passagem de luz, afetando a fotossíntese dos organismos marinhos e impedindo as trocas de gases entre a água e o ar.

Os animais aquáticos também são diretamente afetados pelo petróleo, pois ele se impregna na superfície de seus corpos, matando-os por intoxicação. Quando essa impregnação ocorre nas brânquias dos peixes, há morte por asfixia. As aves marinhas podem ficar com as penas recobertas por petróleo, o que as impede de voar e de realizar a termorregulação, causando sua morte (Fig. 6.13).

Os mamíferos marinhos com o corpo impregnado de petróleo também não conseguem realizar a termorregulação e morrem.



^ **Figura 6.13.** Fotografia de um atobá-marrom (*Sula leucogaster*), ave marinha que mede entre 65 cm e 85 cm de comprimento. O animal apresenta o corpo coberto por óleo, despejado por um navio que limpou os tanques nas proximidades do Atol das Rocas (RN).

Os derramamentos de petróleo que atingem as regiões de manguezais também são muito graves, pois, além de afetar árvores e animais que vivem no local, destroem a principal área de procriação para muitas espécies marinhas.

Alguns métodos são utilizados para conter a dispersão das manchas de petróleo derramado, entre eles barreiras físicas e sucção por bombas. O uso de detergentes não tem sido indicado, pois seus efeitos podem ser tão graves quanto os ocasionados pelo petróleo. O petróleo pode também ser degradado pela ação de bactérias específicas, mas esse processo é muito lento.

Tão importante quanto descobrir técnicas para retirar o petróleo das águas e das praias é procurar evitar seu derramamento por meio de medidas de segurança nos petroleiros e nas plataformas, assim como do cuidado na lavagem dos tanques dos navios.

### 3.9. O lixo

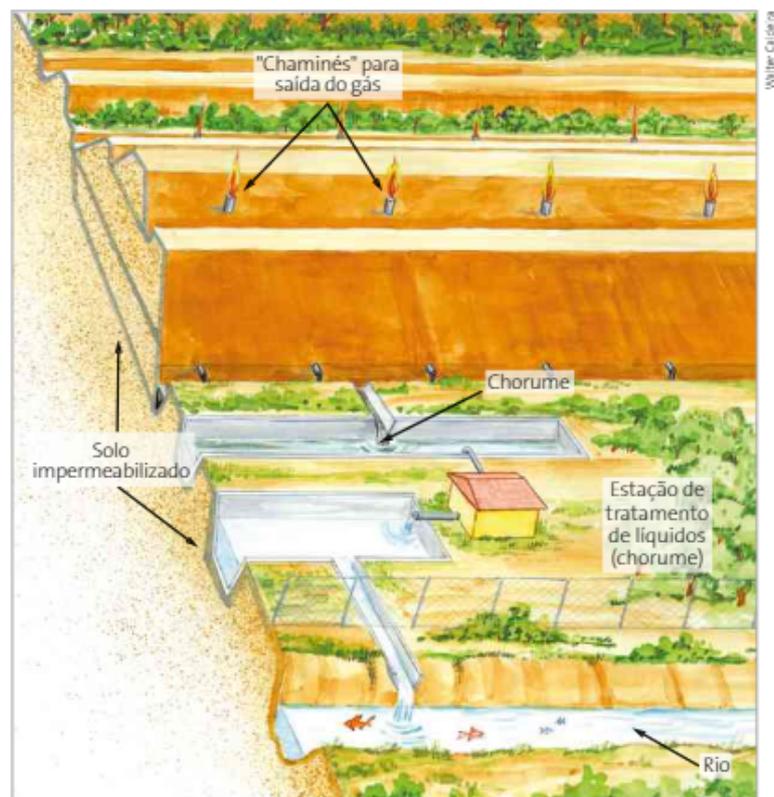
No Brasil, produz-se cerca de 600 g de lixo urbano por pessoa por dia, sendo que nas grandes cidades, como São Paulo, esse número alcança algo entre 1 kg e 1,2 kg por pessoa por dia. Nova Iorque é a cidade campeã em produção de lixo: cada pessoa produz em média cerca de 3 kg de lixo por dia. O que fazer com esse lixo, constituído por diversos materiais, como vidros, plásticos, metais, papéis, papelão e restos de comida? Considere que a população humana vem crescendo muito. A sociedade de consumo vem aumentando a quantidade de lixo produzido graças aos inúmeros itens descartáveis que procuram “facilitar” o dia a dia das pessoas.

O problema do lixo é muito sério. Algumas soluções têm sido propostas, mas os resultados ainda não são definitivos.

Uma das soluções mais antigas consiste simplesmente em remover o lixo de um local e transferi-lo para outro, formando os imensos **lixões** a céu aberto. Além do mau cheiro, esses lixões são responsáveis por intensa proliferação de insetos, como moscas e baratas, e de outros animais, como ratos, causando um grave problema de saúde pública. Fora isso, pessoas passaram a explorar esses lixões recolhendo restos de comida, objetos e outros itens, colocando em risco sua própria saúde. Em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que prevê a criação de planos para a eliminação de lixões e a posterior recuperação dos terrenos que eles ocupavam.

Atualmente, há formas mais adequadas para lidar com o lixo, como a construção de aterros sanitários, a incineração (queima) e a compostagem.

Nos **aterros sanitários** (Fig. 6.14), o solo é preparado de modo a receber uma impermeabilização e impedir que o lixo o contamine. São colocadas camadas alternadas de lixo e terra, evitando assim o mau cheiro e a proliferação de animais. Nesses aterros, bactérias anaeróbias realizam a decomposição da matéria orgânica; entre elas, há as que produzem o gás metano. Como essa produção é intensa, é importante haver locais próprios para a saída do gás, que pode ser coletado e usado como combustível. Quando não é aproveitado, geralmente esse gás é queimado nas chaminés adaptadas ao substrato dos aterros.



Fonte: *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1995.

Figura 6.14. Esquema de um aterro sanitário. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A **incineração** é realizada principalmente nos casos de lixo contaminado, como o de hospitais. Apesar de ser executado em incineradores apropriados, esse processo sempre gera poluição do ar pela emissão de fumaça.

A **compostagem** (Fig. 6.15) consiste em transformar a parte orgânica do lixo em compostos, que podem servir de fertilizante para o solo. O processo é bastante útil, porque, além de ser uma solução para o lixo orgânico, também contribui para a agricultura e participa do processo de reciclagem da matéria orgânica.

Para realizar a compostagem, é necessário separar a matéria orgânica do resto do lixo. Por isso, em algumas cidades, as prefeituras têm feito a **coleta seletiva** (Fig. 6.16), facilitando o tratamento do lixo urbano e a reciclagem de certos materiais. Nesses casos, separa-se a matéria orgânica que se decompõe facilmente (como restos de comida) de outros materiais, como vidro, metal, papel e plástico, que podem ser reciclados, isto é, reaproveitados na fabricação de novos produtos (Fig. 6.17).



Figura 6.15. Matéria orgânica secando em terreiro de usina de compostagem e reciclagem de lixo no município de Pingo D'água, MG, 2013. Após essa etapa, a matéria orgânica é colocada para ser decomposta, resultando na produção de adubo orgânico.



Figura 6.16. Na coleta seletiva de lixo há recipientes próprios para vidro (cor verde), metal (cor amarela), papel (cor azul) e plástico (cor vermelha).



Figura 6.17. Este símbolo representa os 3 R's: reduzir, reutilizar e reciclar.



## Colocando em foco

### BIORREMEDIAÇÃO

Biorremediação é um processo no qual organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente. Este processo biotecnológico de remediação tem sido intensamente pesquisado e recomendado pela comunidade científica atual como uma alternativa viável para o tratamento de ambientes contaminados, tais como águas superficiais, subterrâneas e solos, além de resíduos e efluentes industriais em aterros ou áreas de contenção. Embora outras tecnologias que usam processos físicos e/ou químicos sejam também indicadas para descontaminar ambientes poluídos, o processo biológico de biorremediação é uma alternativa ecologicamente mais adequada e eficaz para o tratamento de ambientes contaminados com moléculas orgânicas de difícil degradação e metais tóxicos.

GAYLARDE, C. C. et. al. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. In: *Biologia Ciência e Desenvolvimento*, n. 34, jun. 2005. Disponível em: <[http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio34/biorremediacao\\_34.pdf](http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio34/biorremediacao_34.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.

## 4. Pegada ecológica e biocapacidade

A pegada ecológica é um modelo que permite estimar a área necessária (em hectares) para sustentar uma dada população humana, considerando seu consumo de recursos naturais renováveis. Geralmente, a pegada ecológica é estimada por país, e seu valor corresponde à área total de terras que seriam necessárias para abastecer os habitantes com alimentos e outros recursos. O valor da pegada ecológica de um país pode ser, então, comparado com a biocapacidade, que corresponde à área (em hectares) de terras produtivas que o país tem disponível para produzir os recursos que ele necessita para manter seu padrão de consumo. Segundo dados da *Global Footprint Network* (Rede Global de Pegada Ecológica, em inglês), o Brasil é o país com maior biocapacidade do mundo. Esse modelo de análise foi desenvolvido em 1996 por economistas e engenheiros.

Para efeito de projeções futuras, entretanto, é importante considerar que a biocapacidade tende a diminuir rapidamente devido ao mau uso do solo, que leva a erosão, poluição e outras formas de degradação.

Além dos fatores mencionados, estamos vivendo em uma era de alto consumo, mais evidente no padrão de vida das grandes cidades, em que o ser humano aparentemente está “desconectado” da natureza. O cidadão muitas vezes não sabe de onde vêm ou como foram preparados os alimentos — basta ir ao supermercado para ter a falsa segurança da fatura. Os dejetos desaparecem nos vasos sanitários; o lixo produzido é levado pelos caminhões de coleta; e as pessoas acabam por esquecer de que tudo o que consumimos e tudo o que descartamos tem uma ligação direta com o ambiente e sua capacidade de suporte.

Quando se compara a pegada ecológica de um país com sua biocapacidade, pode-se saber se essa relação é adequada, se gera um déficit ecológico ou se há reserva ecológica (Fig. 6.18).

O déficit ocorre quando a pegada ecológica da população de um país é maior que sua biocapacidade. Isso significa que aquele país, para manter seu consumo, tem que importar recursos de outros países. A reserva ecológica ocorre quando a biocapacidade do país é maior do que a pegada ecológica de sua população.

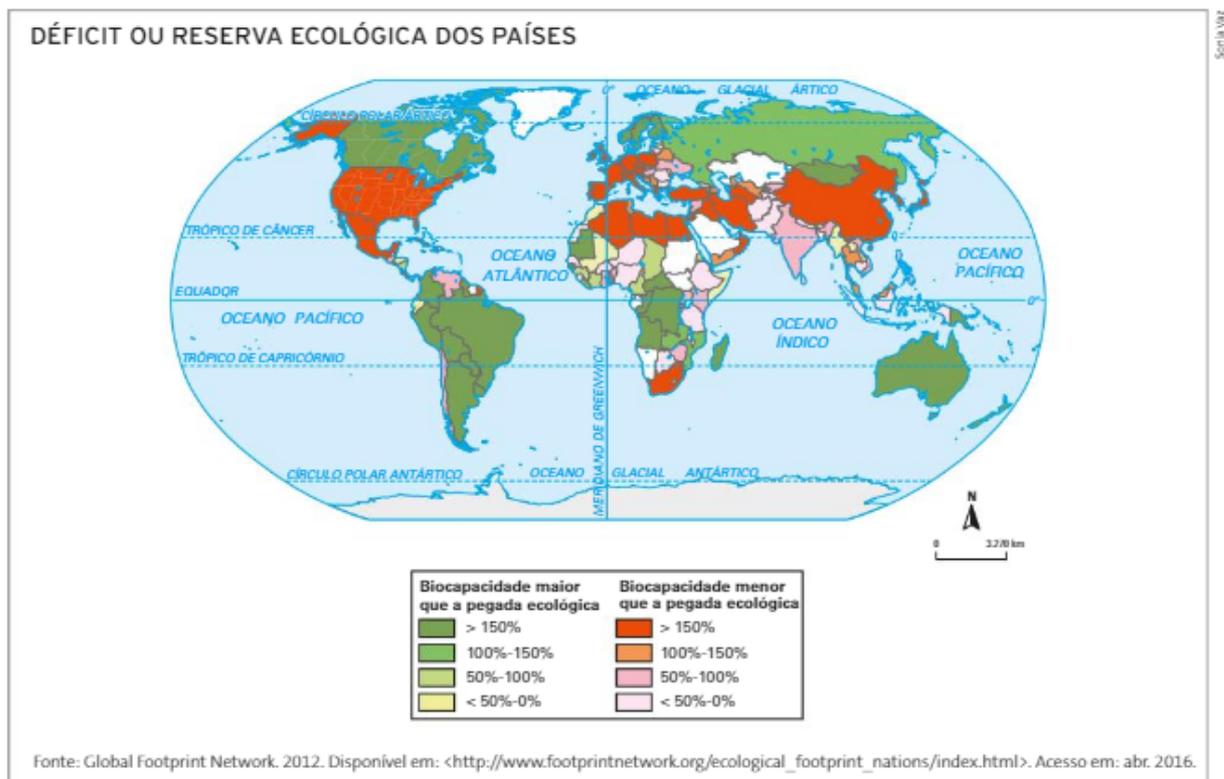


Figura 6.18. Mapa que mostra a relação entre a biocapacidade e a pegada ecológica de cada país, feito com base em dados de 2012.

## 5. Desenvolvimento sustentável

A preocupação com a preservação da vida tem sido motivo de reuniões mundiais para se tentar propor medidas em termos globais.

Uma dessas reuniões aconteceu em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, e ficou conhecida como **Eco-92**. Representantes de 170 países estiveram presentes e, como resultado dessa grande conferência, foi elaborado um documento chamado **Agenda-21**, definido como um plano de ação global para o século XXI.

A Agenda-21 defendia a necessidade de investimento em programas de **desenvolvimento sustentável**. Nesse modelo de desenvolvimento, considera-se que o avanço econômico e a conservação do meio ambiente são compatíveis e devem estar intimamente relacionados. Os recursos naturais são suficientes para atender às necessidades de todos, desde que manejados de forma sustentável. Para isso, segundo a Agenda-21, deveriam ser elaborados planos de manejo que considerassem não apenas as características do meio ambiente, mas também a cultura, a história e a situação social da comunidade que depende de determinados recursos naturais.

Em 1997, houve uma reunião na Organização das Nações Unidas (ONU), a **Rio+5** (5 anos após a Eco-92), na qual foram apontadas algumas lacunas ou pontos mal definidos na Agenda-21, que dificultavam sua implementação.

Também em 1997 aconteceu um encontro mundial na cidade de Kyoto, no Japão, onde foi elaborado um dos mais ambiciosos projetos de combate ao aquecimento global: o **Protocolo de Kyoto**. Ele estabeleceu que os países industrializados deveriam, até 2012, reduzir em média 5,2% de suas emissões de gases causadores do efeito estufa (principalmente CO<sub>2</sub>) em relação aos níveis alarmantes detectados em 1990.

O Brasil foi um dos primeiros países a assinar o Protocolo de Kyoto. No entanto, alguns países industrializados se negaram a validar esse documento por não concordarem com a meta de redução na emissão de CO<sub>2</sub> estabelecida para eles.

Foi nesse contexto que aconteceu a **Rio+10**, entre 26 de agosto e 4 de setembro de 2002, na África do Sul. Participaram da cúpula 191 países, para retomar as questões apontadas na Eco-92.

Para os ambientalistas, os resultados da Rio+10 foram decepcionantes diante da grande expectativa que o encontro gerou. Um dos pontos positivos da Rio+10 foi a adesão da Rússia, do Canadá e da China ao Protocolo de Kyoto.

Em 2012 realizou-se a conferência **Rio+20**. O tema principal foi o desenvolvimento sustentável, fundado em três pilares: econômico, social e ambiental. Dentro desse tema, a ONU escolheu as seguintes abordagens:

- economia “verde” no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza;
- estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável.

Em setembro de 2015, os 193 Estados-membros da ONU adotaram formalmente a **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, composta pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). De acordo com o então secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon, no discurso de abertura do encontro: “A nova agenda é uma promessa dos líderes para a sociedade mundial. É uma agenda para acabar com a pobreza em todas as suas formas, uma agenda para o planeta”.



### Colocando em foco

#### OS 17 OBJETIVOS PARA TRANSFORMAR O NOSSO MUNDO

As Nações Unidas definiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Fig. 6.19) como parte de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável que deve finalizar o trabalho dos ODM [Objetivos de Desenvolvimento do Milênio] e não deixar ninguém para trás.

Essa agenda, lançada em setembro de 2015 durante a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, foi discutida na Assembleia Geral da ONU, onde os Estados-membros e a sociedade civil negociaram suas contribuições.

O processo rumo à agenda de desenvolvimento pós-2015 foi liderado pelos Estados-membros com a participação dos principais grupos e partes interessadas da sociedade civil. A agenda reflete os novos desafios de desenvolvimento e está ligada ao resultado da Rio+20 – a Conferência da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável – que foi realizada em junho de 2012 no Rio de Janeiro, Brasil.

[...]

Os Objetivos e metas estimularão a ação para os próximos 15 anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta [...].

## OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**Objetivo 1.** Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.

**Objetivo 2.** Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.

**Objetivo 3.** Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.

**Objetivo 4.** Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.

**Objetivo 5.** Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.

**Objetivo 6.** Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

**Objetivo 7.** Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.

**Objetivo 8.** Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e trabalho decente para todos.

**Objetivo 9.** Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

**Objetivo 10.** Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.

**Objetivo 11.** Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

**Objetivo 12.** Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

**Objetivo 13.** Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos (\*).

**Objetivo 14.** Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

**Objetivo 15.** Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

**Objetivo 16.** Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis

**Objetivo 17.** Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

(\*) Reconhecendo que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] é o fórum internacional intergovernamental primário para negociar a resposta global à mudança do clima.



Figura 6.19. Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU.

Fontes: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>; <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acessos em: mar. 2016.

## 6. Conservação biológica

Como já vimos, a manutenção dos ecossistemas depende da manutenção das interações dos organismos entre si e dos organismos com o ambiente. Uma vez que essas interações estão associadas à obtenção dos recursos para a sobrevivência das espécies, conservar a integridade das interações é essencial para a manutenção das populações naturais e, portanto, da **biodiversidade**. Atualmente há por volta de 2 milhões de espécies descritas nos ecossistemas do mundo e há estimativas de que existam muitas mais ainda não conhecidas.

Quanto mais se expandem as populações humanas e quanto mais avança a tecnologia, mais tensas ficam as relações humanas com a natureza. Com mais pessoas para sustentar e com tecnologias que demandam cada vez mais matérias-primas, aumenta a necessidade de exploração dos recursos naturais e portanto amplificam-se as ações que alteram a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas (Fig. 6.20). Essas ações incluem a destruição de habitats, a introdução de espécies exóticas e o uso não sustentável dos recursos existentes, resultando na perda de espécies com redução da biodiversidade.



Figura 6.20. Área de vegetação transicional entre a Amazônia e a Caatinga desmatada para a extração de areia, em Teresina, PI (2015).

A Biologia da Conservação é uma área que integra conhecimentos da Ecologia propriamente dita, da Fisiologia, da Genética, da Biologia Molecular e da Biologia Evolutiva com o propósito de conservar a diversidade biológica em seus três níveis: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas.

A **diversidade genética** refere-se não só à variação genética dentro das populações, um dos quesitos importantes para a evolução das espécies, mas também entre populações das diferentes espécies. A redução da diversidade genética também afeta o ser humano, pois a eliminação de variedades genéticas de certas espécies pode contribuir para a perda de importantes recursos genéticos que poderiam ser usados para aumentar a

produção e a qualidade das culturas. Por exemplo, em resposta a surtos de um vírus que atacou plantações de arroz pelo mundo, agrônomos pesquisaram os genes de indivíduos de 7000 populações de arroz (*Oriza sativa*) e de espécies aparentadas em busca de alguma resistência ao vírus. Finalmente encontraram na Índia uma única população selvagem (de *Oriza nivara*, espécie próxima à do arroz) resistente ao vírus, e os cientistas foram bem-sucedidos ao incorporarem essa característica genética a variedades comerciais de arroz, que passaram a resistir ao vírus, salvando-se a produção.

A **diversidade de espécies**, por sua vez, pode ser afetada em nível local, regional ou global. Uma espécie é considerada extinta quando desaparece de todos os ecossistemas em que ocorria antes. Seja em que nível for, a extinção de espécies pode afetar profundamente outras espécies da mesma comunidade, por conta da alteração das interações biológicas de que muitas delas dependem para sobreviver. É o que ocorre quando espécies que são presas ou predadores são eliminadas, ou quando espécies de plantas perdem seus polinizadores e dispersores de sementes, reduzindo assim seu próprio sucesso reprodutivo, por exemplo.

A **diversidade de ecossistemas**, finalmente, diz respeito à variação entre os ecossistemas. A redução desse tipo de diversidade relaciona-se com a extinção ou a modificação de comunidades biológicas inteiras. É o que vemos no Brasil, onde, por exemplo, diversos ecossistemas de Cerrado caracterizados por diferentes comunidades vêm sendo contínua e rapidamente convertidos em ecossistemas agrícolas de baixíssima diversidade de espécies (plantações de soja, cana-de-açúcar e algodão principalmente).

A perda de ecossistemas implica em perda dos chamados **serviços ecossistêmicos**, isto é, os processos ecológicos através dos quais os ecossistemas ajudam a sustentar os seres humanos. Incluem-se aí a purificação do ar, mantendo estável sua composição; a degradação biológica de resíduos diversos em ambientes terrestres e aquáticos (como vemos acontecer nos rios após um ponto de descarga de esgotos, por exemplo); o controle natural de pragas por meio de organismos vivos e muitos outros.

Uma das metas da conservação biológica é a manutenção desses serviços ao longo do tempo de modo sustentável.

### 6.1. Unidades de conservação

Um dos recursos utilizados pelo ser humano para a proteção e a manutenção da biodiversidade em seus três níveis é a criação de áreas chamadas **unidades de conservação**.

No Brasil, todas as unidades de conservação (UC) são cadastradas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). De acordo com o SNUC, uma unidade de conservação consiste em um “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público com objetivos de conservação e [com] limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

Historicamente, um dos fatores que dificultava a administração das áreas de proteção era a falta de integração das três esferas de governo (federal, estadual e municipal). Atualmente, o SNUC possibilita uma visão de conjunto das áreas naturais a serem preservadas e estabelece mecanismos que regulamentam a participação da sociedade na gestão das UCs, potencializando a relação entre o Estado, os cidadãos e o meio ambiente.

## Tipos de unidades de conservação

O SNUC atualmente inclui 12 tipos de áreas protegidas, cujos objetivos específicos se diferenciam quanto à forma de proteção e usos permitidos: há aquelas que precisam de maiores cuidados, por sua fragilidade e suas particularidades, e aquelas que podem ser utilizadas de forma sustentável e conservadas ao mesmo tempo.

Há então duas categorias principais subdivididas: a de proteção integral e a de uso sustentável (Fig. 6.21).

As UCs de **proteção integral** visam à preservação da natureza, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais. Já as UCs de **uso sustentável** têm como objetivo a conservação da natureza, considerando o uso direto e sustentável de parcela de seus recursos naturais, com exceção da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), à qual aplica-se a restrição de uso imposta às UCs de proteção integral.



Figura 6.21. Mapa da localização de algumas das unidades de conservação no Brasil. Por imposição da escala cartográfica, estão mapeadas apenas as unidades com áreas representativas.

A tabela que se segue (Fig. 6.22) apresenta as disposições legais quanto ao uso de cada um dos 12 tipos de UC:

	Unidade de conservação	Composição*	População residente	Visitação pública	Pesquisa científica	
Proteção Integral	Estação Ecológica	Área pública	Não permitida	Não permitida, exceto com motivos educacionais	Permitida com autorização prévia e sob normas e restrições	
	Reserva Biológica					
	Parque Nacional					
	Monumento Natural	Área pública e/ou privada	Permitida	Permitida sob normas e restrições		
	Refúgio de Vida Silvestre					
Uso sustentável	Área de Proteção Ambiental (APA)	Área pública e/ou privada	Permitida	Permitida sob condições pré-estabelecidas	Permitida sob condições pré-estabelecidas	
	Área de Relevante Interesse Ecológico				Permitida com autorização prévia e sob normas e restrições	
	Floresta Nacional	Área pública	Não permitida (exceto comunidades tradicionais)		Permitida e incentivada com autorização prévia e sob normas e restrições	
	Reserva Extrativista				Permitida com autorização prévia e sob normas e restrições	
	Reserva de Fauna		Não permitida		Permitida com autorização prévia e sob normas e restrições	
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável		Não permitida (exceto comunidades tradicionais)		Permitida e incentivada sob condições pré-estabelecidas	Permitida e incentivada com autorização prévia e sob normas e restrições
	Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN)	Área privada	Permitida		Permitida sob condições pré-estabelecidas	Permitida sob condições pré-estabelecidas

\* UCs com domínio exclusivamente público, dependendo de sua categoria, permitirão a permanência de comunidades tradicionais em seu interior após seu reconhecimento.  
 Fonte: Prefeitura de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/unid\\_de\\_conservacao/index.php?p=3339](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/unid_de_conservacao/index.php?p=3339)>. Acesso em: abr. 2016.

▲ **Figura 6.22.** Tabela dos tipos de unidades de conservação e suas características, de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação.



## Colocando em foco

### TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL

A vulnerabilidade dos povos indígenas em relação à civilização ocidental já ficou historicamente evidenciada nos mais diversos lugares do mundo.

No Brasil, isso transparece na redução de um total da ordem de 3 milhões de indígenas à época do descobrimento para cerca de 800 000 atualmente, segundo dados da Funai (Fundação Nacional do Índio, órgão indigenista oficial do Estado brasileiro). Não são raros hoje em dia profundos conflitos entre indígenas e garimpeiros, madeireiros e grileiros de terras, que buscam nas terras indígenas muitos recursos naturais, incluindo o próprio solo.

Nesse cenário, a sobrevivência dos cerca de 300 povos indígenas que hoje habitam o Brasil depende muito da proteção das autoridades, e isso se dá em parte por meio da demarcação de áreas naturais capazes de permitir seu sustento.

De acordo com a Funai, Terras indígenas (TI) são “porções do território nacional, de propriedade da União, habitadas por um ou mais povos indígenas, por ele(s) utilizadas para suas atividades produtivas, imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e necessárias à sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições”. As terras indígenas adicionalmente são espaços privilegiados para a conservação da diversidade biológica, já que abrigam populações humanas antigas e naturais nessas áreas.

As terras indígenas estão subordinadas diretamente à administração federal e são, por lei, inalienáveis (não podem ser vendidas), indisponíveis (não podem ser utilizadas por estranhos) e os direitos sobre ela são imprescritíveis.

A Constituição de 1988 consagrou o princípio de que os indígenas são os primeiros e naturais senhores da terra nacional. Esta é a fonte primária de seu direito, anterior a qualquer outro. Consequentemente, o direito dos indígenas a uma terra determinada independe de prova de posse e sim apenas do reconhecimento governamental. No Brasil existem aproximadamente 544 terras indígenas (dados de 2014), sendo a maior parte localizada na área da Amazônia Legal. Cabe à sociedade de modo geral e aos povos indígenas em particular a reivindicação de regularização de suas terras inicialmente junto à Funai.



Figura 6.23. Fotografia da celebração dos 20 anos da homologação do Território Indígena Yanomami, na Aldeia do Demini, em Barcelos (AM), 2012.



Figura 6.24. Fotografia aérea da Aldeia do Demini, localizada no Território Indígena Yanomami, em Barcelos (AM), 2012.



## Tema para discussão

Os nomes de empresas e/ou marcas que aparecem nesta página e na seguinte foram utilizados com finalidade didática, sem intenção de propaganda, positiva ou negativa. Eles estão contextualizados e sua omissão pode comprometer o entendimento do tema abordado.

REGISTRE  
NO CADERNO



### Onda de rejeitos da Samarco atingiu 663 km de rios e devastou 1 469 hectares de terras

A catástrofe socioambiental provocada pelo rompimento de barragem da mineradora Samarco em Mariana (MG), no [dia 5/11/2015], atingiu 663 km de rios e resultou na destruição de 1469 hectares de vegetação, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APP), aponta laudo técnico preliminar do Ibama. No distrito de Bento Rodrigues, 207 das 251 edificações (82%) foram soterradas.

Os rejeitos de mineração formaram uma onda de lama que afetou diretamente 663 km no Rio Doce e seus afluentes, chegando ao oceano em 21/11 [2015], no município de Linhares, no Espírito Santo. [...]

O volume total da barragem era de 50 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração de ferro, e pelo menos 34 milhões de m<sup>3</sup> foram lançados no meio ambiente. “É indiscutível que o rompimento da barragem de Fundão trouxe consequências ambientais e sociais graves e onerosas, em escala regional, devido a um desastre que atingiu 663,2 km de corpos d’ água nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, além de impactos ao estuário do Rio Doce e à região costeira”, aponta o laudo. “O nível de impacto foi tão

profundo e perverso, ao longo de diversos estratos ecológicos, que é impossível estimar um prazo de retorno da fauna ao local, visando o reequilíbrio das espécies na bacia.”

Das mais de 80 espécies de peixes apontadas como nativas da bacia antes da tragédia, 11 são classificadas como ameaçadas de extinção e 12 são endêmicas do Rio Doce – ou seja, existiam apenas lá. “A mortalidade instantânea é apenas um dos impactos aos organismos aquáticos”, apontam os técnicos. “Muito mais do que os organismos em si, os processos ecológicos responsáveis por produzir e sustentar a riqueza e a diversidade do Rio Doce foram afetados.”

Mansel e Lourenço/7ba



▲ Vista aérea da região litorânea do município de Linhares (ES), com a lama chegando ao mar após o rompimento de barragem da mineradora Samarco, em 2015.

[...]

Foram constatados danos ambientais e sociais diretos, tais como morte e desaparecimento de pessoas; isolamento de áreas habitadas; desalojamento de comunidades pela destruição de moradias e estruturas urbanas; fragmentação de habitats; destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa; mortandade de animais de produção e impacto à produção rural e ao turismo, com interrupção de receita econômica; restrições à pesca; mortandade de animais domésticos; mortandade de fauna silvestre; dizimação de ictiofauna silvestre em período de defeso; dificuldade de geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas; alteração na qualidade e quantidade de água, bem como a suspensão de seus usos para as populações e a fauna, como abastecimento e dessedentação; além da sensação de perigo e desamparo da população em diversos níveis.

De acordo com o documento, a força do volume lançado com o rompimento da barragem pode ter revolido e colocado novamente em suspensão os sedimentos de fundo dos rios afetados, que pelo histórico de uso já continham metais pesados.

As medidas para reparação dos danos à vegetação e dos impactos à fauna, à qualidade da água e socioeconômicos, entre outros, deverão ser realizadas por pelo menos dez anos, avaliam os técnicos do Ibama.

[...]

IBAMA. Onda de rejeitos da Samarco atingiu 663 km de rios e devastou 1.469 hectares de terras. Publicado em: dez. 2015. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/onda-de-rejeitos-da-samarco-atingiu-663-km-de-rios-e-devastou-1469-hectares-de-terras>>. Acesso em: mar. 2016.

**Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.**

1. De acordo com o texto, quais foram os impactos ambientais e sociais causados pela catástrofe?
2. O texto diz que as medidas de reparação dos danos devem ser executadas ao longo de pelo menos dez anos. Pesquise, com os colegas, a respeito de que ações foram ou ainda são tomadas pelos órgãos governamentais (federais, estaduais e municipais) e pela empresa com relação à mitigação de danos ambientais e sociais. Com os dados, façam uma apresentação na classe e ouçam a apresentação dos colegas. Promovam uma discussão a respeito dos dados obtidos e da responsabilidade social e ambiental que deve ser desenvolvida principalmente nas empresas durante o exercício de suas atividades.



## Retomando

Você deve ter percebido, com o estudo deste capítulo, que o equilíbrio ambiental pode ser perturbado de diversas maneiras e que os efeitos disso costumam ser preocupantes. Volte às questões da seção **Pense nisso** e reavalie as respostas que deu. Você consegue identificar novas situações em que houve quebra do equilíbrio ambiental? O que teria causado tal quebra?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Ampliando e integrando conhecimentos



### Atividade 1 Risco de extinção de espécies Habilidades do Enem: H4, H12, H14, H15, H19.

#### Onça-pintada corre risco extremo de extinção na Mata Atlântica

Animal que faz parte do topo da cadeia alimentar da Mata Atlântica, a onça-pintada (*Panthera onca*) corre o risco extremo de extinção nesse bioma.

Estudo desenvolvido pelo Cenap (Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos e Carnívoros), instituto criado pelo Ibama, aponta que devem existir somente 250 onças-pintadas adultas na Mata Atlântica, o que representa uma redução de 80% nos últimos 15 anos.

[...] a extinção do animal pode significar o fim da Mata Atlântica em pouco tempo. O felino é predador de herbívoros, como veados e capivaras, e sua falta poderá causar um grande desequilíbrio ambiental.

Uma das principais causas para a redução drástica é a caça, tanto a predatória, identificada na década de 1990, quanto a retaliatória.

[...]

O biólogo Pedro Galetti, especialista em genética da conservação da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), diz que o mais preocupante é que apenas 20% dos indivíduos restantes, ou seja 50 animais, devem estar em idade reprodutiva.

[...]

O ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) executa desde 2012 o Plano de Ação Nacional para Conservação da Onça-Pintada.

No atual estágio, está sendo feito trabalho de conscientização com comunidades que vivem próximas aos habitats para a redução da caça retaliatória – como o que é realizado no Parque Nacional do Iguaçu.

O instituto também tem realizado reuniões com órgãos fiscalizadores, como as polícias Militar, Civil e Federal, para discutir planos para coibir a caça e apreensão do animal na natureza.

TURTELLI, Camila. Onça-pintada corre risco extremo de extinção na mata atlântica. *Folha de S.Paulo*. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2014/01/1403315-onca-pintada-corre-risco-extremo-de-extincao-na-mata-atlantica.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

- Retire do texto dois dados utilizados que apontem que a onça-pintada pode vir a desaparecer em pouco tempo.
- Com base no texto, enumere os problemas que podem ser causados pelo desaparecimento da onça-pintada e procure estabelecer relações entre eles, ou seja, como cada um deles pode estar ligado ao outro em uma rede de eventos.
- Nos programas de preservação de espécies é importante a atuação da comunidade científica junto às populações locais, fazendo um trabalho de educação e conscientização. Esse tipo de ação é mencionado no texto? Explique por que esses programas são importantes.

### Atividade 2 Autodepuração em rio Habilidades do Enem: H4, H10, H12, H17, H30.

Quando o esgoto é descarregado em rios, dependendo da quantidade de efluentes, instaura-se um processo de autodepuração da água o qual vai se completando à medida que se avança rumo à foz. Assim sendo, ao longo do próprio rio (espaço), após o ponto de descarga, os eventos se sucedem tal como ocorreria ao longo do tempo, mas em um lago.

Observe os gráficos a seguir.

Gráfico A

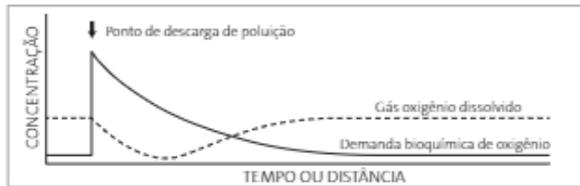


Gráfico B



Gráfico C



Fonte: <[http://hydrologie.org/BIB/Publ\\_UNESCO/TP\\_023\\_E.pdf](http://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/TP_023_E.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.

- ↗ Efeitos da inserção de um poluente orgânico em um rio e as mudanças que ocorrem em regiões do rio abaixo do ponto de descarga de poluição.

O gráfico A mostra o teor de  $O_2$  dissolvido na água e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A DBO corresponde à quantidade de gás oxigênio que seria necessária para a decomposição aeróbica da matéria orgânica presente – mais matéria orgânica, maior DBO. O gráfico B mostra os teores de compostos orgânicos nitrogenados e dos que, um após o outro, vão surgindo ao longo da decomposição da matéria orgânica nitrogenada inicial ( $NH_3$  – amônia;  $NO_2^-$  – nitrito e  $NO_3^-$  – nitrato). Desses, o último a ser formado é o nitrato, que serve como nutriente para uma infinidade de organismos fotossintetizantes. O gráfico C, finalmente, mostra a abundância de bactérias e algas antes e depois da descarga do esgoto.

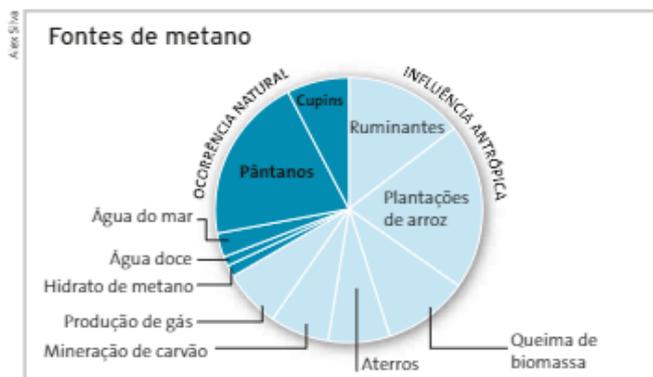
Analisar os gráficos e, com base no que estudou no capítulo e em seus conhecimentos, responda:

- Que evidências há no gráfico A de que houve poluição orgânica e que houve depuração?
- Que característica do gráfico B indica potencial eutroficação do rio?
- Como se explica o aumento da abundância de bactérias no trecho do rio logo após a descarga do esgoto?
- A que se deve o aumento da abundância de algas mais além do ponto de descarga?
- O que precisaria ocorrer para configurar-se um caso de eutroficação do rio, isto é, no trecho representado no eixo horizontal dos gráficos? (Leve em conta as etapas descritas na legenda da figura inicial.)

### Atividade 3 Efeito estufa – o metano

Habilidades do Enem: H1, H2, H3, H4, H9, H10, H12, H17, H18, H21, H22, H24, H25, H27, H30.

Enquanto a maior parte dos estudos sobre gases-estufa tem foco no gás carbônico, o metano é 20 vezes mais potente como gás capturador de calor na atmosfera.



Fonte: Departamento de Energia, EIA.

- ↙ Este gráfico de setores mostra as fontes naturais e antropogênicas e sua importância em termos da proporção de metano liberado para a atmosfera. As fontes naturais incluem áreas alagadas, cupins, decomposição de matéria orgânica no mar e na água doce e metano congelado (hidrato de metano). Fontes afetadas pela atividade humana incluem flatulência dos ruminantes, plantações de arroz em terreno alagado, queima de biomassa, aterros sanitários (depósitos de lixo cobertos com terra), minas de carvão mineral e produção de gás.

Alguns cientistas consideram que o atual aquecimento global poderia levar à liberação de metano armazenado em depósitos no fundo do mar, caso os oceanos se aqueçam substancialmente. Para tratar desse assunto, leia o texto a seguir traduzido de artigo publicado em 2006 pelo Serviço de Notícias sobre o Ambiente (*Environment News Service – ENS*).

### O derretimento do *permafrost* russo pode acelerar o aquecimento global

O derretimento do *permafrost*, na Sibéria, está liberando cinco vezes mais metano, um potente causador de efeito estufa, do que se pensava previamente [...].

A equipe de pesquisadores registrou borbulhamento de metano em dois lagos em processo de descongelamento no norte da Sibéria, usando imagens aéreas, sensores remotos e observações ao longo do ano. Os cientistas determinaram que a expansão dos lagos, devido ao degelo das margens causado por um período de aquecimento climático regional, aumentou a liberação de metano em 58%.

O *permafrost* (camada de gelo muito antiga, cobrindo o solo original e incluindo lagos congelados), ao derreter, libera compostos ricos em carbono, originado de plantas e de carcaças. Esse material chega ao fundo dos lagos e é decomposto na ausência de oxigênio, originando metano, que borbulha e escapa para a atmosfera. O metano liberado data do Pleistoceno, há 40 mil anos, de acordo com cientistas norte-americanos.

Um estudo revelou que nos últimos 800 mil anos o metano nunca havia ultrapassado a marca de 750 ppb (partes por bilhão), mas hoje essa concentração é de 1780 ppb.

Cientistas de todo o mundo têm se preocupado com a perspectiva de que o aquecimento global pode aumentar dramaticamente a emissão de metano e  $\text{CO}_2$  a partir de fontes naturais, incluindo o *permafrost*, e por isso causar ainda mais aquecimento (o que agrava a situação em um ciclo autoalimentado).

[...]

Fonte: <<http://www.ens-newswire.com/ens/sep2006/2006-09-07-01.asp>>. Acesso em: mar. 2016.  
Texto traduzido pelos autores para fins didáticos.

Agora, utilizando informações do gráfico e do texto apresentados, responda às questões a seguir.

- Por que o metano gera preocupações no que se refere ao aquecimento global?
- Entre as fontes de metano relacionadas com a atividade humana, quais são as mais importantes?
- Atualmente, há uma grande preocupação com a perspectiva de grande aumento na queima de carvão mineral na China, para sustentar energeticamente o desenvolvimento econômico do país. Compare o impacto da queima do carvão chinês com o da liberação mais ou menos súbita do metano estocado sob a calota polar ártica. De que maneira a atividade humana na China poderia desencadear a liberação do metano do Ártico?



## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

- (Enem) As cidades industrializadas produzem grandes proporções de gases como o  $\text{CO}_2$ , o principal gás causador do efeito estufa. Isso ocorre por causa da quantidade de combustíveis fósseis queimados, principalmente no transporte, mas também em caldeiras industriais. Além disso, nessas cidades concentram-se as maiores áreas com solos asfaltados e concretados, o que aumenta a retenção de calor, formando o que se conhece por “ilhas de calor”. Tal fenômeno ocorre porque esses materiais absorvem o calor e o devolvem para o ar sob a forma de radiação térmica.  
Em áreas urbanas, devido à atuação conjunta do efeito estufa e das “ilhas de calor”, espera-se que o consumo de energia elétrica:
  - diminua devido à utilização de caldeiras por indústrias metalúrgicas.
  - aumente devido ao bloqueio da luz do sol pelos gases do efeito estufa.
  - diminua devido à não necessidade de aquecer a água utilizada em indústrias.
  - x) aumente devido à necessidade de maior refrigeração de indústrias e residências.
  - diminua devido à grande quantidade de radiação térmica reutilizada.
- (Enem) A atmosfera terrestre é composta dos gases nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ), que somam cerca de 99%, e por gases traços, entre eles o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), 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  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  na atmosfera: o desmatamento.

BROWN, I. F.; ALECHANDRE, A. S. Conceitos básicos sobre clima, carbono, florestas e comunidades. A. G. Moreira & S. Schwartzman. *As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros*. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000 (adaptado).

Considerando o texto, uma alternativa viável para combater o [aumento do] 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  $\text{CH}_4$ .
  - c) reduzir o desmatamento, mantendo-se, assim, o potencial da vegetação em absorver o  $\text{CO}_2$  da atmosfera.
  - d) aumentar a concentração atmosférica de  $\text{H}_2\text{O}$ , molécula capaz de absorver grande quantidade de calor.
  - e) remover moléculas orgânicas polares da atmosfera, diminuindo a capacidade delas de reter calor.
3. (Enem) Pesticidas são contaminantes ambientais altamente tóxicos aos seres vivos e, geralmente, com grande persistência ambiental. A busca por novas formas de eliminação dos pesticidas tem aumentado nos últimos anos, uma vez que as técnicas atuais são economicamente dispendiosas e paliativas. A biorremediação de pesticidas utilizando microrganismos tem se mostrado uma técnica muito promissora para essa finalidade, por apresentar vantagens econômicas e ambientais. Para ser utilizado nesta técnica promissora, um microrganismo deve ser capaz de:
- a) transferir o contaminante do solo para a água.
  - b) absorver o contaminante sem alterá-lo quimicamente.
  - c) apresentar alta taxa de mutação ao longo das gerações.
  - d) estimular o sistema imunológico do homem contra o contaminante.
  - e) metabolizar o contaminante, liberando subprodutos menos tóxicos ou atóxicos.

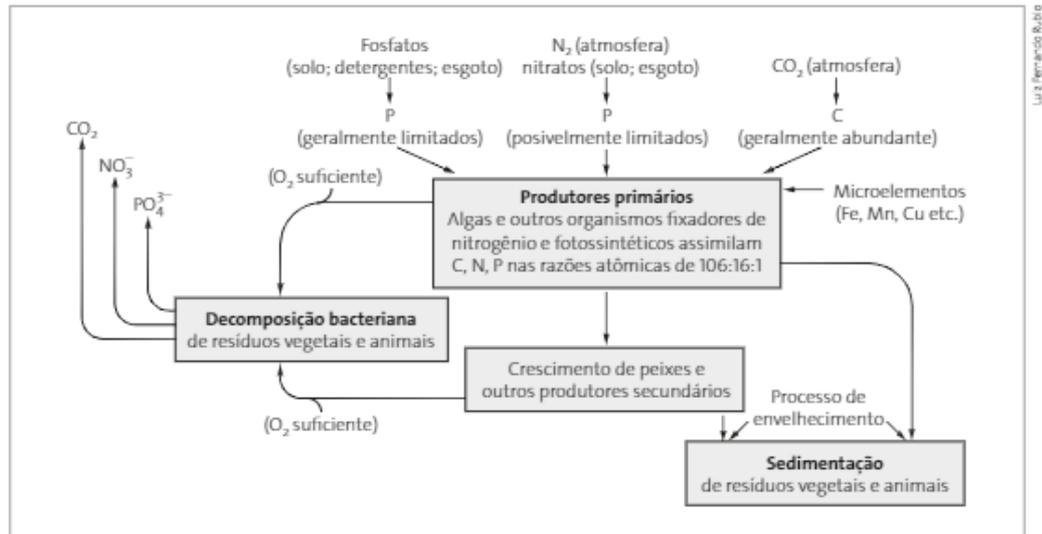
4. (Enem) O caramujo gigante africano, *Achatina fulica*, é uma espécie exótica que tem despertado o interesse das autoridades brasileiras, uma vez que tem causado danos ambientais e prejuízos econômicos à agricultura. A introdução da espécie no Brasil ocorreu clandestinamente, com o objetivo de ser utilizada na alimentação humana. Porém, o molusco teve pouca aceitação no comércio de alimentos, o que resultou em abandono e liberação intencional das criações por vários produtores. Por ser uma espécie herbívora generalista (alimenta-se de mais de 500 espécies diferentes de vegetais), com grande capacidade reprodutiva, tornou-se uma praga agrícola de difícil erradicação. Associada a isto, a ausência de predadores naturais fez com que ocorresse um crescimento descontrolado da população. O desequilíbrio da cadeia alimentar observado foi causado pelo aumento da densidade populacional de
- a) consumidores terciários, em função da elevada disponibilidade de consumidores secundários.
  - b) consumidores primários, em função da ausência de consumidores secundários.
  - c) consumidores secundários, em função da ausência de consumidores primários.
  - d) consumidores terciários, em função da elevada disponibilidade de produtores.
  - e) consumidores primários, em função do aumento de produtores.

5. (Enem) O potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado – apenas pequena parte dos resíduos brasileiros é utilizada para gerar energia. Contudo, bons exemplos são os aterros sanitários, que utilizam a principal fonte de energia ali produzida. Alguns aterros vendem créditos de carbono com base no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto.

Essa fonte de energia subutilizada, citada no texto, é o

- a) etanol, obtido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias.
- b) gás natural, formado pela ação de fungos decompositores da matéria orgânica.
- c) óleo de xisto, obtido pela decomposição da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias.
- d) gás metano, obtido pela atividade de bactérias anaeróbias na decomposição da matéria orgânica.
- e) gás liquefeito de petróleo, obtido pela decomposição de vegetais presentes nos restos de comida.

6. (Enem) A eutrofização é um processo em que rios, lagos e mares adquirem níveis altos de nutrientes, especialmente fosfatos e nitratos, provocando posterior acúmulo de matéria orgânica em decomposição. Os nutrientes são assimilados pelos produtores primários e o crescimento desses é controlado pelo nutriente limitrofe, que é o elemento menos disponível em relação à abundância necessária à sobrevivência dos organismos vivos. O ciclo representado na figura seguinte reflete a dinâmica dos nutrientes em um lago.



A análise da água de um lago que recebe a descarga de águas residuais provenientes de lavouras adubadas revelou as concentrações dos elementos carbono (21,2 mol/L), nitrogênio (1,2 mol/L) e fósforo (0,2 mol/L).

Nessas condições, o nutriente limitrofe é o:

- a) C.                    **x** b) N.                    c) P.                    d) CO<sub>2</sub>.                    e) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.
7. (Enem) A indústria têxtil utiliza grande quantidade de corantes no processo de tingimento dos tecidos. O escurecimento das águas dos rios causado pelo despejo desses corantes pode desencadear uma série de problemas no ecossistema aquático. Considerando esse escurecimento das águas, o impacto negativo inicial que ocorre é o(a)
- a) eutrofização.  
b) proliferação de algas.  
**x** c) inibição da fotossíntese.  
d) fotodegradação da matéria orgânica.  
e) aumento da quantidade de gases dissolvidos.
8. (Uel-PR) A prática da queimada, utilizada por agricultores para facilitar o plantio, tem efeitos prejudiciais para o solo. Assinale a alternativa que apresenta corretamente o efeito da alta temperatura no solo durante a queimada.
- a) Incorporação do carbono em compostos orgânicos produzidos em altas temperaturas.  
b) Perda de nitrogênio causada pela sua incorporação em compostos insolúveis, formados pelas cinzas.  
c) Aumento da concentração de íons hidrogênio, levando à acidez e à diminuição do oxigênio.  
**x** d) Eliminação de microrganismos responsáveis pelo processo de degradação da matéria orgânica.  
e) Absorção de monóxido de carbono e compostos inorgânicos pelas bactérias nitrificantes, causando baixa fertilidade do solo.
9. (UFPE-PE) No Brasil, parte do lixo domiciliar é enviado para lixões, o que compromete bastante o meio ambiente. Entre os fatores que justificam esse comprometimento, estão:
1. A infiltração de materiais nos lençóis de água subterrânea.
  2. A liberação de gases tóxicos.
  3. A proliferação de roedores e de insetos.
- Está(ão) correta(s):
- a) 1 apenas.  
b) 1 e 2 apenas.  
c) 1 e 3 apenas.  
d) 2 e 3 apenas.  
**x** e) 1, 2 e 3.

UNIDADE

## 2

# Origem da vida e Biologia Celular

“ Às vezes acredito que há vida em outros planetas, às vezes acredito que não. Em qualquer dos casos, a conclusão é assombrosa.”

Carl Sagan (1934-1996), astrônomo estadunidense.

Nature / Jürgen Heuser / D bmeda

Estromatólitos na Baía dos Tubarões, na Austrália. Essas estruturas que parecem apenas rochas, desprovidas de vida, são na realidade formações de origem orgânica e sedimentar derivadas da ação de diversas espécies de seres procariontes, como as cianobactérias. Em estromatólitos fósseis estão os registros das primeiras células que surgiram na Terra.

## CAPÍTULO

## 7

Das origens  
aos dias de hoje

André Seale/Pulsar Imagens

**Figura 7.1.** Apesar de todo o avanço da ciência, podemos afirmar que conhecemos apenas pequena parte da imensa variedade de organismos que vivem em nosso planeta; nada sabemos ainda sobre a existência de vida fora da Terra. Como os seres vivos surgiram e evoluíram é tema de constantes debates. A Biologia, ciência que se ocupa do estudo da vida, ainda tem muito a desvendar. Uma coisa se sabe: a vida depende da água, como pode ser visto nessa fotografia do Parque Nacional de Fernando de Noronha, estado de Pernambuco. O oceano, possível local de origem dos primeiros seres vivos, abriga uma riquíssima variedade de espécies e fornece alimento para outras, como esses atobás. Isso nos alerta a respeito da importância da preservação dos ambientes aquáticos, fundamental para a manutenção da vida.



## Pense nisso

- Se você fosse procurar vida em outros planetas, que critérios usaria para considerar a possibilidade de haver seres vivos?
- Como você acha que era o primeiro organismo vivo que apareceu em nosso planeta? Como acha que ele surgiu?
- Além de água, do que esse primeiro organismo precisava para sobreviver? Explique.
- Em sua opinião, as condições ambientais e os seres vivos em nosso planeta foram sempre como os de hoje? Explique sua resposta.

# 1. Introdução

Será que a Terra sempre foi como nós a conhecemos hoje? Como se originaram os primeiros seres vivos e como teriam esses seres evoluído e gerado a imensa diversidade de formas vivas que habitam hoje o nosso planeta? Desde a Antiguidade, essas questões preocupam o ser humano, mas respondê-las não é simples, pois não é possível retroceder no tempo e ver como a vida se originou e evoluiu.

Entretanto, é possível pautar nossos conhecimentos em evidências geológicas, químicas, físicas e biológicas, observadas e baseadas em fatos, para tentar

propor hipóteses sobre a origem da vida. A Astrobiologia, uma área crescente dentro das ciências, investiga a origem, a evolução, a distribuição e o futuro da vida no Universo. É um campo de estudos interdisciplinar que, além das ciências já citadas, emprega ferramentas matemáticas e computacionais para tratamento dos dados e elaboração de modelos.

Neste capítulo, vamos ver como os cientistas, ao longo da história, interpretam evidências, no anseio de compreender a origem e a evolução dos seres vivos.

**Professor(a), estimule os estudantes a retomar o que já foi visto a respeito de metodologia científica, pois isso vai ajudá-los a acompanhar toda a unidade 2.**

# 2. A origem dos seres vivos

Em textos literários antigos, encontramos citações sobre a origem de sapos a partir da lama. Essa noção, de que os seres vivos surgem a partir da matéria inanimada (elementos não vivos), perdurou desde a Antiguidade até o século XIX e ficou conhecida como **teoria da geração espontânea** ou **abiogênese** (do grego: *a* = prefixo de negação; *bio* = vida; *gênesis* = origem).

Uma longa discussão entre diversos pesquisadores ocorreu nesse período, até que a **teoria da biogênese** fosse aceita. Segundo essa teoria, um ser vivo só surge de outro ser vivo preexistente.

Vamos abordar essa longa discussão de modo resumido, citando apenas alguns dos trabalhos e pesquisadores envolvidos. Sempre que se analisa uma longa discussão histórica, deve-se ter em mente que a ciência não evolui de forma linear e que são citados apenas alguns dos fatos que ocorreram na época. Em geral, os pesquisadores baseiam-se em uma série de observa-

ções da natureza, de avanços teóricos e conceituais da ciência, além do trabalho de outros pesquisadores. Assim, ao fazermos a síntese de uma história científica com mais de 2 mil anos de duração, tratando de apenas alguns experimentos e pesquisadores, não pretendemos que você tenha uma ideia equivocada do que ocorreu nesse período, pensando que somente essas pessoas estão envolvidas.

Aristóteles, um importante filósofo grego que viveu de 384 a.C. a 322 a.C. e cujas ideias influenciaram diversas áreas do conhecimento, estudou detalhadamente a anatomia e o processo de reprodução sexuada de vários animais, mas aceitava a geração espontânea para seres cujo processo de reprodução desconhecia.

De Aristóteles até o fim do século XIX vários estudos foram feitos, mas vamos citar apenas os realizados por Francesco Redi em 1668, John T. Needham em 1745, Lazzaro Spallanzani em 1770 e Pasteur em 1860.

## 2.1. Biogênese versus abiogênese



### Despertando ideias

REGISTRE  
NO CADERNO



#### “Bicho da goiaba, goiaba é!”

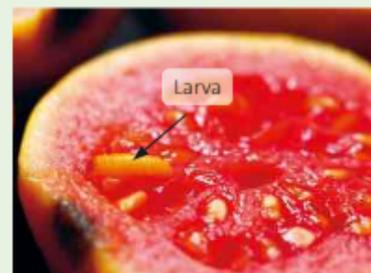
Essa frase faz parte da cultura popular. Será que tem algum fundamento científico?

Suponha que você, ao comer uma goiaba que apresentava uma casca aparentemente intacta, encontre uma larva branca dentro do fruto. Esse é o bicho da goiaba.

Dê duas versões que expliquem a presença da larva dentro do fruto: uma de acordo com a ideia de geração espontânea e outra de acordo com a atual teoria da biogênese. Você pode recorrer a outras fontes de consulta para descobrir mais a respeito dos “bichos da goiaba”.

Proponha um experimento que possa testar suas explicações e descreva os possíveis resultados.

**Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.**



**Figura 7.2.** Fotografia de goiaba com larva, popularmente chamada de “bicho da goiaba”. Comprimento máximo da larva: 12 mm.

Filipe Colambini

## Os experimentos de Redi

Em 1668, Francesco Redi (1626-1697) investigou a suposta origem de vermes na carne em decomposição. Na época, o surgimento desses vermes era interpretado como fruto de geração espontânea. No entanto, Redi questionava essa interpretação, pois notava que moscas são atraídas pelos corpos em decomposição e neles colocam seus ovos. Desses ovos, surgem as larvas, que se transformam em moscas adultas. Como as larvas são vermiformes, os "vermes" que ocorrem nos corpos em decomposição nada mais seriam que larvas de moscas. Redi concluiu, então, que essas larvas não surgem espontaneamente a partir da decomposição da carne, mas são resultantes da eclosão dos ovos postos por moscas atraídas pelo corpo em decomposição.

Para testar sua hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: colocou pedaços de carne crua dentro de frascos, deixando alguns cobertos com gaze e outros completamente abertos. De acordo com a teoria da

abiogênese, deveriam surgir vermes ou nascer moscas a partir da decomposição da própria carne tanto em frascos abertos quanto em frascos cobertos com gaze. Isso, entretanto, não aconteceu. Nos frascos mantidos abertos, Redi verificou ovos, larvas e moscas sobre a carne, mas nos frascos cobertos com gaze nenhuma dessas formas foi encontrada (Fig. 7.3).

Esse experimento apoiou a hipótese de Redi e mostrou que não havia geração espontânea de vermes em corpos em decomposição.

Entretanto, para outros casos, Redi aceitava a ideia de geração espontânea. Por exemplo, para ele essa ideia explicaria o surgimento de vermes parasitas do intestino humano.

Na época em que Redi realizou seus experimentos, o microscópio já havia sido inventado e microrganismos já haviam sido observados. Muita discussão também foi gerada sobre a origem dessas formas de vida, que na época eram chamadas de "animálculos" ou "infusórios" (e hoje chamamos de microrganismos).

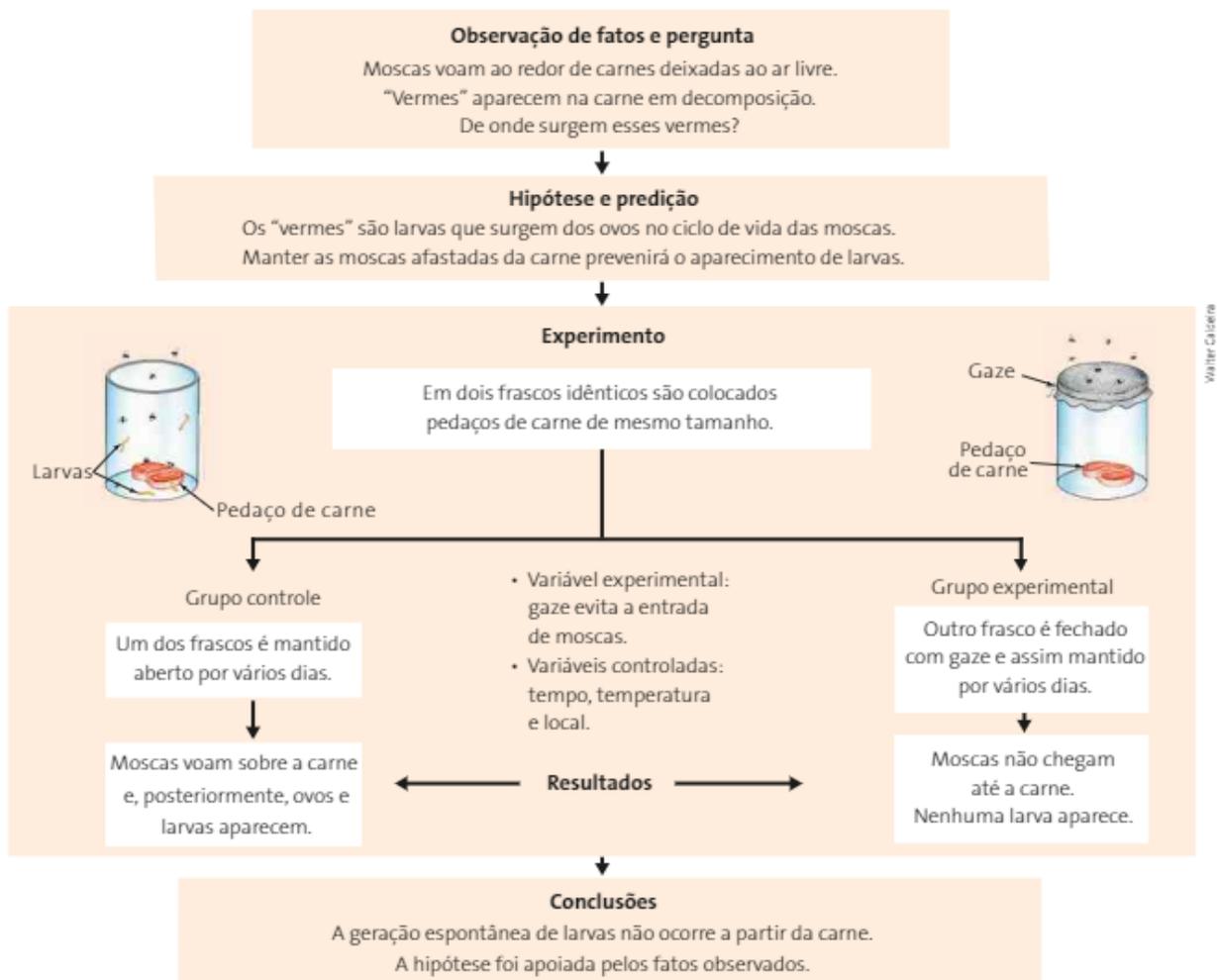


Figura 7.3. Esquema do questionamento, da hipótese, do experimento, dos resultados e das conclusões de Redi.

## Os experimentos de Needham e Spallanzani

John Turberville Needham (1713-1781) começou a desenvolver seu interesse pela natureza observando e descrevendo, com o auxílio dos microscópios, pequenos seres com movimentos, os quais eram na época chamados de animálculos. Ele desenvolveu uma série de experimentos que, segundo suas ideias, traziam evidências de que os animálculos eram gerados espontaneamente.

Em seu principal experimento, apresentado em 1748, Needham preparava um caldo de carne de carneiro e o distribuía, ainda quente, em diversos frascos, que eram fechados com rolhas e deixados em repouso por alguns dias. Desse modo, ele pretendia descobrir se as formas de vida eram produzidas a partir de algo de fora dos frascos ou a partir do próprio caldo nutritivo. Ao examinar essas soluções ao microscópio, Needham observava animálculos, o que o fazia concluir que eles tinham surgido espontaneamente dos caldos. Diante desses resultados, Needham interpretou que a solução nutritiva continha uma "força vital", responsável pelo surgimento das formas vivas.

O naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) e alguns outros cientistas contestavam as interpretações de Needham. Eles consideravam que os seres microscópicos observados por Needham poderiam vir de ovos que estavam no ar, nas paredes dos frascos ou no próprio caldo. Spallanzani era adepto da teoria da biogênese.

Spallanzani repetiu os experimentos de Needham com algumas modificações e obteve resultados diferentes. Em seus experimentos, ele colocou substâncias nutritivas em balões de vidro, submeteu-os à fervura e em seguida fechou-os usando um maçarico, que derretia o próprio vidro do balão e o selava hermeticamente. Deixava resfriar por alguns dias e então abria os frascos e observava o líquido ao microscópio. Nenhum organismo estava presente.

Spallanzani defendeu seus resultados em uma publicação de 1765, explicando que Needham não havia fervido sua solução nutritiva por tempo suficientemente longo para matar todos os animálculos existentes nela e, assim, esterilizá-la. Needham, em 1769, respondeu a essa crítica dizendo que, ao ferver por muito tempo as substâncias nutritivas, Spallanzani havia destruído a "força vital" e, fechando os frascos hermeticamente, tornava o ar desfavorável ao aparecimento da vida. Spallanzani fez outros experimentos para combater as críticas de Needham, mas a controvérsia entre eles, naquela época, não se resolveu.

Needham e Spallanzani eram experimentadores muito competentes, que utilizaram técnicas e meto-

dologias inovadoras para o período histórico em que viveram. Os dois fizeram diversos experimentos para testar suas ideias, mas nenhum deles abandonou suas hipóteses, mesmo após as análises de seus resultados.

Conhecer episódios históricos que se desenvolvem em torno de uma controvérsia científica é importante, pois nos permite perceber que, muitas vezes, as tomadas de decisão em favor de uma ou outra hipótese são influenciadas pela visão dos pesquisadores acerca da questão. Foi o que aconteceu no episódio com esses dois naturalistas.

Na época em que esses pesquisadores viveram, a corrente de pensamento mais aceita era o **vitalismo**. Os vitalistas propunham que, se os movimentos dos astros eram explicados por uma força invisível (ou essência), também deveria existir uma essência da vida ou força vital. A queda do vitalismo ocorreu devido ao fracasso de muitos experimentos destinados a verificar a existência de uma força vital unificadora. Entre esses experimentos destaca-se o de Pasteur, que comentaremos a seguir.

## Os experimentos de Pasteur

Por volta de 1860, Louis Pasteur (1822-1895) realizou experimentos com balões de vidro e infusões, aplicando a técnica de Spallanzani para esticar o pescoço do balão com o uso do fogo. No caso de Pasteur, o pescoço era curvo e mantido aberto, sendo chamado de pescoço de cisne (Fig. 7.4).



Figura 7.4. Parte de gravura que retrata Louis Pasteur em seu laboratório, examinando um balão com líquido esbranquiçado, que corresponde àquele em que houve crescimento de microrganismos, ficando contaminado, e outro com líquido transparente, que corresponde ao estéril.

Os experimentos de Pasteur estão descritos e esquematizados na **figura 7.5**. Analise-a antes de prosseguir com a leitura do texto.

No balão intacto, esses microrganismos não conseguem chegar até o líquido nutritivo e estéril, pois ficam retidos no filtro formado pelas gotículas de água surgidas no pescoço do balão durante o resfriamento. Já nos frascos em que o pescoço é quebrado, esse filtro deixa de existir, e os microrganismos presentes no ar podem entrar em contato com o líquido nutritivo,

onde se proliferam ao encontrar condições adequadas para seu desenvolvimento. Assim, o ar contém microrganismos que se desenvolvem no líquido nutritivo. Não há uma “força vital”, como diziam os defensores da abiogênese.

Os experimentos realizados por Pasteur contribuíram para reforçar a hipótese da biogênese, que passou a ser mais aceita. Outros pesquisadores ainda continuaram a defender a teoria da geração espontânea por algum tempo, travando debates calorosos com Pasteur.

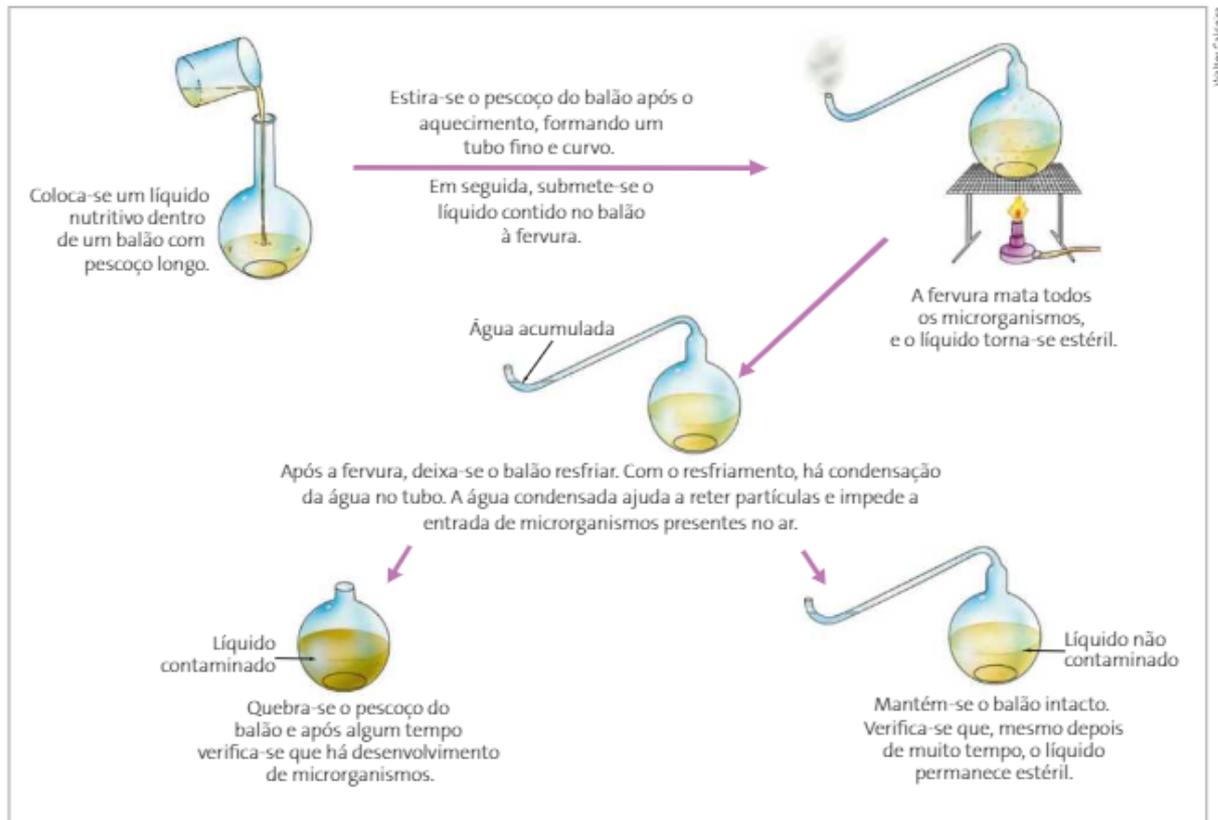


Figura 7.5. Esquema resumindo os experimentos conduzidos por Pasteur. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Colocando em foco

### ALGUNS DOS FEITOS DE PASTEUR

Louis Pasteur fez contribuições muito importantes para a Microbiologia e a Medicina. Ele introduziu mudanças nas práticas hospitalares, minimizando a disseminação de doenças provocadas por microrganismos. Descobriu que a raiva (ou hidrofobia) era transmitida por um agente que não podia ser visto ao microscópio, revelando assim o mundo dos vírus. Desenvolveu técnicas para vacinar cachorros contra a raiva e tratar pessoas mordidas por cães contaminados. Pasteur desenvolveu ainda um processo conhecido como **pasteurização**, por meio do qual os alimentos ficam livres de microrganismos, que são destruídos pelo aquecimento a temperaturas não muito altas, seguido de resfriamento brusco, sem deteriorar os alimentos.

## 3. A origem dos primeiros seres vivos

A aceitação da biogênese gerou novo questionamento: se todos os seres vivos surgem de outros preexistentes, como surgiu o primeiro?

Vamos analisar algumas das explicações científicas que buscam responder a essa questão.

### 3.1. Origem extraterrestre (panspermia)

De acordo com a panspermia, os seres vivos se originaram em outros planetas ou corpos celestes. Eles teriam sido trazidos para a Terra como esporos ou outras formas de resistência, aderidos a meteoritos, que caíram e continuam a cair em nosso planeta.

A panspermia não é muito esclarecedora, pois, se a vida não se formou na Terra, mas em outro planeta, como foi que surgiu a vida lá? Embora ainda não tenhamos a resposta para essa pergunta, estudos recentes têm mostrado a presença de compostos orgânicos, especialmente aminoácidos, que são os blocos construtores das proteínas, em meteoritos e cometas. Em um meteorito que caiu na Austrália em 1969, por exemplo, verificou-se boa quantidade de aminoácidos e, em 2009, foi constatada a presença de moléculas de um tipo de aminoácido na cauda de um cometa.

Esses dados reforçam a ideia de que compostos orgânicos são comuns no Universo e que eles podem ter sido parte dos “ingredientes” que propiciaram a origem da vida. Assim, os seres vivos não teriam sido

trazidos para cá já formados; apenas moléculas orgânicas simples teriam vindo dessa maneira.

Para entender um pouco mais esse assunto, teremos de recorrer a conceitos bem estudados em Física. Supõe-se que toda a matéria que compõe o Universo atual estivesse comprimida em um ponto extremamente pequeno que teria sofrido uma grande e rápida expansão de espaço e de matéria, formando de uma só vez todo o Universo. Essa grande expansão é denominada **big bang** e, segundo cálculos dos pesquisadores, ocorreu há 14 bilhões de anos. A expansão do Universo é percebida até os dias de hoje, trazendo subsídios a favor dessa teoria.

Após o **big bang**, e com a matéria proveniente dele, teria surgido o nosso Sistema Solar. Se considerarmos que toda a matéria do Universo deriva de um só evento, o **big bang**, pode-se esperar certa homogeneidade na composição química dos corpos celestes.

Por meio de técnicas de datação, estima-se que há cerca de 4,5 bilhões de anos a Terra já estivesse formada. Mesmo depois de formada, a Terra continuou e ainda continua a receber meteoritos, além de materiais derivados da cauda dos cometas. Atualmente, caem por ano na Terra cerca de 40 mil toneladas de poeira derivada dos cometas e esse fluxo deve ter sido de cem a mil vezes mais elevado no início da formação da Terra. Não se sabe, no entanto, se a quantidade de aminoácidos vinda de fora da Terra teria sido suficiente para possibilitar a origem da vida, e, por isso, a proposta da panspermia não traz todas as respostas.



### Colocando em foco

#### SERÁ QUE ESTAMOS SOZINHOS NO UNIVERSO?

A vida que se desenvolveu na Terra reflete a natureza do nosso planeta. Se estivesse mais longe do Sol, a Terra seria mais fria, e a água seria sólida. Se estivesse mais próxima do Sol, ela seria muito mais quente e não existiria água líquida, só sob a forma de vapor. O desenvolvimento de seres vivos como conhecemos só é possível dentro dos limites de variação de temperatura que ocorrem na Terra, e essas temperaturas estão relacionadas com a distância entre o nosso planeta e o Sol. O tamanho da Terra também é importante, pois se fosse menor ela não teria campo gravitacional suficiente para manter os gases em nossa atmosfera, e se fosse maior teria um campo gravitacional muito grande, retendo uma atmosfera muito densa, o que reduziria a incidência da luz solar na superfície.

Estima-se que no Universo existam muitos planetas com características físicas semelhantes às da Terra. Há cerca de 100 000 000 000 000 000 000 de estrelas no Universo com características físicas semelhantes às do Sol. Pelo menos cerca de 10% dessas estrelas devem possuir sistema planetário ao seu redor, como o nosso Sistema Solar. Se apenas 1 em 10 000 planetas tiver o tamanho equivalente ao da Terra e estiver à mesma distância do seu sol, vida semelhante à nossa pode ter surgido em pelo menos 1 000 000 000 000 000 de planetas!

## 3.2. Origem por evolução química

Segundo a hipótese da origem por evolução química, os seres vivos devem ter surgido da matéria inanimada, com associações entre as moléculas, formando substâncias cada vez mais complexas, que acabaram se organizando de modo a formar os primeiros organismos. Essa hipótese foi inicialmente formulada de maneira independente na década de 1920 por Aleksander Ivanovich Oparin, bioquímico russo (1894-1980), e John Burdon Sanderson Haldane, biólogo inglês (1892-1964).

Apesar de existirem diferenças entre as propostas desses cientistas, há ideias semelhantes.

Vamos apresentar uma síntese das ideias desses cientistas.

As condições ambientais da Terra antes do surgimento dos primeiros seres vivos eram muito diferentes das atuais. As erupções vulcânicas eram bastante frequentes, liberando grande quantidade de gases e de partículas para a atmosfera. Esses gases e partículas ficaram retidos por ação da força da gravidade e passaram a compor a atmosfera da época.

Esses autores propuseram que a atmosfera primitiva da Terra em seus primórdios era formada principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), gás hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e vapor-d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Nessa época, a Terra continuava o processo de resfriamento; os vapores-d'água condensavam-se originando nuvens, que provocavam chuvas constantes. Isso permitiu o acúmulo da água nas depressões da crosta, formando os mares.

As descargas elétricas e as radiações eram intensas e teriam fornecido energia para que algumas moléculas

presentes na atmosfera se unissem, dando origem a moléculas maiores e mais complexas: as primeiras moléculas orgânicas. É importante lembrar que na atmosfera daquela época, diferentemente do que ocorre hoje, não havia o escudo de ozônio ( $\text{O}_3$ ) barrando as radiações ultravioleta, que, assim, atingiam a Terra com grande intensidade.

As moléculas orgânicas formadas eram arrastadas pelas águas das chuvas e passavam a se acumular nos mares primitivos, que eram quentes e rasos. Esse processo, repetindo-se ao longo de muitos anos, teria transformado os mares da época em verdadeiras "sopas nutritivas", ricas em matéria orgânica. Essas moléculas orgânicas poderiam ter se agregado, formando o que Oparin chamou de **coacervatos** (do latim: *coacervare* = formar grupos), conjuntos de moléculas orgânicas reunidas em grupos, envoltos por moléculas de água.

Os coacervatos não são considerados seres vivos, mas uma primitiva organização de substâncias orgânicas em um sistema semi-isolado do ambiente, com possibilidade de realizar trocas com o meio externo, e de manter um meio interno mais protegido, onde as reações químicas poderiam ocorrer de modo mais controlado.

Não se sabe como a primeira célula surgiu, mas pode-se supor que, se foi possível o surgimento de um sistema organizado como os coacervatos, podem ter surgido sistemas equivalentes, envoltos por membrana, com capacidade de reprodução e regulação das reações internas. Nesse momento teriam surgido os primeiros seres vivos (Fig. 7.6).

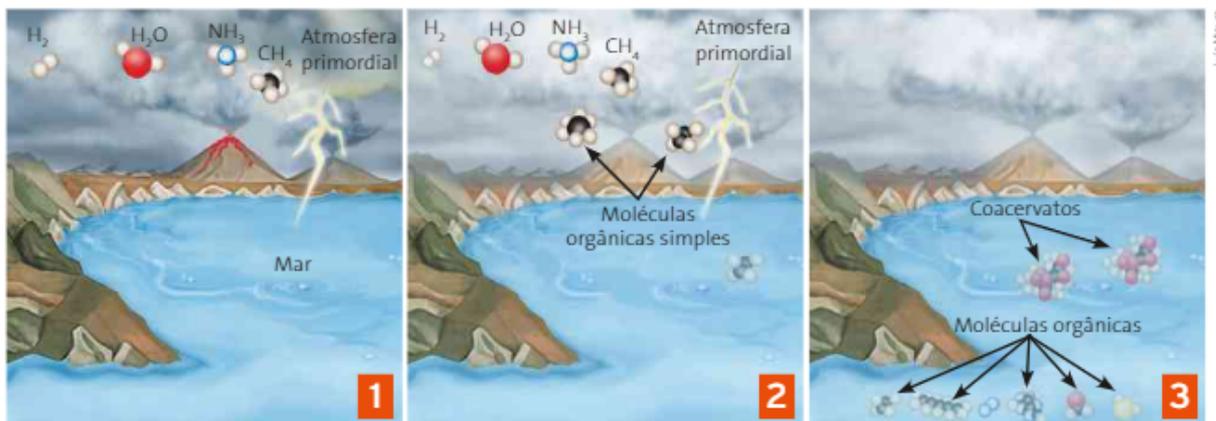


Figura 7.6. Esquema sintetizando as ideias sobre a origem dos seres vivos por evolução química. No quadro 1, a atmosfera com gás hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), vapor-d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Em 2, surgimento dos compostos orgânicos na atmosfera pela ação de descargas elétricas e radiação ultravioleta; essas moléculas foram levadas para o mar pelas águas das chuvas constantes. Em 3, formação de coacervatos nos mares primitivos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## O experimento de Miller-Urey

A possibilidade de ter ocorrido evolução gradual dos sistemas químicos foi testada pela primeira vez pelo químico estadunidense **Stanley L. Miller** (1953-2007), em 1953 (Fig. 7.7). Na época, Miller trabalhava com **Harold C. Urey** (1893-1981), na Universidade de Chicago, razão pela qual muitos preferem dizer **experimento de Miller-Urey**.

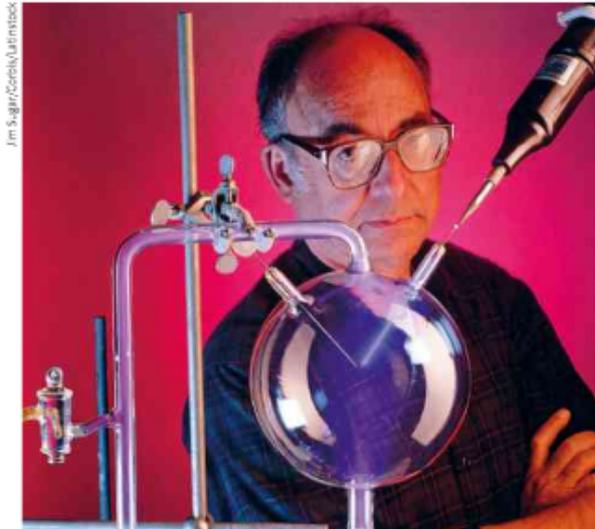


Figura 7.7. Fotografia de Stanley L. Miller, em 1994, e parte do equipamento que construiu para simular as condições da Terra em seus primórdios.

Miller construiu um aparelho que simulava as condições da Terra em seus primórdios com base na hipótese de Oparin e Haldane. Assim, introduziu no aparelho os componentes que provavelmente constituíam a atmosfera naquela época: amônia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e vapor-d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Fig. 7.8).

A água, ao ser fervida, transforma-se em vapor e promove a circulação em todo o sistema, em um só sentido. No balão em que se encontra a mistura gasosa ocorrem descargas elétricas, simulando os raios que, nos primórdios da Terra, deviam ocorrer com frequência elevada. Após as descargas elétricas, os materiais são submetidos a um resfriamento para simular a condensação nas altas camadas da atmosfera, que provoca as chuvas. A parte em U desse sistema simula os mares da época, que recebiam as chuvas e os compostos formados na atmosfera.

Pela análise da água contida nessa parte em U, pode-se verificar a formação de moléculas orgânicas, entre elas alguns aminoácidos, unidades que formam as proteínas.

A composição da atmosfera primordial, no entanto, tem sido questionada. Atualmente, muitos cientistas têm proposto que não havia amônia nem metano na atmosfera da Terra naquela época. Assim, essas substâncias não poderiam ter participado da formação das primeiras moléculas orgânicas, como foi proposto por Oparin e Haldane e apoiado experimentalmente por Miller e Urey.

Nessa outra visão, a atmosfera primitiva seria rica em gás carbônico, vapor-d'água e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ).

Realizando experimentos semelhantes aos de Miller, mas com várias outras combinações de gases, cientistas têm conseguido formar moléculas orgânicas em certos casos e em outros, não. Isso indica que substâncias orgânicas poderiam ter se formado nas condições da Terra primordial, mas apenas em certas situações especiais. Hoje se sabe que as condições descritas por Oparin e Haldane ocorrem nas plumas vulcânicas. Assim, é possível que parte da matéria orgânica tenha sido formada dessa maneira, próximo aos locais de atividade vulcânica, comum na época.

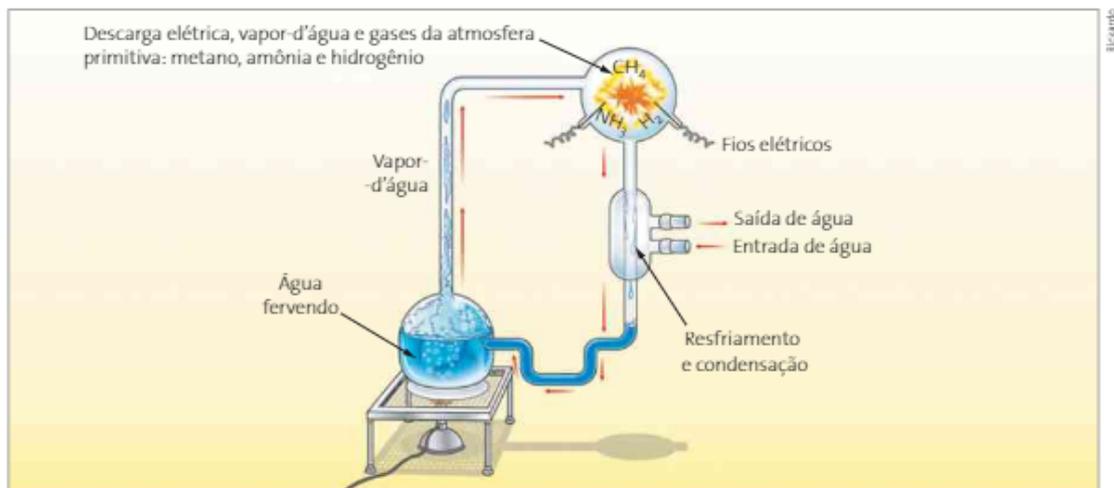


Figura 7.8. Esquema do experimento de Miller-Urey. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

### 3. 3. Origem por processos químicos nas fontes termais submarinas

Outro cenário possível para o surgimento de moléculas orgânicas e dos primeiros seres vivos vem sendo considerado desde a descoberta, em 1977, das **fontes termais submarinas** em profundidades em torno de 2 mil metros ou mais. Nesses locais há fendas no assoalho marinho por onde sai água quente e rica em minerais e gases do interior da Terra (Fig. 7.9). A temperatura no local de saída dessas fontes quentes é muito elevada, em torno de 300 °C. Essa água aquecida, rica em substâncias como metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mistura-se com a água fria ao redor, que está, em média, a 4 °C, gerando áreas com temperaturas menores.

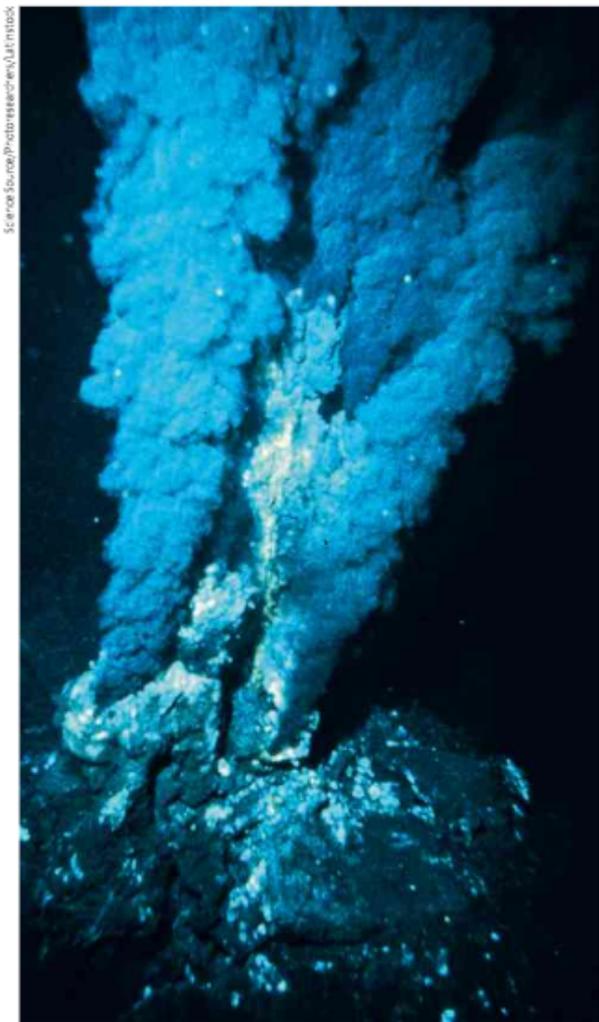


Figura 7.9. Fotografia de fonte termal submarina no Oceano Atlântico.

Depois da descoberta desses ecossistemas tão peculiares, os cientistas começaram a se perguntar se a vida não poderia ter se originado nesses locais ou em outros com condições semelhantes na Terra primordial. Devido à profundidade em que se encontram, as fontes termais submarinas estão protegidas dos impactos de meteoritos, que eram muito frequentes nos primórdios da Terra. Assim, representariam um ambiente mais estável que a superfície da água para o desenvolvimento da vida.

Pesquisas feitas nesses locais verificaram que ao redor das fendas formam-se depósitos minerais cheios de câmaras microscópicas. Por dentro dessas câmaras passa a água recém-saída das “chaminés” e, nesse processo, a água sofre resfriamento. Dentro dessas câmaras microscópicas, o ambiente é propício para a formação de moléculas orgânicas a partir de metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ). Supõe-se que nelas teriam surgido os primeiros seres vivos, que seriam bactérias resistentes ao calor.

Essa hipótese tem sido testada por experimentos realizados no laboratório do pesquisador Michael Russell, na Califórnia (EUA), desde 2009 (Fig. 7.10). Ele e seus colaboradores construíram um equipamento para recriar as condições de fontes hidrotermais. Em seus experimentos, eles têm conseguido obter moléculas orgânicas como aminoácidos e peptídios (protídios simples). Isso trouxe suporte à hipótese da origem da vida nas fontes termais submarinas.



Figura 7.10. Fotografia do pesquisador Michael Russell mostrando o aparelho que simula os processos químicos que ocorrem no interior de uma fonte termal, montado por ele e seus colaboradores no Laboratório de Jato Propulsão (JPL, na sigla em inglês), na Califórnia (EUA).

## 4. O surgimento dos primeiros seres vivos: os procariontes

Supõe-se que os primeiros seres vivos eram unicelulares, ou seja, apresentavam o corpo formado por uma única célula. Essa célula seria estrutural e funcionalmente muito simples, formada por membrana plasmática delimitando o citoplasma, no qual estaria presente uma molécula de DNA em uma região denominada nucleóide.

Células assim organizadas são denominadas **procariontes** e os organismos que as apresentam são denominados **procariontes** ou **procariontos**. Como regra, as células procariontes apresentam parede celular, que é uma estrutura externa à membrana plasmática.

Atualmente, os organismos procariontes mais conhecidos são as bactérias (Fig. 7.11) e as cianobactérias.

Ainda não se tem certeza sobre quando surgiram os primeiros seres vivos. Os cientistas têm encontrado indícios de vida em rochas que datam de 4,1 bilhões de anos, e esses indícios baseiam-se em formas do carbono que representam a atividade metabólica de seres vivos. O registro fóssil mais antigo de um ser vivo que se conhece até hoje data de cerca de 3,5 bilhões de anos. Seres como esses foram encontrados em estruturas chamadas **estromatólitos** (do grego *strōma* = cama; *lithos* = rocha). No sul da África e no oeste da Austrália há estromatólitos fósseis (Fig. 7.12) e também recentes.

No Brasil, há estromatólitos fósseis no estado do Rio de Janeiro, na Lagoa Salgada (município de Campos) e na Lagoa Pernambuco (município de Araruama) (Fig. 7.13) e também estromatólitos em sítios arqueológicos de certos locais do interior da Bahia e de Minas Gerais, onde antes havia mar.

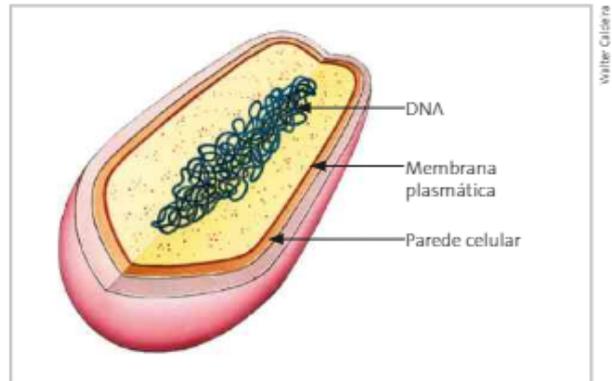


Figura 7.11. Esquema de célula de bactéria vista com parte da célula removida. As bactérias podem ser vistas com o auxílio de microscópios. Mede cerca de 3 µm de comprimento. (Cores fantasia.)



Figura 7.12. Estromatólito fóssil, coletado na Austrália, cortado para mostrar as camadas sucessivas típicas dessa formação.



Figura 7.13. Estromatólitos em lagoa no município de Araruama (RJ), 2013.

Os estromatólitos fósseis de 3,5 bilhões de anos parecem ser de procariontes fotossintetizantes produtores de gás oxigênio. Se isso for verdade, é muito provável que a vida tenha surgido muito antes, possivelmente há 4 bilhões de anos, somente 500 milhões de anos após a formação da Terra! Isso porque se supõe que seres fotossintetizantes não tenham sido as primeiras formas de vida em nosso planeta, já que não havia gás oxigênio na atmosfera primordial.

A quantidade de  $O_2$  formada inicialmente por esses primeiros seres fotossintetizantes não devia ser suficiente para que ele se acumulasse na atmosfera. O gás oxigênio é bastante reativo, e, à medida que ia sendo formado, reagia com muitos elementos, como o ferro.

Com a proliferação dos seres fotossintetizantes, maior quantidade de  $O_2$  começou a ser produzida. Assim, apesar de continuar reagindo com outros elementos como faz até hoje, foi possível o acúmulo de gás oxigênio livre no ambiente.

Dados da presença de gás oxigênio na atmosfera têm sido obtidos da análise de rochas com minerais que reagem com esse gás. Um exemplo é o ferro, que oxidado forma hematita —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  —, originando depósitos avermelhados em rochas que constituem os chamados leitos vermelhos (Fig. 7.14).



Figura 7.14. Rochas sedimentares que constituem os chamados leitos vermelhos alternam bandas vermelhas ricas em ferro oxidado (hematita) com manchas escuras (sílica). Fotografia de rochas encontradas na Austrália.

Esses depósitos não são encontrados em rochas mais antigas que 2,3 bilhões de anos, o que indica que somente após esse período o gás oxigênio passou a ocorrer em maior abundância no meio.

Logo no início do processo em que o  $\text{O}_2$  começou a se acumular no ambiente, esse acúmulo foi responsável por grande mortalidade dos procariontes, únicos seres que viviam na Terra naquela época. Esse gás, embora fundamental hoje para a manutenção da maior parte da vida que conhecemos, é tóxico para os organismos que não são capazes de metabolizá-lo. Portanto, com o início do acúmulo de  $\text{O}_2$  no ambiente, esses organismos acabaram morrendo ou ficando restritos a ambientes anóxicos (sem gás oxigênio). Os organismos que sobreviveram no ambiente cada vez mais rico em  $\text{O}_2$  foram os procariontes que possuíam vias metabólicas capazes de aproveitar esse gás. Essas vias correspondem ao que hoje sabemos ser a **respiração aeróbia**, que se tornou o principal processo de quebra de moléculas orgânicas na produção de energia para o metabolismo celular. Com isso, houve grande proliferação de procariontes aeróbicos. O aumento do teor de  $\text{O}_2$  na atmosfera, aliado ao surgimento da respiração, contribuiu para o surgimento e a evolução de outros grupos de seres vivos: inicialmente os unicelulares eucariontes e, depois, os multicelulares eucariontes, caso das plantas e dos animais.

## 5. O surgimento dos primeiros eucariontes

Estima-se que os primeiros organismos com estrutura celular mais complexa, os **eucariontes** ou **eucariotos**, surgiram por volta de 2 bilhões de anos atrás, muito antes do que se pensava até há pouco tempo. Esses organismos apresentam células chamadas **eucarióticas**, formadas por membrana plasmática, citoplasma e núcleo.

A maior parte dos seres vivos conhecidos é eucariote, sejam unicelulares, como as amebas, ou multicelulares, como as plantas e os animais.

A maneira como ocorreu o surgimento e a evolução das primeiras células eucarióticas ainda é ques-

tão em discussão. Uma hipótese bastante aceita propõe que as primeiras células eucarióticas teriam surgido de células procarióticas sem parede celular, ou que teriam perdido a parede celular. Essas células teriam passado a desenvolver dobramentos da membrana plasmática, tornando-se maiores e mais complexas. Esses dobramentos teriam dado origem a **organelas citoplasmáticas** e ao **envelope nuclear** (carioteca), estrutura membranosa que delimita o núcleo, onde se concentra o material genético da célula (Fig. 7.15).

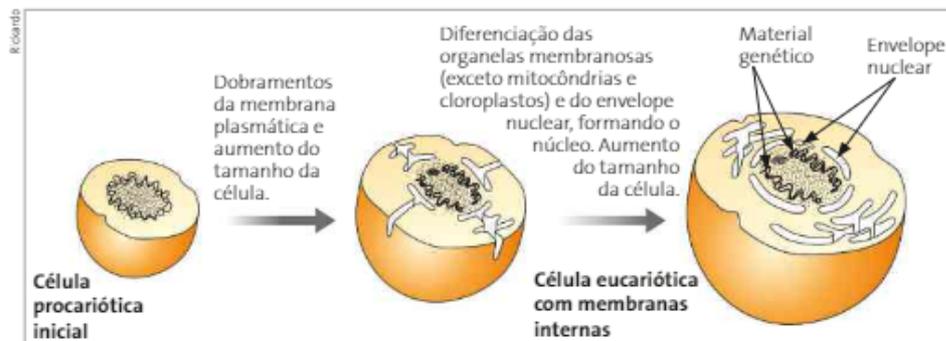


Figura 7.15. Esquema representando a evolução da célula eucariótica por dobramentos da membrana plasmática, feito com parte das células removidas para a visualização das estruturas internas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Despertando ideias

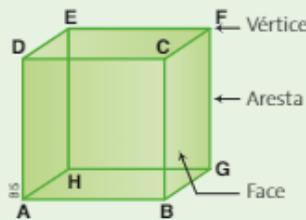
REGISTRE  
NO CADERNO

### Por que tantas membranas internas?

As células eucarióticas apresentam várias organelas internas delimitadas por membranas, enquanto as células procarióticas não as possuem. Geralmente, as células eucarióticas têm volume muito maior que as procarióticas (cerca de mil vezes ou mais) e têm, proporcionalmente, quantidade muito maior de materiais celulares. Uma célula humana, por exemplo, contém cerca de 800 vezes mais DNA que uma célula bacteriana!

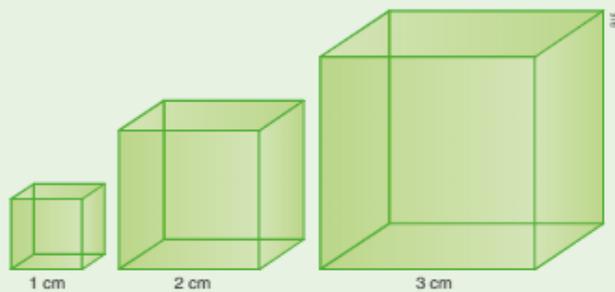
Qual seria a explicação para a existência de tantas membranas internas nas células eucarióticas em relação às procarióticas? Quais seriam as vantagens adaptativas para a fixação, ao longo da evolução, dessa condição nas células eucarióticas? Para responder a essas perguntas, temos que lançar mão de conhecimentos de Matemática.

As células têm formatos variados. Então, para entender o significado para as células da proporção relativa entre superfície e volume, vamos usar como modelo mais simples uma figura geométrica: o cubo. Essa figura se caracteriza por ter os seguintes elementos: 6 faces (quadrados geometricamente iguais), 12 arestas (segmentos de reta de mesmo tamanho) e 8 vértices (Fig. 7.16).



**Figura 7.16.** Esquema de um cubo mostrando seus elementos: faces, arestas e vértices (indicados por letras, de A até H).

Vamos trabalhar com 3 cubos de tamanhos diferentes (Fig. 7.17):



**Figura 7.17.** Cubos com diferentes tamanhos.

Retomando um pouco dos conhecimentos de Matemática, a área da superfície do cubo é calculada levando em consideração que cada uma de suas faces é um quadrado e que todas as faces são iguais.

A fórmula para o cálculo da área (A) de um cubo é: aresta (a)  $\times$  aresta (a)  $\times$  6 (número de faces), ou seja,  $6a^2$ .

A fórmula para o cálculo do volume (V) de um cubo é: aresta (a)  $\times$  aresta (a)  $\times$  aresta (a), ou seja,  $a^3$ .

A relação superfície-volume é dada pela fórmula:  $\frac{\text{Área (A)}}{\text{Volume (V)}}$

### Questões

1. Calcule os valores de área e volume e a relação superfície-volume para os três cubos mostrados acima.
2. Como se comporta a proporção entre área da superfície e volume? O aumento da área é proporcional ao aumento do volume?
3. Que relação pode ser estabelecida entre esse modelo e o bom funcionamento da célula, considerando que os materiais necessários para as reações biológicas intracelulares devem entrar na célula e sair dela passando pela membrana plasmática, que reveste toda a superfície celular, e que muitas reações importantes ocorrem associadas às membranas?

Professor(a), este é um momento para mostrar como modelos matemáticos podem ser usados para explicar alguns fenômenos biológicos, como a complexidade da organização das células eucarióticas em comparação com as células procarióticas. É importante reforçar para os estudantes que a linguagem matemática é fundamental para todas as ciências. Veja as respostas das questões nas Orientações didáticas, ao fim deste volume.

Entre as organelas membranosas, apenas as **mitocôndrias** e os **cloroplastos** tiveram origem diferente. As mitocôndrias são responsáveis pela respiração celular, ocorrendo em praticamente todos os eucariontes. Sabe-se hoje que os eucariontes que não possuem mitocôndrias perderam essa organela na evolução. Assim, o surgimento da mitocôndria ocorreu logo no início da evolução da célula eucariótica. Os cloroplastos são responsáveis pela fotossíntese, estando presentes apenas nos seres eucariontes fotossintetizantes, como as plantas. Há indícios bem-aceitos pela comunidade científica de que essas duas organelas teriam surgido por meio de um processo chamado **simbiogênese** ou **endossimbiose**.

Nesse processo, a célula eucariótica em formação teria englobado bactérias que já realizavam respiração e não as teria degradado. Elas teriam sido mantidas no citoplasma em uma relação que se mostrou vantajosa tanto para as

bactérias quanto para o eucarionte em formação. As bactérias teriam obtido proteção e nutrientes do eucarionte em formação e este, por sua vez, teria passado a se beneficiar do processo de respiração realizado por elas. Essa associação teria se perpetuado e essas bactérias teriam dado origem às atuais mitocôndrias (Fig. 7.18). Dessa linhagem de células eucarióticas derivaram vários grupos de eucariontes tanto unicelulares, como as amebas, quanto multicelulares, como os animais e os fungos.

Algum tempo depois, teria ocorrido outro processo de endossimbiose, mas agora entre células eucarióticas, com mitocôndria, e cianobactérias, que realizam a fotossíntese. Tal associação mostrou-se tão vantajosa que se perpetuou e essas cianobactérias teriam dado origem aos atuais cloroplastos (Fig. 7.18). Dessa linhagem, teriam derivado as atuais plantas e vários outros grupos de organismos fotossintetizantes.

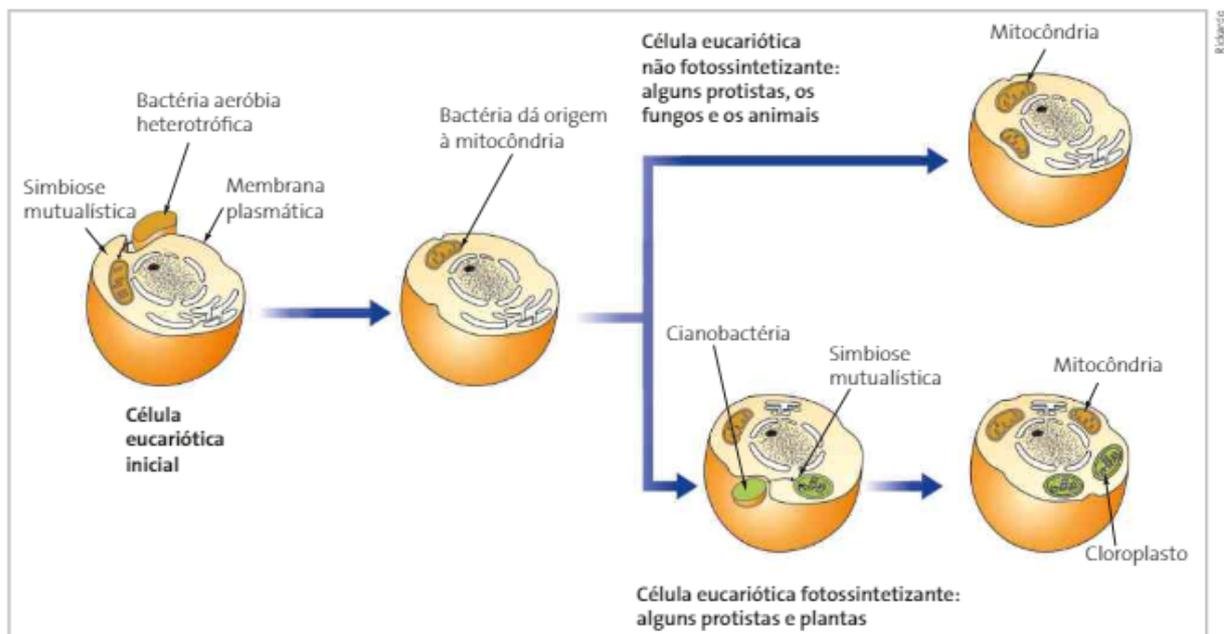


Figura 7.18. Esquema da hipótese simbiótica da origem das mitocôndrias e dos cloroplastos, feito com parte das células removidas para visualização das estruturas internas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 6. O surgimento dos multicelulares eucariontes

O próximo grande evento evolutivo na história da vida foi a origem dos seres multicelulares eucariontes. Supõe-se que a multicelularidade tenha surgido de forma independente a partir de grupos distintos de unicelulares eucariontes, cujas células teriam ficado unidas após as sucessivas divisões celulares. Além de unidas, essas células teriam passado a apresentar divisão e cooperação de trabalho entre elas, de modo que cada célula não pôde mais viver de forma independente. Os

primeiros fósseis de multicelulares eucariontes são de animais e vegetais marinhos, que datam de cerca de 670 milhões de anos, o que nos leva a supor que a multicelularidade tenha surgido antes desse período.

As plantas evoluíram muito provavelmente a partir de algas verdes unicelulares. Fungos e animais surgiram de unicelulares heterótrofos. Evidências moleculares indicam que os fungos são mais aparentados com os animais do que com as plantas.

## 7. A dinâmica da Terra e da vida ao longo do tempo

O estudo da dinâmica da Terra envolve conceitos de várias áreas do saber, como a Geografia e a Física. Atente para isso durante o estudo da dinâmica da Terra e dos movimentos litosféricos. Você perceberá como a construção do conhecimento é feita de maneira interdisciplinar, com a colaboração de pesquisadores e cientistas de várias áreas ao longo do tempo.

A diversidade atual de seres vivos é muito grande, mas nem sempre foi igual à que temos hoje.

Com base em registros que os seres vivos deixaram principalmente nas rochas sob a forma de **fósseis** e em estudos das mudanças nas condições ambientais pelas quais o nosso planeta passou até os dias de hoje, os cientistas dividem o tempo geológico em **eras**, as quais são subdivididas em **períodos**, que são formados por **épocas**. Um resumo dos principais acontecimentos sobre a vida ao longo do tempo geológico está apresentado no infográfico das páginas 160 e 161 (Fig. 7.21).

As mudanças na composição da fauna e da flora de nosso planeta ao longo do tempo foram acompanhadas também por profundas mudanças climáticas e por alterações na crosta terrestre. A Terra foi e ainda é um planeta em transformação.

A distribuição dos mares e das terras mudou muito ao longo da evolução do planeta. A **litosfera**, camada

mais externa da Terra, é formada por cerca de 20 **placas litosféricas**, que ficam sobre o manto. Algumas dessas placas contêm áreas submersas e apenas algumas áreas emersas, as quais formam ilhas. É o caso da placa do Pacífico. Outras, no entanto, são formadas também por continentes, como a placa Sul-americana, que contém grande parte do continente sul-americano.

A espessura dessas placas é variável. As porções das placas que formam o fundo dos mares podem ser muito delgadas, com cerca de 10 km de espessura, enquanto as porções que formam regiões montanhosas chegam a ter 250 km de espessura.

Essas placas não estiveram sempre na posição mostrada no mapa (Fig. 7.19). Ao longo da evolução de nosso planeta, elas se deslocaram e ainda continuam se deslocando.

Esse deslocamento é explicado pela teoria da tectônica de placas, a qual se baseia nas correntes de convecção que se formam no manto. Ao contrário do que muitas pessoas pensam, o manto não é formado por magma ou por qualquer material líquido. Ele é formado por material quente de comportamento viscoso e moldável e é aquecido pela desintegração de átomos que ocorre no núcleo da Terra. Com isso, a porção do manto mais próxima do núcleo fica mais quente e menos densa que a porção mais próxima



Figura 7.19. Mapa-múndi com as placas litosféricas em suas posições atuais.

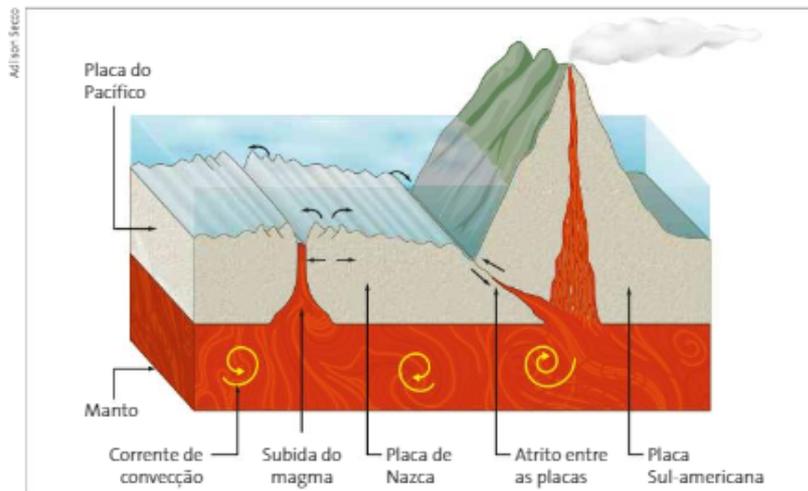
da litosfera. Essa diferença de temperatura e densidade promove as correntes de convecção: o material mais quente e menos denso sobe e o menos quente e mais denso desce; ao descer, esse material se aquece novamente e sobe, e assim por diante.

Os limites entre as placas litosféricas ficam, em geral, no fundo dos mares, com fendas que separam as placas. Nessas fendas, há redução da pressão a que o manto está submetido, e isso faz com que ele se liquefaça, formando o magma, que extravasa. Ao entrar em contato com a água, o magma solidifica-se, contribuindo para aumentar a extensão das placas a partir dessa região. Isso e as correntes de convecção empurram para lados opostos as placas que estão separadas pelas fendas. A movimentação dessas placas pode causar atrito no lado oposto e, nesses casos, uma placa pode entrar por baixo da outra (Fig. 7.20) ou se deslocar em paralelo.

Os movimentos das placas litosféricas são responsáveis pelo soerguimento de montanhas e, quando mais abruptos, pelos terremotos, maremotos, *tsunamis*, entre outros eventos geológicos.

Muitos foram os deslocamentos das placas litosféricas desde o início de nosso planeta, como pode ser observado no infográfico dos períodos geológicos, nas páginas 160 e 161 (Fig. 7.21). No início do Triássico, por exemplo, havia apenas um supercontinente: a **Pangeia** (= Terra toda). No final do Triássico, a Pangeia começou a se separar em dois continentes: **Laurásia**, ao norte, e **Gondwana**, ao sul, separados um do outro pelo mar de Tétis, do qual o atual Mediterrâneo foi o que restou.

No final do Jurássico, a Laurásia já estava dividida em dois continentes: **América do Norte** e **Europa-Ásia**. Gondwana, mais afastada para o sul, deu origem a **América do Sul, África, Índia, Antártida e Austrália**.



**Figura 7.20.** Esquema mostrando o que acontece entre as placas litosféricas do Pacífico, de Nazca e Sul-americana. Em um limite, a placa do Pacífico e a de Nazca se afastam. Pela fenda que surge entre elas sobe magma, que, ao ser resfriado, se solidifica, aumentando a extensão das duas placas. No outro limite, a placa de Nazca colide com a placa Sul-americana. Com essa colisão, a placa de Nazca entra por baixo da Sul-americana, que, por ser mais leve, se "enruga", formando montanhas. O manto da placa que afunda, em função do forte calor causado pelo atrito, derrete e forma magma, que pode ficar acumulado em bolsões e extravasar pelos vulcões. Além disso, o atrito entre as placas provoca terremotos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Colocando em foco

### UMA INJUSTIÇA HISTÓRICA

Na história das ciências, várias injustiças foram cometidas com cientistas que propuseram ideias inovadoras para a realidade da época em que viveram. Um deles foi Alfred Wegener (1880-1930), que, em 1926, propôs uma teoria chamada **deriva continental**. Ele verificou que havia grande semelhança entre o contorno dos continentes, principalmente entre a costa da África e a da América do Sul, como se fossem peças de um quebra-cabeça. Wegener propôs, então, que os continentes eram inicialmente unidos, tendo se separado posteriormente, originando a distribuição atual.

Na época, Wegener foi ridicularizado por seus colegas e sua teoria, rejeitada. Somente mais tarde, na década de 1970, suas ideias foram aceitas, porém aprimoradas: não são os continentes que se movem, mas as placas litosféricas onde eles estão. Esse movimento é decorrente de processos que ocorrem no manto viscoso e quente. A teoria da deriva continental foi, portanto, substituída pela **teoria da tectônica de placas**.

Essa teoria explica muito da atual distribuição dos seres vivos em continentes distintos, como é o caso da grande semelhança entre os fósseis de animais encontrados na África e na América do Sul e, ainda, o de várias semelhanças na flora de ambos os continentes.

## O TEMPO GEOLÓGICO DA TERRA

A vida na Terra é caracterizada pela diversidade de formas de vida, desde a sua origem. Mas as mudanças não se concentraram apenas nos seres vivos: até a posição dos continentes mudou!

Professor(a), desenvolva com os estudantes a sugestão de atividade extra "O planeta e os seres vivos no tempo geológico" descrita nas Orientações didáticas.

### PRÉ-CAMBRIANO

↳ 4 600 a 542 ma

3,8 bilhões de anos atrás: origem da vida procariótica; 2,5 bilhões de anos atrás: surgimento dos eucariontes; 670 milhões de anos atrás: os primeiros fósseis de multicelulares.

Era Pré-Cambriana

### ERA PALEOZOICA

#### Período Cambriano

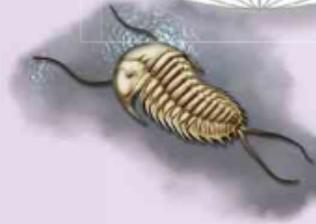
↳ 542 a 488,3 ma

Explosão do Cambriano, com grande diversificação de seres vivos aquáticos: animais e algas.

#### Período Ordoviciano

↳ 488,3 a 443,7 ma

Primeiras plantas terrestres: as briófitas. Diversificação de invertebrados marinhos, mas muitas espécies desapareceram no final do período.



Era Paleozoica

Cambriano

Ordoviciano

### ERA MESOZOICA

#### Período Triássico

↳ 251 a 199,6 ma

Surgimento dos dinossauros, dos pterossauros, dos crocodilos e de outros grupos de répteis. Surgimento dos mamíferos.

#### Período Jurássico

↳ 199,6 a 145,5 ma

"Idade dos répteis": grande diversificação dos dinossauros. Surgimento das aves.



#### Período Cretáceo

↳ 145,5 a 65,5 ma

Surgimento de plantas com flores (angiospermas). Ao final do período, houve um evento de extinção em massa, incluindo a dos dinossauros.

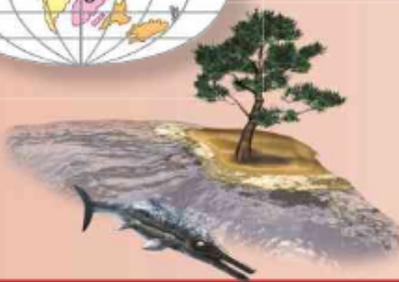
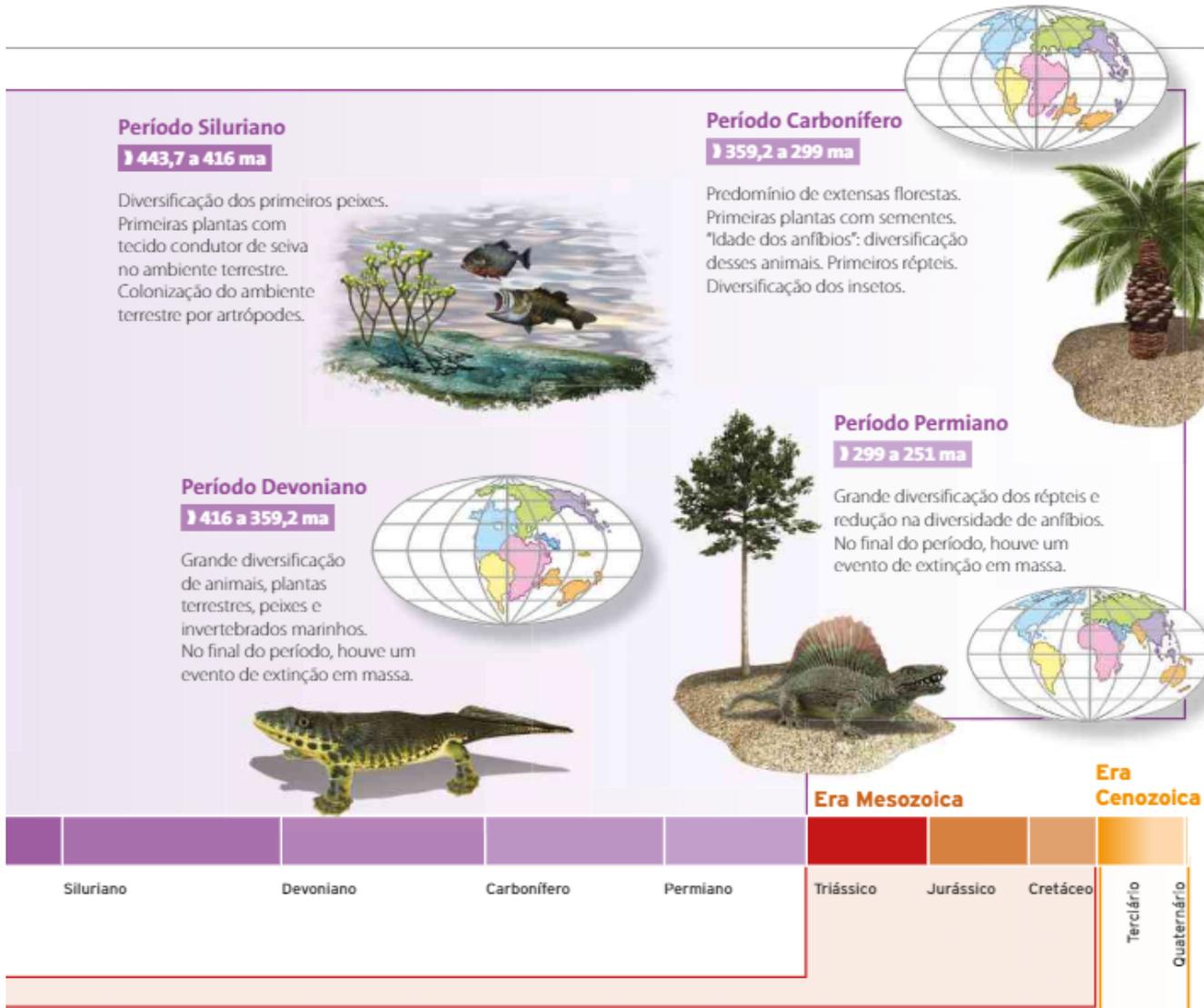


Figura 7.21. Eventos que ocorreram na Terra ao longo do tempo geológico; ma = milhões de anos. (Imagens ilustrativas. Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



**ERA CENOZOICA**

**Período Terciário**  
 ] 65,5 a 2,5 ma

Dividido em cinco épocas: Paleoceno (65,5 a 55,8 ma), Eoceno (55,8 a 33,9 ma), Oligoceno (33,9 a 23,0 ma), Mioceno (23,0 a 5,3 ma) e Plioceno (5,3 a 2,5 ma). Grande diversificação de mamíferos e angiospermas. Aparecimento dos primeiros homínídeos, os australopithecíneos.



**Período Quaternário**  
 ] 2,5 ma até o presente

Dividido em duas épocas: Pleistoceno (2,5 ma a 11 700 anos atrás) e Holoceno (11 700 anos atrás até o presente). A primeira, conhecida como "Idade do gelo" em função das glaciações frequentes, foi caracterizada pela existência dos grandes mamíferos, como mamutes e tigres-dente-de-sabre, além do aparecimento de diversas espécies do gênero *Homo*. A segunda abrange a evolução da humanidade.



Posição atual dos continentes

Fontes de pesquisa: *University of California Museum of Paleontology*. Disponível em: <<http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.php>>. Acesso em: abr. 2016.; GROTZINGER, I.; JORDAN, T. *Para entender a Terra*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.



## Tema para discussão

REGISTRE  
NO CADERNO



### Por que os dinossauros foram extintos?

A extinção de espécies é um processo natural e frequente ao longo da história da vida na Terra. O desaparecimento de grupos de seres vivos e o surgimento de outros são fenômenos que têm atuado decisivamente sobre a biodiversidade. Quando falamos em eventos de extinção em massa, estamos nos referindo a períodos em que vários grupos de organismos distintos extinguiram-se de forma rápida (considerando o tempo geológico) e praticamente ao mesmo tempo, o que sugere uma causa comum para esse desaparecimento. As evidências indicam que esses grandes eventos de extinção foram provocados por alterações climáticas drásticas em todo o planeta. Um deles ocorreu há cerca de 65 milhões de anos, quando os dinossauros foram extintos.

Uma das explicações mais aceitas para essa extinção é a da colisão de um cometa ou de um

asteroide com a superfície do planeta. A formulação dessa explicação deu-se a partir da análise de certas rochas que datam do período de transição entre o Mesozoico e o Cenozoico e que passaram a apresentar maior concentração de irídio, elemento químico pouco frequente na crosta terrestre. De acordo com os defensores dessa hipótese, o irídio teria se originado de material extraterrestre que chegou à Terra com a queda do asteroide.

Outra forte evidência que passou a sustentar a hipótese de colisão foi a descoberta da cratera de Chicxulub, com 180 quilômetros de diâmetro, no México, próximo ao mar do Caribe. Os sedimentos dessa cratera datam de 65 milhões de anos, justamente a época da extinção dos dinossauros. Estima-se que ela tenha sido formada pela queda de um asteroide de cerca de 10 quilômetros de diâmetro.



^ Representação artística da queda do asteroide gigante na região onde fica o atual mar do Caribe, há cerca de 65 milhões de anos, que teria causado a extinção dos dinossauros.



^ Fotografia de satélite colorida artificialmente mostrando a localização da cratera de Chicxulub, no México. Fonte das informações cartográficas: *Atlas geográfico escolar*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

A força do impacto teria sido suficiente para levantar uma nuvem de vapor quente, partículas e fumaça que se espalhou pelo planeta todo e foi capaz de bloquear a passagem de luz solar, causando, por consequência, a morte da vegetação. Em função disso, os animais, que dependiam das plantas direta ou indiretamente para se alimentar, acabaram morrendo em seguida.

O bloqueio da luz solar teria persistido por muitos anos, tornando o planeta mais frio. Além disso, a presença de certos compostos nessa nuvem de fumaça teria provocado a ocorrência de chuvas ácidas por todo o planeta, o que teria acelerado a morte da vegetação.

Apesar de a explicação ser bastante aceita, estudiosos sustentam que o desaparecimento dos dinossauros envolve fatores mais complexos, que não poderiam ser explicados apenas pelo impacto do asteroide. Esses cientistas julgam que a transformação do ambiente terrestre no final do Mesozoico teria sido causada também por intensas erupções vulcânicas acompanhadas de uma série de impactos com asteroides de diversos tamanhos e não por apenas um, embora o que caiu no México tenha sido o maior deles.

Outra discussão atual entre os cientistas refere-se ao metabolismo dos dinossauros: seriam eles ectotermos ou endotermos? Os répteis atuais são ectotermos (do grego: *ektós* = externo; *thermós* = = calor), ou seja, regulam a temperatura interna de seu corpo utilizando o calor do ambiente. Para animais com esse tipo de regulação de temperatura, a sobrevivência ao período mais frio teria sido difícil. Uma das hipóteses propõe que esses animais não teriam conseguido regular a temperatura de seus corpos com a redução da intensidade de radiação solar que chegava à Terra e, por conta disso, teriam morrido de frio. No entanto, existem propostas segundo as quais os dinossauros de grande porte teriam sido capazes de regular a temperatura corpórea com o calor produzido pelo próprio metabolismo, da mesma forma que as aves e os mamíferos, que são animais endotermos (do grego: *éndon* = = para dentro, interno). Caso essa hipótese seja confirmada, os dinossauros teriam sido extintos por consequência do desequilíbrio das cadeias alimentares, processo desencadeado pela destruição da vegetação em função das mudanças climáticas decorrentes da queda de asteroides.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Com seu grupo de estudos, faça uma pesquisa a respeito dos seguintes assuntos:

- os cinco grandes eventos de extinção em massa que ocorreram ao longo do tempo geológico até o Cretáceo;
- o que vem a ser, segundo estudos recentes, o “sexto evento de extinção em massa”.

2. Com os dados levantados, montem uma apresentação para os demais colegas de classe. Com a orientação do(a) professor(a), escolham uma das seguintes formas: pôster, vídeo curto (de 5 minutos), apresentação oral com recursos visuais.

Discutam seus dados com os demais colegas e ouçam com respeito e atenção a apresentação deles. Atendem para as fontes usadas pelos grupos na obtenção dos dados. Que fontes foram consultadas? Essas fontes podem ser consideradas confiáveis? As informações são semelhantes? Em que diferem e em que coincidem?



## Retomando

Agora que você conhece melhor as explicações propostas para a origem da vida, assim como os argumentos em que elas se baseiam, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e avalie-as novamente. Que condições você esperaria encontrar em um planeta, se estivesse procurando por vida? Você procuraria por fósseis? Justifique sua resposta.



## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Hipóteses sobre a origem da matéria orgânica constituinte dos primeiros seres vivos

Habilidades do Enem: H3, H15, H22, H24.

Os trechos a seguir foram extraídos do capítulo “Origem da vida: um tempo curto para uma experiência bem-sucedida”, do livro *Biologia molecular e evolução*. Leia-os e associe cada um deles com as teorias sobre a origem da vida que julgar mais afins, ressaltando os pontos em que se baseou para fazer a associação.

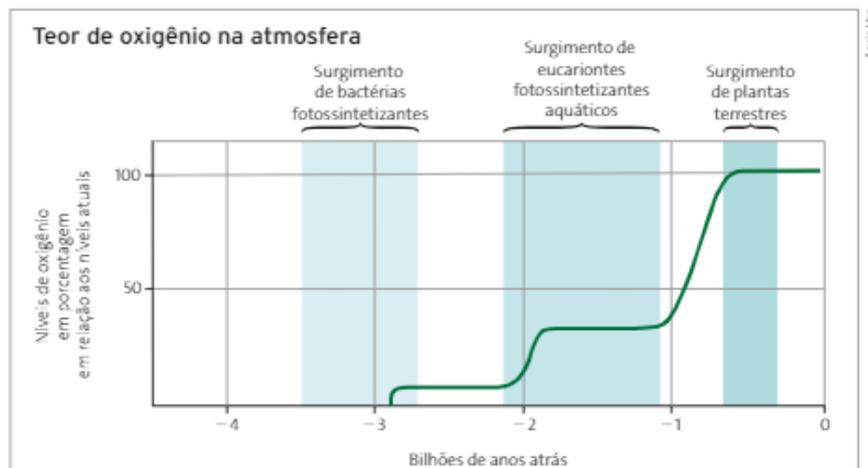
- A energia proveniente de descargas elétricas (relâmpagos) e da luz solar (principalmente de alta energia, como a luz ultravioleta) poderia permitir a ocorrência de reações químicas que produziram vários compostos intermediários importantes para a formação de moléculas orgânicas mais complexas que se acumulariam no oceano primitivo.
- Outra sugestão interessante é a proposta por Juan Oró (1961), na qual ele considera que a presença de matéria orgânica em meteoritos não só comprova sua origem abiótica como também sugere que o bombardeamento da Terra com meteoros e cometas trouxe vários dos componentes necessários para a origem da vida.

Fonte: MATIOLI, S. R. *Biologia molecular e evolução*. São Paulo: Holos, 2001. p. 12 e 13.

### Atividade 2 Evolução do metabolismo e o teor de oxigênio na atmosfera

Habilidades do Enem: H9, H14, H16, H17, H28.

O gráfico a seguir apresenta estimativas do teor de oxigênio na atmosfera desde a formação da Terra até os dias atuais.



Fonte: Nature Education, 2014.

- Analisar o gráfico e descreva a evolução do teor de gás oxigênio ao longo do tempo em relação ao surgimento dos seres procariontes fotossintetizantes e eucariontes fotossintetizantes. Em seguida, responda: A partir de qual intervalo de tempo houve maior incremento do teor desse gás na atmosfera?
- Considerando a redução na disponibilidade de ferro livre nos oceanos há cerca de 2 bilhões de anos, bem como o significado da presença de hematita (óxido de ferro) nas rochas, como se explica o intervalo de aproximadamente 1 bilhão de anos entre o surgimento da atividade fotossintética produtora de  $O_2$  e o início do aumento do teor desse gás na atmosfera?
- Explique a hipótese mais aceita atualmente a respeito da origem das primeiras células eucarióticas fotossintetizantes e que contribuíram para o aumento do teor do gás oxigênio na atmosfera. Para isso, você pode usar esquemas com legendas indicando os passos e as estruturas envolvidas.

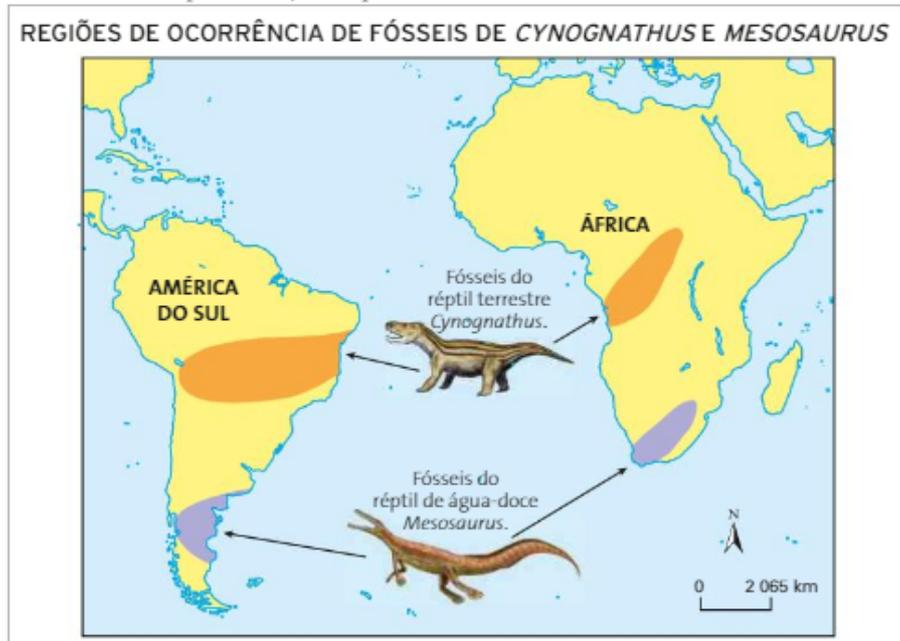
### Atividade 3 O tempo geológico — configurações dos continentes e distribuição geográfica de organismos evidenciadas por registros fósseis

Habilidade do Enem: H17.

A configuração geográfica atual do nosso planeta resulta de processos geológicos globais que se dão em escala de tempo geológico. Como vivemos em tempo ecológico, não chegamos a perceber diretamente a maioria das lentas mudanças globais. Por outro lado, tais mudanças deixam registros ou evidências que tornam possível reconhecê-las, como os fósseis, que nos permitem fazer algumas reconstituições históricas.

A figura a seguir é um mapa atual representando a África e a América do Sul, bem como as regiões de ocorrência de fósseis de *Cynognathus*, um réptil terrestre, e *Mesosaurus*, um réptil de água doce. Esses organismos viveram no período Triássico.

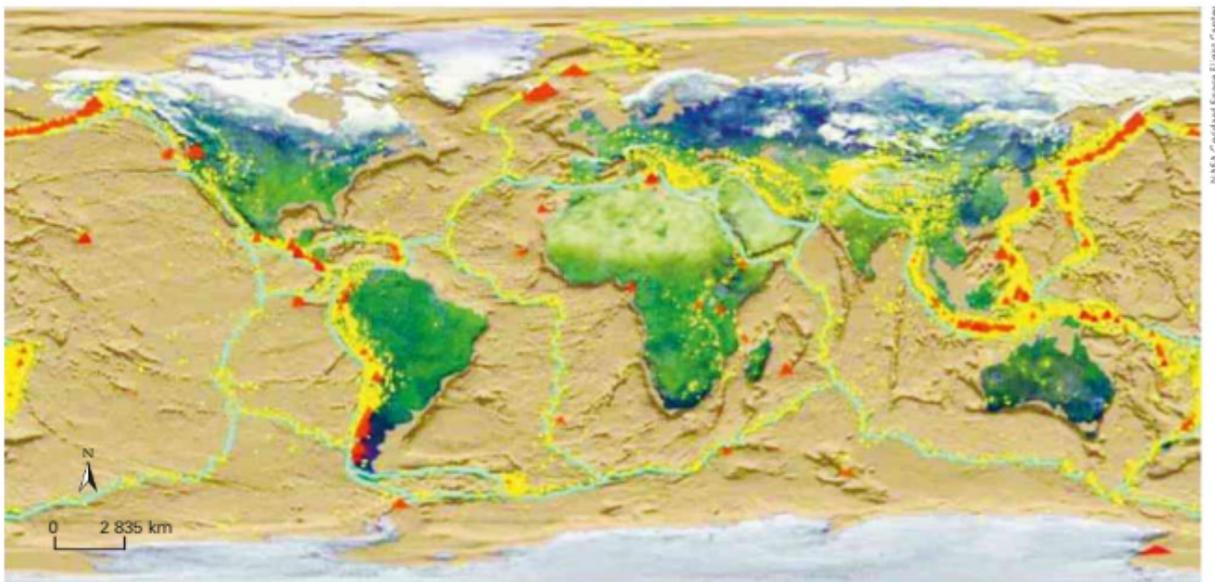
Explique a ocorrência, na América do Sul e na África, de fósseis desses animais. Retorne os mapas que mostram a posição aproximada dos continentes nos diferentes períodos geológicos, no infográfico das páginas 160 e 161, e localize o período Triássico. A distribuição desses fósseis pode ser usada como evidência da disposição dos continentes no passado? Justifique.



Fonte: Disponível em: <<http://www.geolsoc.org.uk/Plate-Tectonics/Chap1-Pioneers-of-Plate-Tectonics/Alfred-Wegener/Fossil-Evidence-from-the-Southern-Hemisphere>>. Acesso em: maio 2016.

#### Atividade 4 Placas litosféricas e vulcanismo Habilidades do Enem: H9, H17.

No planisfério abaixo estão indicados os limites das placas litosféricas (em verde-claro), os vulcões (em vermelho) e as regiões com terremotos (áreas e pontos amarelos). Analise atentamente a figura e responda às questões propostas a seguir:



- a) É possível perceber que em muitos pontos os limites das placas litosféricas coincidem com locais de ocorrência de vulcanismo e de epicentros de terremotos. Como você explica essa coincidência?
- b) O chamado **cinturão de fogo** concentra a maior parte (cerca de 90%) da atividade vulcânica e sísmica do planeta. Ele compreende as linhas de contato entre placas litosféricas muito ativas: Placa do Pacífico, Placa Eurasiana, Placa Indiana e Placa Filipina. Para aprofundar seus estudos sobre a movimentação das placas litosféricas, sugerimos que trabalhe em grupo com os colegas de classe da seguinte maneira:
- procurem em jornais, revistas ou na internet reportagens sobre eventos decorrentes da movimentação das placas litosféricas, causando terremotos, erupções vulcânicas ou *tsunami* nessas regiões;
  - localizem no texto de cada reportagem as explicações dadas para a ocorrência dos fenômenos;
  - apresentem as reportagens para os demais colegas da classe, localizando no mapa cada uma das regiões envolvidas;

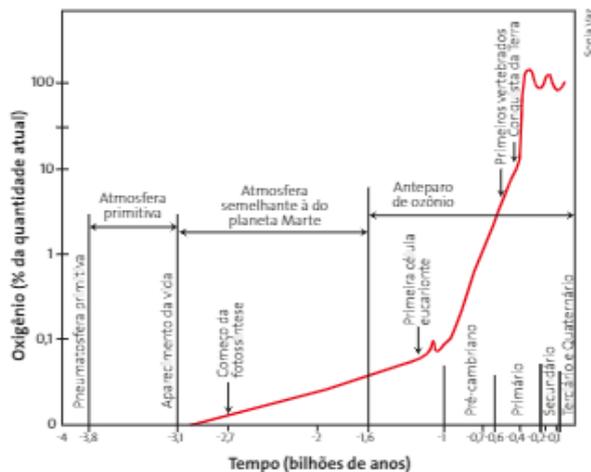


## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO



1. (Enem) O gráfico abaixo representa a evolução da quantidade de oxigênio na atmosfera no curso dos tempos geológicos. O número 100 sugere a quantidade atual de oxigênio na atmosfera, e os demais valores indicam diferentes porcentagens dessa quantidade.



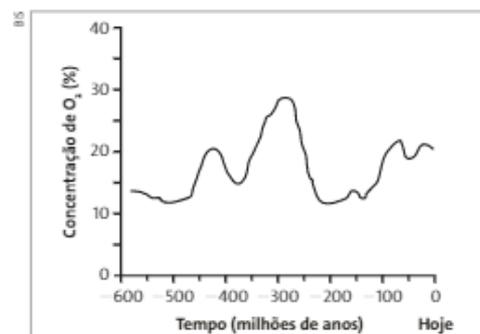
De acordo com o gráfico, é correto afirmar que:

- x a) as primeiras formas de vida surgiram na ausência de  $O_2$ .
- b) a atmosfera primitiva apresentava 1% de teor de oxigênio.
- c) após o início da fotossíntese, o teor de oxigênio na atmosfera se mantém estável.
- d) desde o Pré-cambriano, a atmosfera mantém os mesmos níveis de teor de oxigênio.
- e) na escala evolutiva da vida, quando surgiram os anfíbios, o teor de oxigênio atmosférico já se havia estabilizado.

2. (Enem) Em certos locais, larvas de moscas, criadas em arroz cozido, são utilizadas como iscas para pesca. Alguns criadores, no entanto, acreditam que essas larvas surgem espontaneamente do arroz cozido, tal como preconizado pela teoria da geração espontânea.

Essa teoria começou a ser refutada pelos cientistas ainda no século XVII, a partir dos estudos de Redi e Pasteur, que mostraram experimentalmente que:

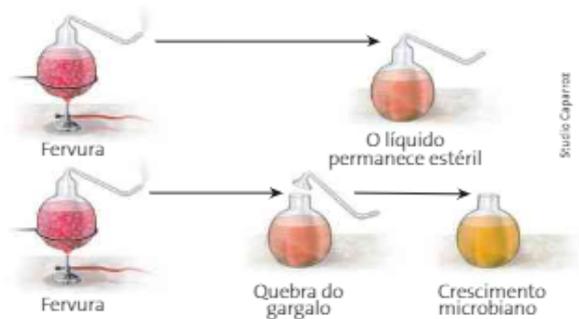
- a) seres vivos podem ser criados em laboratório.
- b) a vida se originou no planeta a partir de microrganismos.
- x c) o ser vivo é oriundo da reprodução de outro ser vivo preexistente.
- d) seres vermiformes e microrganismos são evolutivamente aparentados.
- e) vermes e microrganismos são gerados pela matéria existente nos cadáveres e nos caldos nutritivos, respectivamente.
3. (Enem) Pesquisas recentes estimam o seguinte perfil da concentração de oxigênio ( $O_2$ ) atmosférico ao longo da história evolutiva da Terra:



No período Carbonífero entre aproximadamente 350 e 300 milhões de anos, houve uma ampla ocorrência de animais gigantes, como por exemplo 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.
  - 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.
4. (Fuvest-SP) Em artigo publicado no suplemento Mais!, do jornal *Folha de S.Paulo*, de 6 de agosto de 2000, José Reis relata que pesquisadores canadenses demonstraram que a alga unicelular *Cryptomonas* resulta da fusão de dois organismos, um dos quais englobou o outro ao longo da evolução. Isso não é novidade no mundo vivo. Como relata José Reis: “[...] É hoje corrente em Biologia, após haver sido muito contestada inicialmente, a noção de que certas organelas [...] são remanescentes de células que em tempos idos foram ingeridas por célula mais desenvolvida. Dá-se a esta o nome de hospedeira e o de endossimbiontes às organelas que outrora teriam sido livres”. São exemplos de endossimbiontes em células animais e em células de plantas, respectivamente,
- a) aparelho de Golgi e centríolos;
  - b) centríolos e vacúolos;
  - c) lisossomos e cloroplastos;
  - d) mitocôndrias e vacúolos;
  - e) mitocôndrias e cloroplastos.

5. (UPE-PE) O experimento, utilizando-se de frascos de vidro, com o formato de “pescoço de cisne”, contendo um “caldo nutritivo” e submetido primeiramente ao isolamento e posteriormente à exposição ao ar, conforme figura abaixo, foi usado para se provar a origem da vida.



O autor e a teoria por ele provada foram, respectivamente:

- a) Charles Darwin e Teoria da Evolução.
  - b) Francesco Redi e Teoria da Abiogênese.
  - c) Aristóteles e Teoria da Geração Espontânea.
  - d) Louis Pasteur e Teoria da Biogênese.
  - e) Louis Joblot e Teoria da Seleção Natural.
6. (Unicamp-SP) Na antiguidade, alguns cientistas e pensadores famosos tinham um conceito curioso sobre a origem da vida e em alguns casos existiam até receitas para reproduzir esse processo. Os experimentos de Pasteur foram importantes para a mudança dos conceitos e hipóteses alternativas para o surgimento da vida. Evidências sobre a origem da vida sugerem que:
- a) a composição química da atmosfera influenciou o surgimento da vida.
  - b) os coacervados deram origem às moléculas orgânicas.
  - c) a teoria da abiogênese foi provada pelos experimentos de Pasteur.
  - d) o vitalismo é uma das bases da biogênese.
7. (PUC-RS) Há menos de 2 bilhões de anos, as primeiras células que replicavam seu DNA e que deram origem às linhagens hoje existentes teriam sido exterminadas se:
- a) fossem de tamanho minúsculo.
  - b) vivessem isoladas e independentes.
  - c) fossem envoltas por uma membrana.
  - d) sintetizassem moléculas contendo carbono.
  - e) ficassem expostas à radiação da luz ultravioleta.

## CAPÍTULO

## 8

## A química da vida

Eric Audras/Onokyo/Corbis/Latinstock



**Figura 8.1.** A vida depende do ciclo da matéria e do fluxo de energia. Essa fotografia de jovens se alimentando de frutos simboliza parte disso. Os frutos são produzidos pelas plantas, seres clorofilados que conseguem sintetizar substâncias orgânicas a partir de substâncias inorgânicas (água e gás carbônico) em presença de luz. Frutos e outras partes das plantas servem de alimento para certos organismos, como o nosso. Ao ingerirmos os frutos, seus componentes químicos servirão de matéria-prima para a produção de outras substâncias dentro de nosso corpo, e as substâncias orgânicas ingeridas, ao serem quebradas no processo de respiração celular, fornecerão a energia necessária aos diferentes processos vitais.



## Pense nisso

- O seu corpo e o de outros seres vivos apresentam uma variedade de substâncias químicas. Mencione cinco delas e cite pelo menos uma função de cada uma no corpo.
- Se você quisesse comer um alimento rico em carboidratos e suas opções fossem queijo, pão e bife, qual deles escolheria? Se dentro dessa lista de alimentos você quisesse comer o que contém mais proteínas, qual escolheria?
- Você sabe qual é a função do colesterol no nosso organismo?
- Como você definiria o conceito de vitamina? E o de proteína?
- A sigla DNA tem sido amplamente difundida pelos meios de comunicação. Se estivéssemos interessados em estudar o DNA de uma pessoa, em que tipo de estrutura do corpo dessa pessoa encontraríamos moléculas de DNA? Por quê?

# 1. Introdução

No capítulo anterior, analisamos o universo biológico desde o começo da vida, ou seja, foram apresentadas as hipóteses sobre a origem dos seres vivos e, de forma bastante resumida, as modificações que ocorreram em nosso planeta desde sua origem até os dias de hoje.

Agora, vamos entrar no universo celular e saber um pouco mais a respeito das substâncias inorgânicas e das substâncias orgânicas que formam as células. Para isso, precisaremos de noções de Bioquímica, que serão introduzidas sem torná-las o principal objeto de nosso estudo, mas dadas apenas em quantidade suficiente para compreendermos o funcionamento das células. Você verá, na disciplina de Química, muito mais sobre Bioquímica e Química Orgânica e Inorgânica.

As substâncias inorgânicas estão representadas pela água e pelos sais minerais; as substâncias orgânicas, pelos carboidratos (como os açúcares), lipídios (como as gorduras e os óleos), proteínas e ácidos nucleicos, além das vitaminas.

A porcentagem média dessas substâncias no corpo dos seres vivos varia nos diferentes grupos e em células dos diferentes tecidos, mas a água é a substância mais abundante. O gráfico representado na [figura 8.2](#)

apresenta a porcentagem média dessas substâncias no corpo dos animais: as proteínas correspondem a cerca de 14% e os lipídios, a aproximadamente 3%. As demais substâncias — carboidratos, ácidos nucleicos e minerais — ocorrem em porcentagens de 1% cada uma. Nas células vegetais, os teores de água e de carboidratos são mais elevados, e o teor de proteínas é menor.

Analisaremos, inicialmente, a importância da água e dos sais minerais para os seres vivos e, em seguida, a importância das substâncias orgânicas.

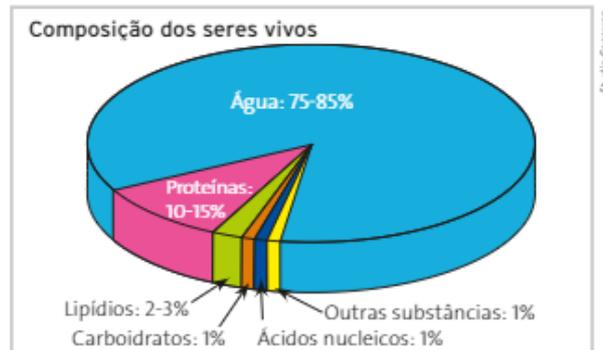


Figura 8.2. Gráfico mostrando porcentagens aproximadas dos componentes químicos do corpo dos seres vivos, tomando-se por base os animais.

Professor(a), todo o conteúdo deste capítulo tem forte interação com a Química. Se até esse momento, no curso de Química, os estudantes não foram introduzidos aos conceitos aqui discutidos, seria interessante que você e o(a) responsável pela disciplina de Química trocassem informações sobre como atuar para que o trabalho possa ser harmônico e integrado.

# 2. A água

A água é a substância mais abundante dentro e fora do corpo dos seres vivos. O surgimento e a manutenção da vida no nosso planeta estão associados à água.

Vamos ver, então, de forma simplificada e resumida, o que essa substância tão comum tem de especial para que a vida dependa tanto dela.

A molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio ( $H_2O$ ). A disposição espacial desses átomos não é linear; eles formam um ângulo, como representado na [figura 8.3](#).

Essa disposição dos átomos estabelece, na molécula, uma zona positiva de um lado e uma zona negativa do lado oposto. Moléculas que apresentam uma zona positiva e uma negativa são chamadas moléculas

polares; as que não apresentam essas duas zonas são chamadas apolares, como é o caso da maioria dos lipídios (gorduras, óleos e ceras).

Por causa da atração entre cargas elétricas opostas, cada molécula de água tende a se unir a outras quatro, de modo que um átomo de hidrogênio de uma molécula sempre se ligue ao átomo de oxigênio de outra molécula. Essas interações são denominadas **ligações de hidrogênio** (Fig. 8.4).

As moléculas de água ficam fortemente unidas, mantendo a água fluida e estável em condições normais de temperatura e pressão.

Essa forte atração entre as moléculas de água é denominada **coesão**.

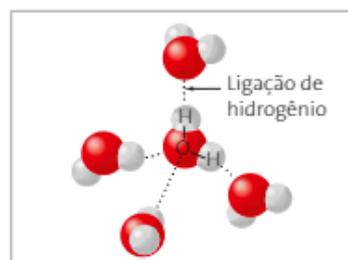
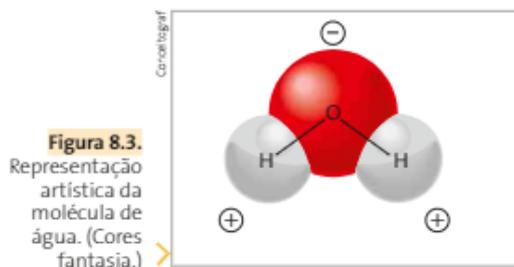


Figura 8.4. Representação artística da interação entre moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio. (Cores fantasia.)

A coesão entre as moléculas de água no estado líquido é responsável por sua alta **tensão superficial**. É devido a essa propriedade que certos insetos e outros pequenos animais conseguem pousar e mesmo andar sobre a água parada, sem afundar (Fig. 8.5). Gotas que se formam sobre certas superfícies, e mesmo as que pendem como pingos em torneiras, têm sua forma mantida pela tensão superficial da água. Essas gotas se desfazem no momento em que a tensão é rompida.

As moléculas de água tendem a se unir também a outras moléculas polares, processo denominado **adesão**.

Entretanto, a água não se adere a moléculas apolares, como as de gordura, de óleo e de cera, que são lipídios. É por isso que a água forma gotinhas em superfícies enceradas ou oleosas.

**Figura 8.5.** Fotografia de inseto pousado sobre a água. Em função da tensão superficial, ele não afunda. Mede cerca de 1,5 cm de comprimento. >

A coesão e a adesão são responsáveis por outra importante propriedade da água: a **capilaridade** (do latim: *capillum* = cabelo). A capilaridade é um dos fatores pelos quais as plantas conseguem transportar a água que retiram do solo até as folhas: os vasos condutores de seiva são verdadeiros capilares.



Foto: Thery V. Damascia



## Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE  
NO CADERNO

### Capilaridade

Vamos nessa experimentação responder à pergunta: que diâmetro (calibre) um tubo deve ter para que a água possa subir em função da capilaridade? Vamos testar a seguinte hipótese: quanto menor o diâmetro do tubo mais a água sobe por capilaridade.

Para verificar essa hipótese, propomos a seguinte montagem experimental, mas você pode pensar em outras juntamente com o(a) professor(a) e colegas de classe. Usem a criatividade!

#### Materiais

- Cuba com água;
- Quatro tubos de plástico transparente, finos, mas com diâmetros distintos entre 1 mm e 1 cm aproximadamente.

#### Procedimento

1. Coloque os quatro tubos verticalmente dentro da cuba de água.
2. Anote a altura que a água sobe em cada um deles.

#### Discussão

1. Em qual dos tubos a água subiu mais?
2. Em algum dos tubos a água não subiu?
3. Sua hipótese foi corroborada?
4. Use os conceitos de adesão e coesão para explicar os resultados de seu experimento.
5. Quais modificações você faria para aprimorar esse experimento ou montar um outro diferente desse?
6. A água sobe por capilaridade em espaços estreitos que não são necessariamente tubos. Elabore uma montagem experimental para verificar a hipótese de que, em espaços estreitos, a água sobe mais do que em espaços maiores até um determinado valor, a partir do qual a água não sobe mais.

Outra característica da água é seu alto **calor específico**. Calor específico de uma substância é a quantidade de calor necessária para elevar em 1 °C a temperatura de 1 g dessa substância. Quanto maior for a quantidade de calor necessária, maior será o calor específico da substância.

Entre os líquidos, o calor específico da água só é menor que o da amônia. O alto calor específico da água no estado líquido decorre das ligações de hidrogênio que unem suas moléculas e são responsáveis por seu poder de coesão. Com isso, há necessidade de grande quantidade de calor para romper um número suficiente de ligações de hidrogênio que permita movimentação maior e mais livre de moléculas de água.

Graças a seu alto calor específico, as trocas de calor entre a água e o ar são mais lentas, daí sua propriedade de manter a temperatura mais constante por certo tempo. Em função dessa propriedade da água, a temperatura mantém-se equilibrada dentro da célula, sem variações bruscas, que afetariam o metabolismo celular. Isso é importante, pois as reações químicas celulares ocorrem em um intervalo pequeno de temperatura.

Para que ocorra evaporação, ou seja, para que uma substância passe do estado líquido para o estado de vapor, há necessidade de certa quantidade de calor. Essa quantidade de calor é conhecida por **calor de vaporização**.

No caso da água, em função das ligações de hidrogênio e da coesão, é necessária uma quantidade de calor relativamente grande para que uma molécula de água se desprenda das demais, provocando o processo de evaporação. Portanto, o calor de vaporização da água é alto.

Assim, na evaporação, a água consome grande quantidade de calor das superfícies com as quais está em contato, fazendo com que elas se resfriem. Um dos principais mecanismos de redução da temperatura corpórea, evitando o superaquecimento do corpo dos seres vivos, é justamente a evaporação (Fig. 8.6).

A passagem de uma substância do estado líquido para o sólido chama-se solidificação. Para que ela ocorra, é necessário haver liberação de calor das substâncias.

A água no estado líquido passa para o estado sólido (gelo) quando submetida a temperaturas abaixo de 0 °C por algum tempo. Essa característica é muito importante para a vida na Terra: se a água congelasse em temperaturas mais elevadas, os seres vivos morreriam,

pois a água presente em suas células congelaria facilmente, formando cristais de gelo que perfurariam as estruturas celulares.

A água é o único fluido que, ao congelar, se expande e se torna menos denso que a forma líquida. Por isso, o gelo flutua na água líquida. Esse fator é decisivo para a existência de vida em ambientes aquáticos de regiões temperadas e frias, pois os organismos conseguem viver sob a camada de gelo.

A água tem grande poder de **dissolução**, sendo considerada o dissolvente (ou solvente) universal. Essa propriedade está relacionada com a polaridade da molécula e seu grande poder de adesão: quando moléculas polares entram em contato com a água, esta tem a tendência de envolver essas moléculas, separando-as. Além de dissolver moléculas polares, a água é também ótimo solvente para os sais minerais.

A propriedade solvente da água é importantíssima, pois todos os reagentes químicos contidos dentro das células estão dissolvidos na água; e todas as reações químicas celulares ocorrem em meio líquido.

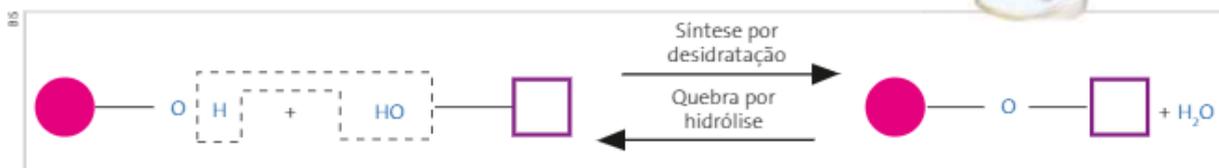
As substâncias que se dissolvem na água são chamadas **hidrofilicas** (*hidro* = água; *philus* = amigo) e as que não se dissolvem na água são chamadas **hidrofóbicas** (*phobos* = medo).

A água participa de muitas reações químicas dentro das células. Essa participação pode ocorrer de duas maneiras principais (Fig. 8.7):

- reações de síntese por desidratação, ou seja, por perda de água: duas ou mais moléculas se unem e nesse processo há liberação de molécula de água;
- reações de quebra por hidrólise (*lise* = quebra): uma molécula é quebrada em duas, e nesse processo há entrada de molécula de água.



**Figura 8.6.** Por causa do alto calor de vaporização da água, a evaporação do suor resfria a superfície de nosso corpo.



**Figura 8.7.** Representação esquemática de síntese por desidratação e de quebra por hidrólise.

### 3. Sais minerais

Os sais minerais podem participar como constituintes de estruturas esqueléticas do corpo dos seres vivos, como é o caso do fosfato de cálcio, abundante nos ossos e nos dentes. Podem também ocorrer dissolvidos em água, caso em que eles se dissociam em íons, que são partículas com carga elétrica positiva ou negativa. Os íons são fundamentais ao metabolismo celular.

O quadro seguinte (Fig. 8.8) apresenta resumidamente alguns desses íons, suas principais funções no organismo humano e suas principais fontes alimentares.

Íons	Principais funções	Principais fontes alimentares
<b>Cálcio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participa da formação e manutenção da estrutura de ossos e dentes e da coagulação sanguínea.</li> <li>Faz parte do processo de transmissão de impulsos nervosos, dos batimentos cardíacos, da regulação da contração muscular.</li> </ul>	Leite e derivados, vegetais verde-escuros.
<b>Fósforo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participa da formação e manutenção da estrutura de ossos e dentes.</li> <li>Faz parte da molécula de ácido nucleico e de uma importante substância que atua na célula como reserva de energia: o ATP (trifosfato de adenosina).</li> </ul>	Leite e derivados, carnes, aves, peixes, cereais, legumes.
<b>Potássio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participa do processo de contração muscular, da regulação da pressão sanguínea, do processo de transmissão de impulsos nervosos, da manutenção do equilíbrio hídrico.</li> <li>Participa da síntese de glicogênio, de proteínas e do metabolismo energético.</li> </ul>	Verduras, frutas, leguminosas, carnes, leite.
<b>Sódio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na regulação do equilíbrio hídrico.</li> <li>Participa da transmissão dos impulsos nervosos e do relaxamento muscular.</li> </ul>	Sal comum de cozinha.
<b>Cloro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na manutenção do equilíbrio hídrico.</li> </ul>	Sal comum de cozinha.
<b>Magnésio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participa na contração muscular.</li> </ul>	Cereais, vegetais e frutas.
<b>Ferro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compõe a hemoglobina e a mioglobina — pigmentos que têm grande afinidade com gases respiratórios, como o oxigênio.</li> </ul>	Carnes, fígado, vegetais verde-escuros, leguminosas.
<b>Zinco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faz parte das enzimas e dos hormônios que participam das principais vias metabólicas.</li> <li>Atua no processo de cicatrização.</li> <li>Compõe as enzimas envolvidas na digestão.</li> </ul>	Carnes, fígado, ovos, mariscos, cereais.
<b>Iodo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faz parte dos hormônios da glândula tireóide, que regulam o metabolismo. Sua falta pode causar o hipotireoidismo, que pode levar ao desenvolvimento acentuado da glândula tireóide, determinando o bócio.</li> </ul>	Peixes, frutos do mar e sal iodado.
<b>Flúor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participa da manutenção da estrutura dos ossos e do esmalte dos dentes.</li> </ul>	Peixes e água fluoretada.
<b>Cromo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua no metabolismo energético e no metabolismo da glicose.</li> </ul>	Cereais integrais, levedo de cerveja e carnes.
<b>Selênio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funciona em íntima associação com a vitamina E.</li> </ul>	Mariscos, carnes, fígado, cereais e leguminosas.
<b>Manganês</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contribui na utilização da glicose para o fornecimento de energia.</li> </ul>	Cereais, frutas e verduras.
<b>Molibdênio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faz parte de algumas enzimas.</li> </ul>	Cereais integrais, leguminosas e leite.

Figura 8.8. Quadro de alguns íons importantes para a saúde humana, suas principais funções e fontes alimentares.



## Colocando em foco

### FALSOS SAUDÁVEIS

[...]  
Aliados na luta contra o excesso de calorias e doenças como o diabetes, alimentos *diet* e *light* podem ser inimigos na luta contra doenças como a hipertensão. Nesses alimentos, o teor de sódio costuma ser maior do que nos similares convencionais, como mostra estudo da nutricionista Waleska Nishida, do Programa de Pós-graduação em Nutrição da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

[...]  
Os resultados são um alerta para os consumidores: o teor de sódio dos alimentos IR [alimentos com isenção ou redução de nutrientes] foi, em média, 43% maior que o dos similares convencionais. Caldos, pós para refresco, gelatinas, refrigerantes e balas estão entre os alimentos com maior teor de sódio. Já picolés, cereais e mistura para bolo *diet* ou *light* têm menos sódio que a versão convencional desses alimentos.

Embora na maioria das vezes os alimentos contêm sódio em sua composição natural, muitos recebem acréscimo da substância no processo de fabricação. A adição é feita para realçar o sabor, modificar a textura ou substituir algum ingrediente.

Consumido em excesso, o sódio pode desencadear não só hipertensão, mas também problemas renais, doenças cardiovasculares e até certos tipos de câncer. A Organização Mundial da Saúde recomenda o consumo máximo de 2 g de sódio por dia, o equivalente a 5 g de sal de cozinha. [...]

Embora o exame de rótulos de produtos alimentícios não seja tarefa simples para os consumidores, estes devem estar atentos ao que consomem. "A simples alegação, em destaque no rótulo, de que um produto é livre de gordura não deve fazer com que o consumidor acredite que ele está livre de outros possíveis elementos nocivos à saúde", adverte Nishida.



^ **Figura 8.9.** O consumo excessivo de sódio, presente no sal de cozinha (composto principalmente pelo cloreto de sódio), pode causar hipertensão arterial, doenças renais e cardiovasculares. A atenção, porém, não se restringe ao saleiro: deve-se ficar atento aos rótulos dos alimentos industrializados.

SCHRAMM, F. P. Falsos saudáveis. *Revista Ciência Hoje On-line*. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2013/10/falsos-saudaveis>>. Acesso em: mar. 2016.

## 4. Vitaminas

O termo vitamina é empregado para nomear substâncias orgânicas necessárias em pequenas quantidades para as atividades metabólicas de um organismo e que não são sintetizadas por ele. Uma exceção é a vitamina D, que pode ser sintetizada na pele sob ação de raios solares a partir de um lipídio.

Quimicamente, as vitaminas não formam uma classe homogênea, pois são substâncias com diferentes origens.

As vitaminas solúveis em água são chamadas **hidrossolúveis** e as vitaminas solúveis em lipídios, **lipossolúveis**.

As necessidades diárias de vitaminas são supridas por meio de uma alimentação variada. A falta de vitaminas pode causar doenças chamadas avitaminoses, e sua ingestão muito além das doses recomendadas pode ser prejudicial, determinando as hipervitaminoses.

Veja no quadro da próxima página (Fig. 8.10) alguns dados sobre vitaminas importantes para a espécie humana.

	Vitaminas	Principais funções e sintomas de sua deficiência	Principais fontes alimentares
Hidrossolúveis	B <sub>1</sub> — Tiamina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua no metabolismo de carboidratos e gorduras. É necessária na respiração celular e na condução de impulsos nervosos.</li> <li>A deficiência pode causar o beribéri (inflamação e degeneração dos nervos), insuficiência cardíaca e distúrbio mental.</li> </ul>	Carnes, legumes, cereais integrais e verduras.
	B <sub>2</sub> — Riboflavina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na respiração celular e na produção de glóbulos vermelhos.</li> <li>A deficiência pode causar fissuras na pele, como rachaduras no canto da boca, anemia e fotofobia.</li> </ul>	Laticínios, carnes, cereais integrais, verduras, leite, ovos e fígado.
	B <sub>3</sub> — Niacina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na respiração celular e é especialmente importante para células da epiderme, epitélio intestinal e nervos.</li> <li>A deficiência pode causar a pelagra (lesões na pele, diarreia e distúrbios nervosos).</li> </ul>	Nozes, carnes, cereais integrais e fígado.
	B <sub>5</sub> — Ácido pantotênico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na respiração celular e no metabolismo das gorduras.</li> <li>A deficiência pode causar anemia, fadiga, formigamento nas mãos e nos pés.</li> </ul>	Carnes, laticínios, cereais integrais e verduras.
	B <sub>6</sub> — Piridoxina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua no metabolismo de proteínas, na síntese de hemoglobina e no sistema nervoso.</li> <li>A deficiência pode causar anemia, convulsões e contrações musculares involuntárias.</li> </ul>	Carnes, verduras, cereais integrais, leite, fígado e peixe.
	B <sub>8</sub> ou H — Biotina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na síntese de queratina.</li> <li>A deficiência pode causar inflamações na pele e distúrbios neuromusculares.</li> </ul>	Legumes, verduras e carnes.
	B <sub>9</sub> — Ácido fólico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durante o desenvolvimento embrionário, atua na formação do tubo neural, que dá origem ao sistema nervoso.</li> <li>A deficiência pode causar anemia e, em gestantes, má-formação do feto.</li> </ul>	Vegetais verdes, laranja, nozes, legumes, cereais integrais. É também sintetizado em nosso corpo por bactérias da flora intestinal normal.
	B <sub>12</sub> — Cobalamina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua nos neurônios e glóbulos vermelhos.</li> <li>A deficiência pode causar anemia perniciosa, distúrbios do sistema nervoso e hemácias malformadas.</li> </ul>	Carnes, ovos e laticínios.
	C — Ácido ascórbico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atua na síntese de colágeno e age como antioxidante.</li> <li>A deficiência pode causar escorbuto (lesões na mucosa intestinal com hemorragias, sangramento das gengivas, fraqueza).</li> </ul>	Frutas, especialmente as cítricas, verduras e legumes.

	Vitaminas	Principais funções e sintomas de sua deficiência	Principais fontes alimentares
Lipossolúveis	<b>A</b> — Retinol, nos animais. (As plantas possuem pigmentos carotenoides que, quando ingeridos, são transformados em retinol no fígado.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessária à manutenção da integridade da pele e dos epitélios respiratório, intestinal e urinário; atua na síntese de pigmentos da retina.</li> <li>• A deficiência pode causar pele escamosa e seca e problemas de visão, especialmente cegueira noturna.</li> </ul>	Vegetais verdes e amarelos, frutas amarelas e alaranjadas, fígado, leite e derivados, gema de ovo, óleo de fígado de bacalhau.
	<b>D</b> — Calciferol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimula absorção de cálcio e fósforo no intestino.</li> <li>• A deficiência em crianças pode causar raquitismo (enfraquecimento e deformação dos ossos) e, em adultos, enfraquecimento dos ossos. Atualmente, a lista de benefícios dessa vitamina para o ser humano aumentou muito: ela está associada a emagrecimento, fortalecimento do sistema imunitário, prevenção do diabetes tipo 2 e da hipertensão, além de estar relacionada com a formação de vários hormônios.</li> </ul>	A vitamina D é produzida na pele humana, sob a ação dos raios solares, e no fígado, a partir de substâncias precursoras presentes principalmente em laticínios, gema de ovo, vegetais ricos em óleos e peixes de águas frias.
	<b>E</b> — Tocoferol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age como antioxidante.</li> <li>• Acredita-se que a deficiência esteja relacionada à anemia e à esterilidade.</li> </ul>	Gérmen de trigo, cereais integrais, vegetais folhosos, óleos vegetais, gema de ovo.
	<b>K</b> — Filoquinona	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É um dos fatores necessários à coagulação sanguínea.</li> <li>• A deficiência pode causar ausência de formação de coágulos e hemorragias.</li> </ul>	Vegetais, chá; também é produzida por bactérias da flora intestinal normal do ser humano.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. Glenview: Pearson Education, Inc., 2014.

Figura 8.10. Quadro de vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis, com suas principais funções, sintomas de deficiência e principais fontes alimentares.

## 5. Carboidratos

Os carboidratos são também chamados glicídios ou hidratos de carbono. Eles podem ser divididos em três grupos:

- monossacarídeos: açúcares simples;
- dissacarídeos: açúcares formados pela união de duas moléculas de monossacarídeos;
- polissacarídeos: carboidratos formados pela união de muitas moléculas de monossacarídeos.

### 5.1. Monossacarídeos

Os monossacarídeos são os glicídios mais simples. A fórmula geral de suas moléculas é  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ .

Os nomes dados aos monossacarídeos dizem respeito ao número de átomos de carbono da molécula:

- trioses: com três átomos de carbono ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ );
- tetroses: com quatro átomos de carbono ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$ );
- pentoses: com cinco átomos de carbono ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ );
- hexoses: com seis átomos de carbono ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ).

Para os organismos, os principais monossacarídeos são as pentoses e as hexoses.

Entre as pentoses existem duas particularmente importantes: a **ribose** e a **desoxirribose**, que participam da constituição dos ácidos nucleicos, respectivamente do RNA e do DNA.

Como principais exemplos de hexoses, citamos a **glicose**, a **frutose** e a **galactose**, importantes fontes de energia para os seres vivos.

### 5.2. Dissacarídeos

São formados pela união de dois monossacarídeos. A **sacarose** (açúcar da cana) é um exemplo de dissacarídeo formado pela união da glicose com a frutose. A **lactose** (açúcar do leite) é um dissacarídeo formado por glicose e galactose.

Na reação entre duas moléculas de monossacarídeos, há liberação de uma molécula de água, e fala-se em síntese por desidratação. Inversamente, na quebra de um dissacarídeo, há entrada de uma molécula de água, e fala-se em quebra por hidrólise, processo geralmente envolvido na digestão química de muitos alimentos.

Os dissacarídeos são solúveis em água, mas não são imediatamente aproveitáveis como fonte de energia. Para isso, precisam ser quebrados por hidrólise, dando origem a dois monossacarídeos, que então podem ser absorvidos (Fig. 8.11).

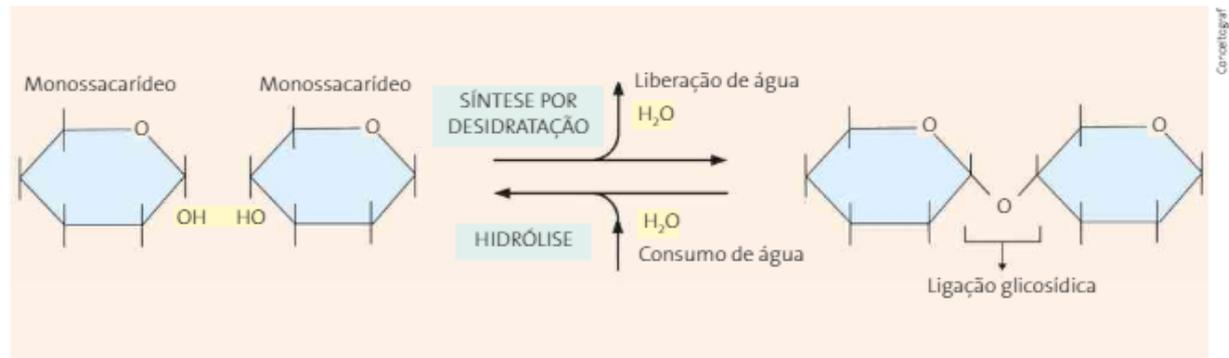


Figura 8.11. Esquema da reação entre dois monossacarídeos originando um dissacarídeo e vice-versa. A síntese do dissacarídeo se dá por perda de um hidrogênio e um grupo OH<sup>-</sup> (chamado hidroxila) que se combinam, formando uma molécula de água. A ligação que se estabelece entre os dois monossacarídeos é a ligação glicosídica. Trata-se de uma síntese por desidratação. A quebra por hidrólise é outra reação, na qual uma molécula de água se decompõe em um hidrogênio e uma hidroxila, separando os monossacarídeos um do outro.

### 5.3. Polissacarídeos

Os polissacarídeos são constituídos por várias moléculas de monossacarídeos, principalmente a glicose, unidas entre si, formando extensas cadeias. Alguns apresentam nitrogênio ou enxofre em sua fórmula. São insolúveis em água e podem ser desdobrados em açúcares simples por hidrólise.

A insolubilidade dos polissacarídeos é vantajosa para os seres vivos por dois motivos: permite que eles participem como componentes estruturais da célula ou que funcionem como armazenadores de energia.

Como em cada ligação entre dois monossacarídeos há perda de uma molécula de água, a fórmula geral dos polissacarídeos formados a partir de hexoses é  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

### 5.4. Carboidratos na alimentação humana

É fundamental incluir carboidratos na nossa dieta. O amido, a sacarose, a glicose e a lactose são importantes como fontes de energia. O polissacarídeo celulose também é importante, mas não como fonte de energia. A celulose está presente na parede celular das células vegetais e não é digerida pelos seres humanos. Suas fibras são necessárias ao organismo para estimular o funcionamento do intestino, evitando o chamado “intestino preso”, que pode ocasionar doenças como hemorroidas e câncer intestinal.

O quadro a seguir (Fig. 8.12) apresenta um resumo com alguns exemplos de polissacarídeos.

Principais polissacarídeos e exemplos de sua ocorrência		
Polissacarídeos estruturais	Celulose	Polissacarídeo mais abundante na natureza. Encontrado principalmente nas plantas, participa da constituição da parede celular. Quando ingerimos alimentos de origem vegetal, a celulose não é digerida, sendo genericamente denominada <b>fibra</b> . Na dieta humana, a ingestão de fibras é importante para o bom funcionamento dos intestinos.
	Quitina	Polissacarídeo formado por várias moléculas de glicose e também por grupos amina (NH <sub>2</sub> ). Ocorre na parede celular dos fungos e no exoesqueleto de artrópodes, como insetos, aranhas e crustáceos.
Polissacarídeos energéticos	Amido	Ocorre nas plantas e em certas algas. Tem função de reserva.
	Glicogênio	Encontrado nos fungos e nos animais. Tem função de reserva.

Figura 8.12. Quadro dos principais polissacarídeos encontrados na natureza, com exemplos de sua ocorrência.



## Despertando ideias

REGISTRE  
NO CADERNO

### Detecção de amido nos alimentos

O amido é um carboidrato do tipo polissacarídeo e é a principal substância de reserva energética (de glicose) de alguns seres vivos. Vamos fazer uma aula prática de identificação do amido em alguns alimentos de origem vegetal e animal, visando detectar qual deles tem amido como reserva.

Para isso, vamos usar o iodo, que, ao interagir com o amido, muda de cor, tornando-se azul-escuro ou arroxeadado, dependendo da quantidade de amido. Se não houver reação, o iodo mantém a sua cor natural, que é marrom-amarelado.

#### Materiais

- 7 xícaras (das de café);
- fatias de maçã;
- caneta hidrocor;
- fatias de batata;
- água;
- miolo de pão;
- clara de ovo;
- leite;
- açúcar;
- tintura de iodo (vendida em farmácias).

**Atenção:** o iodo não deve ser ingerido nem levado à boca.

#### Procedimento

1. Pegue as sete xícaras e numere-as de 1 a 7 com a caneta hidrocor.
2. Adicione em cada uma delas uma amostra a ser testada da seguinte maneira:  
Xícara 1: água;  
Xícara 2: fatia fina de maçã;  
Xícara 3: clara de ovo;  
Xícara 4: miolo de pão;  
Xícara 5: solução de água com açúcar;  
Xícara 6: leite.  
Xícara 7: fatia fina de batata;
3. Prepare a solução de iodo: em meia xícara contendo água, pingue 10 gotas da tintura de iodo.
4. Pingue cinco gotas dessa solução em cada um dos alimentos escolhidos.
5. Aguarde alguns minutos e observe a coloração resultante. Anote a coloração obtida em cada caso.

#### Discussão

1. Qual é a função da água da xícara 1 no experimento?
2. Qual(is) alimento(s) apresentou(aram) teste positivo para a presença de amido?
3. Esses alimentos com teste positivo são de origem animal ou vegetal?
4. Discuta com os colegas de classe e o (a) professor(a) como vocês poderiam promover modificações e melhorias nesses experimentos.

## 6. Lipídios

Os lipídios abrangem uma classe de compostos com estrutura muito variada que exercem diferentes funções biológicas. São substâncias fisicamente caracterizadas pela insolubilidade em água e solubilidade em solventes orgânicos, como o éter, o álcool e o clorofórmio.

Os principais grupos de lipídios serão abordados a seguir.

### 6.1. Carotenoides

Os carotenoides são lipídios que, nas plantas e em certas algas, atuam como pigmentos. Existem dois grupos de carotenoides: **carotenos** e **xantofilas**. Os carotenos são pigmentos alaranjados; a eles se deve, por exemplo, a coloração da cenoura. As xantofilas são pigmentos que podem variar de amarelo a marrom-avermelhado.

Os carotenos devem fazer parte da alimentação humana, pois são precursores da vitamina A, importante para a visão (especialmente para evitar a cegueira noturna) e para a renovação de células da pele. A cor da pele humana, além de depender do pigmento melanina e da disposição dos vasos sanguíneos, depende também do caroteno que fica acumulado no tecido adiposo (do latim: *adeps* = gordura animal, banha; *oso* = cheio de) subcutâneo.

### 6.2. Triglicerídeos

Os triglicerídeos são representados por gorduras e óleos. Eles são formados pela reunião de três moléculas de ácidos graxos com glicerol (um álcool). Nessa união há saída de água (síntese por desidratação).

A decomposição dos triglicerídeos é feita por hidrólise, caso em que há entrada de água e separação dos ácidos graxos do glicerol (Fig. 8.13).

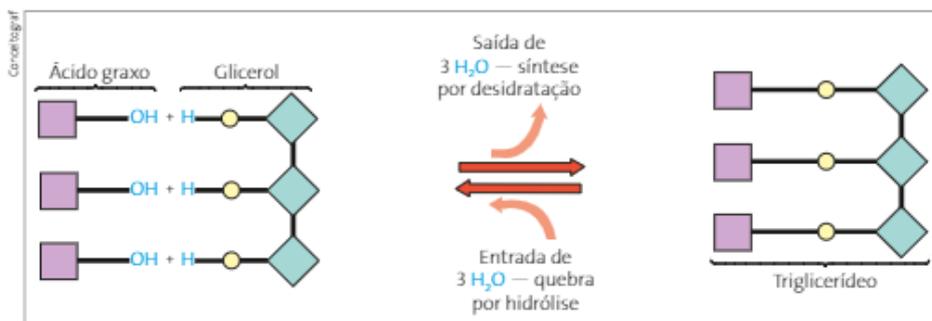


Figura 8.13. Esquema da síntese e da hidrólise de um triglicerídeo. (Cores fantasia.)

Os óleos são encontrados principalmente em plantas, como é o caso dos óleos de algodão, de amendoim, de milho, de arroz e de soja. Também podem ser encontrados nos animais, como é o caso do óleo de fígado de bacalhau.

As gorduras ocorrem nos animais, acumulando-se principalmente em células adiposas. Nos mamíferos, essas células participam da formação de um tecido adiposo bem desenvolvido, localizado sob a pele. Esse tecido atua como reserva de energia e como proteção contra a perda de calor, pois é isolante térmico.

Os triglicerídeos constituem a forma de reserva de energia mais eficiente nos seres vivos. Um grama de triglicerídeo fornece aproximadamente o dobro da energia que um grama de carboidrato. Além disso, os triglicerídeos constituem uma forma de armazenamento de ácidos graxos, substâncias que participam de importantes processos metabólicos.

Os ácidos graxos são classificados em **saturados** e **insaturados**.

As moléculas dos ácidos graxos saturados formam a maior parte da gordura animal. As moléculas dos ácidos graxos insaturados ocorrem nos óleos presentes em plantas, como o girassol, o milho e a canola, e em certos peixes, como o salmão e o bacalhau.

No caso do ser humano, dietas ricas em ácidos graxos saturados podem contribuir para a ocorrência de doenças cardiovasculares, como a **aterosclerose**. Na aterosclerose ocorre perda da elasticidade da parede dos vasos sanguíneos.

Alguns ácidos graxos são considerados **essenciais**, pois não são sintetizados pelo organismo, devendo ser obtidos diretamente da dieta. Para a espécie humana, por exemplo, são considerados essenciais os ácidos graxos insaturados chamados **linoleico**, pertencente à família **ômega 6**, e o **linolênico**, da família **ômega 3**. Essas substâncias são encontradas principalmente em óleos de milho, girassol, gergelim, linhaça, canola, soja e oliva. O ômega 3 também é encontrado em peixes marinhos de águas frias.



## Colocando em foco

### GORDURAS TRANS

As margarinas são produzidas a partir de óleos vegetais que passam por um processo industrial chamado hidrogenação. Nesse processo, são adicionados hidrogênios aos ácidos graxos insaturados para que eles possam ficar sólidos em temperatura ambiente. Quanto mais dura for a margarina, maior é a quantidade de óleo vegetal hidrogenado que ela possui. É dessa maneira que se faz também a gordura vegetal hidrogenada.

Tanto as margarinas quanto as gorduras vegetais hidrogenadas são exemplos de gorduras *trans*, muito usadas em alimentos industrializados para aumentar a validade dos produtos e melhorar sua consistência.

O consumo exagerado de gordura *trans* produz efeitos nocivos no sistema cardiovascular, semelhantes aos de gorduras saturadas.

Desde 2006, a legislação determina que os produtos alimentícios industrializados apresentem em seu rótulo informações sobre a quantidade de gordura *trans* por porção que contêm. Porém, nos casos de produtos alimentícios em que a presença de gordura *trans* seja inferior a 0,2 g por porção, é permitido que a informação no rótulo seja “zero gordura *trans*”.

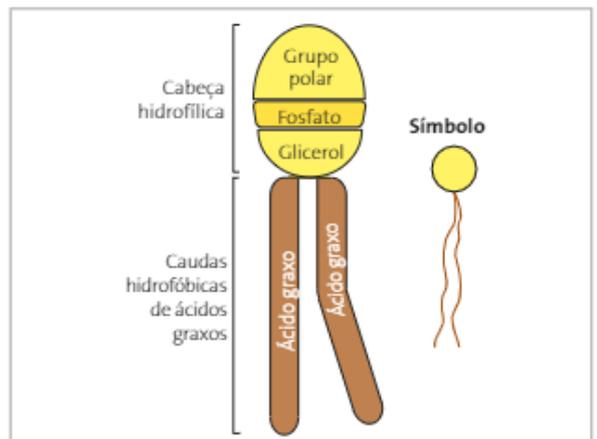
O problema é que muitos desses produtos são consumidos em quantidades maiores que as desejáveis, inclusive por crianças. É o caso de biscoitos recheados, pipoca de micro-ondas, sorvetes cremosos, batata frita, salgadinhos, chocolates, sopas e cremes instantâneos, bolos e massas industrializadas, maionese, massas folhadas e alimentos de *fast-food*. O consumo elevado desses alimentos pode fazer com que a pessoa ultrapasse facilmente o nível de consumo diário de gorduras *trans* recomendado, que é de 2 g.

## 6.3. Fosfolipídios

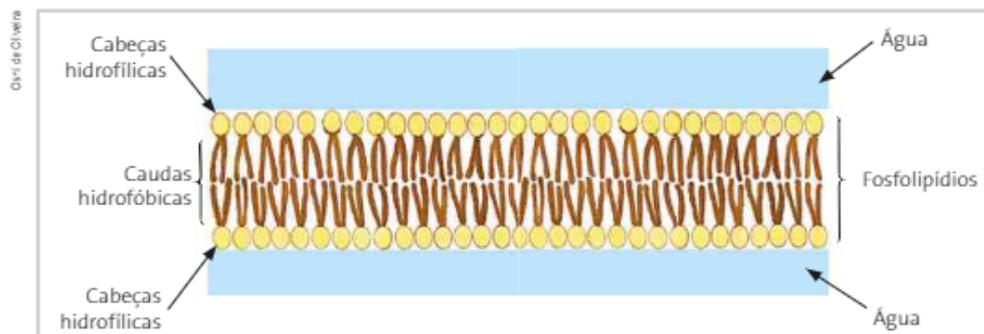
Os fosfolipídios são formados por duas moléculas de ácido graxo e uma molécula contendo fosfato, ligadas a uma molécula de glicerol (Fig. 8.14).

A membrana plasmática e todas as membranas celulares são formadas basicamente por duas camadas de fosfolipídios, com proteínas imersas nessas camadas. São, por isso, chamadas membranas lipo-proteicas. A estrutura mais detalhada dessas membranas será estudada no próximo capítulo.

**Figura 8.14.** Esquema da estrutura da molécula de fosfolipídio e símbolo usado para representar essa molécula. (Cores fantasia.)



As moléculas de fosfolipídio têm um comportamento particular em relação à água, como mostra a figura 8.15.

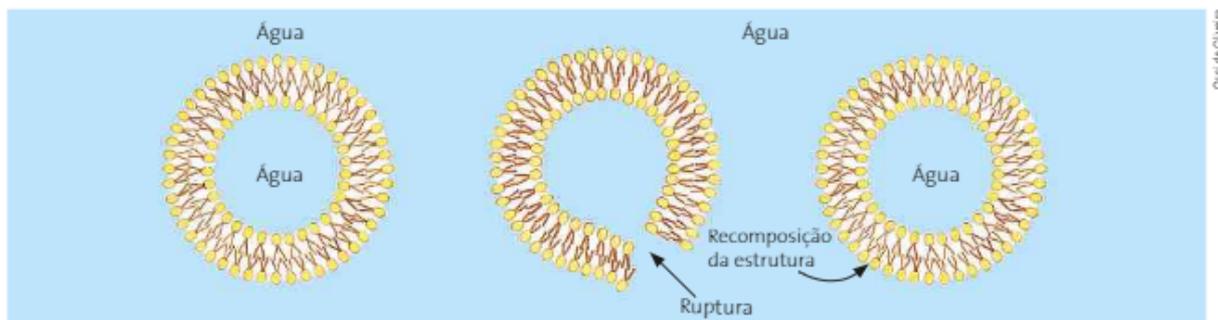


**Figura 8.15.** Esquema de bicamada lipídica, que se forma em virtude do arranjo dos fosfolipídios em contato com a água. (Cores fantasia.)

Uma parte da molécula apresenta afinidade com a água e outra parte, não. Diz-se que essas moléculas são formadas por “cabeça hidrofílica” e “cauda hidrofóbica”. Devido a essa propriedade, quando essas moléculas estão completamente envoltas por água, elas se dispõem naturalmente em duas camadas, ficando com a parte hidrofílica da molécula em contato com a água e a parte hidrofóbica de uma camada em contato com a parte hidrofóbica da outra camada. A formação de membranas com duas camadas de fosfolípidios assim dispostas é, portanto, um processo espontâneo.

Além disso, essas bicamadas de fosfolípidios, quando em água, tendem a se unir por suas extremidades, formando compartimentos fechados (Fig. 8.16). Só assim as partes hidrofóbicas podem ter o máximo de afastamento em relação às moléculas de água. Essa estrutura em vesículas fechadas é energeticamente mais estável. Por isso, quando, por qualquer motivo, essas membranas são rompidas, elas tendem a se unir novamente. Isso explica o grande poder de recuperação das membranas celulares.

Essa bicamada de fosfolípidios apresenta outra característica favorável para as membranas celulares: ela é fluida, permitindo movimentação de moléculas no plano da membrana.



▲ **Figura 8.16.** Representação esquemática da disposição espontânea de moléculas de fosfolípidios quando colocadas em meio aquoso. Se essa estrutura é rompida, ela tende a se fechar novamente. (Cores fantasia.)

## 6.4. Cerídeos

Os cerídeos são representados pelas ceras.

As ceras impermeabilizam as superfícies de folhas, frutos e pétalas, reduzindo, dessa forma, a evaporação. Servem, portanto, como um dos mecanismos para evitar a perda de água em plantas.

As abelhas são exemplos de animais que produzem cera, com a qual constroem suas colmeias.

## 6.5. Esteroides

Os esteroides formam um grupo particular de lípidios relativamente complexos.

O esteroide mais abundante nos tecidos animais é o **colesterol**, que é naturalmente produzido em nosso fígado. O colesterol participa da composição química das membranas celulares das células animais e é precursor do hormônio sexual masculino (testosterona), do hormônio sexual feminino (estrógeno), dos sais biliares e da vitamina D. Além do colesterol que o nosso corpo produz, ingerimos essa substância em alimentos de origem animal.

No sangue humano, o colesterol pode ser transportado associado a lipoproteínas (proteínas ligadas a lípidios) que podem ser de baixa densidade, identificadas pela sigla **LDL** (do inglês: *low density lipoprotein*), ou de alta densidade, identificadas pela sigla **HDL** (do inglês: *high density lipoprotein*).

A **LDL** transporta o colesterol proveniente do fígado para as células dos diferentes tecidos, onde o colesterol é empregado principalmente no reparo de membranas celulares. Quando em excesso, no entanto, as LDLs acumulam-se na parede de artérias e sofrem oxidação. Isso provoca uma resposta inflamatória que acaba por levar à formação de uma placa com depósitos gordurosos recobertos por cálcio, em uma tentativa do corpo de isolar a área afetada. Isso causa o endurecimento da artéria, falando-se em aterosclerose. A placa formada chama-se atheroma. A aterosclerose tem várias outras causas, sendo o excesso de LDL apenas uma delas. Esses atheromas podem causar também o entupimento das artérias, reduzindo ou impedindo o fluxo de sangue. Isso causa isquemia nos tecidos irrigados pela artéria e as consequências podem ser muito graves. Por exemplo, se o atheroma bloquear completamente a passagem do sangue nas artérias do coração, a pessoa pode ter um infarto do miocárdio, popularmente chamado de ataque cardíaco. Por isso, a LDL é chamada de “mau colesterol”.

Já a **HDL**, chamada “bom colesterol”, une-se ao colesterol em excesso no sangue, transportando-o para o fígado, onde é degradado e excretado sob a forma de sais biliares.

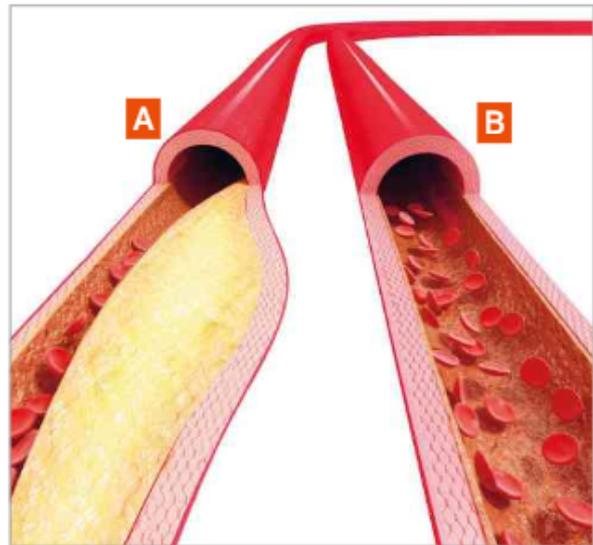
O esquema representado na **figura 8.17** compara uma artéria obstruída a uma livre de ateromas.

Note que a denominação de “mau” e “bom” colesterol refere-se ao papel desempenhado pelas lipoproteínas, já que a molécula de colesterol é a mesma nos dois casos.

Os ácidos graxos insaturados colaboram reduzindo o “mau colesterol” e prevenindo doenças circulatórias; os saturados produzem efeito contrário.

Plantas e fungos não têm colesterol, mas apresentam outros esteroides.

**Figura 8.17.** Comparação entre uma artéria com obstrução causada pelo excesso de colesterol (**A**) e uma artéria saudável (**B**). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.) >



Projeção de STU/artmedex



## Colocando em foco

### ESTEROIDES ANABOLIZANTES

Os esteroides estão largamente difundidos no corpo. Um exemplo é o colesterol, molécula a partir da qual se formam outros esteroides no organismo. É o caso do hormônio sexual feminino chamado estradiol, produzido nos ovários, e do hormônio sexual masculino testosterona, produzido nos testículos.

A testosterona tem efeito anabólico, ou seja, controla a síntese de moléculas grandes a partir de moléculas pequenas. Nos músculos promove o aumento da massa muscular.

Os chamados esteroides anabolizantes são substâncias produzidas em laboratório e que substituem a função da testosterona. Foram desenvolvidos com finalidade médica visando à reposição de testosterona em quem não a produz em quantidades normais. Os anabolizantes só podem ser comprados com receita médica. Seu uso com propósitos estéticos ou por pessoas que desejam aumentar sua força, resistência e massa muscular é ilegal e está entre as drogas investigadas em exames *antidopings* em atletas. É muito importante salientar que o uso desse tipo de substância pode trazer efeitos colaterais, como o surgimento de acne, problemas no fígado, elevação da pressão arterial, elevação dos níveis de LDL e redução do HDL e, no caso das mulheres, também o crescimento de pelos na face e problemas no ciclo menstrual. Se utilizada em excesso, pode levar o indivíduo à morte.

## 7. Proteínas

As proteínas são formadas essencialmente por carbono (C), oxigênio (O), nitrogênio (N) e hidrogênio (H), mas podem apresentar enxofre (S). São macromoléculas formadas pela união de várias moléculas menores denominadas **aminoácidos**. Elas participam da composição de muitas estruturas do corpo dos seres vivos, tendo, principalmente, função estrutural, embora também possam ter função energética. Além disso, existem tipos de proteínas que desempenham muitas outras funções importantes para os seres vivos. São elas:

- as **enzimas**, substâncias que aumentam a velocidade das reações químicas;
- os **anticorpos**, substâncias fundamentais em certos mecanismos de defesa do corpo de seres vivos;
- alguns **hormônios**, como a insulina e o glucagon, sintetizados pelo pâncreas, que atuam no metabolismo de açúcares (a insulina reduz o nível de glicose no sangue, enquanto o glucagon aumenta).

Há também proteínas específicas com funções no nosso organismo. Alguns exemplos:

- a **albumina**, encontrada especialmente na clara de ovos, sendo importante no transporte e armazenamento de grande variedade de substâncias. Também está presente no plasma sanguíneo humano;
- o **fibrinogênio**, importante componente do plasma sanguíneo, participando dos processos de coagulação;
- a **queratina**, que participa da formação de estruturas como unhas, pelos, cornos e cascos de animais;
- a **caseína**, proteína encontrada no leite e que tem todos os aminoácidos essenciais para a espécie humana;
- o **colágeno**, encontrado na pele humana, conferindo-lhe resistência, e nas cartilagens. É a proteína mais abundante do corpo humano.

Vamos começar a estudar as proteínas a partir de suas unidades constituintes: os aminoácidos.

## 7.1. Aminoácidos

Os aminoácidos são também chamados mono-peptídeos.

Existem nos seres vivos vinte aminoácidos distintos, que podem participar da formação das proteínas:

Alanina	(Ala)	Isoleucina	(Ile)
Arginina	(Arg)	Leucina	(Leu)
Asparagina	(Asn)	Lisina	(Lys)
Aspartato	(Asp)	Metionina	(Met)
Cisteína	(Cys)	Prolina	(Pro)
Fenilalanina	(Phe)	Serina	(Ser)
Glicina	(Gly)	Tirosina	(Tyr)
Glutamato	(Glu)	Treonina	(Thr)
Glutamina	(Gln)	Triptofano	(Trp)
Histidina	(His)	Valina	(Val)

Em suas moléculas, todos eles apresentam um grupamento **amina** ( $\text{NH}_2$ ) e um grupamento **carboxila** ou **ácido carboxílico** ( $\text{COOH}$ ). Por essa razão, eles são denominados aminoácidos. Esses grupamentos estão ligados a um mesmo átomo de carbono, que, por sua vez, está ligado a um átomo de hidrogênio e a um radical que varia de aminoácido para aminoácido. Portanto, é em função desse radical que se diferenciam os tipos de aminoácido.

Veja, na [figura 8.18](#), um esquema da fórmula estrutural geral dos aminoácidos.

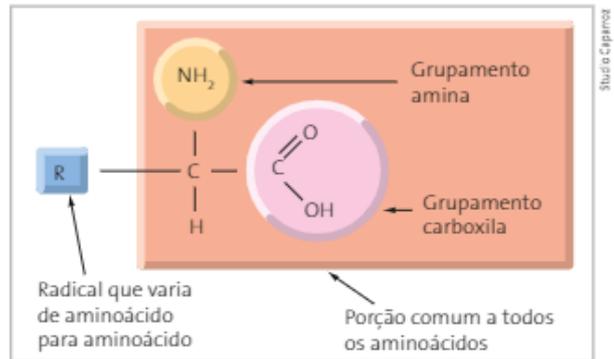


Figura 8.18. Fórmula estrutural geral das moléculas de aminoácidos.

Observe, agora, a estrutura dos aminoácidos glicina ([Fig. 8.19](#)) e metionina ([Fig. 8.20](#)). Note que a diferença entre eles está no radical.

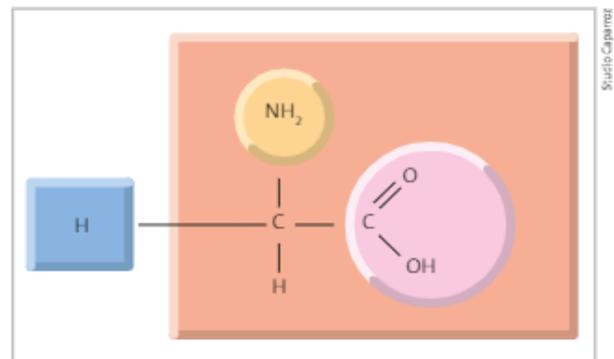


Figura 8.19. Fórmula estrutural da glicina: o radical é um átomo de hidrogênio (H).

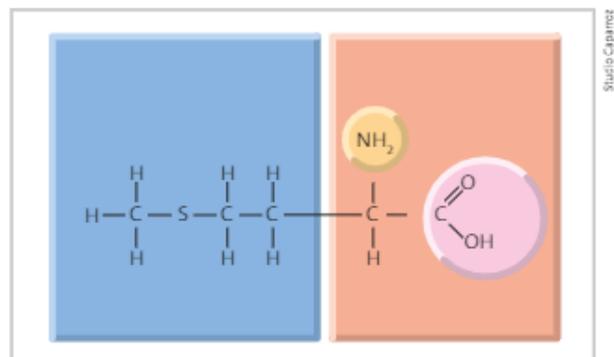


Figura 8.20. Fórmula estrutural da metionina: o radical apresenta cadeia carbônica linear, contendo enxofre (S).

As células vegetais produzem os vinte tipos de aminoácidos, mas as células animais não sintetizam todos eles. Em razão disso, os animais devem obter esses aminoácidos por meio da alimentação.

Os aminoácidos produzidos por um organismo são chamados **naturais**, enquanto os que necessitam ser ingeridos, por não serem sintetizados pelo organismo,

são chamados **essenciais**. Um aminoácido pode ser essencial para uma espécie e não ser para outra. No caso da espécie humana, os aminoácidos essenciais são fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina. Além desses, a arginina e a histidina têm sido consideradas aminoácidos essenciais por alguns pesquisadores.

Um dos motivos da importância de uma alimentação variada está no fato de que poucos alimentos contêm todos os aminoácidos essenciais. O hábito comum no Brasil de comer arroz com feijão propicia a ingestão de todos os aminoácidos essenciais para o organismo humano.

## 7.2. Ligação peptídica

A ligação que une os aminoácidos é denominada ligação peptídica, caracterizada pela reação do grupo amina de um aminoácido com o grupo carboxila de outro, havendo liberação de uma molécula de água (síntese por desidratação). As ligações peptídicas podem ser quebradas por hidrólise e, nesse caso, os aminoácidos retornam à condição inicial.

Dois aminoácidos unidos por uma ligação peptídica formam uma molécula denominada **dipeptídeo** (Fig. 8.21).

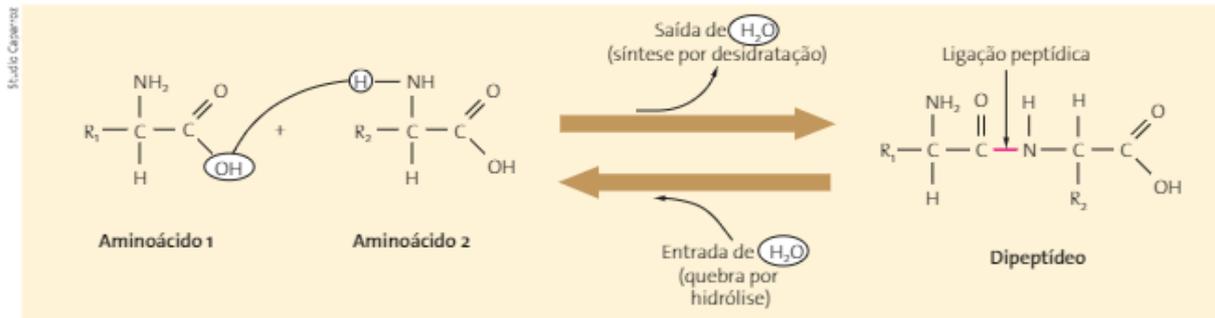


Figura 8.21. Esquema da síntese e da hidrólise de dipeptídeo.

Vários aminoácidos unidos por ligações peptídicas formam uma macromolécula denominada **polipeptídeo**. Uma molécula de proteína pode ser formada por apenas uma cadeia polipeptídica, como é o caso da albumina presente na clara do ovo. Outras moléculas de proteína podem ser formadas por mais de uma cadeia polipeptídica; é o caso da hemoglobina, composta de quatro cadeias polipeptídicas.

## 7.3. Estrutura da proteína

A estrutura primária da proteína corresponde à sequência linear de aminoácidos, que é determinada geneticamente.

A molécula de proteína, no entanto, não é um fio esticado. Ela apresenta dobramentos e enrolamentos determinados por atrações químicas entre os aminoácidos e pela intervenção de outras proteínas, denominadas **chaperonas**. Esses dobramentos conferem às proteínas formas tridimensionais, que correspondem às estruturas secundárias e terciárias. Quando duas ou mais cadeias se unem para formar uma proteína, temos a estrutura quaternária (Fig. 8.22).

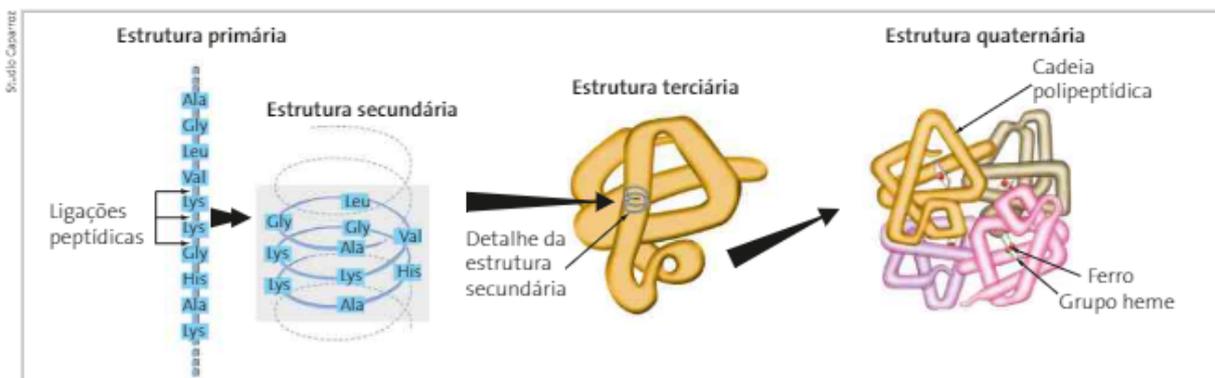


Figura 8.22. Esquema dos quatro níveis de complexidade estrutural das proteínas usando como exemplo a hemoglobina: estruturas primária, secundária, terciária e quaternária. Cada molécula de hemoglobina é formada por quatro cadeias polipeptídicas, cada uma associada a um grupo heme, que contém ferro. O oxigênio do sangue liga-se ao heme. Assim, cada molécula de hemoglobina é capaz de transportar, de uma só vez, quatro moléculas de oxigênio. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As funções de cada proteína estão associadas, entre outros fatores, à sua estrutura primária, ou seja, à sequência dos aminoácidos na proteína. Alterações que possam ocorrer nessa sequência, em função de mutações do material genético (mutação gênica), podem provocar alterações na sequência dos aminoácidos, na forma da proteína e em sua função. Um exemplo bem conhecido é o da mutação gênica que leva à substituição de um aminoácido glutamato pela valina na molécula de hemoglobina (Fig. 8.23). As hemácias portadoras dessa hemoglobina alterada apresentam-se sob a forma de foice, e o indivíduo manifesta uma doença denominada **anemia falciforme** ou **siclemia**, que pode ser letal, pois essas hemácias, além de transportarem pouco oxigênio, são mais frágeis, podendo se romper com facilidade.

Compare a forma das duas hemácias na figura 8.24.

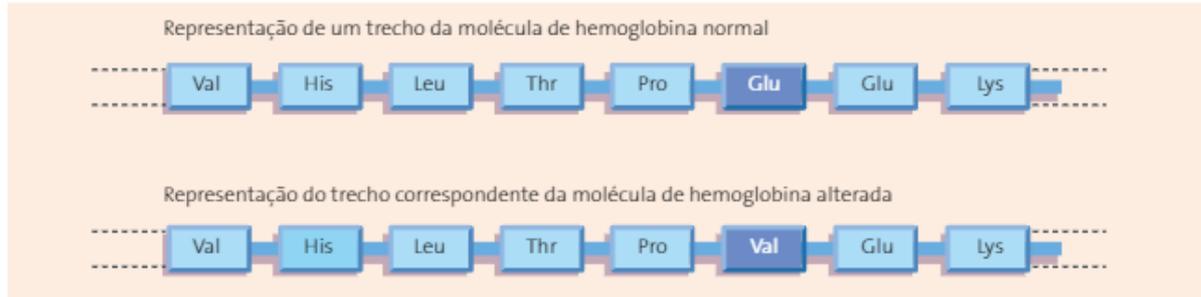


Figura 8.23. Representação de um trecho da sequência de aminoácidos da hemoglobina normal e da hemoglobina alterada.

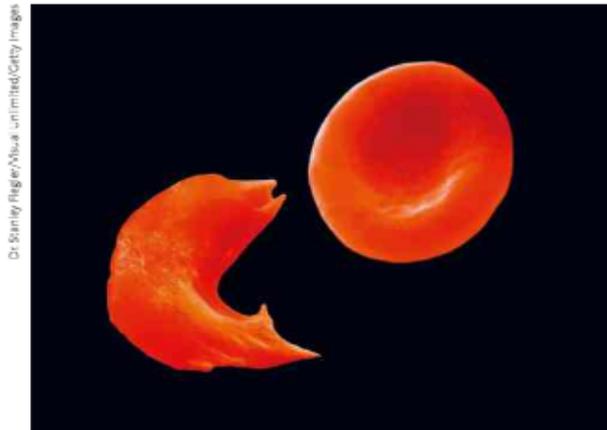


Figura 8.24. Eletronicografia de varredura de uma hemácia normal (à direita, com cerca de 7  $\mu\text{m}$  de diâmetro) e outra, falciforme (à esquerda). Em 2001, onze estados brasileiros incluíram no diagnóstico neonatal um exame que detecta a anemia falciforme, a qual é hereditária. (Cores artificiais.)

Alterações na forma das proteínas podem ser causadas por outros fatores, como o aumento da temperatura. Nesses casos, falamos em **desnaturação** da proteína, que se torna inativa (Fig. 8.25). A desnaturação pode se reverter, desde que o meio retorne às condições ideais para a proteína. Em muitos casos, no entanto, é um processo irreversível. É o que acontece, por exemplo, com a albumina da clara do ovo: com o aquecimento, a albumina sofre desnaturação e a clara endurece; após o resfriamento, a clara não volta a se liquefazer.

As proteínas podem ser classificadas em simples ou conjugadas.

As simples são formadas apenas por aminoácidos, enquanto as conjugadas apresentam outros componentes, além dos aminoácidos, que são chamados **grupos prostéticos**. A hemoglobina é um exemplo de proteína conjugada: ela tem ferro em sua molécula.

As proteínas conjugadas podem ser classificadas em:

- cromoproteínas: o grupo prostético confere cor à proteína (ex.: hemoglobina);
- glicoproteínas: o grupo prostético é um glicídio (ex.: proteínas presentes na estrutura de membranas; muco);
- lipoproteínas: o grupo prostético é um lipídio (ex.: HDL, LDL);
- nucleoproteínas: o grupo prostético é um ácido nucleico (ex.: cromatina).

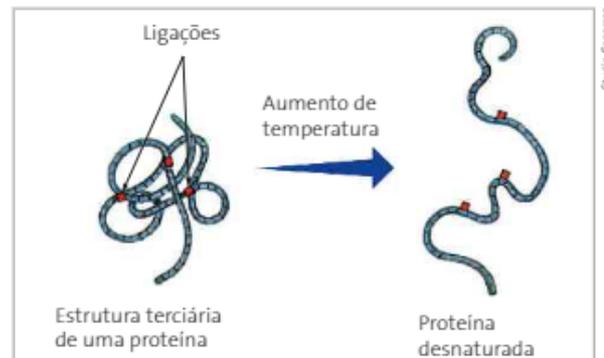


Figura 8.25. Esquema da desnaturação de uma proteína pelo aumento da temperatura. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 8. Enzimas

As reações químicas em sistemas biológicos são pouco espontâneas e tendem a ser muito lentas. Isso significa que, se deixarmos os reagentes de uma reação em contato, eles poderão não interagir ou, caso a interação ocorrer, a velocidade da reação poderá ser muito lenta.

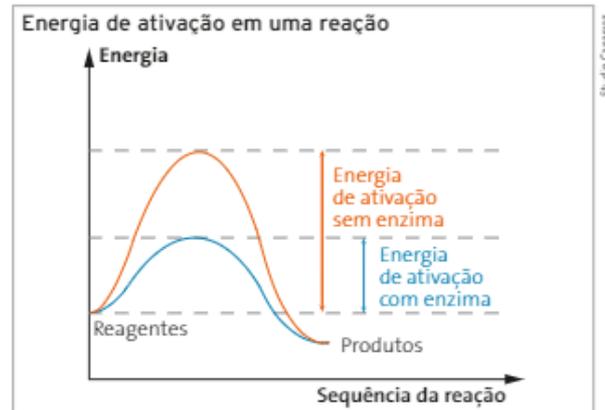
Uma das maneiras de fornecer aos reagentes a energia necessária para a reação é aumentar a temperatura: as moléculas movimentam-se mais rapidamente, aumentando a probabilidade de se chocarem com energia suficiente para provocar a reação química.

Nos organismos vivos, no entanto, é importante que as reações ocorram em velocidade adequada, mas sem aumento significativo da temperatura para que não ocorra a desnaturação de proteínas. Nos seres vivos, as enzimas aumentam a velocidade das reações sem elevar a temperatura. Isso porque elas diminuem a **energia de ativação** necessária para a ocorrência da reação. Por isso, elas são chamadas catalisadores biológicos.

Observe o gráfico da [figura 8.26](#) ao lado.

Existem vários tipos de enzima, e cada um deles ocorre em pequenas quantidades no organismo. Elas são mo-

léculas extremamente específicas, isto é, atuam somente sobre um determinado composto e participam sempre do mesmo tipo de reação. O composto sobre o qual a enzima age é genericamente denominado **substrato**. A grande especificidade enzima-substrato está relacionada à forma tridimensional de ambos. Eles se encaixam perfeitamente como chaves em fechaduras ([Fig. 8.27](#)).



Fonte: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. Glenview: Pearson Education, Inc., 2014.

Figura 8.26. Representação em gráfico da energia de ativação de uma reação sem e com a participação de enzimas.

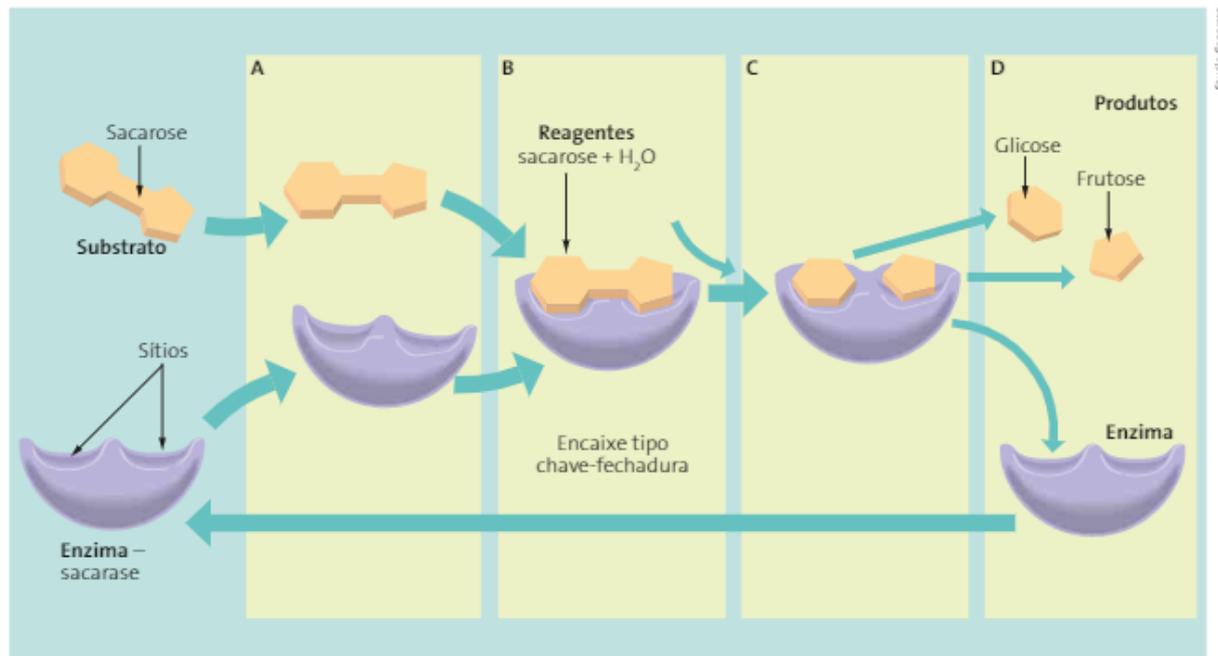


Figura 8.27. Representação artística da ação enzimática tomando como exemplo a enzima sacarase, que catalisa a quebra por hidrólise da molécula de sacarose em duas partes: a glicose e a frutose. (Cores fantasia.)

A – A sacarose (substrato) encaixa-se em sítios ativos na enzima.

B – Essa união induz ligeira mudança na forma da enzima, fazendo com que ela fique bem unida ao substrato.

C – Aminoácidos do sítio ativo catalisam a quebra por hidrólise da ligação entre a glicose e a frutose.

D – A enzima solta-se dos produtos e recupera a forma inicial, ficando pronta para reiniciar o ciclo.

Outra característica importante das enzimas é que, após ocorrer a reação, elas permanecem quimicamente intactas, podendo participar novamente do mesmo tipo de reação.

As enzimas geralmente recebem nomes relacionados com o substrato sobre o qual atuam mais o sufixo **-ase**. Por exemplo: lipases são enzimas que atuam sobre lipídios; proteases são enzimas que atuam sobre proteínas; amilases são enzimas que atuam sobre amido. Nem todas as enzimas, entretanto, seguem esse padrão de nomenclatura, como é o caso da ptialina, da pepsina e da tripsina, por exemplo.

## 8.1. Fatores que influenciam a atividade enzimática

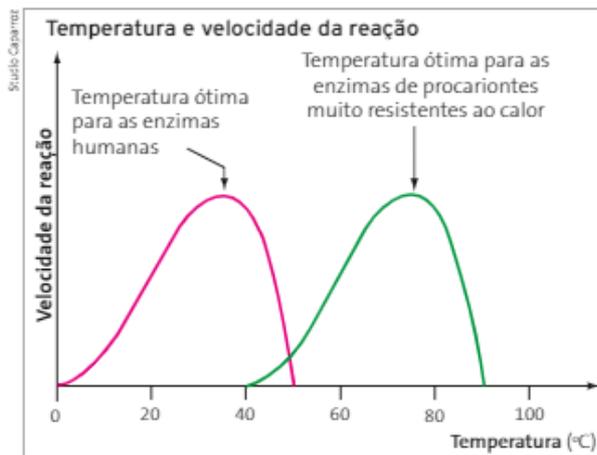
A velocidade das reações químicas catalisadas por enzimas aumenta até certo ponto com a elevação da **temperatura**. A partir de certa temperatura ótima, cujo valor varia dependendo da enzima, ocorre desnaturação proteica, o que torna a enzima inativa. Há altera-

ção de sua forma, e com isso ela deixa de se acoplar ao substrato, não havendo mais a formação do complexo enzima-substrato. A velocidade da reação, então, diminui rapidamente (Fig. 8.28).

Outro fator que interfere na atividade enzimática é o **pH**, índice que nos informa se uma solução é ácida, básica ou neutra. Sua escala vai de 0 a 14, sendo que  $\text{pH} = 7$  corresponde ao pH neutro. Valores abaixo de 7 indicam que a solução é ácida; valores acima de 7 indicam que é básica (ou alcalina). Cada enzima tem seu ótimo de atividade em um determinado pH (pH ótimo). Alterações no pH podem provocar desnaturação e inativação da enzima.

A **pepsina** é produzida no estômago e atua sobre proteínas, catalisando sua degradação em moléculas menores. O pH ótimo da pepsina está ao redor de 2,0. Ela atua, portanto, em meio ácido.

A **tripsina** é produzida no pâncreas e lançada no duodeno, onde catalisa a degradação de proteínas que não foram digeridas no estômago. O pH ótimo da tripsina está ao redor de 8,0, ou seja, ela atua em meio básico (Fig. 8.29).



Fonte dos gráficos: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. Glenview: Pearson Education, Inc., 2014.

Figura 8.28. Gráfico da variação da velocidade de reação em relação à temperatura do meio. Estão indicadas por setas as temperaturas ótimas de duas classes de enzimas: humanas, em rosa, e um procarionte muito resistente ao calor, em verde.

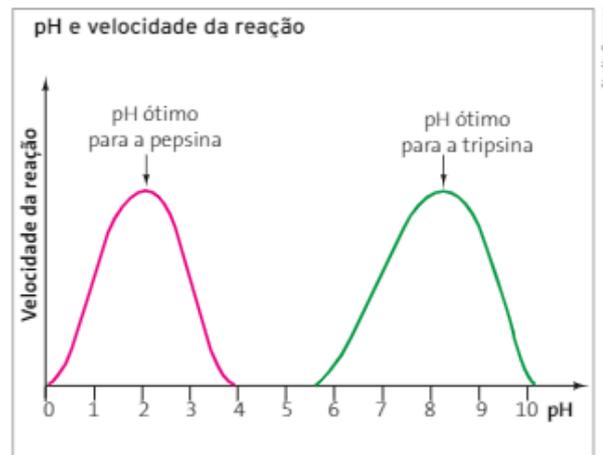


Figura 8.29. Gráfico da velocidade de reação em relação ao pH, mostrando o efeito do pH na velocidade de reações catalisadas por duas enzimas humanas: a pepsina, em rosa, e a tripsina, em verde.

### Colocando em foco

#### NUTRIÇÃO PROTEICA E DESNUTRIÇÃO

Noções básicas sobre nutrição proteica e desnutrição nos ajudam a entender e a valorizar a importância de uma dieta balanceada, indispensável para nossa saúde.

A maior parte das proteínas ingeridas em uma dieta serve como fonte de aminoácidos para a síntese de outras proteínas em nosso corpo. Apenas uma pequena fração dos aminoácidos dessas proteínas pode ser usada na respiração celular como fonte de energia. Assim, precisamos ter uma dieta adequada de proteínas para que sejam fornecidos os aminoácidos, principalmente os essenciais, necessários à síntese das diversas proteínas de nosso corpo.

Os alimentos de natureza animal, como peixes, carnes, laticínios e ovos, são os que têm teor proteico mais alto. Além disso, as proteínas presentes nesses alimentos têm alto valor nutricional, pois possuem alta digestibilidade (ou seja, grande parte dos aminoácidos da proteína é efetivamente absorvida em nosso trato digestório após a digestão) e incluem aminoácidos essenciais.

Ainda que a digestibilidade de uma proteína seja alta, ela pode ter baixa qualidade nutricional por possuir poucos aminoácidos essenciais. É o caso da gelatina, que tem alta digestibilidade mas baixa qualidade, pois é deficiente em aminoácidos essenciais. Assim, as doses mínimas de proteínas recomendadas nas dietas devem estar relacionadas com o tipo de proteína ingerida. Essa dose mínima varia também em função de sexo, idade e massa corporal.

Os produtos de origem vegetal apresentam menor conteúdo proteico que os de origem animal e têm baixa digestibilidade e deficiências em aminoácidos essenciais. Em dietas vegetarianas deve-se ter especial atenção a esse fato.

Estudos recomendam a ingestão de doses mínimas diárias de 0,8 grama de proteína por quilograma de massa corpórea, considerando proteínas de alta qualidade, como as de origem animal, o que corresponde a 56 gramas por dia para um homem de 70 kg. A necessidade proteica de uma criança é muito maior, chegando a 2 gramas por quilograma de massa. Recomenda-se uma ingestão adicional de 20 a 30 gramas de proteínas na gravidez e durante a amamentação para suprir, respectivamente, as necessidades do feto e da formação do leite. Em países como o Brasil, em que 70% das proteínas ingeridas pela maior parte da população são de origem vegetal, esses valores devem ser corrigidos para 1,4 grama de proteína por quilograma de massa, o que corresponde a 100 gramas por dia para um homem adulto. Essas doses pressupõem a ingestão concomitante de quantidades adequadas de carboidratos e lipídios para evitar que a maior parte dos aminoácidos das proteínas seja utilizada para suprir as necessidades energéticas do corpo.

### Desnutrição

A falta de uma alimentação adequada pode levar à desnutrição. Duas síndromes de desnutrição são muito frequentes:

- **Kwashiorkor** (significa **doença do desmame** em um dialeto da África Ocidental): ocorre principalmente em crianças que, após o desmame, passam a se alimentar basicamente de carboidratos, havendo severa deficiência de proteínas. Crianças afetadas apresentam retardo mental, apatia extrema, edema (inchaço) generalizado sob a pele e queda da resistência contra infecções.
- **Marasmo**: causado por deficiência proteica e calórica; a pessoa tem redução extrema da musculatura, além de ficar mais suscetível a contrair doenças.

Professor(a), desenvolva com os estudantes a sugestão de atividade extra "Ácidos nucleicos", descrita nas Orientações didáticas.

## 9. Os ácidos nucleicos

Existem dois tipos de ácidos nucleicos: o ácido desoxirribonucleico (DNA) e o ácido ribonucleico (RNA).

O DNA é o principal constituinte dos cromossomos, onde estão localizados os genes. Podemos dizer que os genes contêm informações a respeito das características dos indivíduos.

O RNA participa principalmente do processo de síntese de proteínas.

Tanto o DNA como o RNA são formados por várias unidades que recebem o nome de **nucleotídeos**. Por isso, esses ácidos nucleicos são chamados polinucleotídeos (*poli* = muitos).

Cada nucleotídeo é formado pela combinação de três componentes:

- fosfato;
  - açúcar, que no DNA é a **desoxirribose** e no RNA é a **ribose**;
  - base nitrogenada.
- As bases nitrogenadas podem ser:
- **púricas**: adenina e guanina;
  - **pirimídicas**: timina, citosina e uracila.

A adenina, a guanina e a citosina são comuns às moléculas de DNA e de RNA. A base timina só ocorre no DNA, e a base uracila, só no RNA.

O quadro ao lado (Fig. 8.30) compara os componentes desses ácidos nucleicos.

Os nucleotídeos são reconhecidos pela base nitrogenada que faz parte da sua molécula.

A ligação entre os nucleotídeos de uma cadeia se faz sempre entre o açúcar de um nucleotídeo com o fosfato do seguinte (Fig. 8.31).

	DNA	RNA
Bases púricas	Adenina (A)	Adenina (A)
	Guanina (G)	Guanina (G)
Bases pirimídicas	Citosina (C)	Citosina (C)
	Timina (T)	Uracila (U)
Pentose	Desoxirribose	Ribose

Figura 8.30. Quadro comparativo dos componentes do DNA e do RNA.

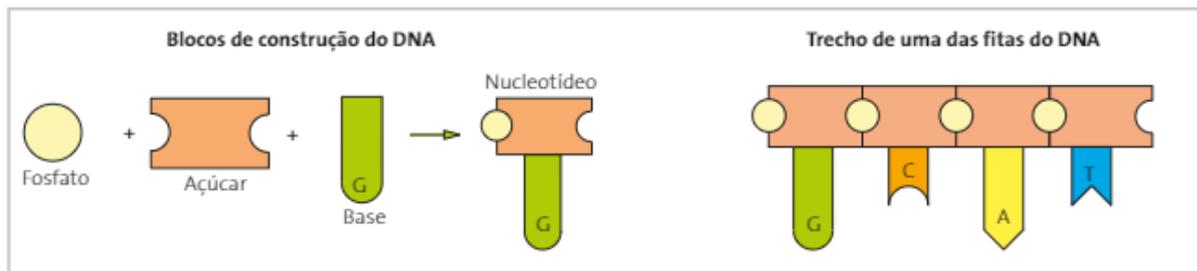
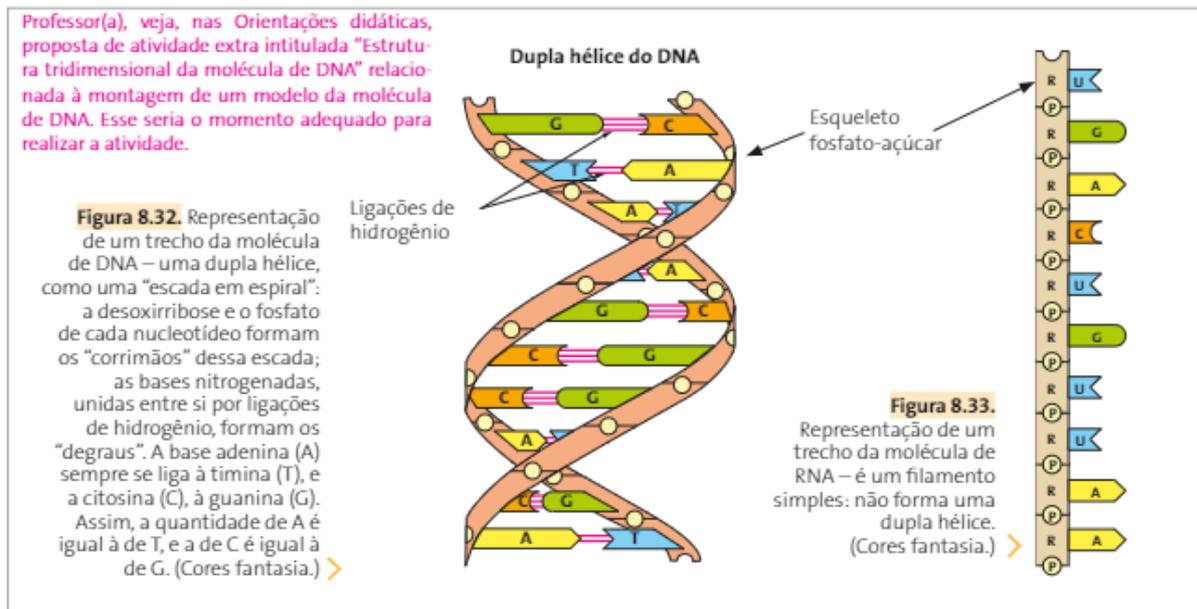


Figura 8.31. Esquema representando um nucleotídeo e seus constituintes e representação da "montagem" de uma fita de molécula de DNA. (Cores fantasia.)

A estrutura do DNA foi definida em 1953 por James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004). Essa molécula tem o aspecto de uma dupla hélice (Fig. 8.32). Já a molécula de RNA apresenta-se como um filamento simples (Fig. 8.33), mas pode apresentar dobramentos em certos trechos.

Nos últimos anos, várias evidências têm sido acumuladas mostrando que muitas reações químicas ocorridas dentro das células são catalisadas por um ácido nucleico: o RNA.

Do mesmo modo que as proteínas que agem como enzimas, essas moléculas de RNA aceleram a velocidade de certas reações químicas, são altamente específicas quanto ao substrato e permanecem quimicamente intactas após a reação. Por serem moléculas especiais de RNA com propriedades enzimáticas, elas receberam o nome de **ribozimas**. A atuação dessas ribozimas está ligada a várias etapas da síntese de proteínas nas células.





## Tema para discussão

REGISTRE  
NO CADERNO



### Contando calorias

As células do nosso corpo precisam de energia para viver e repor perdas.

Essa energia é fornecida pelos alimentos que ingerimos. No trato digestório, esses alimentos — carboidratos, proteínas, lipídios — são degradados em seus elementos constituintes, os quais são absorvidos. Passam então para o sangue e são distribuídos para as células do corpo.

A energia dos alimentos é geralmente medida em quilocalorias (kcal), embora as pessoas, por hábito, utilizem erroneamente como sinônimo o termo calorias (cal).

Para realizar suas atividades, cada pessoa necessita de um mínimo de energia, cujo valor varia de acordo com a idade, a estatura, a estrutura óssea e a atividade física, entre outros fatores. Em geral, um adulto que tenha uma atividade normal, sem exagero em atividade física, necessita em torno de 2000 kcal por dia.

Um grama de carboidrato fornece cerca de 4 kcal, enquanto um grama de lipídio fornece cerca de 9 kcal.

Para você ter uma ideia da quantidade de calorias de alguns alimentos e do que é necessário fazer para queimar todas as calorias contidas neles, analise o quadro ao lado.

Quando ingerimos alimentos acima das nossas necessidades diárias, o inevitável acontece: engordamos. O alimento ingerido em excesso é em grande parte transformado em gordura e depositado nas nossas células adiposas.

Assim, o segredo para manter a nossa massa em uma faixa desejável é comer somente o necessário para fornecer a energia de que o nosso corpo precisa para funcionar bem. Se comeremos mais, engordaremos. Se comeremos menos, nossos estoques de gordura vão diminuindo, pois a gordura que estava reservada vai sendo degradada, a fim de fornecer a energia necessária para o funcionamento do nosso organismo; nesse caso, emagreceremos.

Em dietas para emagrecimento, deve-se reduzir a ingestão de calorias de acordo com a orientação médica.

O índice de massa corpórea (IMC) é um dos critérios utilizados na determinação de parâme-

Alimentos	Atividades	Tempo
 Cheeseburger 470 kcal	Correr Andar de bicicleta Nadar Jogar tênis Andar	32 min 39 min 43 min 61 min 82 min
 Sorvete 255 kcal	Correr Andar de bicicleta Nadar Jogar tênis Andar	17 min 21 min 23 min 33 min 45 min
 Pizza 185 kcal	Correr Andar de bicicleta Nadar Jogar tênis Andar	12 min 15 min 17 min 24 min 32 min
 Maçã 70 kcal	Correr Andar de bicicleta Nadar Jogar tênis Andar	5 min 6 min 7 min 9 min 12 min

Fonte: *Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities*. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8292105>>. Acesso em: maio 2016.

^ O quadro mostra quanto tempo o organismo gasta aproximadamente para queimar as quilocalorias dos alimentos da coluna da esquerda em cada atividade.

tros de saúde. Para cada pessoa, esse índice é calculado dividindo-se sua massa em quilogramas (a massa é popularmente chamada de “peso”, conceito que, na Física, envolve a ação da gravidade) por sua altura (em metros) elevada ao quadrado.

### Índice de massa corpórea

$$\text{IMC} = \frac{\text{massa}}{(\text{altura})^2}$$

Por exemplo, se uma pessoa tem 55 kg e mede 1,60 m, seu índice de massa corpórea é: 55 dividido por 2,56 (que corresponde a  $1,60 \times 1,60$ ), o que dá um IMC de 21,48.

De acordo com dados da Academia Nacional de Saúde dos Estados Unidos da América, os valores de referência considerados dentro da normalidade para esses índices são os seguintes:

- faixa etária abaixo de 45 anos, IMC de 20 a 26;
- faixa etária de 45 a 54 anos, IMC de 22 a 27;
- faixa etária de 55 a 65 anos, IMC de 23 a 28;
- faixa etária acima de 65 anos, IMC de 24 a 29.

Manter um índice de massa corpórea adequado tem sido considerado importante para se ter boa saúde.

Além de nos preocuparmos com as calorias, devemos nos preocupar também em ter uma dieta balanceada, rica em vitaminas e sais minerais, e em ingerir água em quantidades suficientes.

Muitos são os alimentos *diet* e *light* disponíveis no mercado e que vêm sendo utilizados em dietas.

Os alimentos *diet* são voltados para uma população específica, por exemplo, os diabéticos. Nesse caso, os alimentos **não** apresentam açúcar em sua composição. Nos alimentos *diet*, o açúcar é substituído por um composto análogo, que pode ser qualquer adoçante artificial, como o aspartame.

Os adoçantes artificiais apresentam valor energético muito baixo e por isso são utilizados também por pessoas que fazem dietas para emagrecimento.

É importante lembrar que há recomendações de médicos e especialistas para que o uso de adoçantes seja controlado, independentemente do tipo; além disso, todas as dietas devem sempre seguir orientação médica, pois algumas pessoas não podem ingerir certos tipos de adoçante, como os que contêm **fenilalanina**, um aminoácido.

Essas pessoas apresentam uma doença genética chamada **fenilcetonúria**. Em função dessa doença, não podem ingerir fenilalanina, pois correm o risco de sofrer danos, principalmente cerebrais. O teste do pezinho, feito nas maternidades de todo o país assim que os bebês nascem, visa justamente diagnosticar precocemente pessoas com essa doença. Quando a fenilcetonúria é detectada, a família deve receber orientação alimentar adequada de modo que não haja danos maiores para a criança.

Os alimentos *light* caracterizam-se por conter poucas calorias. Por isso, compostos de elevado teor energético, como lipídios e carboidratos, estão presentes em baixa quantidade nesses alimentos. Adoçantes artificiais também podem ser usados nesse tipo de alimento em substituição ao açúcar.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Como atividade em grupo, façam uma pesquisa complementar ao que foi tratado aqui, procurando mais informações a respeito de alimentação saudável. Uma excelente maneira de se informar a respeito de uma alimentação saudável é o *Guia alimentar para a população brasileira*, publicado pelo Ministério da Saúde (disponível em: <[http://dab.saude.gov.br/portaldab/biblioteca.php?conteudo=publicacoes/guia\\_alimentar\\_2014](http://dab.saude.gov.br/portaldab/biblioteca.php?conteudo=publicacoes/guia_alimentar_2014)>; acesso em: mar. 2016). Se possível, procure também informações com médicos e nutricionistas a respeito desse tema.

Com os dados levantados, discutam com a ajuda do(a) professor(a) uma maneira de divulgá-los na escola. Pode ser por meio de cartazes, panfletos, ou publicando em um *blog* da turma. Exerça sua cidadania divulgando seus conhecimentos.

2. Faça com seu grupo de estudos uma pesquisa sobre dois graves distúrbios alimentares que podem levar à morte: anorexia e bulimia. Reflitam sobre os perigos do excesso de valorização de padrões de beleza impostos pela mídia. Apresentem, em dia marcado pelo(a) professor(a), a pesquisa de seu grupo e o resultado das reflexões mencionadas. Ouça os demais grupos e promovam uma discussão na sala de aula.



## Retomando

Como você viu, os organismos são constituídos por classes de substâncias que desempenham papéis específicos, possibilitando o funcionamento dos processos vitais. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e avalie se, depois de estudar sobre a química da vida, você permanece com as mesmas ideias. Quais são as funções no organismo características das classes de substâncias que você mencionou? Elas podem apresentar outras funções?



## Ampliando e integrando conhecimentos



Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

### Atividade 1 A água e suas trocas de calor com outros meios Habilidades do Enem: H14, H15, H18, H21, H25, H28.

Vamos novamente recorrer à interdisciplinaridade para entender processos biológicos. Abordaremos as propriedades físicas da água, especialmente a capacidade térmica.

Nós, seres humanos, mantemos a temperatura interna do nosso corpo constante (homeotérmicos), por volta de 36 °C, independentemente da variação da temperatura ambiente, graças a mecanismos internos de controle (endotérmicos). Quando nossa temperatura interna aumenta, são desencadeadas respostas como a dilatação dos vasos superficiais (que traz mais sangue para a superfície do corpo) e a liberação de suor (que promove resfriamento ao evaporar). O contrário ocorre quando nossa temperatura corporal tende a baixar.

Os jacarés, no entanto, não mantêm por si mesmos a temperatura interna do seu corpo constante, dependendo de fontes externas de calor ou de refúgios para sua regulação térmica (ectotérmicos).

Os jacarés usam uma combinação de mecanismos comportamentais para regular sua temperatura corpórea, sendo os movimentos entre a água e a terra os mais importantes. O ambiente aquático exerce um papel de destaque na termorregulação desses animais, pois minimiza flutuações que resultariam em temperaturas corpóreas extremas.

- Consulte o texto do capítulo e explique com suas palavras por que a liberação de suor na superfície do corpo é eficiente no resfriamento corporal. Considerando que o vento é um fator facilitador da evaporação, explique também por que, quando nos molhamos e nos expomos a ele, sentimos mais frio do que sem a exposição.
- A imersão na água minimiza variações de temperatura no corpo do jacaré. Esse fato pode ser associado a qual propriedade da água?

### Atividade 2 Enzimas e suas funções metabólicas Habilidades do Enem: H14, H18, H24.

Aproximadamente 85% dos pacientes com fibrose cística apresentam alterações do pâncreas exócrino. A deficiência de enzimas pancreáticas leva a alterações na digestão e absorção de nutrientes e, consequentemente, baixo ganho de peso.

Fonte disponível em: <<http://www.abram.org.br/drupal/orientacaonutricional>>. Acesso em: mar. 2016.

O pâncreas é uma glândula mista, isto é, tem uma parte endócrina e outra exócrina. A porção endócrina produz os hormônios insulina e glucagon, que regulam a taxa de glicose no sangue. Já a porção exócrina sintetiza enzimas digestivas, que são lançadas no duodeno, porção inicial do intestino delgado.

- Com base no que você estudou neste capítulo, essas enzimas digestivas pertencem a qual grupo de substâncias orgânicas: carboidratos, lipídios ou proteínas?
- Explique a importância da função enzimática e estabeleça sua relação com o baixo ganho de peso decorrente da fibrose cística.

### Atividade 3 Flutuação das aves aquáticas Habilidades do Enem: H17, H24, H28.

Na disciplina de Química estuda-se a interação de diferentes substâncias e a água. Quando têm afinidade por água, chamam-se hidrófilas; quando não têm, chamam-se hidrófobas.

Esses conceitos da Química são importantes para a explicação interdisciplinar do papel da glândula uropigiana na impermeabilização das penas de aves.

Em quase todas as aves, porém mais desenvolvida nas aquáticas (como patos e gansos), há uma glândula (chamada uropigiana) localizada próximo à cauda. As aves usam o bico para espalhar o óleo produzido pela glândula nas penas, criando uma camada que impermeabiliza o corpo. Mesmo quando o animal está na água, as penas continuam secas e brilhantes; sem essa secreção oleosa, as penas ficariam encharcadas de água e o animal flutuaria com dificuldade ou afundaria. Se uma pena com óleo for borrifada com água, formar-se-ão gotículas em sua superfície: a água não penetra na pena.

Sabendo disso, responda:

- Que característica das moléculas de água e de lipídios pode explicar o que está descrito no enunciado?
- Qual é a propriedade das moléculas de água associada à formação de gotas?

#### Atividade 4 Realizando e interpretando experimento Habilidades do Enem: H10, H12, H15, H19, H30.

Neste capítulo, vimos que alguns animais conseguem pousar sobre a superfície da água devido à tensão superficial. O sabão ou detergente é um composto químico que consegue reduzir a tensão superficial, pois suas moléculas interagem com as moléculas de água, colocando-se entre elas. As moléculas de detergente também apresentam uma região que interage com lipídios – é por isso que é mais fácil limpar as mãos engorduradas usando água e sabão do que apenas água.

Materiais necessários: uma bacia limpa, água, alguns fios metálicos extraídos de um pedaço de palha de aço (de cozinha) e detergente líquido.

Procedimento: coloque água na bacia e espere até que a superfície esteja em repouso; com delicadeza, coloque os fios metálicos; na ponta de seu dedo, pingue uma gota do detergente líquido; com cuidado, coloque seu dedo com detergente em contato com a água, perto dos fios de metal.

- Observe o que acontece e explique os resultados.
- Considere um lago de águas limpas que passe a receber esgoto de uma indústria, rico em detergentes. Conhecendo as propriedades do detergente, faça uma previsão do que aconteceria às aves aquáticas que vivem no lago em que essas substâncias são lançadas na água. Se necessário, leia novamente o enunciado da atividade anterior.

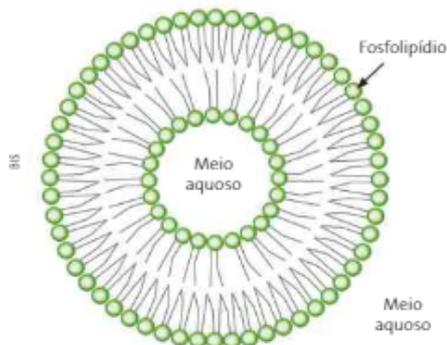


## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

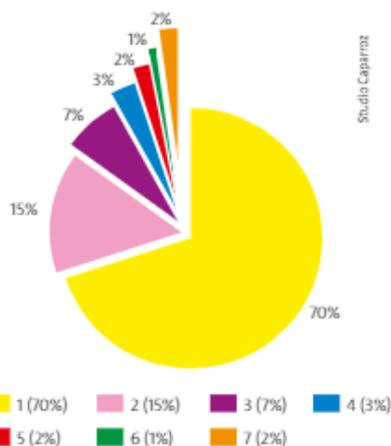
- (Fuvest-SP) Os carboidratos, os lipídios e as proteínas constituem material estrutural e de reserva dos seres vivos. Qual desses componentes orgânicos é mais abundante no corpo de uma planta e de um animal?
  - Proteínas em plantas e animais.
  - Carboidratos em plantas e animais.
  - Lipídios em plantas e animais.
  - Carboidratos nas plantas e proteínas nos animais.
  - Proteínas nas plantas e lipídios nos animais.
- (Enem) Quando colocados em água, os fosfolipídios tendem a formar lipossomos, estruturas formadas por uma bicamada lipídica, conforme mostrado na figura. Quando rompida, essa estrutura tende a se reorganizar em um novo lipossomo.
  - Este arranjo característico se deve ao fato de os fosfolipídios apresentarem uma natureza:
    - polar, ou seja, serem inteiramente solúveis em água.
    - apolar, ou seja, não serem solúveis em solução aquosa.
    - anfotérica, ou seja, podem comportar-se como ácidos e bases.
    - insaturada, ou seja, possuírem duplas ligações em sua estrutura.
    - anfifílica, ou seja, possuírem uma parte hidrofílica e outra hidrofóbica.
- (Enem) A obesidade, que nos países desenvolvidos já é tratada como epidemia, começa a preocupar especialistas no Brasil. Os últimos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares, realizada entre 2002 e 2003 pelo IBGE, mostram que 40,6% da população brasileira está acima do peso, ou seja, 38,8 milhões de adultos. Desse total, 10,5 milhões são considerados obesos. Várias são as dietas e os remédios que prometem um emagrecimento rápido e sem riscos. Há alguns anos foi lançado no mercado brasileiro um remédio de ação diferente dos demais, pois inibe a ação das lipases, enzimas que aceleram a reação de quebra de gorduras. Sem serem quebradas elas não são absorvidas pelo intestino, e parte das gorduras ingeridas é eliminada com as fezes. Como os lipídios são altamente energéticos, a pessoa tende a emagrecer. No entanto, esse remédio apresenta algumas contraindicações, pois a gordura

Disponível em: <<http://course1.winona.edu>>. Acesso em: 1ª mar. 2012 (adaptado).



não absorvida lubrifica o intestino, causando desagradáveis diarreias. Além do mais, podem ocorrer casos de baixa absorção de vitaminas lipossolúveis, como as A, D, E e K, pois:

- a) essas vitaminas, por serem mais energéticas que as demais, precisam de lipídios para sua absorção.
  - b) a ausência dos lipídios torna a absorção dessas vitaminas desnecessária.
  - c) essas vitaminas reagem com o remédio, transformando-se em outras vitaminas.
  - d) as lipases também desdobram as vitaminas para que essas sejam absorvidas.
  - e) essas vitaminas se dissolvem nos lipídios e só são absorvidas junto com eles.
4. (UFPE) Os seres vivos apresentam em sua composição química tanto substâncias orgânicas quanto inorgânicas. Tomando como referencial a distribuição ilustrada na figura a seguir, para a bactéria *Escherichia coli*, assinale a alternativa que inclui as frações representativas de água, proteínas e sais minerais, nesta ordem.



- a) 1, 2 e 3.
  - b) 2, 3 e 6.
  - c) 1, 2 e 6.
  - d) 2, 3 e 1.
  - e) 3, 2 e 4.
5. (Uece) As plantas são capazes de sintetizar todos os aminoácidos necessários a partir do nitrogênio inorgânico, mas os animais, não. Por conseguinte, os animais dependem totalmente das plantas, pois precisam complementar sua dieta com vegetais para ingerir os aminoácidos que não conseguem sintetizar. Sobre a importância do nitrogênio na composição dos seres vivos, pode-se afirmar corretamente que são essenciais na síntese de

- a) carboidratos como reserva energética.
- b) gorduras armazenadas nas células adiposas.
- c) ácidos nucleicos presentes no material genético.
- d) ácidos graxos constituintes da membrana plasmática.

6. (UFC-CE) As vitaminas foram descobertas há cerca de 100 anos e, a partir dos anos 80, invadiram as prateleiras das farmácias, na forma de suplementos vitamínicos, com dosagens acima das recomendadas pelas organizações de saúde, o que ainda hoje gera muita discussão sobre os benefícios ou malefícios que esse “banho” de vitaminas pode acarretar ao organismo. Contudo, é relevante saber a importância das mesmas para a saúde e de quais fontes alimentícias podemos obtê-las.

Considere o quadro a seguir.

Vitamina	Sintoma de carência no organismo	Fontes alimentares
A	1	Fígado, leite, cenoura
B <sub>1</sub>	2	Cereais integrais, carnes magras
C	3	Frutas cítricas
D	4	Peixe, leite, gema de ovo
K	5	Vegetais com folhas verdes, tomate

Assinale a alternativa que preenche corretamente o quadro anterior, substituindo, respectivamente, os números 1, 2, 3, 4 e 5 pelos sintomas causados devido à carência de cada vitamina no organismo.

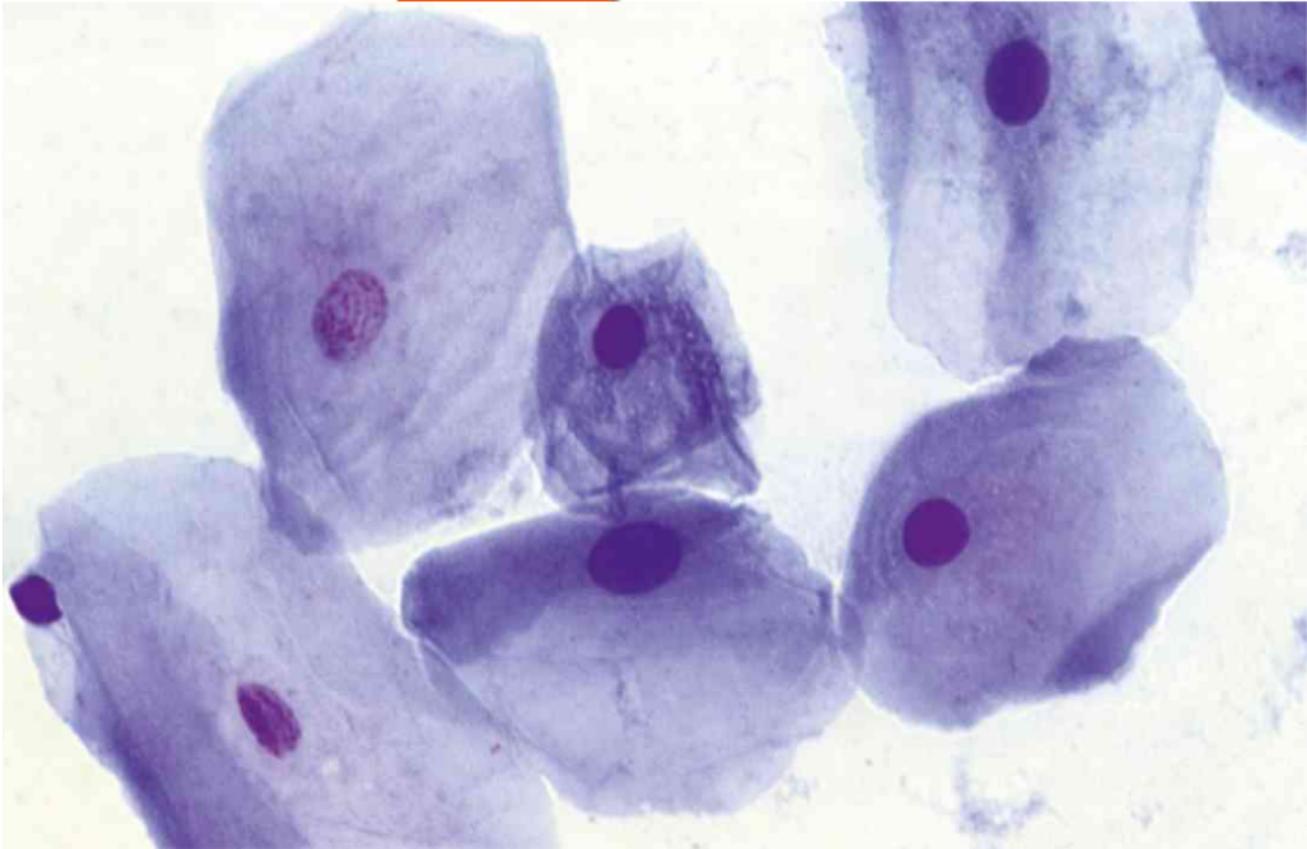
- a) Cegueira noturna, hemorragias, escorbuto, raquitismo e disfunção do sistema nervoso.
- b) Escorbuto, cegueira noturna, raquitismo, disfunção do sistema nervoso e hemorragias.
- c) Cegueira noturna, raquitismo, hemorragias, escorbuto e disfunção do sistema nervoso.
- d) Disfunção do sistema nervoso, raquitismo, escorbuto, cegueira noturna e hemorragias.
- e) Cegueira noturna, disfunção do sistema nervoso, escorbuto, raquitismo e hemorragias.

## CAPÍTULO

## 9

Citologia e  
envoltórios  
celulares

ISM/PhotoLake/Glow Images



**Figura 9.1.** O conhecimento a respeito dos seres vivos não foi obtido de uma vez só. Ao longo de vários séculos, os avanços dos métodos de estudo e o desenvolvimento e o aprimoramento de equipamentos como os microscópios permitiram-nos ampliar nossos sentidos e observar imagens como essa: células do epitélio bucal humano, em lâmina preparada com corantes, para que certas estruturas possam ser visualizadas ao microscópio de luz. Técnicas como essas e muitas outras têm ajudado os cientistas a desvendar cada vez mais os detalhes da unidade da vida: a célula. Cada célula epitelial bucal mede cerca de 25  $\mu\text{m}$ .



## Pense nisso

- Partindo do que você já estudou e analisando essas células, descreva com suas palavras o que você reconhece em cada uma. O que pode ser a estrutura arredondada mais escura no centro de cada célula?
- Se estivéssemos analisando a célula de uma bactéria, que diferenças você esperaria encontrar em relação às células mostradas na imagem?
- Note, na imagem, que cada célula está bem individualizada. Você diria que as estruturas que delimitam as células devem permitir a passagem de todo e qualquer elemento do meio exterior para o interior das células?

## 1. Introdução

Ao estudarmos a origem e a evolução dos seres vivos, falamos em origem e evolução da célula. Afinal, com exceção dos vírus, os seres vivos são formados por células, e a compreensão de como eles surgiram e evoluíram passa pelo entendimento de como a célula surgiu e evoluiu.

O primeiro ser vivo que surgiu no planeta Terra era, muito provavelmente, uma célula. Vamos agora entrar no universo celular e procurar compreender a estrutura e o funcionamento das células, o que é fundamental para que possamos entender a intrincada rede de interações necessárias para a manutenção da vida.

A área da Biologia que estuda a célula é a **Citologia** (do grego: *cito* = célula; *logos* = estudo). Esse estudo só foi possível a partir do momento em que o ser humano começou a construir aparelhos com lentes que permitiam grande aumento da imagem. Esses aparelhos, chamados microscópios (do grego: *mikrós* = pequeno; *skopeo* = ver, enxergar), possibilitam o conhecimento e o estudo de estruturas invisíveis a olho nu.

Embora existam células visíveis a olho nu, como você pode ver na [figura 9.2](#), a maioria delas é microscópica.



Paul Zierl/National Geographic/Getty Images

^ **Figura 9.2.** Fotografia de alga marinha unicelular, do gênero *Acetabularia*. Uma única célula forma o pedúnculo e o "chapéu". Mede cerca de 4 cm de altura.

## 2. Um pouco de história

O físico inglês Robert Hooke (1635-1703) atuou em vários campos do conhecimento, tais como Física, Astronomia e Geometria. Ele era habilidoso na construção de instrumentos e tinha interesse por microscópios. Esses aparelhos foram inventados no século XVI, pelos holandeses fabricantes de óculos Zacharias Jansen (1580-1638) e seu pai Hans Jansen. Hooke construiu seus próprios microscópios, introduzindo novidades técnicas que permitiram formação de imagens de melhor qualidade. Ele construiu tanto microscópios com uma só lente de aumento, chamados microscópios simples, como também microscópios com duas lentes de aumento associadas e unidas por um tubo, chamados microscópios compostos: uma lente voltada para o objeto (lente objetiva) e outra para o olho do observador (lente ocular, [Fig. 9.3](#)).



< **Figura 9.3.** Fotografia do microscópio de Robert Hooke. O aparelho foi feito à mão, com couro e aplicações em ouro.

Esse microscópio de Hooke permitia a ampliação das imagens dos objetos em estudo em cerca de 40 vezes.

Na obra *Micrographia* (1665), Hooke publicou diversos desenhos representando suas observações ao microscópio. Vamos comentar apenas suas observações com os cortes de cortiça, que ele estava analisando com o objetivo de compreender suas propriedades físicas de leveza, fluabilidade e elasticidade. Ele descreveu que a estrutura da cortiça era reticulada com uma infinidade de diminutas câmaras preenchidas por ar e que essas câmaras eram pequenas caixas ou **células** distintas umas das outras ([Fig. 9.4](#)). A palavra célula vem do latim *cella*, que significa pequeno compartimento ou recinto, termo usado para designar os pequenos aposentos dos religiosos nos mosteiros e conventos.



< **Figura 9.4.** Fotografia do desenho de Robert Hooke publicado em sua obra *Micrographia* (1665): estrutura em cavidades ou células vista em cortes finos de cortiça.

Apesar de ter usado a palavra “célula”, Hooke não estava se referindo à unidade básica, estrutural e fisiológica dos seres vivos, como nós entendemos a célula hoje. Hooke não cogitou que estava vendo as paredes das células vegetais. Esse entendimento só surgiu mais tarde.

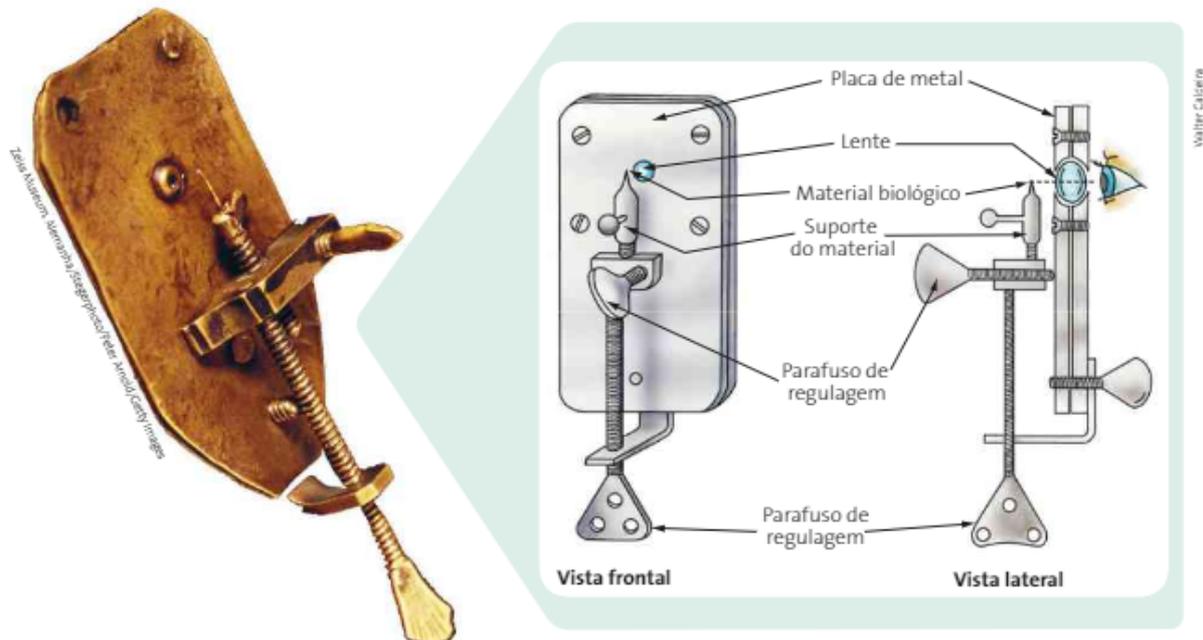
Por volta de 1668, o comerciante holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) construiu vários microscópios e, ao se deparar com a obra *Micrographia*, de Hooke, se interessou em analisar diversos materiais com seus aparelhos. Ele construiu um microscópio simples, com cerca de 10 cm de comprimento, e que necessitava de muita luz para iluminar o objeto, mas que permitia aumento de cerca de 200 vezes (Fig. 9.5).

Além dessa sua grande capacidade de produzir boas lentes de aumento, Leeuwenhoek era cuidadoso e muito curioso, observando tudo o que pudesse ser colocado sob suas lentes. Como não sabia desenhar, contratou

um desenhista para ilustrar o que ele estava observando e passou a descrever em detalhes tudo o que via. Seu trabalho com os seres microscópicos foi muito importante para a época. A partir de 1673, Leeuwenhoek começou a enviar cartas com suas descobertas para a Royal Society of London, e em 1678, Hooke foi consultado para confirmar as informações desse comerciante desconhecido dos cientistas. Após a confirmação de Hooke, os trabalhos de Leeuwenhoek passaram a ser publicados na famosa revista científica *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

Além de Leeuwenhoek, outros pesquisadores fizeram observações microscópicas, como Nehemiah Grew (1641-1712) e Marcello Malpighi (1628-1694), descrevendo “bolhas”, “poros”, “células”, “bexigas” em diversos tecidos vegetais.

O estudo do mundo microscópico avançou muito, e no século XIX consolidou-se a área da Citologia.



▲ **Figura 9.5.** Fotografia e esquema do microscópio simples, com uma só lente de aumento, usado por Leeuwenhoek. Este microscópio tinha cerca de 10 cm de comprimento.

Professor(a), se considerar adequado, seria interessante fazer um projeto integrado com a disciplina de Física com o objetivo de abordar os temas luz e lentes e explicar o funcionamento dos microscópios de luz, considerando os aspectos da física. Essas atividades podem evidenciar como os campos de conhecimento e os avanços tecnológicos em cada um deles colaboram entre si; nesse caso, o avanço dos estudos com lentes possibilitando a observação de estruturas microscópicas.

### 3. Atuais microscópios de luz

Os atuais microscópios de luz permitem aumentos de até cerca de 2 000 vezes. Mesmo com esses aumentos, entretanto, não é possível observar todos os detalhes da estrutura celular. Na figura 9.6 é mostrado, à esquerda, um microscópio estereoscópico (vulgarmente conhecido por lupa). É empregado para observar estruturas e organismos maiores do que os normalmente observados em microscópios como o da figura 9.6, à direita, e permite também a observação de objetos opacos.

O microscópio biológico (Fig. 9.6, à direita) permite aumentos maiores do que os microscópios estereoscópicos, mas os objetos a serem analisados devem ser translúcidos, isto é, devem permitir a passagem de luz.

O aumento da imagem que vemos ao microscópio composto é dado pela multiplicação do aumento da ocular pelo aumento da objetiva. Por exemplo, um microscópio composto com ocular 10 vezes e objetiva 40 vezes possibilita ampliação de 400 vezes.



Figura 9.6. À esquerda, fotografia de microscópio estereoscópico. À direita, fotografia de microscópio biológico.

## 4. Células observadas ao microscópio de luz

As primeiras análises de células ao microscópio de luz (ML) permitiram concluir que elas são formadas por uma massa de natureza viscosa, gelatinosa, que recebeu o nome de **citoplasma** (do grego: *kritos* = célula; *plásma* = fluido).

Imersa no citoplasma, observa-se uma estrutura de forma variável, mas geralmente arredondada ou ovalada, que recebeu o nome de **núcleo**.

Observando que o citoplasma não se mistura com o meio, a não ser que a célula seja rompida, os cientistas concluíram que ele é delimitado por uma membrana, não visível ao microscópio de luz, que foi denominada **membrana plasmática**.

Ao microscópio de luz também é possível observar outros componentes imersos no citoplasma, como os cloroplastos das células das plantas.

### Colocando em foco

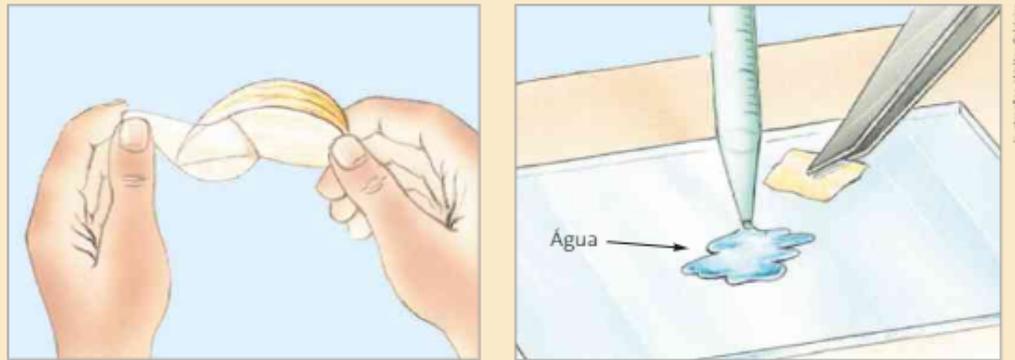
#### PREPARAÇÃO DE CÉLULAS PARA OBSERVAÇÃO AO MICROSCÓPIO DE LUZ

A observação de células ao microscópio de luz pode ser feita com preparações simples, como as descritas adiante, usando como exemplo tecidos de plantas.

Para a montagem da preparação são necessários os seguintes materiais: lâminas e lamínulas para microscopia, que são placas de vidro muito finas e delicadas; pinça; papel absorvente; conta-gotas; e o material biológico que se deseja observar.

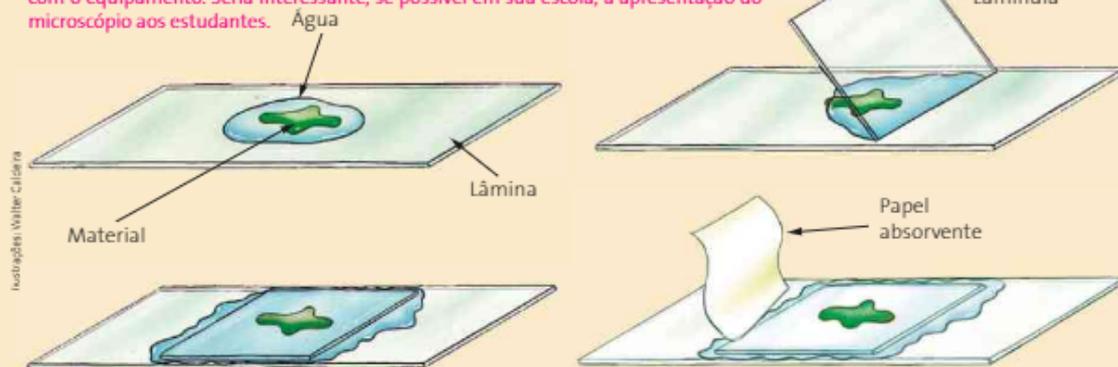
Além desses materiais, podem-se usar alguns corantes específicos, com o objetivo de tornar as estruturas celulares mais evidentes. Como exemplo desses corantes, há o azul de metileno, que evidencia bem o núcleo das células, e o vermelho neutro, que evidencia bem o vacúolo central, típico das células vegetais.

Um bom material para observar ao microscópio é a epiderme da cebola. Para isso, retira-se a casca da cebola e separa-se uma de suas camadas suculentas. Cada camada corresponde a uma folha modificada com função de reserva de nutrientes. Cada folha é delimitada por uma película fina, a epiderme da cebola, tecido de revestimento formado por uma só camada de células. Retira-se um pedaço dessa película com o auxílio de uma pinça. Esse pedaço pode ser, então, colocado sobre a lâmina juntamente com uma gota de água (para isso, usa-se o conta-gotas) (Fig. 9.7).



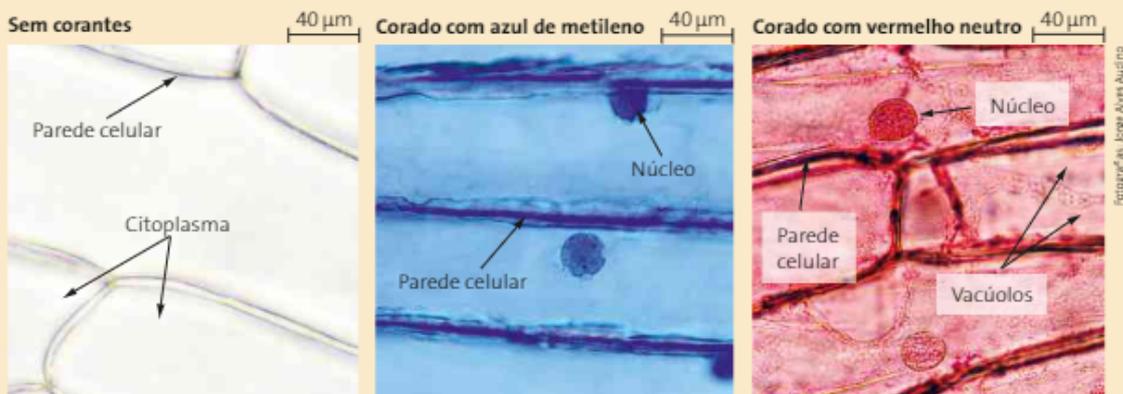
^ **Figura 9.7.** Esquema da preparação de lâmina para a observação, ao microscópio de luz, de células da epiderme da cebola. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Para proteger o material a ser observado das delicadas lentes objetivas do microscópio, cobre-se o material com uma lamínula: primeiro, encosta-se a lamínula inclinada de modo que sua borda toque na borda da gota de água. Depois, deixa-se a lamínula cair lentamente sobre o material. Isso evita a formação de bolhas que dificultam a observação. Caso haja excesso de água, pode ser removida com papel absorvente (Fig. 9.8). *Professor(a), veja nas Orientações didáticas explicação detalhada de como se deve usar um microscópio e os cuidados que se deve ter com o equipamento. Seria interessante, se possível em sua escola, a apresentação do microscópio aos estudantes.*



^ **Figura 9.8.** Esquema do procedimento de preparação de um material entre lâmina e lamínula para ser analisado ao microscópio de luz. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O material assim preparado é levado para observação ao microscópio de luz. Outras preparações semelhantes a essa podem ser feitas usando corantes. Veja fotografias que mostram como essas preparações ficam ao microscópio com aumento de  $400\times$  (Fig. 9.9).



^ **Figura 9.9.** Fotomicrografias de epiderme de cebola observadas ao microscópio óptico.

Outro material interessante para observar ao microscópio é a folha da planta aquática elódea. As folhas da elódea são bem finas e delicadas e apresentam cloroplastos bastante evidentes. Para fazer essa observação, retira-se uma folha da planta, colocando-a sobre a lâmina com uma gota de água. Em seguida, cobre-se a preparação com lamínula do mesmo modo como explicado anteriormente. O que se observa ao microscópio com ampliação de  $400\times$  pode ser visto na **figura 9.10**.

Preparações de células para observação ao microscópio de luz podem ser feitas como descrito, usando células vivas de plantas e corantes chamados vitais, que não matam as células, mas em certos casos há necessidade de fixar as células e usar corantes que não são vitais. Nesses casos, as células não são observadas vivas. O estudo de células animais é feito, em geral, dessa outra maneira, caso mostrado na fotomicrografia a seguir (Fig. 9.11). Importante lembrar, no entanto, que é proibida a manipulação de células humanas nas escolas. Elas só podem ser manipuladas em laboratórios especializados. O que se pode fazer nas escolas é analisar materiais já preparados por profissionais habilitados.

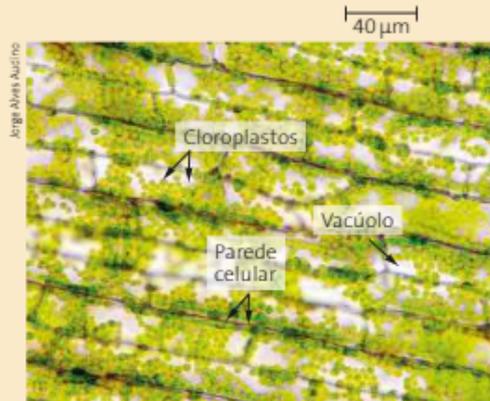


Figura 9.10. Fotomicrografia de células da folha da elódea observadas ao microscópio óptico.

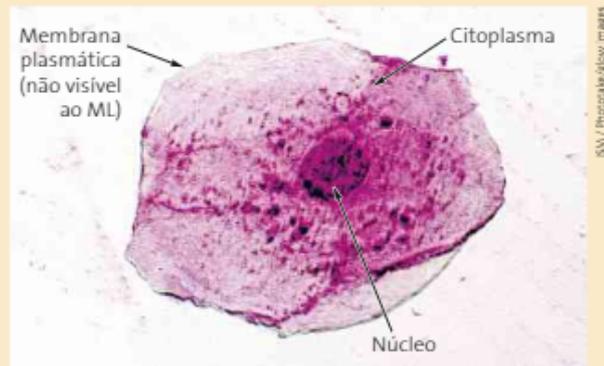


Figura 9.11. Fotomicrografia de célula do epitélio bucal humano fixada e corada. Mede cerca de  $25\ \mu\text{m}$  de diâmetro.

Professor(a), aqui, novamente, pode-se evidenciar a interação da Biologia com a Física, no sentido de se fazer uma explicação sobre os microscópios eletrônicos. Os conhecimentos de física foram fundamentais para o desenvolvimento dessa tecnologia.

## 5. Microscópios eletrônicos

O estudo detalhado das estruturas celulares veio com o advento dos microscópios eletrônicos (ME), que permitem observar as células com aumentos muito maiores. Isso é possível porque os microscópios eletrônicos utilizam feixes de elétrons para analisar o objeto a ser estudado, em substituição aos feixes de luz.

Os microscópios eletrônicos podem ser **de transmissão** ou **de varredura**. Os de transmissão são empregados para analisar estruturas cortadas em fatias muito finas. Já os de varredura (Fig. 9.12) são empregados para analisar a superfície do corpo dos seres vivos, das células e até mesmo das moléculas.

O material a ser analisado ao ME deve ser devidamente fixado e corado com sais de metais pesados que propiciam contrastes nas estruturas das células, tornando-as menos permeáveis aos feixes de elétrons. As estruturas mais coradas são vistas em preto ou cinza-escuro e as menos coradas, em tons de cinza-claro.

A imagem é vista em uma tela e pode ser impressa como fotografia. Como são sempre em preto e branco, essas fotografias podem ser posteriormente colo-

rizadas artificialmente, buscando-se evidenciar ainda mais as estruturas celulares.

As fotografias obtidas com o uso dos diferentes tipos de microscópios são chamadas **micrografias**. Quando tiradas pelo microscópio de luz, fala-se em micrografia de luz ou fotomicrografia. Quando tiradas pelo microscópio eletrônico, fala-se em micrografia eletrônica ou eletromicrografia.



Figura 9.12. Pesquisadoras analisando imagens obtidas com o microscópio eletrônico, que pode ser visto em primeiro plano. As imagens são projetadas numa tela.

Observe a seguir micrografias de células obtidas por microscópio de luz (Fig. 9.13), microscópio eletrônico de transmissão (Fig. 9.14) e microscópio eletrônico de varredura (Fig. 9.15).

A maior parte das informações que vamos discutir nesta unidade, bem como os esquemas e modelos de células e de suas estruturas, é fruto de estudos ao microscópio eletrônico.

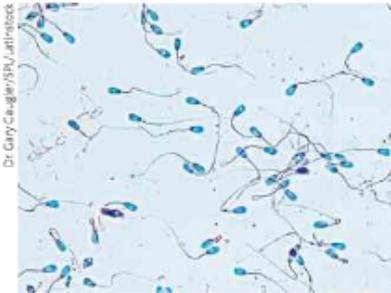


Figura 9.13. Fotomicrografia corada de espermatozoides. Cada espermatozoide mede cerca de 65  $\mu\text{m}$  de comprimento.



Figura 9.14. Eletromicrografia de transmissão de um espermatozoide em corte ultrafino (cores artificiais).

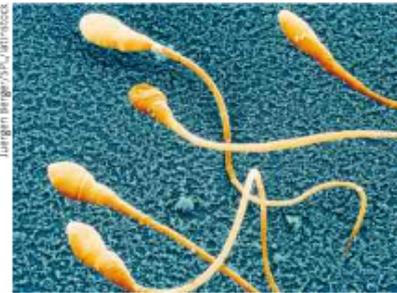


Figura 9.15. Eletromicrografia de varredura de espermatozoides (cores artificiais).

## 6. Poder de aumento e de resolução

É importante salientar a diferença entre poder de aumento e poder de resolução. Se uma fotografia for ampliada e analisada a olho nu, a imagem terá aumentado, mas os pontos da imagem separados por menos de 0,1 mm continuarão aparecendo como um ponto só, borrado. Isso significa que ampliamos a imagem, mas não melhoramos sua definição. A imagem ficou ampliada, mas borrada (Fig. 9.16).

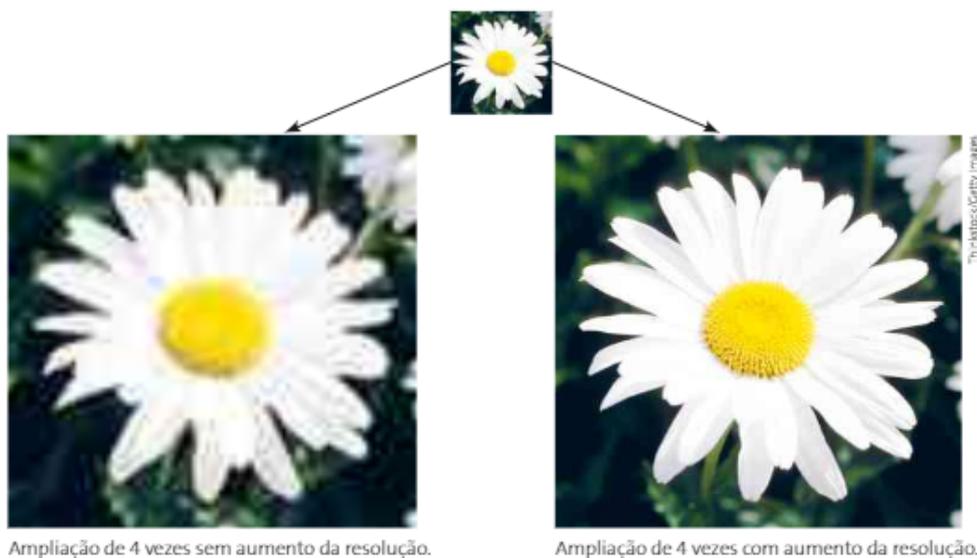
Esse fato ocorre porque nosso olho tem o limite de resolução da ordem de 0,1 mm. Isso significa que, se olharmos dois pontos de uma imagem que estejam separados um do outro por uma distância menor que 0,1 mm, eles aparecerão como um ponto único. Para

distinguir estruturas que se apresentam separadas umas das outras por menos de 0,1 mm, há necessidade de instrumentos que tenham maior poder de aumento e também de resolução.

Assim, além de produzir imagens ampliadas, os microscópios precisam ter boa resolução.

O limite de resolução dos microscópios de luz é de cerca de 0,0002 mm. Não é possível construir microscópios de luz com desempenho melhor do que esse, pois o fator limitante é o comprimento de onda da luz.

Com o advento do microscópio eletrônico, o poder de resolução foi aumentado para cerca de 100 mil vezes em relação ao olho humano.



Ampliação de 4 vezes sem aumento da resolução.

Ampliação de 4 vezes com aumento da resolução.

Figura 9.16. Fotografia de margarida e, abaixo, reproduções da mesma imagem demonstrando o efeito do aumento e do poder de resolução.

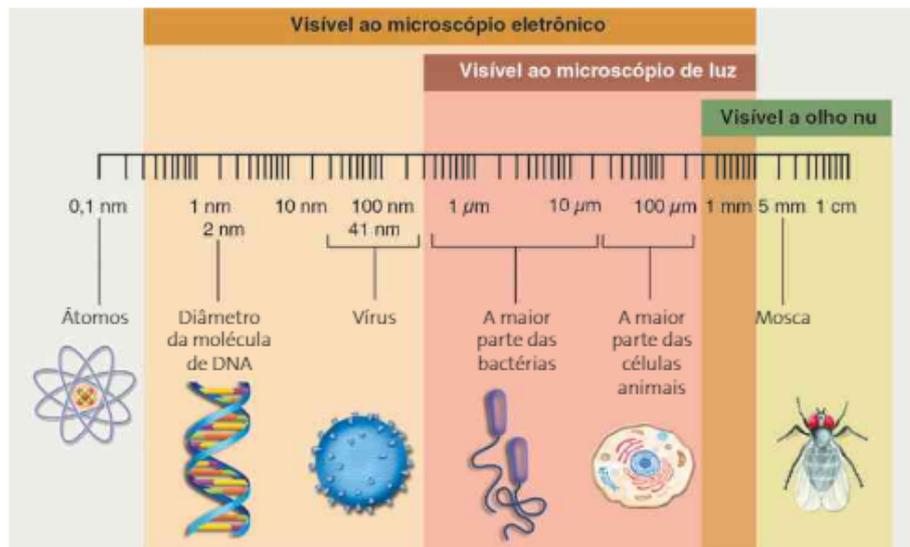
## 7. Medidas usadas no estudo das células

Como a maioria das células é pequena, as estruturas que elas contêm são menores ainda. Para medi-las foram estabelecidas unidades de medida apropriadas.

De acordo com o **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, o metro é a unidade básica de comprimento e, em função dele, derivamos as demais unidades de comprimento. As principais subdivisões do metro empregadas em Citologia são:

- milímetro (mm) = metro dividido por mil = 0,001 m;
- micrometro ( $\mu\text{m}$ ) = metro dividido por milhão = 0,000001 m;
- nanometro (nm) = metro dividido por bilhão = 0,000000001 m.

Veja na **figura 9.17** quais são os limites de resolução do olho humano, dos microscópios de luz e dos eletrônicos.



Professor(a), antes de os estudantes começarem o estudo deste item (Medidas usadas no estudo das células), trabalhe com eles a sugestão de atividade extra "Unidades de medida", descrita nas Orientações didáticas.

**Figura 9.17.** Esquema mostrando os limites de resolução do olho humano, do microscópio de luz e do microscópio eletrônico, assim como as dimensões de alguns organismos e estruturas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 8. A teoria celular

Após os trabalhos de Hooke, outros cientistas se interessaram pelo estudo microscópico dos seres vivos, desenvolvendo, assim, a Citologia.

No final da década de 1830, dois pesquisadores alemães, Matthias Schleiden e Theodor Schwann, formularam a **teoria celular**, segundo a qual todos os seres vivos são formados por células. As células são, portanto,

as unidades morfológicas e funcionais dos seres vivos. Schleiden concentrou suas observações nas plantas, e Schwann, nos animais.

Os vírus são considerados por muitos pesquisadores as únicas exceções a essa teoria, pois não são formados por células, porém dependem delas para sua reprodução.

## 9. Os envoltórios celulares

As células encontram-se individualizadas, separadas do meio pelos envoltórios. Estes devem ter características que, enquanto separam o interior da célula do meio externo, também propiciam trocas de substâncias com o meio. Sem trocar substâncias com o meio, a célula não pode se manter viva, pois precisa receber nutrientes e oxigênio e eliminar resíduos de seu metabolismo.

Vamos ver, então, quais são esses envoltórios.

### 9.1. Membrana plasmática

O envoltório celular presente em todas as células é a membrana plasmática. Essa membrana é lipoproteica, constituída principalmente de fosfolípidios e proteínas.

O modelo de estrutura da membrana plasmática aceito atualmente foi proposto em 1972 pelos cientistas S. J. Singer e G. Nicolson e denomina-se **modelo do mosaico fluido** (Fig. 9.18).

Segundo esse modelo, existem duas camadas de fosfolípidios que formam um revestimento fluido, delimitando a célula, e imersos nessa camada há moléculas de proteínas. A membrana plasmática apresenta **permeabilidade seletiva**: ela é permeável, mas não a tudo, ocorrendo seleção do que pode ou não passar.

Os tipos de proteína das membranas celulares variam de célula para célula e determinam as funções específicas das membranas.

São vários os tipos de proteínas integrantes de membranas ou apenas associadas a elas, funcionando de maneiras diversas, com maior ou menor especificidade.

Além das proteínas responsáveis pelo controle da passagem de certas substâncias através da membra-

na, chamadas transportadoras, há aquelas que fixam outras moléculas à membrana, as que atuam como enzimas, catalisando reações específicas, e outras ainda que respondem pela percepção de estímulos do ambiente, passando a informação para o interior da célula. As proteínas de membrana podem variar não só de um tipo de célula para outro, mas também de uma parte para outra da mesma célula.

Não cabe aqui tratar de toda a variedade proteica das membranas. Vamos nos restringir ao estudo de dois tipos de proteínas transportadoras: as de canal (porinas) e as carreadoras. As moléculas dessas proteínas atravessam toda a bicamada fosfolípídica da membrana e respondem por grande parte das trocas controladas de substâncias entre o citoplasma e o meio externo.

Mais adiante, ao tratarmos dos mecanismos de passagem de partículas através da membrana plasmática, voltaremos a mencionar essas proteínas.

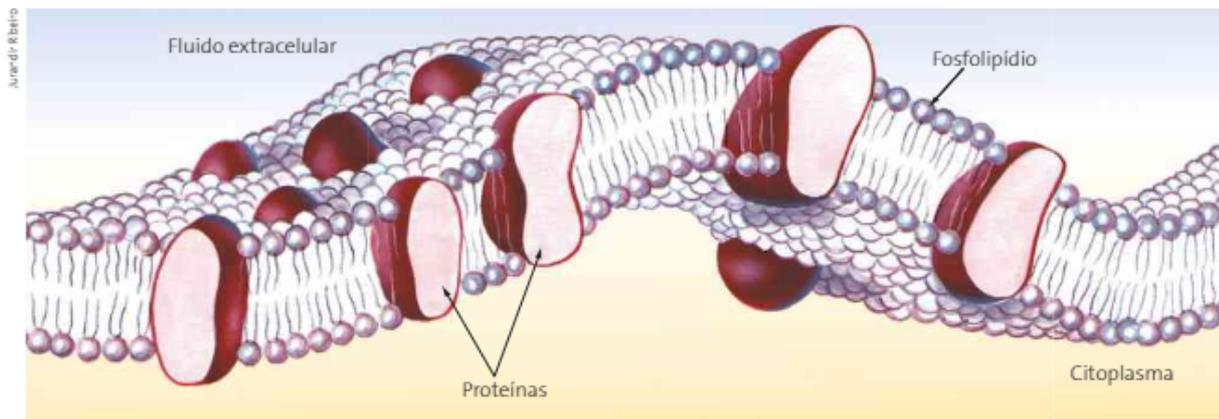


Figura 9.18. Modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.) Professor(a), antes de iniciar o estudo sobre os envoltórios celulares, sugerimos que você trabalhe a sugestão de atividade "Envoltórios celulares e transporte através da membrana plasmática", descrita nas Orientações didáticas.



## Colocando em foco

### MEMBRANAS E BOLHAS DE SABÃO

A natureza lipoproteica da membrana plasmática lhe confere uma série de propriedades físico-químicas importantes para a manutenção das reações químicas que ocorrem dentro das células e que são fundamentais para a vida. Antes de apresentarmos o funcionamento dessa membrana, vamos procurar entender uma de suas características: a fluidez. Para tanto, a bolha de sabão será usada como um modelo simplificado.

Uma característica interessante da molécula de sabão é que ela se assemelha à molécula de fosfolípido no que se refere à estrutura: ela também apresenta uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica (Fig. 9.19).

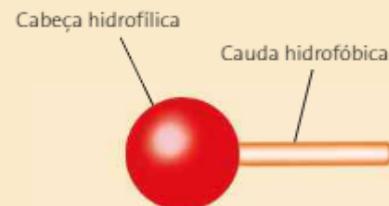


Figura 9.19. Representação esquemática da molécula de sabão, evidenciando a cabeça hidrofílica e a cauda hidrofóbica, que é única, diferentemente dos fosfolípidios, que têm cauda dupla. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Quando em água, as moléculas de sabão formam aglomerados esféricos chamados **micelas**, pois todas as extremidades hidrofílicas ficam em contato com a água e as hidrofóbicas ficam voltadas para dentro (Fig 9.20).

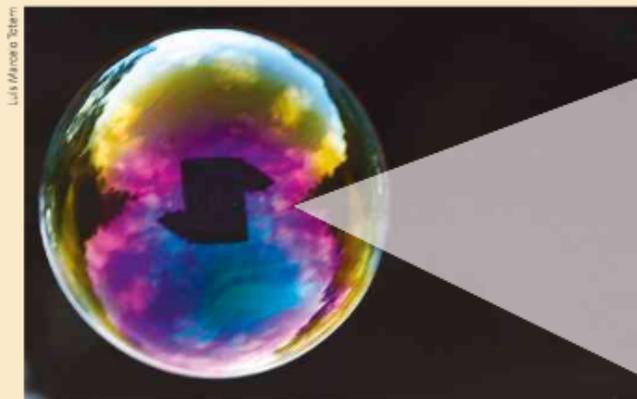
Caso existam gotículas de gordura na água, as moléculas de sabão as envolvem de modo que fiquem com as caudas hidrofóbicas em contato com a gordura e as cabeças hidrofílicas voltadas para a água. Graças a essa propriedade, o sabão é empregado para se lavar roupas ou objetos engordurados, pois ele facilita a eliminação da gordura.

Vamos pensar agora no que acontece em uma bolha de sabão. Cada bolha está envolta por ar e também contém ar em seu interior. Como as moléculas presentes no ar são principalmente hidrofóbicas, as moléculas de sabão arranjam-se de modo a formar uma membrana com duas camadas, assim como acontece com as membranas celulares. A diferença é que, no caso da membrana da bolha, em cada uma das duas camadas, as caudas hidrofóbicas das moléculas de sabão ficam voltadas para o ar. Entre uma camada e outra, há uma delicada película de água, para onde as cabeças hidrofílicas se voltam (Fig. 9.21).

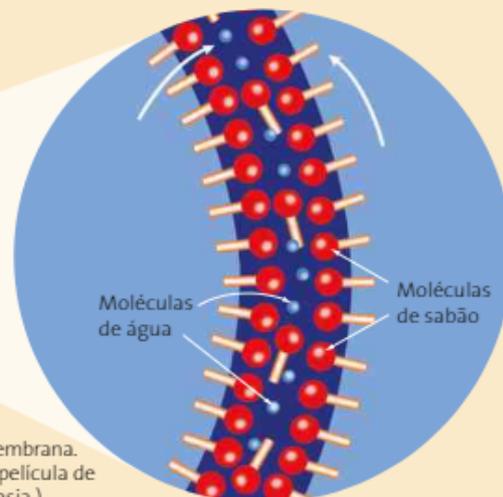


Walter Gilória

Figura 9.20. Esquema de uma micela. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)



Lutz/Micro 761m



Walter Gilória

Figura 9.21. Fotografia de uma bolha de sabão e esquema de sua membrana. Note que, entre as duas camadas de moléculas de sabão, há uma película de água. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Uma vez formada a bolha, a tendência é a perda da água por evaporação. Como a água está protegida entre duas camadas que apresentam superfícies hidrofóbicas, a evaporação é mais lenta, mas acaba ocorrendo e a bolha se rompe.

A natureza fluida da membrana da bolha é evidenciada pelos fluxos coloridos e iridescentes.

Quando falamos que a membrana plasmática é fluida, estamos nos referindo a processo semelhante. A fluidez da membrana celular resulta do fato de as moléculas de fosfolipídio se deslocarem com mais facilidade lateralmente do que transversalmente (Fig. 9.22).



Walter Gilória

Figura 9.22. Deslocamento transversal (A) e deslocamento lateral (B) de moléculas de fosfolipídios nas camadas da membrana plasmática. A movimentação transversal ocorre de forma mais lenta do que a lateral. (Cores fantasia.)

## 9.2. Envoltórios externos à membrana plasmática

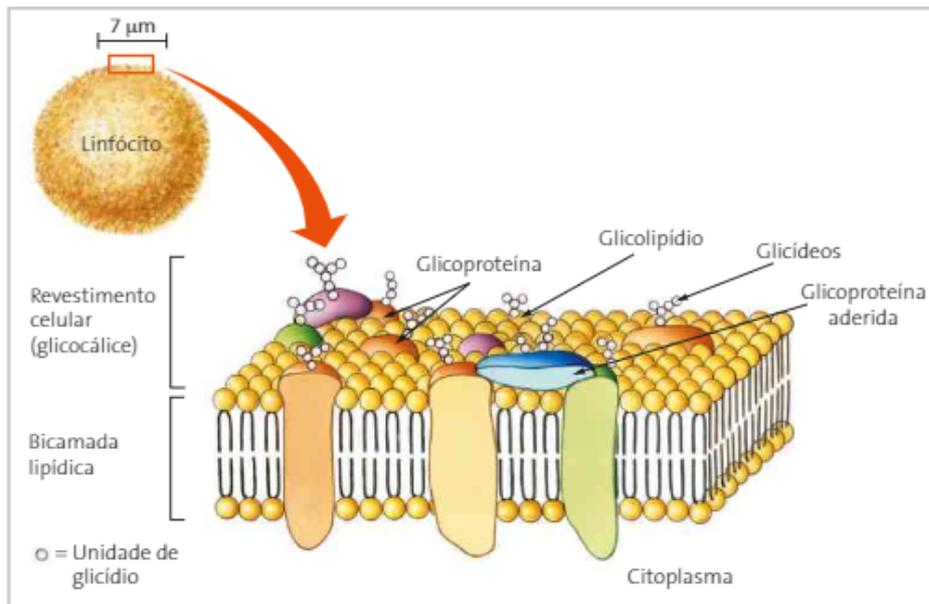
A membrana plasmática é fluida e delgada e, como tal, trata-se de uma estrutura delicada. Ao longo da evolução dos seres vivos, surgiram modificações na superfície das células que trouxeram como vantagem maior resistência da membrana sem interferir na sua permeabilidade. Esses envoltórios são, em geral, resistentes e permeáveis. Por serem vantajosas, essas modificações foram mantidas por seleção natural e persistiram ao longo do tempo. Assim, estão presentes nas células de muitos organismos que vivem hoje em nosso planeta.

Esses envoltórios são:

- glicocálice (ou glicocálix), presente nas células animais e de muitos protistas;
- parede celular, presente na maioria dos procariontes, em alguns protistas, nos fungos e nas plantas.

### Glicocálice

O glicocálice (do grego: *glykys* = doce; do latim: *calyx* = envoltório) é formado por uma camada frouxa de glicídios, associados aos lipídios e às proteínas da membrana (Fig. 9.23).



Walter Caderina

< **Figura 9.23.** Esquema simplificado, feito com base em microscopia eletrônica, de um setor da membrana plasmática de um linfócito, uma célula animal, mostrando o glicocálice. (Cores fantasia.)

Além de proporcionar resistência à membrana plasmática, o glicocálice tem outras funções:

- constitui uma barreira contra agentes físicos e químicos do meio externo;
- confere às células a capacidade de se reconhecerem, uma vez que células diferentes têm glicocálice formado por glicídios diferentes e células iguais têm glicocálice formado por glicídios iguais;
- forma uma malha que retém nutrientes e enzimas ao redor das células, de modo que mantenha nessa região um meio externo adequado.

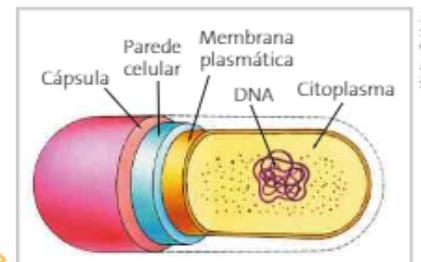
### Parede celular

A parede celular é uma estrutura mais rígida que o glicocálice. Assim, as células que apresentam parede celular têm menor possibilidade de modificar sua forma. Dentro de certos limites é uma estrutura permeável, não exercendo controle sobre as substâncias que penetram na célula ou que dela saem.

Nas bactérias e nas cianobactérias, a parede celular é formada basicamente por uma substância típica desses procariontes: o peptidoglicano, molécula grande constituída por moléculas menores de açúcares associadas a aminoácidos.

Em algumas bactérias existe, além da parede celular, outro envoltório externo: a cápsula. Essas bactérias são chamadas capsuladas (Fig. 9.24). A espessura e a composição química dessas cápsulas variam de espécie para espécie.

> **Figura 9.24.** Esquema de bactéria, com parte da célula removida. Mede cerca de 2 µm de comprimento. (Cores fantasia.)



Walter Caderina

Nas plantas, a parede celular é formada principalmente por celulose e, por isso, é também conhecida como parede celulósica.

Em uma célula vegetal jovem, a parede celular é muito fina e chama-se parede celular primária. Todo o espaço delimitado por essa parede primária denomina-se lúmen celular e é ocupado pelo protoplasma, a parte viva da célula, que compreende a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo.

Na célula adulta, a parede celular pode apresentar espessamentos, devido a novos depósitos de materiais, e recebe o nome de parede celular secundária. Como essa parede é formada pela deposição de material por dentro, o lúmen celular fica reduzido. A união entre as células vegetais é feita pela lamela média, composta de pectato de cálcio e magnésio.

É característica das células vegetais a presença de pontos de contato entre células vizinhas, onde não há deposição de celulose, e por onde o citoplasma de uma célula continua no da outra. Através dessas pontes citoplasmáticas, denominadas plasmodesmos, há intercâmbio de material entre as células (Fig. 9.25).

Entre os seres unicelulares eucariontes, muitos apresentam parede celular cuja composição química varia nos diferentes grupos. Em geral, a parede celular pode ser basicamente de sílica ou de celulose.

Os fungos apresentam parede celular constituída basicamente por quitina.

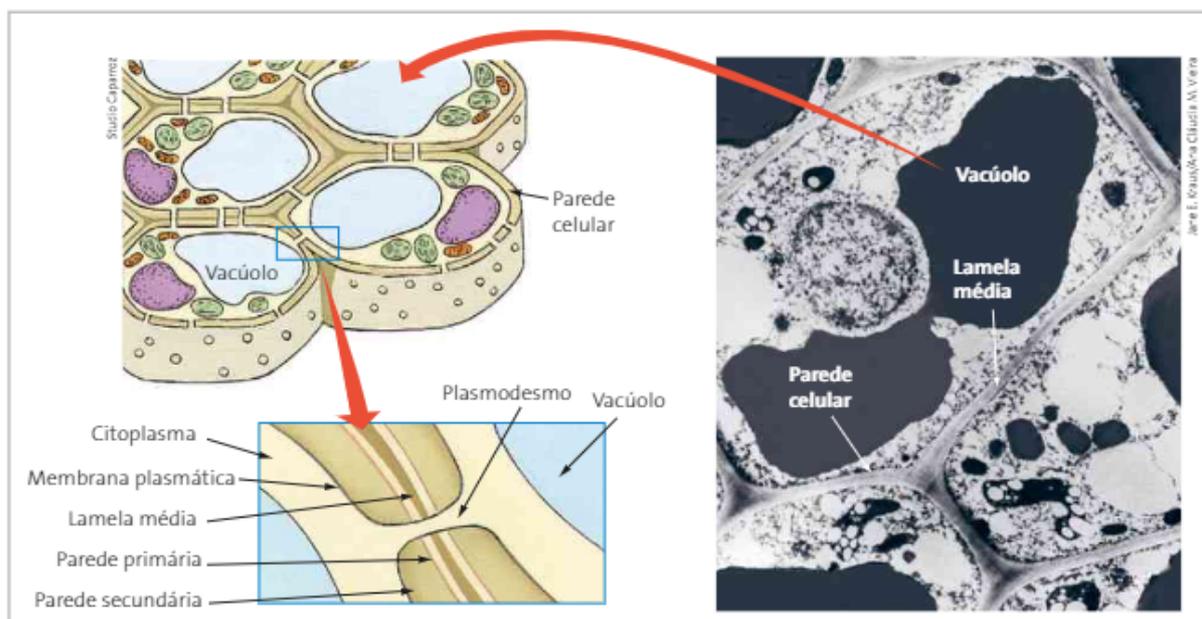


Figura 9.25. À direita, eletromicrografia de transmissão de células vegetais, evidenciando parede celular e lamela média (setas). Cada célula mede cerca de  $75 \mu\text{m}$  de comprimento. Na ilustração em corte, à esquerda, esquema de células vegetais. No detalhe, um plasmodesmo. (Cores fantasia.)

## 10. Processos de troca entre a célula e o meio externo

Os processos de troca entre a célula e o meio externo podem ser agrupados em três categorias:

- **processos passivos** – ocorrem através da membrana plasmática, sem gasto de energia, tendendo a igualar a concentração da célula com a do meio externo (a favor do gradiente de concentração) (Fig. 9.26);
- **processos ativos** – ocorrem através da membrana plasmática, com gasto de energia, mantendo alguma diferença de concentração entre a célula e o meio externo (contra o gradiente de concentração) (Fig. 9.26);
- **processos mediados por vesículas** – ocorrem quando vesículas são utilizadas para a entrada de partículas ou microrganismos na célula ou para a eliminação de substâncias da célula. O processo de entrada chama-se **endocitose** e o de saída, **exocitose**.

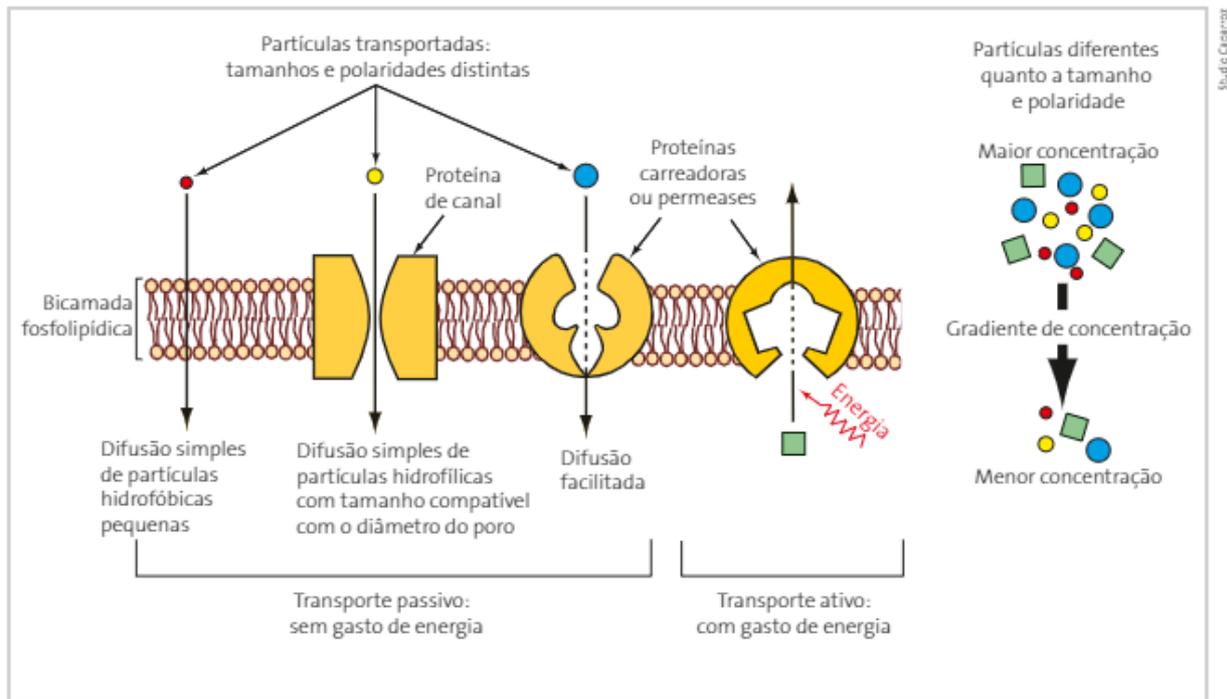


Figura 9.26. Esquema resumindo os principais mecanismos de passagem de partículas do soluto (moléculas ou íons) através da membrana plasmática: difusão simples, difusão facilitada e transporte ativo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Para entender os processos passivos e ativos, precisamos ter algum conhecimento sobre concentração de soluções. Vamos falar brevemente sobre isso, tema que também é discutido na disciplina de Química com mais detalhes.

## 10.1. Concentração de uma solução

Moléculas dissolvidas em qualquer líquido formam uma **solução**. As moléculas dissolvidas recebem o nome de **soluto** (por exemplo: açúcares, íons, aminoácidos) e o líquido recebe o nome de **solvente** (por exemplo: água). Esses conceitos são os mesmos usados em Química.

A quantidade de soluto dissolvida em uma determinada quantidade de solvente nos dá um valor que chamamos concentração da solução. A concentração de uma solução é tanto maior quanto mais soluto estiver dissolvido em uma mesma quantidade de solvente.

Observe a **figura 9.27**. Nesse exemplo, a quantidade de açúcar (soluto) dissolvida em 1 litro de água (solvente) é menor no frasco **A**. Assim, a concentração da solução **A** é menor que a concentração da solução **B**.

Quando duas soluções têm a mesma concentração, elas são chamadas **isotônicas** ou isosmóticas (*iso* = igual). Quando a concentração é diferente, a mais concentrada é chamada **hipertônica** ou hiperosmótica

(*hiper* = muito) e a menos concentrada é chamada **hipotônica** ou hiposmótica (*hipo* = pouco).

Como se pode notar, só é possível dizer que uma solução é hipo, hiper ou isotônica em relação à outra solução.

Comparando, novamente, as duas soluções da figura a seguir, a solução **A** é hipotônica em relação à **B**, pois sua concentração é menor que a da solução **B**.

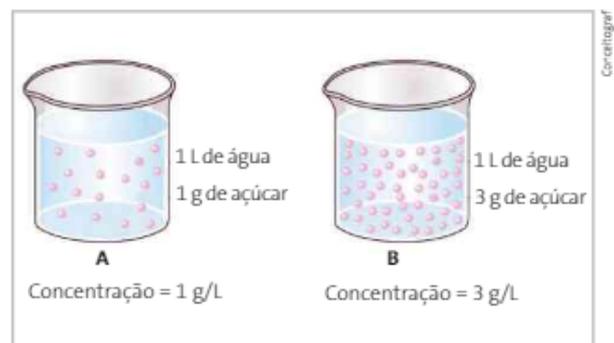


Figura 9.27. Esquema de duas soluções de água e açúcar (●), com concentrações diferentes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia. Moléculas não são visíveis dessa maneira.)

## 10.2. Difusão

A difusão corresponde ao movimento de partículas (moléculas ou íons) de onde elas estão mais concentradas para onde estão menos concentradas, tendendo a homogeneizar sua distribuição. Veja a seguir o que acontece quando se coloca gotas de corante em um frasco com água (Fig. 9.28), sem que o líquido seja agitado: depois de certo tempo, o corante se distribui na água (Fig. 9.29) por difusão.

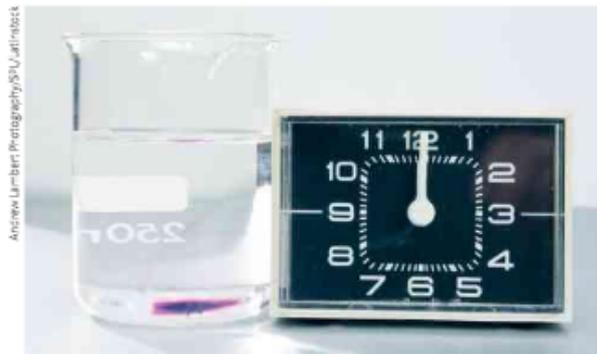


Figura 9.28. Início da experimentação: corante colocado no fundo de um recipiente com água. Montagem deixada em repouso, sem agitação.

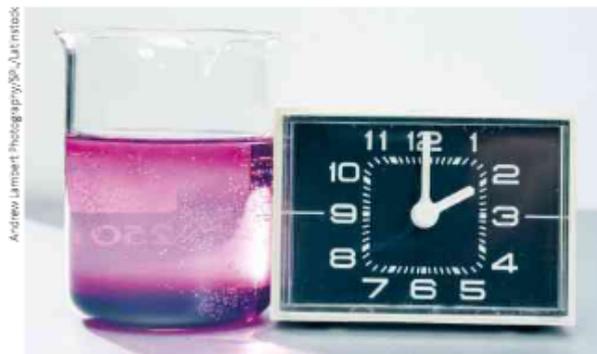


Figura 9.29. Duas horas depois: o corante encontra-se disperso por todo o volume de água.

Através da membrana plasmática há difusão de pequenas moléculas, como as de oxigênio e as de gás carbônico, como exemplificado na figura 9.30.

A difusão pode ocorrer também através de canais proteicos (porinas), no caso de partículas hidrofílicas, que não possuem afinidade com a bicamada de fosfolípidios. O tamanho das partículas que podem passar por esses canais vai depender do diâmetro desses poros. A partir de certo tamanho das partículas, a difusão vai ficando cada vez mais lenta, até que os poros proteicos tornam-se inviáveis para passagem. Nesses casos, e até certo limite, uma alternativa é a participação de proteínas carreadoras facilitadoras, em um outro tipo de processo passivo: a difusão facilitada.

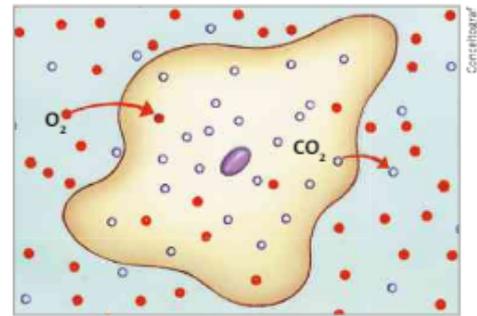


Figura 9.30. Esquema do processo de difusão de  $O_2$  e  $CO_2$  na célula. À medida que a célula realiza a respiração, vai consumindo o oxigênio que está dentro dela e produzindo o gás carbônico. Com isso, dentro da célula a concentração de oxigênio diminui e a de gás carbônico aumenta, o que estabelece uma diferença de concentração desses gases em relação ao meio externo. Fora da célula, o teor de oxigênio é maior, e esse gás entra na célula por difusão. Dentro da célula, o teor de gás carbônico fica maior, e esse gás sai da célula por difusão. (Moléculas não são visíveis dessa maneira. Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 10.3. Osmose

Osmose é um caso especial de difusão no qual as moléculas de água passam através de membranas semipermeáveis. Também, nesse caso, as concentrações em ambos os lados da membrana tendem ao equilíbrio. O solvente (água) difunde-se de modo a diluir o lado mais concentrado. Por isso, na osmose, a água difunde-se em maior quantidade da solução hipotônica para a hipertônica.

A bicamada lipídica é pouco permeável à água, que atravessa lentamente essa membrana. A passagem da água através da membrana plasmática é mais rápida do que o esperado porque ela não ocorre apenas pela bicamada fosfolipídica. Hoje se sabe que as células possuem proteínas especiais, chamadas aquaporinas, que formam verdadeiros canais de passagem para moléculas de água (Fig. 9.31). A descoberta das aquaporinas valeu o Prêmio Nobel de Química de 2003 a dois médicos estadunidenses, Peter Agre e Roderick Mackinnon.

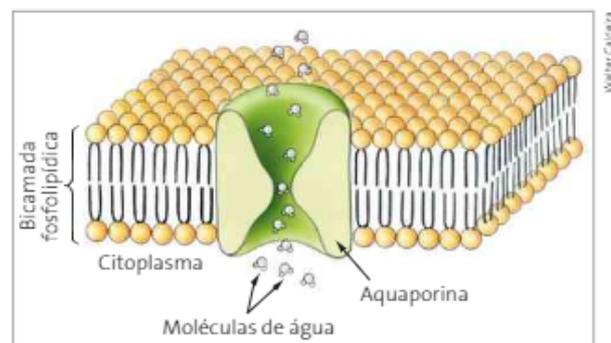


Figura 9.31. Esquema de aquaporina em membrana plasmática, representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Despertando ideias

REGISTRE  
NO CADERNO

### Interpretando experimentos

Analise o experimento a seguir, que visa demonstrar o efeito da pressão osmótica.

**Etapa 1** – Em um tubo em U, instalou-se uma membrana semipermeável de modo a separar dois braços de igual tamanho. A um dos braços adicionou-se 100 mL de água e, ao outro, o mesmo volume de uma solução de água com açúcar (ilustração A – fig. 9.32). Após um tempo, verificou-se que houve deslocamento de água para o braço que continha a solução de açúcar até que o sistema estabilizou-se (ilustração B – fig. 9.32).

**Etapa 2** – Adicionou-se um pistão ao braço onde estava a solução de açúcar. Aplicou-se a ele uma força de modo a impedir o surgimento do desnível (ilustração C – fig. 9.33). Uma força aplicada sobre uma área resulta em pressão. No caso desse experimento, essa pressão equivale, em valor, à pressão osmótica e pode ser medida por um aparelho chamado osmômetro.

### Discussão

1. Explique por que surge o desnível representado na ilustração B.
2. Se as soluções separadas pela membrana semipermeável tivessem a mesma concentração, a força a ser aplicada no pistão para manter as duas colunas de água no mesmo nível seria igual, maior ou menor do que a mostrada na ilustração C? Se a solução de água com açúcar fosse mais hipertônica do que é, como deveria ser essa força? Explique.

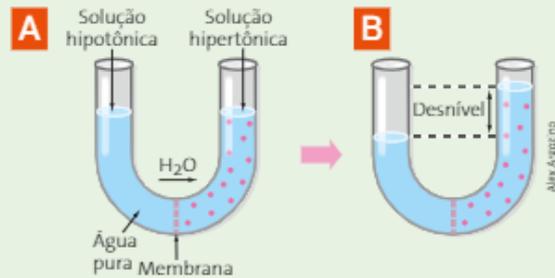


Figura 9.32. Representação da montagem do experimento – etapa 1. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia. Moléculas não são visíveis dessa maneira.)

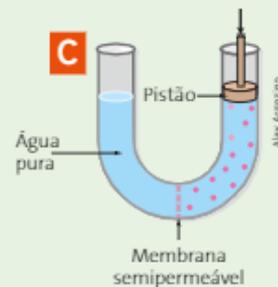


Figura 9.33. Representação da montagem do experimento com pistão acoplado em um dos braços – etapa 2. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia. Moléculas não são visíveis dessa maneira.)

Professor(a), veja nas Orientações didáticas uma proposta de atividade prática, cujo objetivo é discutir como o aumento da pressão interna de uma câmara de ar produz rigidez ou sustentação. Esse seria um bom momento para realizá-la.

Soluções de concentrações diferentes separadas por uma membrana semipermeável desenvolvem pressão osmótica. O valor dessa pressão depende da diferença entre as concentrações dessas soluções e será tanto maior quanto maior for essa diferença.

Observe a figura 9.34, que representa o que ocorre com hemácias quando submetidas a soluções de diferentes concentrações.

### Osmose em célula animal — hemácia

Pressão osmótica interna é maior do que a externa.



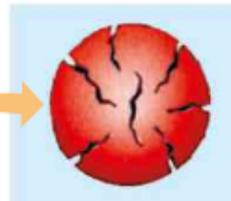
Colocando-se a célula em um meio externo hipertônico, ela perde água e murcha.

Pressão osmótica interna é igual à externa.



Meio externo isotônico com o meio interno: hemácia normal.

Pressão osmótica interna é menor do que a externa.



Colocando-se a célula em um meio externo muito hipotônico, ocorre entrada excessiva de água na célula, que se rompe (lise celular).

Walter Calceira

Figura 9.34. Esquema dos efeitos da osmose em uma hemácia. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Quando uma célula se encontra em meio com concentração igual à de seu interior (meio isotônico), ela apresenta aparência normal. Em meio hipertônico, a célula perde água e, em meio hipotônico, há entrada de água na célula, provocando aumento de seu volume. No caso da célula animal, a entrada excessiva de água pode levar à ruptura da membrana e morte da célula. No caso das células vegetais, a parede celular, que delimita a célula, impede sua ruptura.

No citoplasma das células vegetais adultas existe uma região central relativamente grande, que é preenchida por uma organela denominada **vacúolo**. Ele abriga uma solução aquosa de várias substâncias e é delimitado pelo **tonoplasto**, uma membrana lipoproteica semipermeável. Desse modo, a água que sai da célula vegetal provém principalmente do vacúolo.

Observe agora o que ocorre com células vegetais (Fig. 9.35).

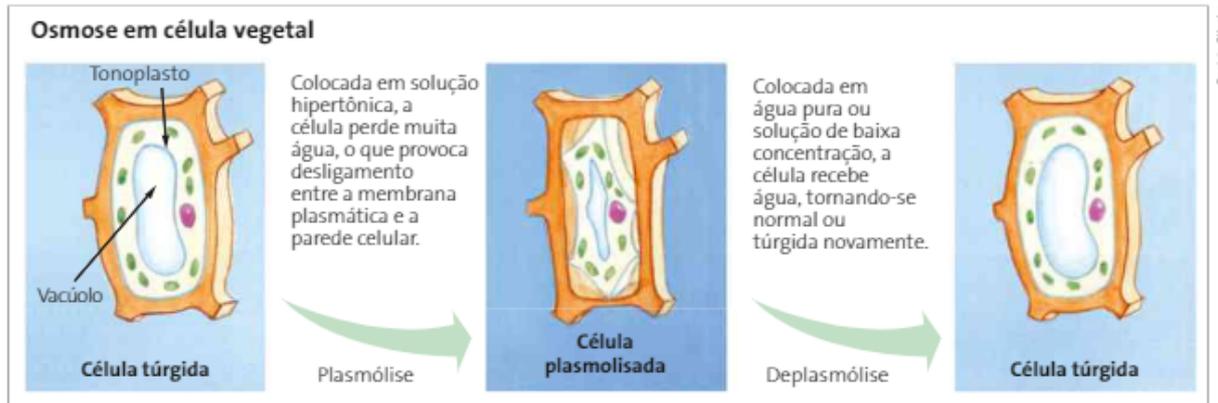


Figura 9.35. Esquema dos efeitos da osmose em uma célula vegetal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Colocando-se uma célula vegetal túrgida – completamente cheia de água – em uma solução hipertônica, a célula perde água para o meio. Há diminuição do volume do citoplasma, o que reduz a pressão que ele exercia sobre a parede celular. Quando essa pressão é nula, ou seja, a parede celular não fica pressionada nem para fora nem para dentro, diz-se que a célula está **flácida**. A perda do turgor resulta no murchamento da planta. Se a concentração do meio for muito maior que a da célula, ela perderá mais água, o que pode acabar provocando a separação da mem-

brana plasmática da parede celular. O citoplasma e a membrana plasmática acompanham a contração do vacúolo e separam-se da membrana celulósica. Esse processo denomina-se **plasmólise** e ocorre em células vegetais.

O processo inverso à plasmólise é a **deplasmólise**, em que a célula plasmolisada, ao ser colocada em água pura ou em solução de baixa concentração, volta a ficar túrgida. A célula não sofre ruptura como acontece com as hemácias do experimento anterior, pois possui parede celular muito resistente, estrutura ausente nas células animais.

## Colocando em foco

### POR QUE SALADAS NÃO DEVEM SER TEMPERADAS MUITO ANTES DE SEREM CONSUMIDAS?

Você já deve ter temperado saladas usando basicamente vinagre ou limão, sal e azeite.

Por experiência própria, deve ter observado que, se temperar com antecedência, as verduras murcham. Isso acontece porque ao temperar a salada estamos submetendo as células das verduras a um meio hipertônico, especialmente devido ao sal. Assim, as células perdem água para o meio, por osmose, e murcham (Figs. 9.36 e 9.37).



Figura 9.36. Fotografia de salada sem tempero ou recém-temperada.



Figura 9.37. Fotografia de salada temperada há algum tempo.

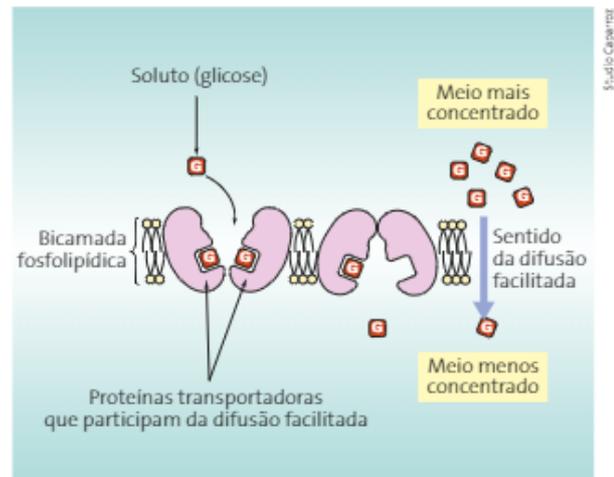
## 10.4. Difusão facilitada

A difusão facilitada também é um processo passivo, que ocorre através das membranas lipoproteicas. Nesse tipo de difusão, algumas proteínas da membrana, chamadas **permeases**, atuam facilitando a passagem de certas substâncias que, por difusão simples, demorariam muito tempo para passar. Esse processo está relacionado ao transporte de alguns aminoácidos, de vitaminas e de alguns íons, como o cálcio, o cloro, o sódio e o potássio e de moléculas, como a glicose. Será a esse transporte de glicose que deteremos nossa atenção. Analise a **figura 9.38**.

O fígado desempenha várias funções, entre elas a de reservatório de glicose, importante combustível para nossas atividades. As células do fígado armazenam glicose sob a forma de glicogênio, que é uma molécula longa formada por várias moléculas de glicose.

Quando a concentração de glicose é maior fora das células do que dentro delas, o hormônio insulina estimula a entrada de moléculas de glicose na célula por difusão facilitada. Se estão em excesso no interior das células, essas moléculas são transformadas em glicogênio, que, sendo insolúvel, não tem efeito osmótico. Como o glicogênio não está dissolvido, não aumenta a concentração interna das células do fígado e, assim, não há o risco de elas incharem por entrada excessiva de água.

Quando os níveis de glicose no sangue diminuem, o hormônio glucagon estimula as células a degradar o glicogênio, formando muitas moléculas de glicose. Como resultado desse processo, a concentração de glicose dentro das células fica maior do que fora delas. Nessa situação, a glicose é transportada para fora das células por difusão facilitada.



^ **Figura 9.38.** Esquema da difusão facilitada da glicose (G) em células do fígado: as proteínas transportadoras alteram suas conformações movendo o soluto (glicose) através da membrana, de acordo com o gradiente de concentração. A membrana está representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



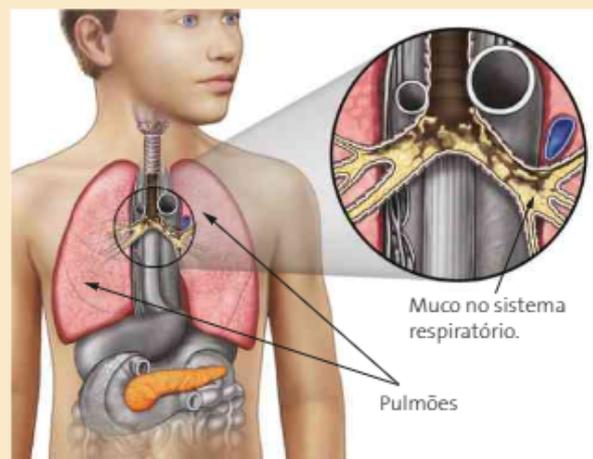
### Colocando em foco

#### EXEMPLO DA IMPORTÂNCIA CLÍNICA DO TRANSPORTE ATRAVÉS DE MEMBRANA

A **fibrose cística** é uma doença caracterizada pela secreção anormal de muco, principalmente pelas células do sistema respiratório. Esse muco é espesso e viscoso e, por ser dificilmente eliminado das vias aéreas, acaba acarretando infecções pulmonares frequentes (**Fig. 9.39**).

Essa doença pode levar o indivíduo à morte ainda na infância, embora já existam tratamentos que prolonguem a vida dos pacientes.

Na membrana plasmática das células existe uma proteína que realiza o transporte de íons cloro. A causa da fibrose cística está relacionada com a presença de um tipo anormal dessa proteína, que deixa de fazer o transporte desses íons de forma adequada. Isso acarreta alterações na concentração normal dos íons cloro dentro da célula, o que leva à produção de muco espesso.



^ **Figura 9.39.** Esquema representando o excesso de muco no sistema respiratório que ocorre na fibrose cística. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 10.5. Bomba de sódio e potássio – processo ativo

Os processos ativos são os que ocorrem através da membrana plasmática ou de qualquer outra membrana da célula graças ao fornecimento de energia do metabolismo celular. Esses processos são caracterizados pelo movimento de soluto **contra o gradiente de concentração**, ou seja, da solução menos concentrada para a mais concentrada. São sempre realizados por permeases (proteínas carreadoras) presentes na membrana plasmática.

Medindo-se a concentração de dois importantes íons para a célula –  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  –, verifica-se que há maior concentração de íons  $\text{Na}^+$  no líquido extracelular do que no meio intracelular. Já com os íons  $\text{K}^+$  acontece o contrário: sua concentração é maior dentro da célula do que fora dela.

Esses íons atravessam normalmente a membrana celular pelo processo de difusão facilitada. Assim, se

não houvesse um processo ativo capaz de manter essa diferença de concentração, sódio e potássio tenderiam a igualar suas concentrações fora e dentro da célula. Porém, é fundamental para o metabolismo celular manter essa diferença de concentrações. É importante haver íons  $\text{K}^+$  em alta concentração na célula, pois eles são necessários na síntese de proteínas e em algumas etapas da respiração. Entretanto, a alta concentração desses íons no meio intracelular pode trazer problemas osmóticos, pois a célula torna-se hipertônica. O bombeamento de  $\text{Na}^+$  para fora da célula contribui, então, para a regulação osmótica.

O processo ativo que permite a manutenção da concentração diferencial desses íons é chamado **bomba de sódio e potássio** (Fig. 9.40).

Utilizando energia, os íons  $\text{Na}^+$  (que penetram na célula por difusão facilitada) são levados para o meio extracelular e os íons  $\text{K}^+$  (que saem da célula por difusão facilitada) são levados para o meio intracelular.

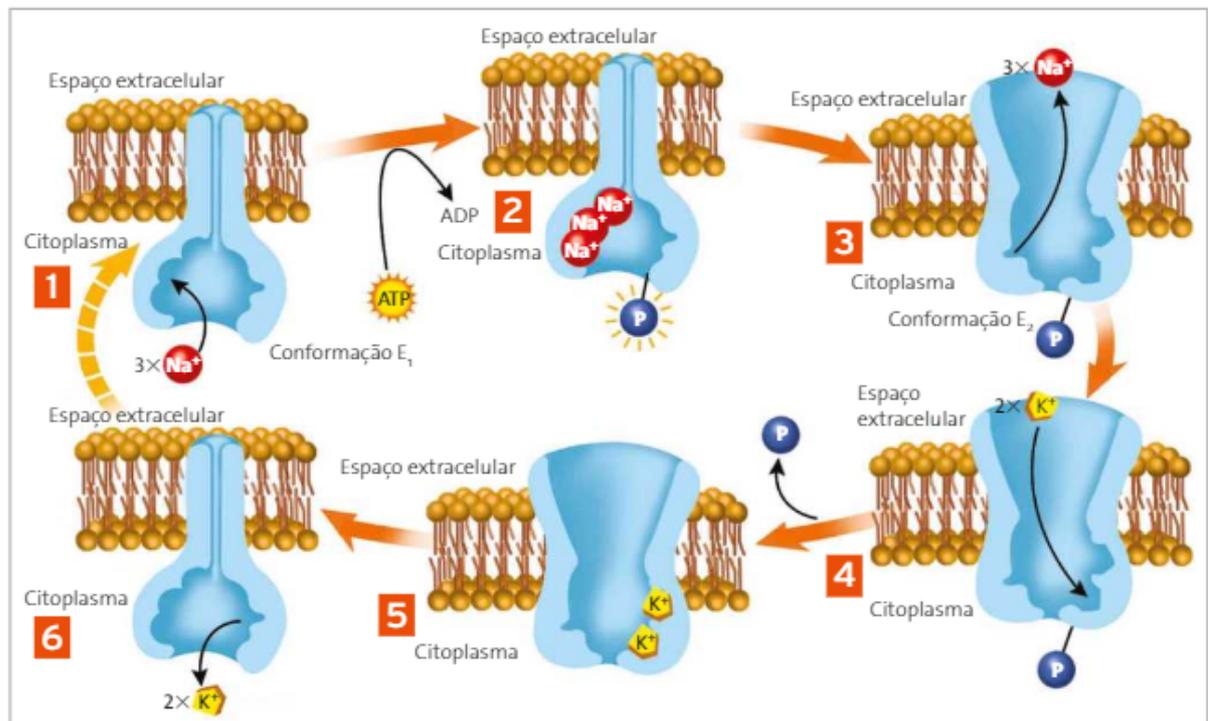


Figura 9.40. Esquema representando a bomba de sódio e potássio. (Estruturas representadas em corte; elementos em diferentes escalas; cores fantasia.)

1. A proteína carreadora está em sua conformação espacial chamada  $E_1$ , em que três íons sódio combinam-se em sua parte voltada para o interior da célula.
2. Uma molécula de ATP (trifosfato de adenosina), que fornece energia a diversos processos celulares, transfere um de seus fosfatos à proteína carreadora.
3. A energia fornecida pelo ATP promove alteração da forma da proteína, que passa a ter a conformação  $E_2$ , liberando os três íons sódio para o exterior da célula; nesse processo, o grupo fosfato da molécula de ATP fica associado à proteína.
- 4 e 5. Dois íons potássio do meio exterior ligam-se à carreadora, que ao mesmo tempo libera o fosfato.
6. Os dois íons potássio são liberados no interior da célula e a carreadora volta à sua conformação  $E_1$  e pode agir novamente.

A bomba de sódio e potássio é importante ainda na produção de diferença de cargas elétricas nas membranas celulares. Nas células animais, a maioria das membranas celulares tem uma diferença de potencial elétrico de cada lado da membrana, o que é chamado potencial de membrana. Geralmente, o lado citoplasmático da membrana plasmática tem potencial negativo em relação ao exterior. Essa diferença é mantida pela bomba de sódio e potássio, pois, para cada três íons  $\text{Na}^+$  bombeados para fora da célula, apenas dois íons  $\text{K}^+$  são bombeados para dentro dela (relação de 3 : 2). Assim, quando essas membranas não são estimuladas por impulsos, elas apresentam carga positiva na face externa e carga negativa na face interna (Fig. 9.41).

Especialmente em células nervosas e musculares, essa diferença de cargas elétricas propicia a transmissão de impulsos elétricos. Nesses casos, quando há um estímulo, ocorre inversão temporária das cargas elétricas. Professor(a), esse assunto será aprofundado no volume 3 da coleção.

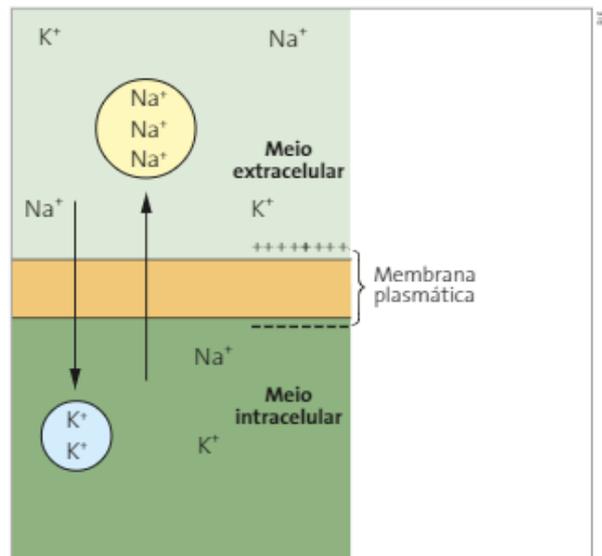


Figura 9.41. Representação do potencial elétrico negativo (no meio intracelular) e positivo (no meio extracelular), mantido pela bomba de sódio e potássio.

## 10.6. Endocitose e exocitose

Nos itens anteriores, foram discutidos os mecanismos pelos quais pequenas moléculas e íons atravessam a membrana plasmática. Partículas maiores não conseguem atravessar a membrana, mas podem ser incorporadas à célula por endocitose ou ser eliminadas por exocitose.

A endocitose pode ocorrer por dois processos básicos: a fagocitose e a pinocitose.

A fagocitose (*fagos* = comer; *citos* = célula; ato de a célula comer) é um processo de ingestão de partículas grandes, como microrganismos e restos de outras células.

A pinocitose (*pinos* = beber; ato de a célula “beber”) está relacionada à ingestão de moléculas grandes, como polissacarídeos e proteínas dissolvidas em água.

Esses dois processos estão esquematizados de modo comparativo e simplificado nas figuras 9.42 e 9.43.

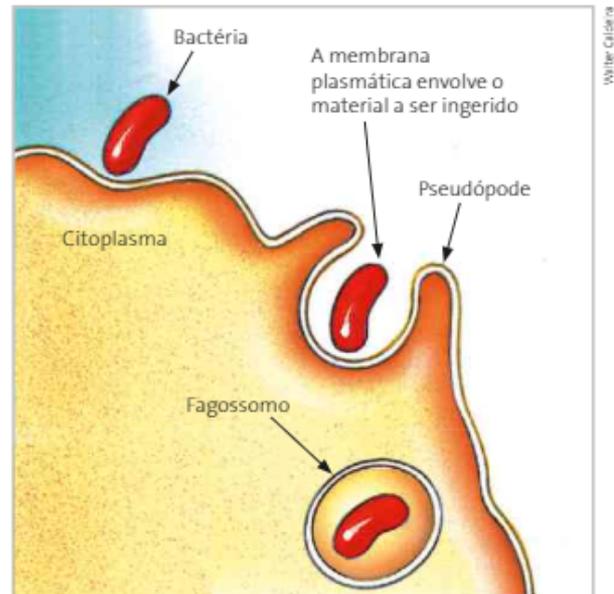


Figura 9.42. Esquema de fagocitose: ingestão de partículas grandes, como microrganismos e pedaços de célula, por meio de pseudópodos, gerando vesículas grandes, os fagossomos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

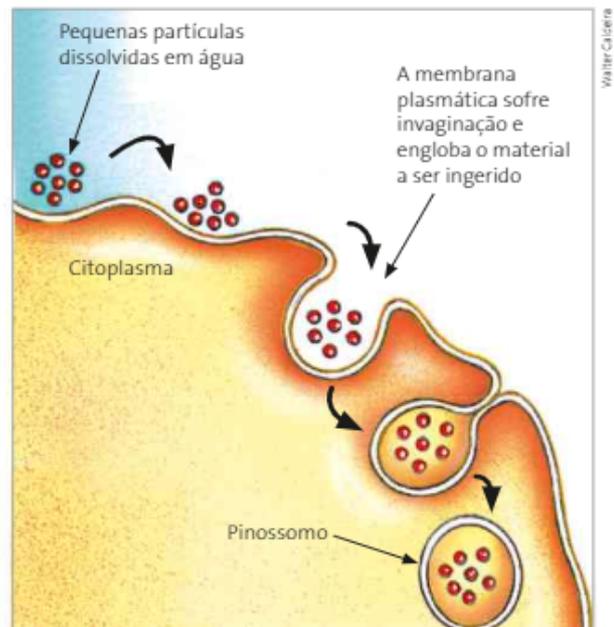


Figura 9.43. Esquema de pinocitose: ingestão de moléculas grandes dissolvidas em água por meio de invaginações da membrana, gerando vesículas pequenas, os pinossomos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A fagocitose é um mecanismo empregado por muitos protistas, em especial as amebas, para a obtenção de alimento, no caso outros microrganismos que são englobados no processo. Nos organismos multicelulares, a fagocitose é exercida apenas por certas células especializadas.

Nas células que realizam fagocitose, o material ingerido fica no interior de uma vesícula grande, denominada **fagossomo**, um tipo de vacúolo alimentar, e é degradado por ação de enzimas específicas.

Ao contrário da fagocitose, que é realizada apenas por algumas células especializadas, a pinocitose ocorre praticamente em todos os tipos celulares.

As partículas ingeridas por pinocitose ficam no interior de pequenas vesículas denominadas **pinossomos** e podem servir como alimento para as células.

Os mecanismos de digestão intracelular serão discutidos no próximo capítulo.

Enquanto os mecanismos de endocitose descritos envolvem a ingestão de material, a exocitose envolve a eliminação de material, ou seja, de dentro para fora da célula.

A exocitose é um processo frequente nas células com função secretora, como as do pâncreas, por exemplo, que secretam insulina e glucagon (hormônios lançados na corrente sanguínea que, como vimos, atuam no metabolismo de açúcares) (Fig. 9.44).

Também por exocitose são eliminados resíduos do material digerido dentro da célula.

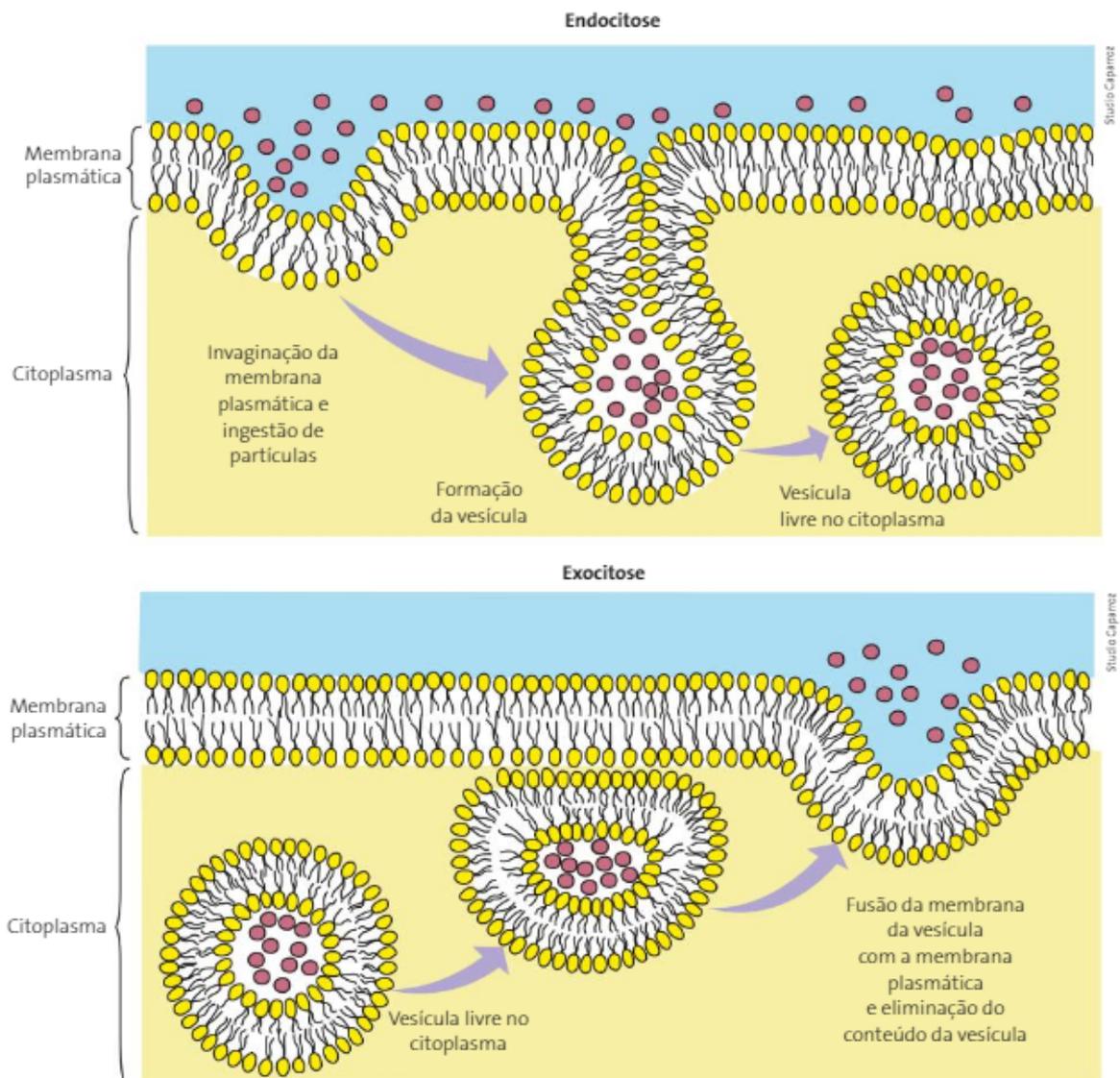


Figura 9.44. Esquema comparativo de endocitose e exocitose. (Estruturas representadas em corte, em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Colocando em foco

### COMBATE A INFECÇÕES E "LIMPEZA" DO NOSSO CORPO

Você sabe o que é o **pus** que se forma nos ferimentos infeccionados?

Quando a pele humana sofre uma lesão, pode ocorrer infecção por bactérias. Nesse caso, **neutrófilos** (um tipo de glóbulo branco do sangue) saem dos vasos sanguíneos e vão para o local da infecção. Esse processo de atravessar a parede dos capilares sanguíneos é denominado **diapedese**.

Os neutrófilos fagocitam ativamente as bactérias, mas acabam morrendo juntamente com as várias bactérias que ingeriram. Os neutrófilos e as bactérias mortos formam os principais elementos encontrados no pus de ferimentos infeccionados.

Nessa fase, os **monócitos**, que são outro tipo de glóbulo branco do sangue, saem dos vasos sanguíneos também por diapedese e transformam-se em **macrófagos**.

Os macrófagos têm alta capacidade de fagocitose e dirigem-se ao local da infecção, onde ingerem bactérias invasoras, restos de células mortas e até mesmo os próprios neutrófilos já destruídos (Fig. 9.45).

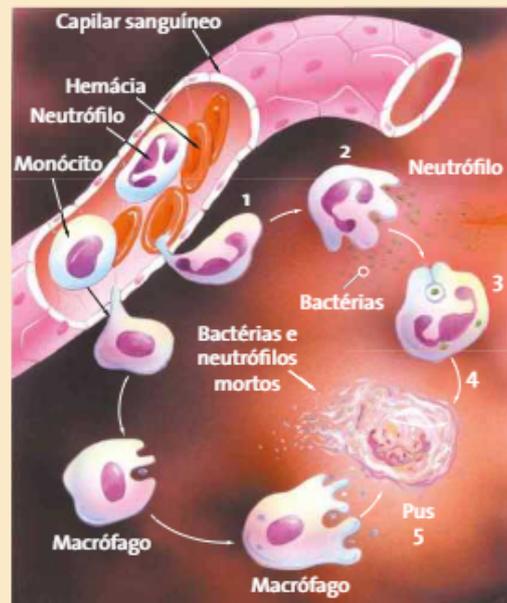


Figura 9.45. Esquema simplificado representando uma resposta inflamatória. Leucócitos e macrófagos medem cerca de 15  $\mu\text{m}$  de diâmetro; hemácias medem em torno de 7  $\mu\text{m}$  de diâmetro. O capilar sanguíneo foi representado com parte de sua parede removida para visualizar as células sanguíneas. (Cores fantasia.)



## Tema para discussão

REGISTRE  
NO CADERNO

### Osmose reversa e o tratamento de água

Osmose reversa é o processo de separação da água dos sais minerais. Esta se constitui de duas soluções, uma com concentração maior de sais em relação à outra concentração, diferentemente da osmose natural, a solução mais concentrada tende a ir para solução menos concentrada.

Iso acontece devido a uma pressão mecânica superior à pressão osmótica aplicada sobre a solução mais concentrada. Devido à pressão aplicada, as moléculas de água passam pela membrana semipermeável, separando a solução em duas partes distintas: permeado e rejeito, este último percorre a membrana sem atravessá-la para formar o que deve ser desprezado, já o permeado é a parte da solução que atravessa a membrana contendo alto grau de pureza. O processo de tratamento remove grande parte dos componentes orgânicos e até 99% dos sais dissolvidos.

[...]

Devido à má distribuição de água potável no país e à preocupante tendência de escassez de água no mundo, o sistema de osmose reversa é uma opção viável para a população. Com o sistema se pode obter água potável resultante do tratamento de águas pluviais ou águas salobras, com a separação dos minerais e poluentes presentes nessa água e com a obtenção de água pura, sendo possível a mineração desta, com quantidade adequada de cálcio, flúor, cloro, entre outros minerais essenciais para o consumo humano desta água, tratando-a para que seja insípida, inodora e incolor. Este sistema já vem sendo utilizado em algumas regiões do país para tratamento de água salobra em água potável.

[...]

SILVA, D. S. C.; SANTOS, E. B.; DUARTE, J. A. Utilização de osmose reversa para tratamento de águas. Disponível em: <[http://www.fatecgarca.edu.br/revista/Volume3/artigos\\_vol3/Artigo\\_6.pdf](http://www.fatecgarca.edu.br/revista/Volume3/artigos_vol3/Artigo_6.pdf)>. Acesso em: mar. 2016.

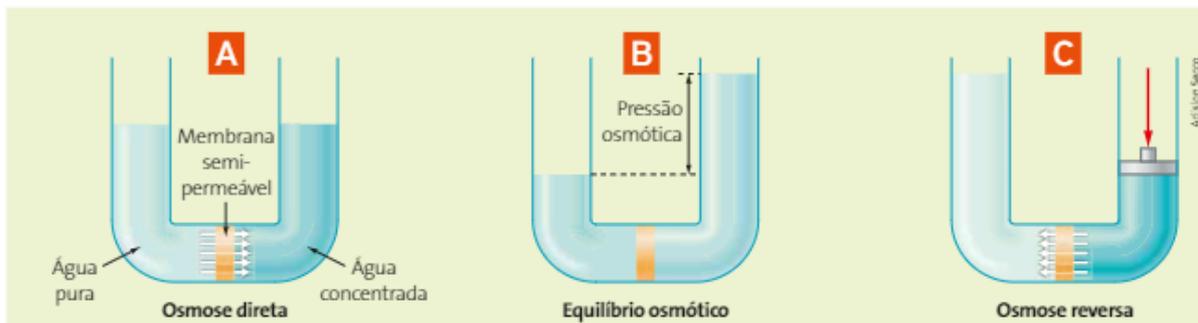


Figura 9.45. Representações esquemáticas do processo de osmose direta (A e B), levando ao equilíbrio osmótico (B), e do processo de osmose reversa (C), em que uma força (seta vermelha) é aplicada a um disco colocado na superfície do fluido de maior concentração, fazendo com que o aumento da pressão promova a passagem de água no sentido inverso, ou seja, da solução mais concentrada para a menos concentrada.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Considerando a importância da água para a sobrevivência não apenas da espécie humana como dos demais seres vivos, faça, com seu grupo, uma pesquisa a respeito da osmose reversa no Brasil, suas aplicações e os projetos que estão em desenvolvimento. Analisem um dos aspectos da osmose reversa que tem sido objeto de preocupação, que é o destino do resíduo salgado. Pesquisem soluções que podem ser adotadas para o problema desse resíduo. Apresentem aos colegas as informações obtidas e ouçam a apresentação deles. Depois, como trabalho coletivo da classe, produzam um filme sobre o assunto e, sob a orientação do(a) professor(a), divulguem esse conhecimento para a comunidade. O filme poderá ser também divulgado por um canal na internet. Outra opção será produzir um *podcast* entrevistando profissionais que estejam trabalhando com a questão da dessalinização da água no Brasil e o que fazer com os resíduos resultantes desse processo.



## Retomando

Este capítulo evidenciou a grande importância da Citologia, ramo da Biologia que estuda as células, e dos equipamentos usados nesse estudo: os microscópios. Analise as respostas que deu às questões da seção **Pense nisso** e confronte-as com o conhecimento que adquiriu. Você reformularia algumas dessas respostas?



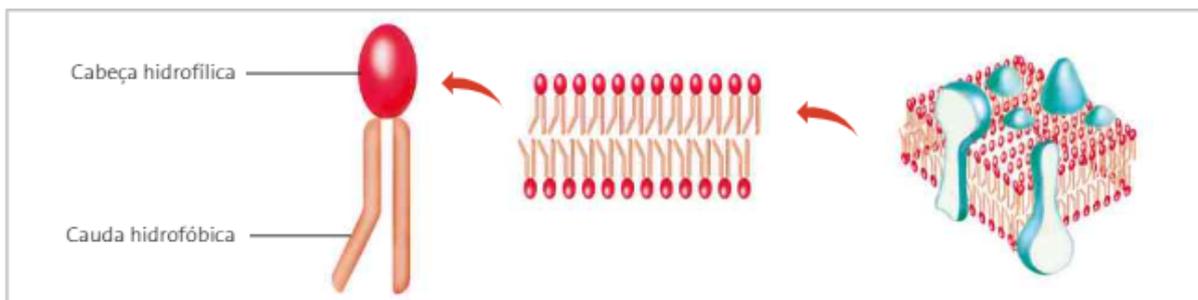
## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

### Atividade 1 Envoltórios celulares — membrana plasmática

Habilidades do Enem: H3, H14, H15, H17, H18, H20, H21, H24, H28.

Analisar as representações abaixo:



Componentes da membrana plasmática. (Estruturas representadas em corte; elementos em diferentes escalas; cores fantasia.)

- Relacione a estrutura química dos fosfolípidios, considerando a porção hidrofílica e a hidrofóbica, com a configuração da membrana plasmática resultante da disposição dessas moléculas.
- Como a constituição química e a estrutura da membrana plasmática, representadas nas figuras, participam da sua propriedade de permeabilidade seletiva?

### Atividade 2 Introdução ao estudo da Citologia — histórico Habilidade do Enem: H3.

A Biologia entrou em uma nova fase com o advento do microscópio. Estruturas antes desconhecidas, especialmente as organelas celulares, passaram a ser observadas e compreendidas graças a esse equipamento, o que permitiu o surgimento da Citologia. Desde os primeiros estudos publicados por Hooke até os dias atuais, o desenvolvimento tecnológico tem permitido avanços ainda maiores nessa área. Vamos organizar essas informações em uma tabela, reconstruindo a história dos estudiosos tratados neste capítulo e suas respectivas contribuições para o entendimento da estrutura e do funcionamento celular. Faça no caderno um quadro como o do modelo abaixo e complete as linhas com as informações solicitadas.

Pesquisador e período	Formação	Contribuição

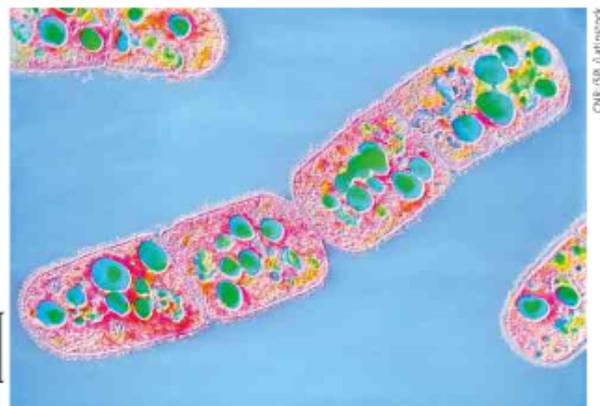
Agora, escolha um desses pesquisadores e elabore uma biografia, com base em fontes confiáveis de consulta. Ao final, apresente seus resultados para os demais colegas de classe. Troquem ideias e aprendam um pouco mais a respeito desses pesquisadores.

### Atividade 3 Microscópios eletrônicos Habilidades do Enem: H2, H7, H17, H18, H22.

As figuras abaixo foram obtidas por microscopia eletrônica. Com base no que foi discutido neste capítulo sobre microscopia de transmissão e de varredura, identifique o tipo utilizado em cada uma delas. Explique como você chegou a essa conclusão.



⚡ Eletromicrografia de bactérias. (Cores artificiais.)



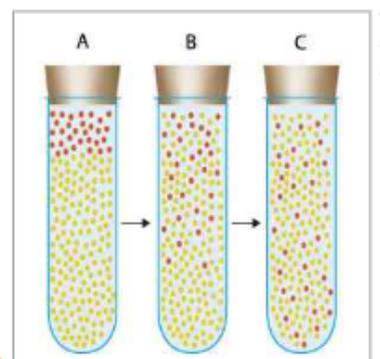
⚡ Eletromicrografia de bactérias. (Cores artificiais.)

### Atividade 4 Gradientes de concentração movem partículas

Habilidades do Enem: H15, H17, H18, H20, H24.

A figura ao lado mostra o que está acontecendo ao longo do tempo em um recipiente contendo água e dois solutos, um deles representado por pontos vermelhos e o outro, por pontos amarelos. A situação A corresponde ao tempo zero ou inicial; B representa o mesmo frasco depois de 5 minutos; e C, depois de 10 minutos. Esse esquema pode ser usado como modelo para explicar um tipo de processo que ocorre em membranas permeáveis e semipermeáveis. Qual é o nome desse processo? Explique sua resposta.

Representação da montagem do experimento, os pontos vermelhos e amarelos representam os solutos. (Elementos em diferentes escalas; cores fantasia.)



### Atividade 5 Transporte através da membrana Habilidades do Enem: H15, H17, H18, H20, H24.

Na tabela a seguir são apresentadas as estimativas de concentrações de alguns íons em neurônios (células nervosas) gigantes de lulas. Os valores estão representados em unidades arbitrárias (u).

O processo físico de difusão, em que as substâncias tendem a passar de um meio mais concentrado para outro menos concentrado sem gasto de energia, ocorre naturalmente entre dois meios de concentrações diferentes que estejam em contato entre si. Na referida tabela, no entanto, verificamos valores muito distintos entre o meio externo e o meio interno da célula quanto a alguns íons. Essa é a situação de equilíbrio das células nervosas. Com base no que você aprendeu sobre os mecanismos de transporte através da membrana, explique como é possível para a célula manter essas diferenças de concentração entre o meio externo e o interno.

Íons	Concentração no citoplasma (u)	Concentração no meio extracelular (u)
Potássio (K <sup>+</sup> )	400	20
Sódio (Na <sup>+</sup> )	50	440
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	52	560
Ânions orgânicos	385	0

Dados elaborados pelos autores para fins didáticos.



## Testes

REGISTRE  
NO CADERNO

1. (Enem) Osmose é um processo espontâneo que ocorre em todos os organismos vivos e é essencial à manutenção da vida. Uma solução 0,15 mol/L de NaCl (cloreto de sódio) possui a mesma pressão osmótica das soluções presentes nas células humanas.

A imersão de uma célula humana em uma solução 0,20 mol/L de NaCl tem como consequência, a

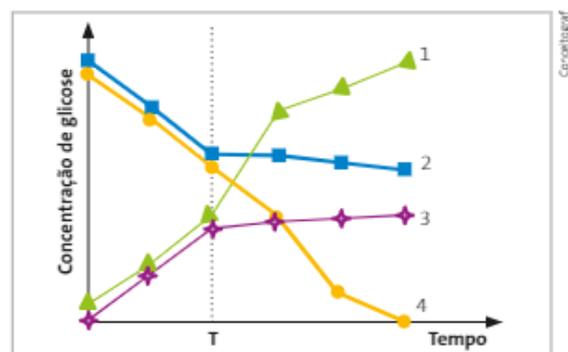
- adsorção de íons Na<sup>+</sup> sobre a superfície da célula.
- difusão rápida de íons Na<sup>+</sup> para o interior da célula.
- diminuição da concentração das soluções presentes na célula.
- transferência de íons Na<sup>+</sup> da célula para a solução.
- transferência de moléculas de água do interior da célula para a solução.

2. (Uerj) Num experimento sobre absorção intestinal foi utilizado o seguinte procedimento:

- fechar um pedaço de alça intestinal em uma das extremidades, formando um saco;
- virar o saco, expondo a mucosa para o lado externo;
- colocar solução salina no interior do saco;

- mergulhá-lo, parcialmente, numa solução salina idêntica, porém acrescida de glicose;
- medir, em função do tempo, a variação da concentração da glicose na solução externa, mantendo as condições adequadas;
- adicionar, em um determinado momento T, à solução externa, cianeto de sódio, um forte inibidor da cadeia respiratória mitocondrial.

O resultado deste experimento está representado por uma das curvas do gráfico a seguir.



A curva que representa as variações da concentração de glicose na solução em que o saco foi mergulhado é a de número:

- a) 1.    x b) 2.    c) 3.    d) 4.

3. (UFPR) Culturas de células hepáticas humanas, mantidas sob condições adequadas a sua sobrevivência, foram submetidas a diferentes situações experimentais, apresentadas na coluna I. Para cada uma, um resultado foi encontrado, e estes estão listados na coluna II. Numere a segunda coluna de acordo com a primeira.

**Coluna I**

1. Elevação de temperatura (de 36 °C para 50 °C).
2. Aumento da concentração de sais no meio de cultivo.
3. Remoção de glicose do meio de cultivo.
4. Adição de detergente ao meio de cultivo.
5. Remoção do oxigênio.

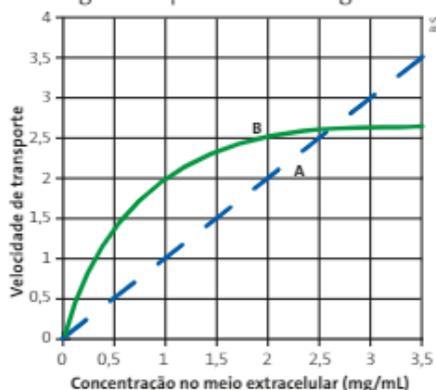
**Coluna II**

- Células morrem por falta de importante fonte de energia.
- Células morrem por desnaturação das proteínas.
- Células morrem por anoxia.
- Células morrem por rompimento da membrana plasmática.
- Células diminuem de tamanho por perda de água.

- a) 4; 1; 5; 2; 3.      d) 4; 1; 2; 5; 3.  
b) 3; 4; 2; 5; 1.      e) 5; 4; 2; 3; 1.

x c) 3; 1; 5; 4; 2.

4. (Unicamp-SP) Hemácias de um animal foram colocadas em meio de cultura em vários frascos com diferentes concentrações das substâncias A e B, marcadas com isótopo de hidrogênio. Dessa forma os pesquisadores puderam acompanhar a entrada dessas substâncias nas hemácias, como mostra o gráfico apresentado a seguir.



Assinale a alternativa correta.

- x a) A substância A difunde-se livremente através da membrana; já a substância B entra na célula por um transportador que, ao se saturar,

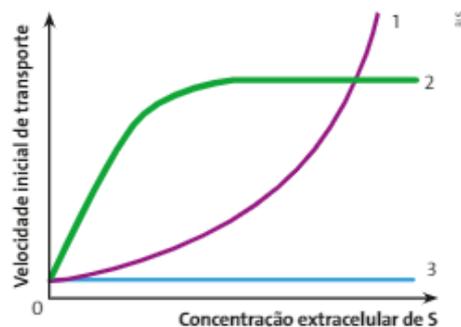
mantém constante a velocidade de transporte através da membrana.

- b) As substâncias A e B atravessam a membrana da mesma forma, porém a substância B deixa de entrar na célula a partir da concentração de 2 mg/mL.  
c) A quantidade da substância A que entra na célula é diretamente proporcional a sua concentração no meio extracelular, e a de B, inversamente proporcional.  
d) As duas substâncias penetram na célula livremente, por um mecanismo de difusão facilitada, porém a entrada da substância A ocorre por transporte ativo, como indica sua representação linear no gráfico.
5. (Uerj) Células do tipo X absorvem a substância S apenas por transporte ativo. Essa absorção, em células do tipo Y, é feita por transporte passivo mediado por um transportador específico.

Num experimento, foram medidas as velocidades iniciais de transporte de S através das membranas plasmáticas de X e de Y, em função de concentrações crescentes dessa substância no meio extracelular. O experimento foi repetido, então, em presença de um inibidor da geração de ATP nas células.

Observe a tabela, que resume as condições do experimento, e o gráfico a seguir.

Inibidor de ATP	Tipo de célula	
	X	Y
Ausente	I	III
Presente	II	IV

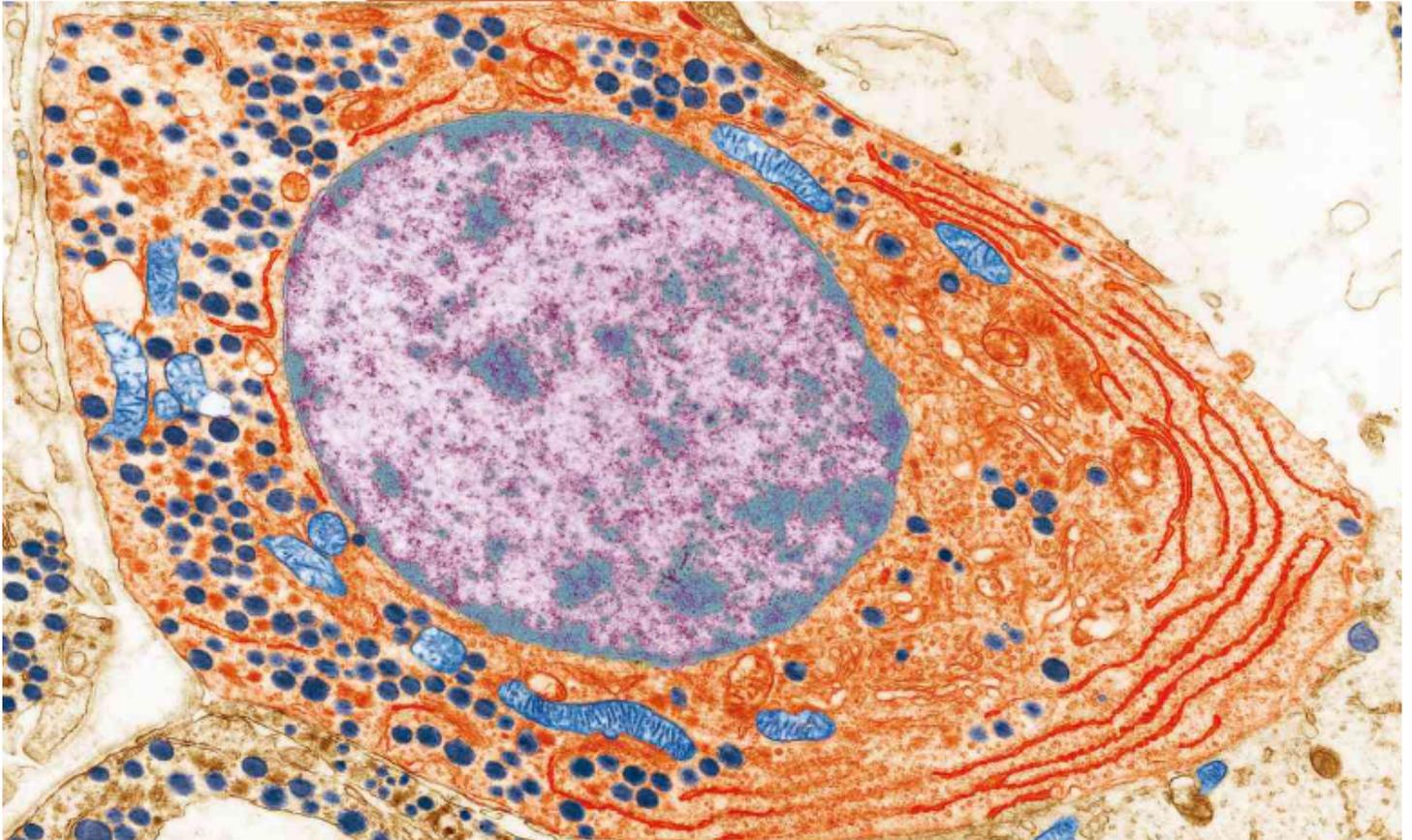


As curvas que representam as medidas obtidas, respectivamente, nas condições experimentais I, II, III e IV, são:

- a) 1 - 2 - 1 - 3.      c) 2 - 3 - 2 - 3.  
x b) 2 - 3 - 2 - 2.      d) 3 - 3 - 1 - 1.

# O citoplasma das células

Biophoto Associates/Photosearchers/Lalinstock



**Figura 10.1.** O desenvolvimento de microscópios cada vez mais potentes vem expandindo as fronteiras de nosso entendimento do mundo vivo e abrindo novos horizontes no conhecimento das células. Nessa eletromicrografia de transmissão, há destaque para uma célula humana, que recebeu cores artificiais para evidenciar as estruturas em seu interior. No centro, em tons de cor-de-rosa, vemos o núcleo e, no citoplasma, linhas avermelhadas que correspondem ao retículo endoplasmático, estruturas azuladas e alongadas, que correspondem às mitocôndrias e outras arroxeadas e redondas, que são vesículas secretoras. Todas essas estruturas e algumas outras são características de células eucarióticas. Eletromicrografia com aumento de cerca de 10000 vezes.



## Pense nisso

- Compare essa imagem com a da abertura do capítulo anterior, que também mostra células humanas. Descreva as diferenças que consegue perceber no detalhamento das estruturas internas.
- Quais estruturas celulares são visíveis na imagem de abertura do capítulo anterior e que você também reconhece aqui?
- Se a imagem acima fosse de uma eletromicrografia de transmissão de célula vegetal, quais diferenças você esperaria encontrar em relação à célula animal? E se fosse de uma bactéria? Quais seriam as diferenças?

# 1. Comparando células procarióticas com eucarióticas

Até os anos 1940, eram pouco conhecidos a variedade e o detalhamento de organelas celulares. Embora no início do século XX já se soubesse, por meio de técnicas específicas de coloração de células eucarióticas em laboratório, da existência de um sistema interno de estruturas membranosas, a maioria dos detalhes se revelou somente com o advento do microscópio eletrônico de transmissão.

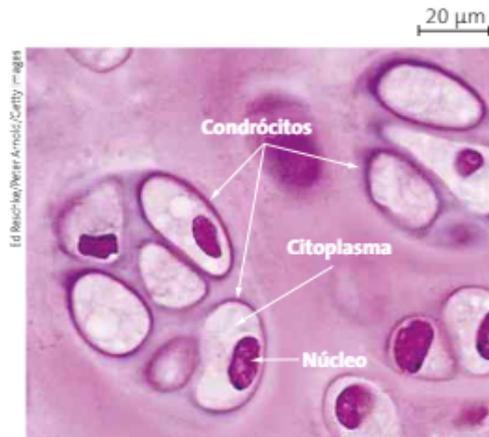


Figura 10.2. Fotomicrografia de corte histológico de tecido cartilaginoso humano corado. Nessa imagem há várias células chamadas condrócitos. Note o núcleo, no centro das células, e o citoplasma, onde se distinguem apenas algumas granulações.

Analise as duas micrografias a seguir e veja a diferença de detalhes que se pode obter ao microscópio de luz e ao microscópio eletrônico (Figs. 10.2 e 10.3).

Com base no estudo integrado de numerosas imagens de cortes de células dos mais diversos tipos, puderam ser compostas visões tridimensionais delas. As representações artísticas de células que usamos neste livro foram concebidas considerando esses vários estudos.

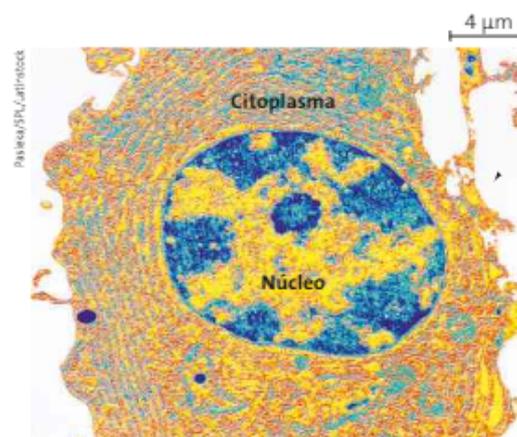


Figura 10.3. Eletromicrografia de transmissão de um condrócito. Compare a riqueza e a complexidade estrutural do citoplasma (entre o núcleo e a membrana plasmática) com a que se pode ver com o microscópio de luz. (Cores artificiais.)

Agora, analise mais detalhadamente esquemas da estrutura de células procarióticas, sendo uma de bactéria (Fig. 10.4) e outra de cianobactéria (Fig. 10.5).

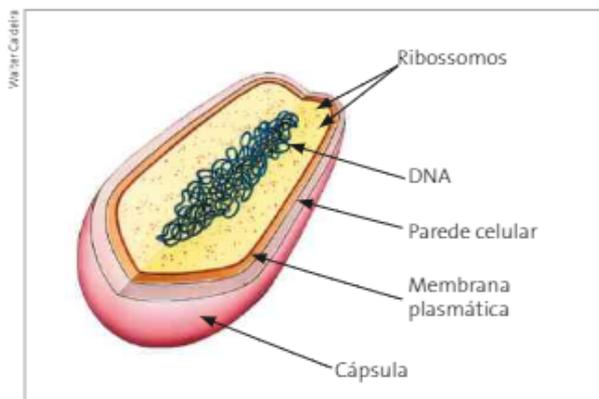


Figura 10.4. Esquema de célula de bactéria vista com parte removida. Mede cerca de 3 μm de comprimento. (Cores fantasia.)

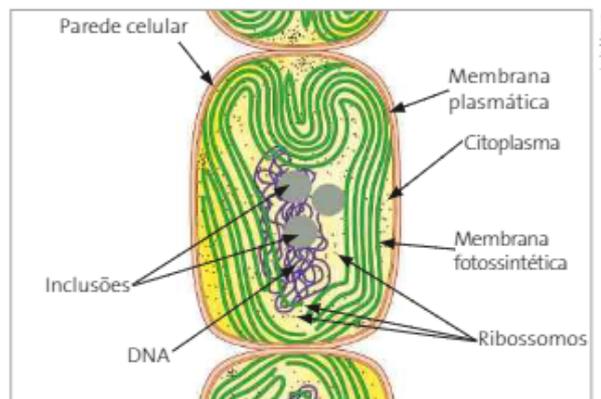


Figura 10.5. Esquema de uma cianobactéria vista em corte. A célula mede cerca de 5 μm de comprimento. (Cores fantasia.)

O citoplasma das células procarióticas é muito mais simples do que o das eucarióticas. Ele é formado por uma matriz rica em água, com diversos íons e moléculas dissolvidos, mas em geral não existem organelas membranosas. Pode haver, no entanto, membranas especiais no citoplasma dessas células, caso das membranas fotossintéticas, presentes no citoplasma das cianobactérias. Essas membranas, no entanto, não formam um cloroplasto.

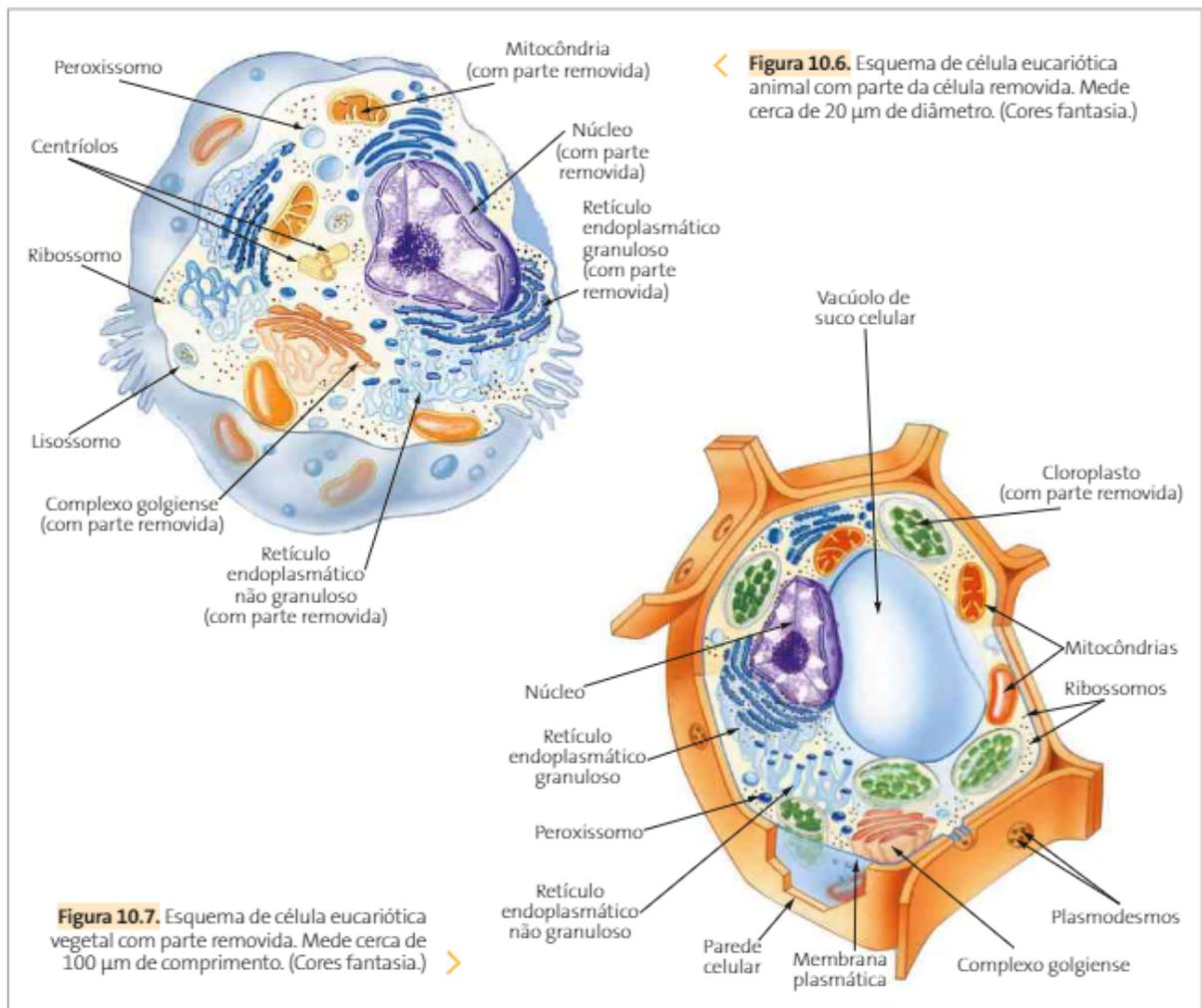
Imersos no citoplasma das células procarióticas estão os **ribossomos** — estruturas semelhantes a pequenos grãos, sem membrana delimitante. Eles são formados por proteínas associadas a um tipo de ácido nucleico denominado ácido ribonucleico ribossômico (**RNAr**). Os ribossomos são muito importantes no processo de síntese proteica. Além deles, também pode haver **inclusões** citoplasmáticas, que são acúmulos de substâncias de reserva, subprodutos inertes do metabolismo celular, ou ainda grânulos de diversos pigmentos. Ribossomos e inclusões também ocorrem nas células eucarióticas.

Em uma região da matriz citoplasmática das células procarióticas, encontra-se disperso o material genético, constituído por uma única molécula circular de DNA. Essa região da célula recebe o nome de **nucleoide**. Não existe uma membrana separando o nucleoide do restante do citoplasma.

Nas células eucarióticas, o citoplasma corresponde a toda a região situada entre a membrana plasmática

e o **envelopo nuclear**, estrutura membranosa que delimita o núcleo. O citoplasma é constituído por um fluido chamado citosol, composto basicamente de água, íons e substâncias necessárias à síntese de moléculas orgânicas, onde estão imersos os ribossomos e, em certos casos, as inclusões.

São características exclusivas das células eucarióticas, além do núcleo, o tipo de citoesqueleto e as organelas membranosas. O citoesqueleto dos eucariontes é responsável pela forma e sustentação interna da célula e pelo movimento do citoplasma. Recentemente descobriu-se uma tênue rede de fios proteicos no citoplasma de células procarióticas, que tem sido chamada de citoesqueleto procariótico. Estudos estão em andamento visando entender melhor como é esse citoesqueleto procariótico. Nesta obra, faremos referência apenas ao citoesqueleto eucariótico que está mais bem estudado e conhecido. Analise os esquemas a seguir, que comparam a estrutura geral de uma célula animal (Fig. 10.6) com a de uma célula vegetal (Fig. 10.7).



As organelas membranosas representam cerca de 40% do volume total de uma célula eucariótica. Esse é, no entanto, um valor médio, variando de célula para célula em um mesmo indivíduo e de espécie para espécie. Essa porcentagem depende também da atividade metabólica da célula.

Para facilitar o estudo do citoplasma, vamos analisá-lo sob o ponto de vista funcional (ou fisiológico), e não apenas sob o morfológico. Vamos considerar as principais funções citoplasmáticas e as estruturas envolvidas na execução dessas funções, tomando por base células eucarióticas:

- sustentação e movimentos celulares, que são desempenhados pelo citoesqueleto, centríolos, cílios e flagelos;
- síntese, armazenamento e transporte de macromoléculas, funções em que as organelas envolvidas são os ribossomos, o retículo endoplasmático, o complexo golgiense, os lisossomos, os peroxissomos e os vacúolos;
- metabolismo energético das células, que corresponde aos processos de obtenção de energia (fotossíntese e quimiossíntese) e de liberação de energia (fermentação e respiração). Incluídos nesse tema estão o citosol, os cloroplastos e as mitocôndrias. Esses processos serão analisados com detalhes no próximo capítulo.

## 2. Citoesqueleto

A forma e a sustentação interna da célula eucariótica são dadas principalmente pelo citoesqueleto. Ele participa também dos movimentos citoplasmáticos (cicloose e movimento ameboide) e da formação das fibras responsáveis pela orientação e pelo deslocamento dos cromossomos na divisão celular (fusos mitótico e meiótico).

O **citoesqueleto eucariótico** é composto de três tipos de filamento proteico: os microtúbulos, os microfilamentos e os filamentos intermediários.

As características e funções desses filamentos estão resumidas na **figura 10.8**.

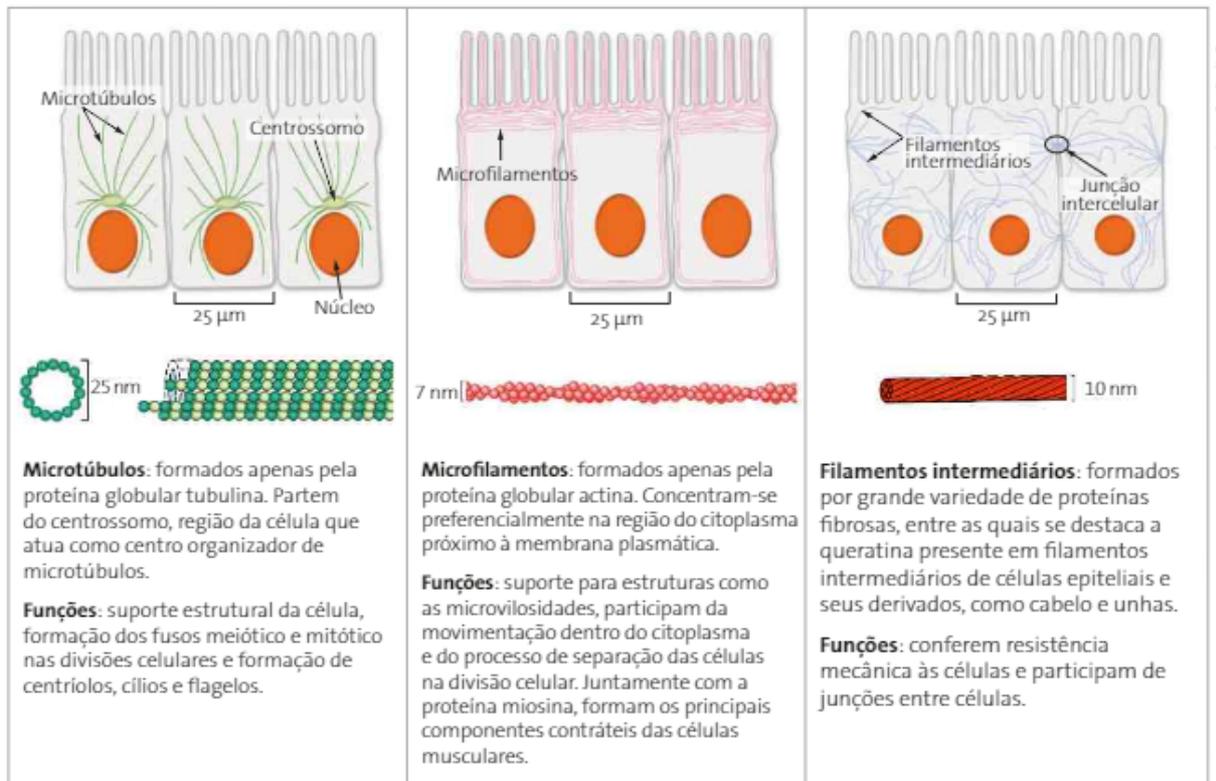


Figura 10.8. Esquemas de células evidenciando os filamentos proteicos. (Cores fantasia.)

As proteínas que compõem os filamentos do citoesqueleto podem se dispersar no citosol e depois se reorganizar em novos filamentos. Esse processo é responsável por alterações na configuração do citoesqueleto. Tais alterações podem originar movimentos citoplasmáticos relacionados não só com o deslocamento de estruturas dentro da célula (ciclose) (Fig. 10.9), como também com a formação de pseudópodes (*pseudo* = falso; *podes* = pé) usados na locomoção (Fig. 10.10) e na fagocitose.

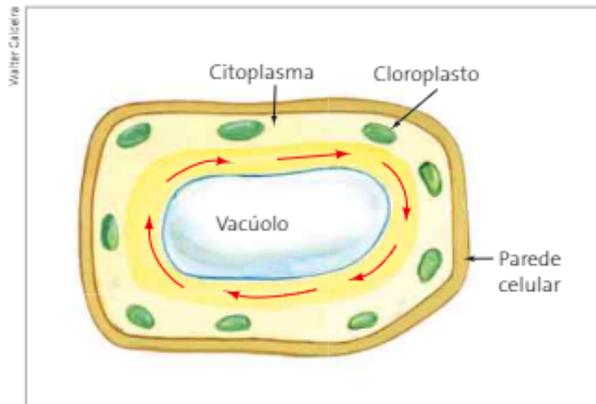


Figura 10.9. Esquema de célula vegetal em corte, com setas em vermelho indicando a ciclose. (Cores fantasia.)

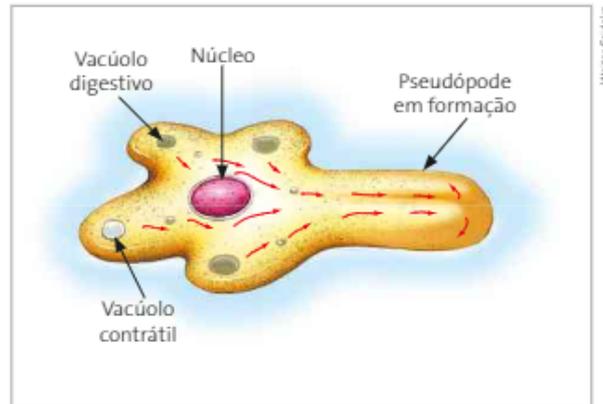


Figura 10.10. Esquema de formação de pseudópode em ameba. As setas em vermelho indicam o sentido das correntes citoplasmáticas. Estruturas celulares como núcleo e vacúolos são arrastadas por essas correntes. (Cores fantasia.)

### 3. Centríolos, cílios e flagelos

Os centríolos ocorrem aos pares nas células da maior parte dos seres vivos. Eles se dispõem perpendicularmente entre si e localizam-se próximos ao núcleo em uma região denominada **centro celular** ou **centrossomo**. Dessa região partem os microtúbulos do citoesqueleto.

Nas células que não têm centríolos, como as dos pinheiros e das angiospermas, há, no entanto, o centrossomo. Cada centríolo é uma estrutura cilíndrica, composta de nove grupos de três microtúbulos proteicos (Fig. 10.11).

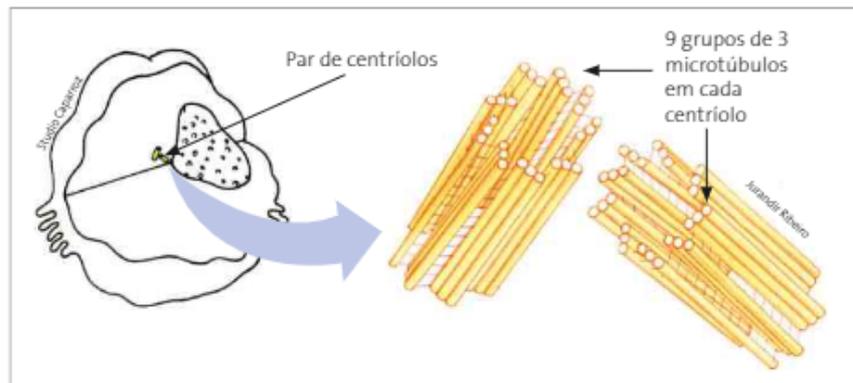


Figura 10.11. Esquema de célula animal com parte removida, destacando os centríolos. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia.)

Centríolos alongados e modificados dão origem a duas estruturas celulares: os cílios e os flagelos.

Os cílios e os flagelos têm a mesma estrutura interna. Os cílios, no entanto, são mais curtos e mais numerosos por célula do que os flagelos.

Nos eucariontes unicelulares, os cílios e os flagelos têm a função básica de promover o deslocamento em meio líquido ou mesmo de promover a movimentação do líquido circundante, de modo a propiciar a obtenção de alimento.

A parte basal dessas estruturas é chamada **cinetossomo** ou **corpúsculo basal**, que tem a mesma estrutura do centríolo. Desse cinetossomo, dois microtúbulos proteicos, de cada grupo de três, alongam-se, empurrando a membrana plasmática. São formados, ainda, dois microtúbulos centrais. Portanto, os cílios e os flagelos são

compostos de nove grupos de dois microtúbulos periféricos e de um grupo de dois microtúbulos centrais (organização microtubular na base: 9 + 2) (Fig. 10.12).

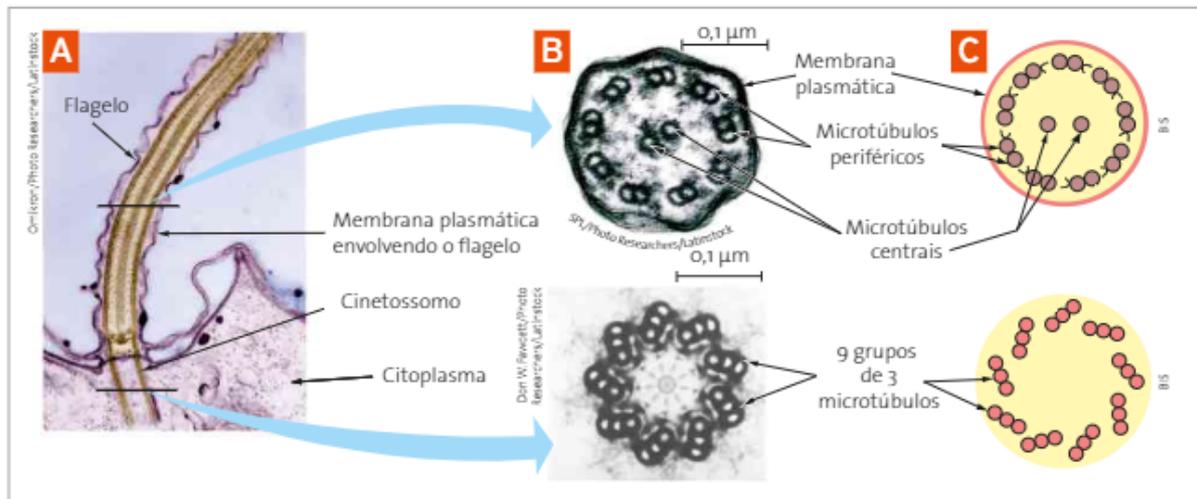


Figura 10.12. O flagelo e suas subunidades: **A** – Eletromicrografia de transmissão, colorida artificialmente, de um flagelo visto em corte longitudinal. Ampliação: 75 000 $\times$ ; **B** – Eletromicrografias de transmissão do flagelo e do corpúsculo basal em corte transversal; **C** – Esquemas da disposição dos microtúbulos proteicos vistos em cortes transversais. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia).

## 4. Ribossomos

Os ribossomos participam do processo de síntese proteica. Eles são estruturas encontradas tanto em células procaríóticas como em eucarióticas. São formados por duas partes arredondadas, com tamanhos diferentes, que se dispõem uma sobre a outra. Essas estruturas são constituídas basicamente por proteínas e por um tipo de ácido ribonucleico: o RNA ribossômico (RNAr).

Os ribossomos são individualmente visíveis apenas ao microscópio eletrônico. Nas células de eucariontes e de procariontes, eles ocorrem dispersos no citoplasma. Além disso, há ribossomos associados ao retículo endoplasmático granuloso (ou rugoso) e ao envelope nuclear de células eucarióticas (Fig. 10.13).

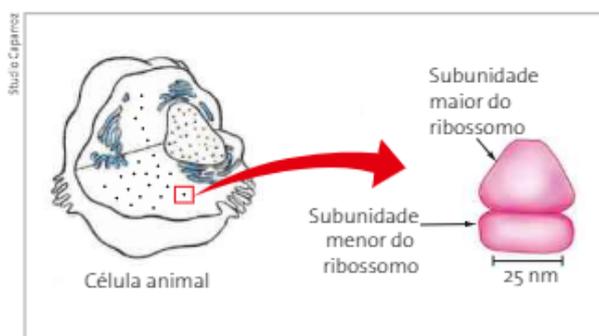


Figura 10.13. Esquema de célula animal com parte removida, destacando os ribossomos. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia).

Para a síntese de proteínas ocorrer, o ribossomo deve associar-se a uma molécula de outro tipo de ácido nucleico, o ácido ribonucleico mensageiro (RNAm), que contém a informação genética para a síntese de determinada proteína.

O ribossomo associa-se a esse RNAm e desloca-se sobre ele, traduzindo a sua informação. À medida que o ribossomo se desloca, a proteína vai sendo formada, associada à subunidade maior (Fig. 10.14).

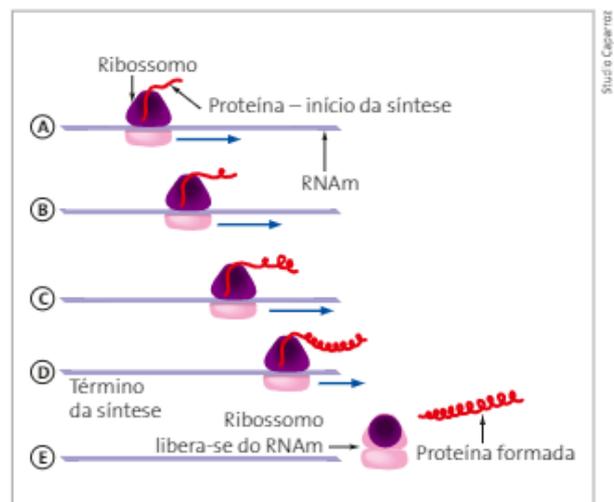


Figura 10.14. Esquema simplificado da síntese de proteínas, da qual participam os ribossomos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).

Desse processo participa também um terceiro tipo de ácido nucleico: o RNA transportador (**RNAt**). Detalhes da síntese proteica serão discutidos no volume 3 desta coleção.

Na maioria das vezes, um mesmo RNAm é traduzido simultaneamente e em sequência por vários ribossomos. Nesse caso, fala-se em **polirribossomos** ou **polissomos** (vários ribossomos ligados a um mesmo RNAm). Assim, são formadas várias moléculas proteicas idênticas.

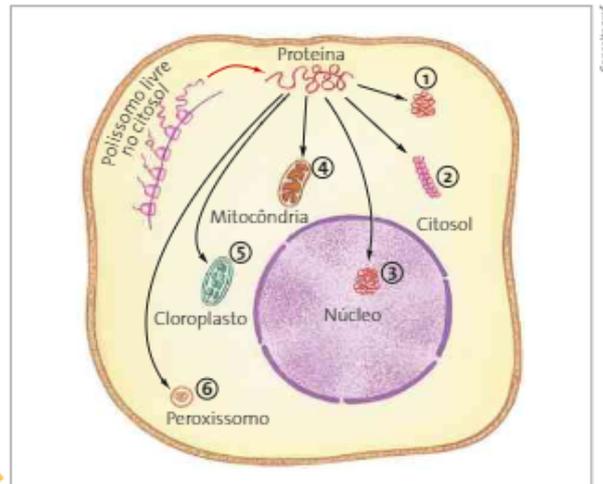
A síntese de proteínas pode ocorrer em polissomos livres no citosol ou em polissomos associados às membranas do retículo endoplasmático.

**Figura 10.15.** Esquema de uma célula vegetal hipotética mostrando possíveis destinos de proteínas sintetizadas por polissomos no citosol. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

1. enzima livre no citosol; 2. proteína que fará parte do citoesqueleto; 3. proteína nuclear (poderá fazer parte dos cromossomos); 4. enzimas que farão parte de etapas da respiração no interior da mitocôndria; 5. enzimas que farão parte de etapas da fotossíntese no interior do cloroplasto; 6. enzimas que serão armazenadas no interior do peroxissomo.

O destino das proteínas sintetizadas no citosol está resumido de forma esquemática na **figura 10.15**.

Quando os ribossomos estão associados ao retículo endoplasmático, as proteínas que eles produzem penetram diretamente no retículo. O destino dessas proteínas envolve transporte por meio de vesículas, como será discutido mais adiante nesse capítulo.



## 5. Peroxissomos

Os peroxissomos são organelas membranosas de contorno arredondado, cuja principal função é a oxidação na presença de  $O_2$  de certas substâncias orgânicas nas células, em especial os ácidos graxos. Apesar de ser um processo benéfico para as células, ocorre a formação de um subproduto muito tóxico: o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ , a água oxigenada).

Como é extremamente tóxico, esse composto deve ser degradado rapidamente. Sua decomposição é feita por uma enzima contida nos peroxissomos, denominada **catalase**, originando água e oxigênio.



Os peroxissomos podem atuar também na desintoxicação do organismo em relação a certas substâncias, como o etanol, presente em bebidas alcoólicas. Nesse caso, são os peroxissomos das células do fígado que atuam, pois contêm enzimas capazes de quebrar o etanol, originando produtos menos tóxicos.

Cerca de 25% do álcool ingerido é degradado pelos peroxissomos. O restante é degradado pelo retículo endoplasmático não granuloso (agranular ou liso).

As diversas enzimas contidas nos peroxissomos são produzidas por ribossomos livres no citosol e incorporadas a eles.



### Colocando em foco

#### PEROXISSOMOS E DOENÇAS

Certas enzimas dos peroxissomos atuam como catalisadoras das primeiras reações envolvidas na síntese da classe mais abundante de fosfolípidios da bainha de mielina das células nervosas.

Essa bainha é responsável pelo bom funcionamento das células nervosas. Deficiências nessas enzimas e desordens que possam ocorrer nos peroxissomos levam a doenças neurológicas graves, como a adrenoleucodistrofia, doença que foi tema do filme *Óleo de Lorenzo*, produzido em 1992.

## 6. Retículo endoplasmático

O retículo endoplasmático é composto de canais delimitados por membranas. Esses canais comunicam-se com o envelope nuclear.

O retículo endoplasmático pode ser considerado uma rede de distribuição, levando o material de um ponto qualquer até o ponto de utilização. O retículo endoplasmático desempenha, portanto, importante papel no transporte de substâncias dentro da célula.

Existem dois tipos ou duas regiões (Fig. 10.16).

- retículo endoplasmático não granuloso (liso ou agranular), com sistemas de túbulos mais cilíndricos e sem ribossomos aderidos à membrana;
- retículo endoplasmático granuloso (granular ou rugoso), com sistemas de túbulos achatados e ribossomos aderidos à face da membrana voltada para o citosol, o que lhe confere aspecto granular.

O retículo **não granuloso** participa principalmente da síntese de esteroides, fosfolipídios e outros lipídios, como o colesterol. Assim como os peroxissomos, atua também na degradação do álcool ingerido em bebidas alcoólicas. É abundante em células do fígado e das gônadas.

A principal função do retículo **granuloso** é a síntese de proteínas, que poderão ou não ser enviadas para o exterior das células. Esse retículo é também denominado **ergastoplasma**, palavra originada do grego *ergozomai*, que significa elaborar, sintetizar.

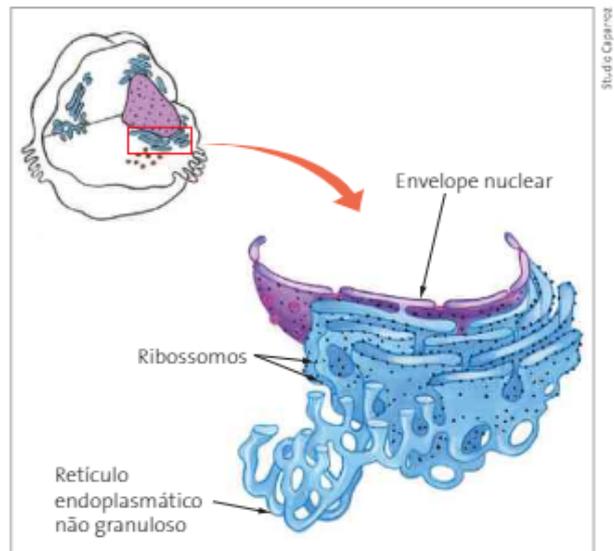


Figura 10.16. Esquema de célula animal com parte removida, destacando os retículos endoplasmáticos granuloso e não granuloso. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia.)

É muito desenvolvido em células que têm função secretora, como as células do pâncreas (Fig. 10.17), que secretam enzimas digestivas e hormônios, e as células caliciformes da parede do intestino, que secretam muco (proteínas associadas a polissacarídeos).

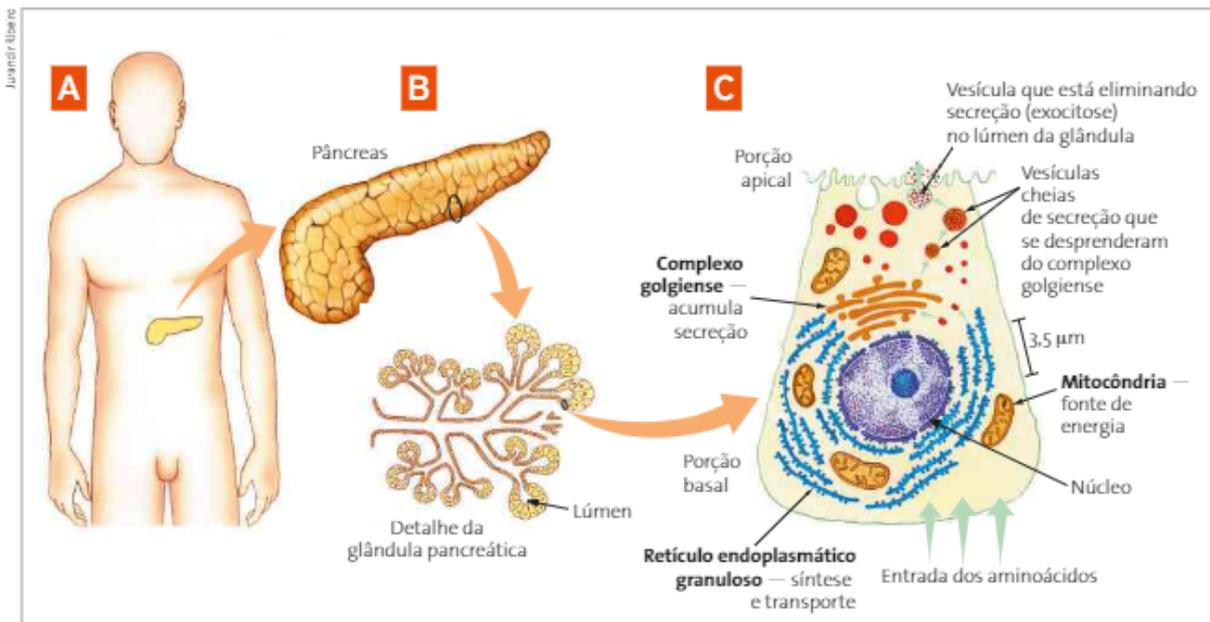
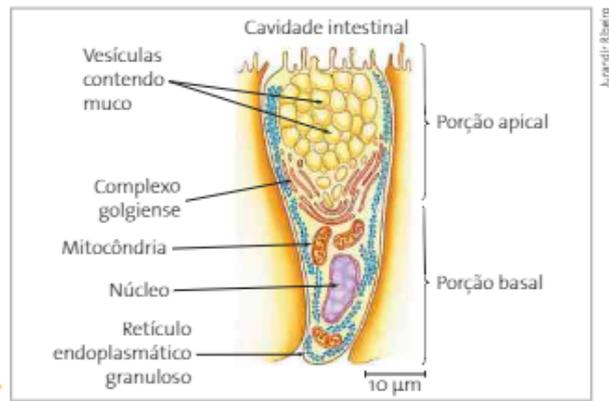


Figura 10.17. Esquemas mostrando a localização do pâncreas no ser humano (em A) e de corte longitudinal de uma porção da glândula pancreática, como é vista ao microscópio de luz (em B). No detalhe (C), esquema de uma célula pancreática feito com base em observações ao microscópio eletrônico. A célula mede cerca de 15 µm de largura. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Nesses tipos celulares, o núcleo e o retículo endoplasmático granuloso se dispõem na metade basal da célula. A porção apical apresenta principalmente vesículas secretoras, que eliminam seus conteúdos para fora da célula por exocitose (Fig. 10.18).

**Figura 10.18.** Esquema de corte longitudinal de uma célula glandular do epitélio intestinal feito com base em observação ao microscópio eletrônico. Essa célula é secretora de muco e chama-se glândula ou célula caliciforme. Pode ser encontrada em outras regiões do corpo, como é o caso do epitélio da traqueia. (Cores fantasia.)



## Colocando em foco

### O RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO E A TOLERÂNCIA AO ÁLCOOL

Álcool, sedativos e outras drogas, quando ingeridos em excesso ou com frequência, induzem a proliferação do retículo não granuloso e de suas enzimas. Isso aumenta a tolerância do organismo à droga, o que significa que doses cada vez mais altas são necessárias para que ela tenha o mesmo efeito no organismo.

Esse é um alerta importante para que possamos entender parte dos problemas decorrentes da ingestão de bebidas alcoólicas e do uso de medicamentos sem prescrição médica.

## 7. Complexo golgiense

Em 1898, o citologista italiano Camillo Golgi descobriu uma região do citoplasma que ficava corada por sais de ósmio e de prata. Ele supôs que ali deveria haver uma estrutura diferenciada, que foi posteriormente confirmada por microscopia eletrônica e denominada complexo golgiense em homenagem ao cientista.

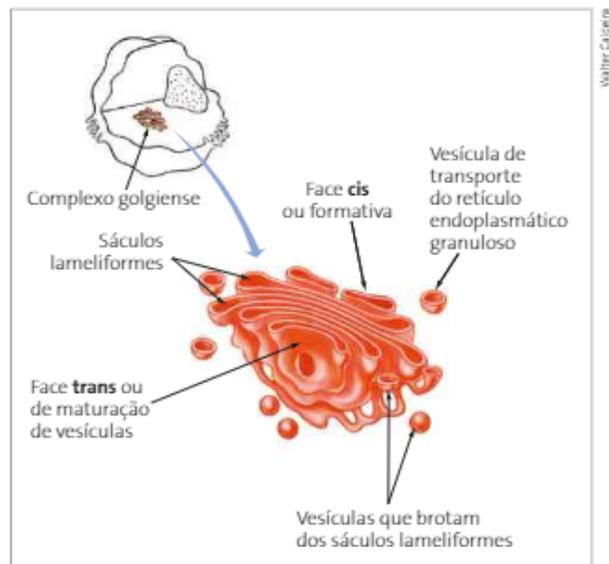
Nas células animais, o complexo golgiense normalmente localiza-se próximo ao núcleo e ao retículo endoplasmático granuloso (Fig. 10.19) e é composto de vários conjuntos de sáculos lameliformes (cisternas), que formam um número variável de pilhas. Cada pilha recebe o nome de **dictiossomo** ou **golgiossomo**.

Nas ilustrações de células, é comum representar um dictiossomo identificando-o como complexo golgiense.

Assim como o retículo endoplasmático granuloso, o complexo golgiense é mais abundante nas células animais com função secretora. Sua função, entretanto, não está ligada à produção das secreções proteicas, mas sim à concentração, modificação e eliminação dessas secreções. Os sáculos lameliformes apresentam duas faces distintas:

- face **cis** ou formativa: voltada para o retículo endoplasmático granuloso; corresponde à face à qual vesículas desprendidas do retículo e contendo proteínas e lipídios nele sintetizados se unem, liberando essas substâncias para dentro dos sáculos lameliformes;

- face **trans** ou de maturação: voltada para a membrana plasmática; corresponde à face de onde se desprendem vesículas contendo substâncias processadas nos sáculos lameliformes.

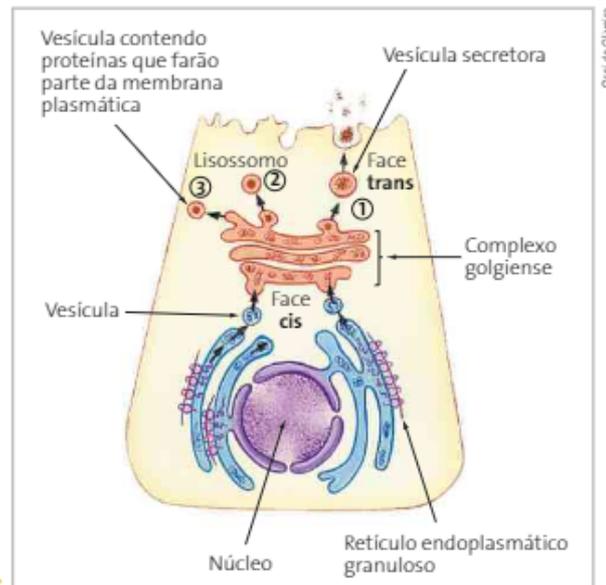


**Figura 10.19.** Esquema de célula animal com parte removida, destacando o complexo golgiense em corte. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia.)

As vesículas que saem dos sáculos lameliformes podem seguir três caminhos principais, dependendo de seus conteúdos. Acompanhe o processo na **figura 10.20** e em sua legenda.

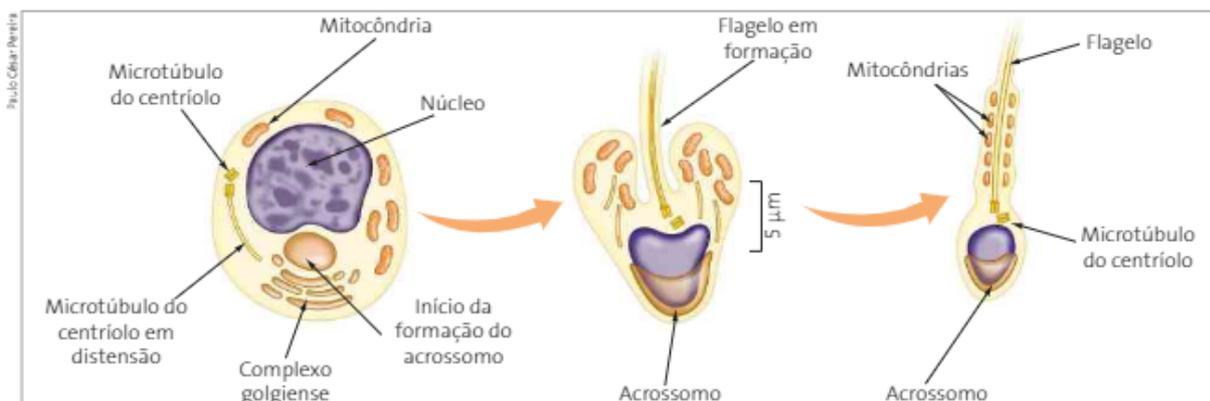
**Figura 10.20.** Esquema mostrando os destinos das vesículas que brotam do retículo endoplasmático e do complexo golgiense.

**1.** Vesículas contendo secreções celulares fundem-se à membrana plasmática e lançam seus conteúdos para fora da célula (exocitose). É o caso das enzimas digestivas produzidas e eliminadas por células do sistema digestório; ocorre também com o muco que reveste e lubrifica epitélios que envolvem cavidades internas do corpo humano. **2.** Vesículas com enzimas que atuarão na digestão intracelular permanecem no interior da célula, correspondendo aos lisossomos primários. **3.** Vesículas contendo proteínas que farão parte da membrana plasmática fundem-se a essa membrana, incorporando nela as proteínas contidas nas vesículas. Na membrana plasmática também existem proteínas produzidas nos polissomos do citosol. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Nos sáculos lameliformes são formados muitos dos polissacarídeos, como a hemicelulose, presente na parede celular das células vegetais, a pectina, presente na lamela média dessas células, e as glicosaminoglicanas, que se encontram na matriz extracelular dos tecidos animais.

Nos espermatozoides, o complexo golgiense dá origem a uma estrutura denominada **acrossomo**, que contém enzimas importantes para a penetração do espermatozoide no óvulo (**Fig. 10.21**).



**Figura 10.21.** Esquema da diferenciação do espermatozoide, com detalhe para a formação do acrossomo. (Cores fantasia.)

## 8. Lisossomos

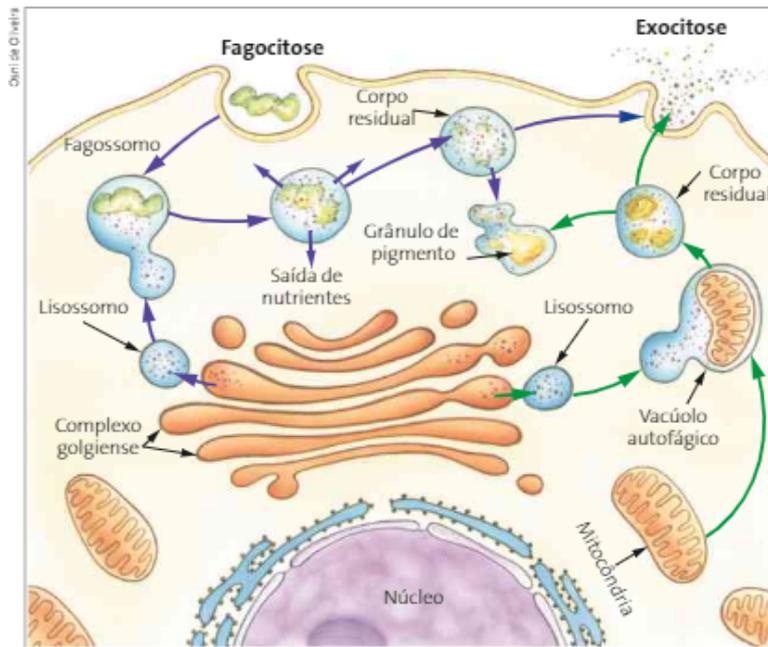
Os lisossomos (do grego: *lysis* = dissolução, quebra; *soma* = corpo) são pequenas vesículas membranosas arredondadas que contêm grande quantidade de enzimas responsáveis pela digestão intracelular. Devido a isso, os lisossomos estão ligados às funções heterofágica e autofágica.

### 8.1. Função heterofágica

As partículas alimentares que penetram na célula por fagocitose ou pinocitose ficam no interior de vacúolos alimentares (fagossomos ou pinossomos). A esses vacúolos se fundem os lisossomos primários, formando vacúolos digestivos (ou lisossomos secundários). Nestes ocorre a digestão. Havendo resíduos, eles são temporariamente armazenados no interior dessas estruturas, que passam a ser chamadas vacúolos ou corpos residuais. Em seguida, os resíduos podem ser eliminados da célula por exocitose (**Fig. 10.22**).

## 8.2. Função autofágica

Em muitas células normais, a função autofágica ocorre por um processo de digestão de estruturas citoplasmáticas que não estão mais realizando suas funções, o que contribui para a renovação do material citoplasmático (Fig. 10.22).



◀ **Figura 10.22.** Esquema com resumo das funções autofágica (setas verdes) e heterofágica (setas azuis) dos lisossomos. Depois que o processo de digestão se completa, forma-se o corpo residual. Dependendo do tipo de célula, o conteúdo do corpo residual pode ser eliminado por exocitose ou pode ser retido indefinidamente no citoplasma como um grânulo de pigmento. Esses grânulos aumentam em número à medida que o organismo envelhece. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



### Colocando em foco

#### LISOSSOMOS E DOENÇAS HUMANAS

##### Silicose

Sob certas condições anômalas ou patológicas, a membrana do lisossomo pode perder sua estabilidade, romper-se e liberar as enzimas no interior da célula, destruindo-a.

Isso ocorre, por exemplo, em uma doença denominada silicose, frequente em indivíduos que trabalham em minas ou com britadeiras, sem equipamentos de proteção adequados. Nesses casos há inspiração de grande quantidade de pó de sílica, um dos principais componentes das rochas. Nos pulmões, células especiais de defesa (macrófagos) fagocitam os cristais e são destruídas devido ao efeito da sílica, que acarreta a ruptura dos lisossomos. As enzimas liberadas afetam outras células do pulmão, levando à formação de um tecido de cicatrização fibroso. Com isso, há diminuição da capacidade pulmonar.

##### Artrite reumatoide

A liberação de enzimas dos lisossomos para fora da célula também ocorre em certas doenças inflamatórias – como a artrite reumatoide –, nas quais se acredita haver liberação dessas enzimas para o espaço extracelular, causando deterioração dos materiais que formam as articulações.

##### Doença de Tay-Sachs

A doença de Tay-Sachs é hereditária e decorre principalmente do mau funcionamento das enzimas dos lisossomos das células nervosas do cérebro. Essa deficiência provoca lesões graves e irreversíveis, determinando retardo mental e morte ainda na infância.

A autofagia é também responsável pela transformação de um tipo celular em outro. É o que ocorre no processo de formação das hemácias (ou **eritrócitos**), células desprovidas de núcleo e de organelas, mas que se originam de **eritroblastos** — células da medula óssea vermelha que apresentam essas es-

truturas. Nesse processo de transformação, o núcleo é eliminado da célula e os lisossomos dos eritroblastos digerem, por autofagia, as estruturas citoplasmáticas, eliminando os resíduos por exocitose (Fig. 10.23). Formam-se, então, as hemácias, que penetram na corrente sanguínea.

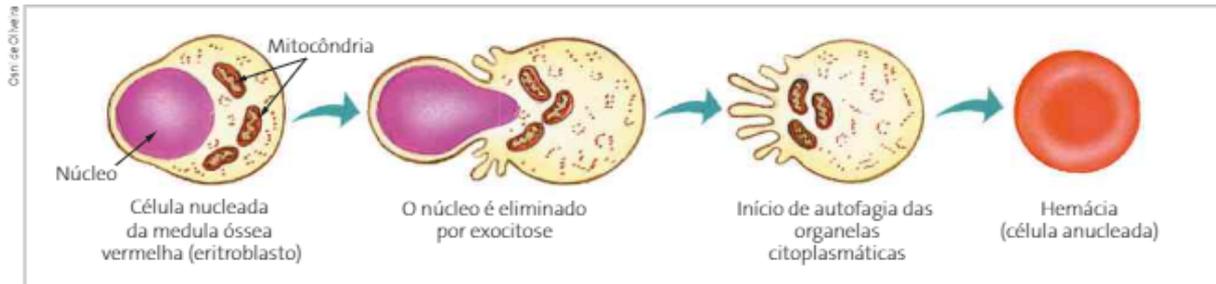


Figura 10.23. Esquema das modificações sofridas por células que darão origem às hemácias (glóbulos vermelhos do sangue), que são células anucleadas. Uma hemácia mede cerca de 7  $\mu\text{m}$  de diâmetro. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 9. Vacúolo de suco celular

O vacúolo de suco celular ou vacúolo central é delimitado por uma membrana lipoproteica chamada **tonoplasto**. Essa organela é exclusiva das células de plantas e de certas algas e fungos. Nas células jovens de plantas, os vacúolos são numerosos e pequenos, e, à medida que a célula cresce, eles se fundem em um único, grande e bem desenvolvido vacúolo central.

No interior do vacúolo há uma solução aquosa de várias substâncias, destacando-se sais, carboidratos e proteínas. Os vacúolos de suco celular são importantes

nos fenômenos osmóticos e, quando contêm pigmentos, como as antocianinas, são os principais responsáveis pela coloração azul, violeta, vermelha e púrpura de flores e folhas.

A cor das folhas depende também dos pigmentos presentes nos cloroplastos, que contêm principalmente o pigmento clorofila (verde), e nos cromoplastos, que contêm outros tipos de pigmento. O vacúolo contém enzimas que digerem organelas senescentes, atuando de modo semelhante aos lisossomos de células animais no processo de autofagia.

## 10. Vacúolo pulsátil

Acabamos de comentar a respeito do vacúolo das plantas e já citamos outros tipos de estruturas que também podem ser chamadas de vacúolos: aquelas relacionadas aos processos de digestão na célula. Agora vamos falar de um tipo muito especial de vacúolo: o **vacúolo pulsátil** ou **contrátil**. Eles ocorrem em alguns seres unicelulares eucariontes, como paramécios e amebas, que vivem em um meio cuja concentração é menor do que a do interior da célula. Com isso, muita água penetra em seus corpos por osmose.

Os vacúolos pulsáteis recolhem do interior da célula a água que entrou em excesso. Quando cheios, eles descarregam essa água para fora da célula através de pequenos orifícios.

A forma dos vacúolos e o número deles por célula variam nos diferentes grupos de protistas. Veja na fotomicrografia abaixo como são, por exemplo, os vacúolos contráteis de um paramécio (Fig. 10.24).

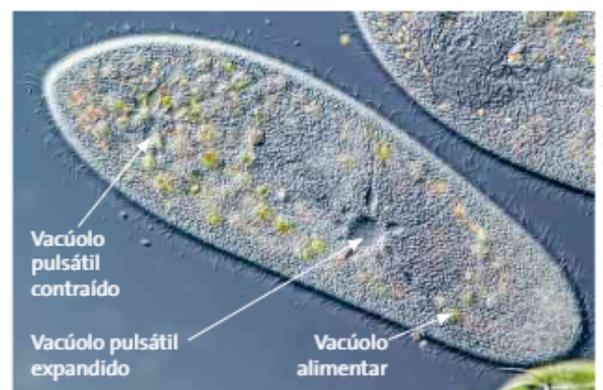


Figura 10.24. Fotomicrografia de *Paramécium caudatum*. Mede cerca de 300  $\mu\text{m}$  de comprimento. >

## 11. Plastos

Os plastos são estruturas encontradas somente em células de plantas e de alguns protistas e podem ser classificados em três tipos:

- cromoplastos (do grego: *chrôma* = cor) — contêm como pigmentos os carotenoides, mas não clorofila; não realizam fotossíntese e são responsáveis pela coloração amarelada, alaranjada e avermelhada de flores, folhas velhas, alguns frutos e raízes;
- leucoplastos (do grego: *leukós* = branco) — são incolores, pois não contêm pigmentos. Alguns arma-

zenam amido (**amiloplastos**), outros armazenam óleos e proteínas;

- cloroplastos — contêm os pigmentos clorofila e carotenoides. Neles deteremos a nossa atenção.

Os cloroplastos são organelas importantes que participam do processo da fotossíntese. Existem cloroplastos de diversas formas e em número variável por célula.

Os cloroplastos das células de plantas, quando examinados em cortes ao microscópio eletrônico, mostram-se formados por três componentes principais: o envelope, os tilacoides e o estroma (Fig. 10.25).

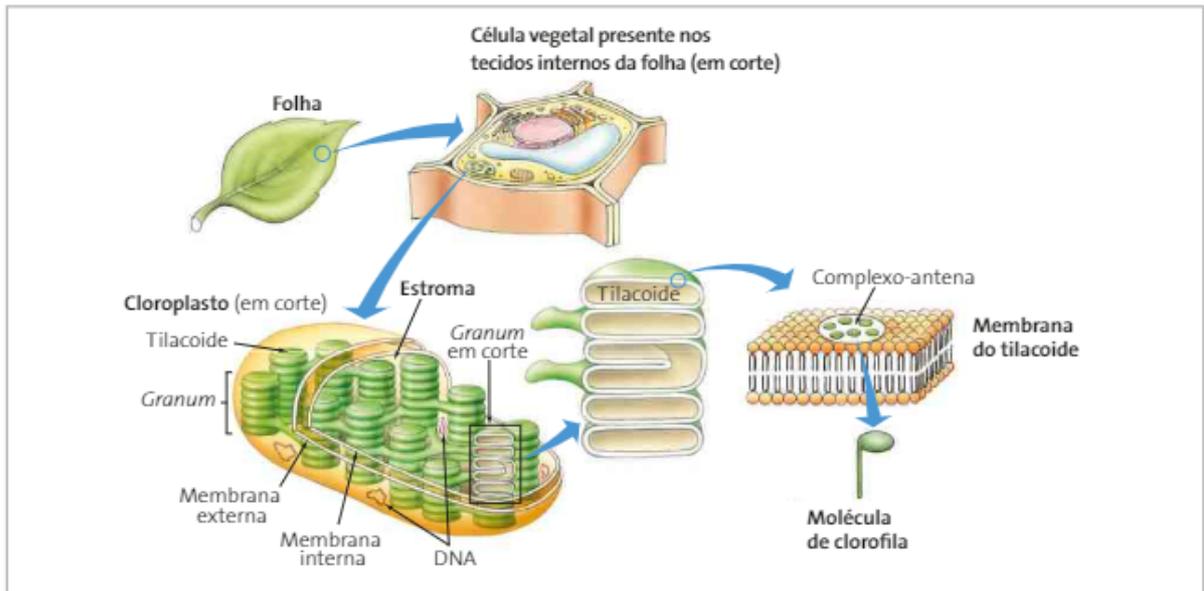


Figura 10.25. Esquemas de folha, célula vegetal e cloroplasto com suas estruturas internas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O **envelope** delimita o cloroplasto e é formado por duas membranas: uma externa e outra interna.

Os **tilacoides** são vesículas que contêm as moléculas de clorofila. Essas moléculas organizam-se em conjuntos chamados complexo-antena, que captam a energia luminosa. Os tilacoides organizam-se formando estruturas semelhantes a pilhas de moedas. Cada pilha recebe o nome de *granum*, e o conjunto delas recebe o nome de *grana*. As diversas pilhas podem comunicar-se entre si.

O **estroma** corresponde à região do cloroplasto entre o envelope e os tilacoides. No estroma há ribossomos, DNA e RNA relacionados com a síntese de algumas das proteínas dos cloroplastos. Muitas outras são sintetizadas no citosol e depois incorporadas ao cloroplasto. Os cloroplastos, assim como as mitocôndrias, têm a capacidade de se duplicar independentemente da célula.

## 12. Mitocôndrias

As mitocôndrias são organelas responsáveis pela respiração celular aeróbia.

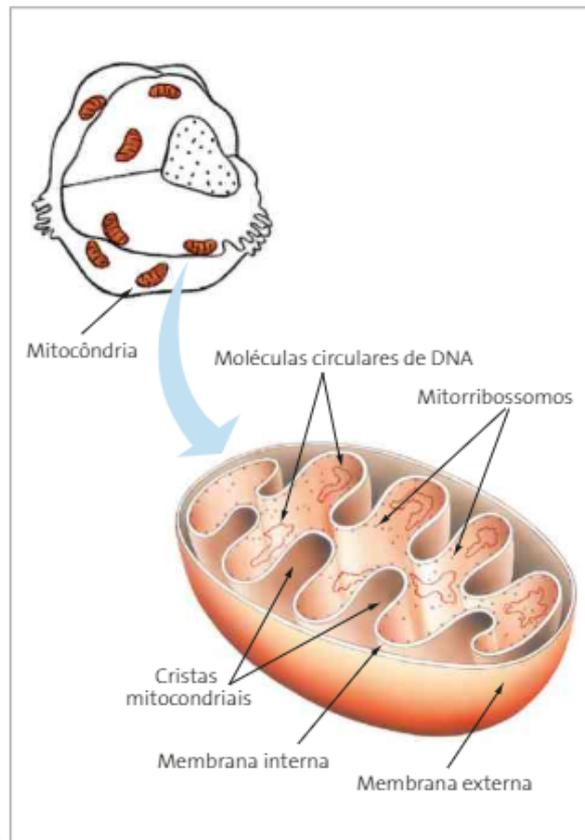
O conjunto das mitocôndrias de uma célula recebe o nome de condrioma. O número de mitocôndrias que constituem o condrioma é bastante variável entre as células de um mesmo indivíduo, sendo maior nas que têm maior atividade metabólica.

Em geral, a mitocôndria apresenta a forma de um bastonete. É formada por duas membranas lipoproteicas: uma externa, lisa, e outra interna, que apresenta invaginações, formando as **cristas mitocondriais** (Fig. 10.26).

A membrana interna delimita a **matriz mitocondrial**, rica em enzimas que participam de etapas da respiração celular. Imersos nessa matriz também podem ser encontrados: grânulos densos, que representam principalmente acúmulos de íons cálcio e magnésio; ribossomos chamados mitorribossomos, menores que os ribossomos citoplasmáticos; e moléculas de DNA e RNA.

Geralmente, as células do corpo dos animais contêm mitocôndrias herdadas apenas da mãe, como ocorre na espécie humana. O gameta feminino e o masculino possuem mitocôndrias, mas, assim que ocorre a fecundação e se forma a célula-ovo, as mitocôndrias provenientes do gameta masculino degeneram; apenas as mitocôndrias do gameta feminino permanecem na célula. Assim, as mitocôndrias são herdadas da mãe, e não do pai, e essa informação tem sido usada em testes para identificar a maternidade de pessoas.

**Figura 10.26.** Esquema de célula animal com parte removida, destacando a mitocôndria, em corte transversal. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia.)



## Tema para discussão

REGISTRE  
NO CADERNO



### Construindo modelos de estrutura celular

O objetivo desta atividade é fazer com que você, juntamente com seu grupo de estudo, monte modelos tridimensionais de células vistas em corte espesso, evidenciando suas estruturas internas.

Esses modelos, depois de prontos, podem acompanhá-los durante todo o estudo do tema biologia celular. Isso facilitará a compreensão dos diferentes assuntos ligados às células, além de permitir que se recorde do que já foi estudado. A construção de modelos requer habilidade manual e criatividade na escolha dos materiais, além, é claro, de conhecimento sobre os diferentes tipos de célula a representar.

Conte com seus conhecimentos na área de Arte. Além disso, a construção desses modelos vai requerer conhecimentos de Matemática, pois deverão ser feitos cálculos de proporções das estruturas.

Este é um bom exemplo de interdisciplinaridade, pois Biologia, Arte e Matemática estão em interação.

Listamos a seguir quatro propostas, entre as quais seu grupo deverá trabalhar com uma. Para a elaboração dos modelos, procurem informações não apenas neste livro, mas também em outras fontes confiáveis de consulta.

As propostas são:

- **Proposta 1:** representar uma bactéria não fotossintetizante e uma bactéria fotossintetizante do grupo das cianobactérias.
- **Proposta 2:** representar um leucócito e uma hemácia.
- **Proposta 3:** representar uma célula animal genérica, sem especificar o tecido ao qual pertence.
- **Proposta 4:** representar uma célula vegetal genérica, sem especificar o tecido ao qual pertence.

Uma vez estabelecida a proposta a ser trabalhada, vocês deverão considerar o seguinte:

1. Em grupo, pesquisem como são as células da proposta escolhida, suas funções, tamanho real e estruturas que elas contêm. Com as medidas, calculem a ampliação adequada ao seu modelo, tomando cuidado para manter as proporções reais entre as estruturas.
2. Planeje, com seu grupo, como será a montagem. Vocês deverão fazer uma lista dos elementos que serão incluídos e dos materiais que serão usados para representá-los. Por exemplo: massa de modelar, grãos de feijão (simulando mitocôndrias, por exemplo), miçangas, macarrão, linhas e outros materiais.
3. Após a construção do modelo, seu grupo deve apresentá-lo para os demais colegas de classe, explicando o tipo de célula representado, cada estrutura celular e sua respectiva função. Analise, com seu grupo, a necessidade de aprimoramento do modelo.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Retomando

Agora que você conhece melhor algumas das estruturas e dos processos que ocorrem no interior das células, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Para retomar sua resposta à terceira questão, você poderá elaborar uma tabela com as principais diferenças entre células animais e células vegetais, ambas eucarióticas. Depois, elabore outra tabela com as diferenças entre as células eucarióticas e as células procarióticas, como é o caso das bactérias.



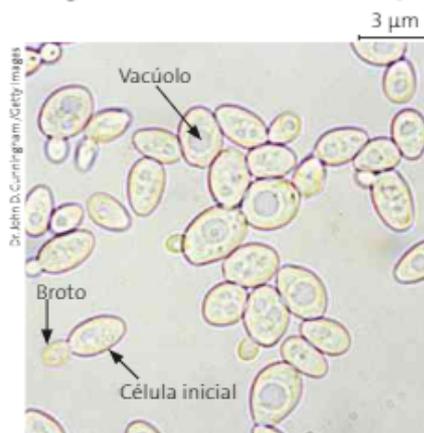
## Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE  
NO CADERNO

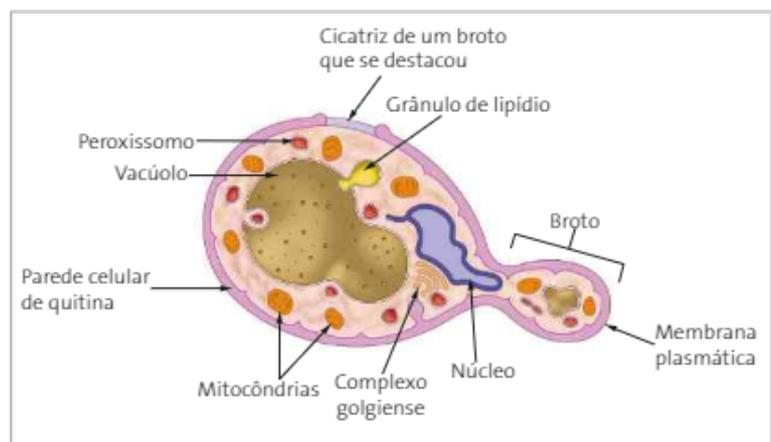


### Atividade 1 Explorando figuras e comparando células Habilidades do Enem: H13, H16, H28.

Vamos supor que um professor tenha decidido apresentar um organismo eucarionte unicelular muito conhecido, o fungo da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, para seus estudantes. Assim, preparou um material com fermento biológico e o mostrou para os estudantes ao microscópio de luz. Abaixo são apresentados uma fotomicrografia do que os estudantes observaram e um esquema representando a estrutura da célula desse fungo, feito com base em observações ao microscópio eletrônico de transmissão.



⚡ Fotomicrografia de células de *Saccharomyces cerevisiae*. Algumas delas estão em processo de reprodução assexuada por brotamento. O broto é menor que a célula inicial.



⚡ Esquema de célula de levedura em início de brotamento, feito com base em observações ao microscópio eletrônico de transmissão. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Com base no que você estudou, faça uma tabela em seu caderno comparando as células desse fungo com as de bactérias, as de plantas angiospermas e as de animais quanto aos seus componentes e estrutura. Inclua também a composição química da parede celular nos casos em que ela ocorre. O vacúolo dessas células contém enzimas que digerem seus componentes desgastados, além de exercer a função de reserva de substâncias. Essas funções do vacúolo assemelham-se às do vacúolo das plantas.

### **Atividade 2** Realizando e interpretando experimento Habilidades do Enem: H14, H28.

Normalmente, todas as células produzem compostos tóxicos como resíduos de determinadas reações químicas, caso da água oxigenada, que é um resíduo da respiração celular bastante tóxico para as células. Elas não morrem porque existem enzimas que aceleram reações químicas degradando essas substâncias. No caso da água oxigenada ( $H_2O_2$ ), a enzima envolvida é a catalase, que a transforma em água e oxigênio livre.

Vamos testar alguns tecidos animais e vegetais para verificar a presença de catalase.

#### **Material**

- 2 pedaços iguais (cerca de 1 cm de diâmetro) de fígado bovino fresco;
- 1 frasco de água oxigenada (10 volumes);
- 2 cubos de 1 cm<sup>2</sup> de batata-inglesa;
- 5 tubos de ensaio (podem ser substituídos por pequenos potes de vidro);
- 1 pipeta ou conta-gotas graduado;
- 1 pinça;
- material para etiquetar os tubos;
- colher.

#### **Procedimento**

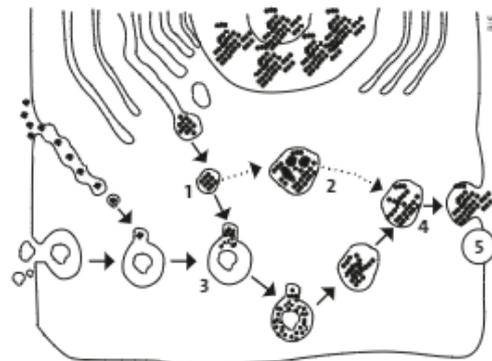
1. Coloque, com o auxílio da pinça, um dos pedaços de fígado no tubo de ensaio. O outro pedaço deve ser esmagado com uma colher e colocado no segundo tubo de ensaio. Identifique os tubos com etiquetas.
2. Com o auxílio da pinça, coloque um dos pedaços de batata no terceiro tubo de ensaio. O outro pedaço deve ser picado e colocado no quarto tubo. Identifique-os com etiquetas.
3. Os quatro tubos, devidamente etiquetados, devem receber 10 mL de água oxigenada cada um, com o auxílio da pipeta ou do conta-gotas.
4. O quinto tubo de ensaio deve receber apenas 10 mL de água oxigenada e nenhum outro material. Esse será o controle do experimento.
5. Observe o que acontece em cada tubo de ensaio e anote os resultados, organizando uma tabela. Você deve verificar se há formação de bolhas e em que quantidade (muito ou pouco) elas são formadas. Observe como são essas bolhas e toque a superfície externa do tubo, constatando se houve variação da temperatura.
6. Opcional: faça o teste utilizando também outros materiais, como um pedaço de maçã ou um pedaço de carne de frango.

#### **Interpretação dos resultados**

- a) Em qual(is) tubo(s) houve formação de bolhas?
- b) Houve diferenças na quantidade de bolhas entre os tubos 1 e 2 e entre 3 e 4? Explique.
- c) As bolhas são formadas pela liberação de um gás. Que gás é esse? Como ele foi formado?
- d) Pelos resultados que você observou, foi possível concluir que a reação estimulada pela catalase consome ou libera energia? Por quê?



- d) cloroplastos e a ocorrência da respiração celular, processo que depende de água, gás carbônico e nitrogênio.
- e) parede celular e a ocorrência da respiração celular, processo que depende de água, oxigênio e luz.
5. (UFC-CE) Que processo, provavelmente, estaria ocorrendo em grande extensão, em células cuja membrana celular apresentasse microvilosidades?
- a) Detoxificação de drogas. d) Catabolismo.  
b) Secreção de esteroides. x e) Absorção.  
c) Síntese de proteínas.
6. (UFJF-MG) O uso de álcool e outras drogas pode provocar o aumento do tamanho do retículo endoplasmático liso das células do fígado. Isso é consequência do aumento:
- a) da síntese de lipídios por essa organela.  
b) do transporte de prótons para o interior da organela.  
c) do processo de autofagia mitocondrial.  
x d) de enzimas degradadoras nessa organela.  
e) do processo de extrusão de resíduos.
7. (Fuvest-SP) O retículo endoplasmático e o complexo de Golgi são organelas celulares cujas funções estão relacionadas. O complexo de Golgi
- x a) recebe proteínas sintetizadas no retículo endoplasmático.  
b) envia proteínas nele sintetizadas para o retículo endoplasmático.  
c) recebe polissacarídeos sintetizados no retículo endoplasmático.  
d) envia polissacarídeos nele sintetizados para o retículo endoplasmático.  
e) recebe monossacarídeos sintetizados no retículo endoplasmático e para ele envia polissacarídeos.
8. (UFPE-PE) As organelas citoplasmáticas desempenham nas células importantes funções. Das associações abaixo, uma é incorreta. Assinale-a.
- a) O retículo endoplasmático liso atua na degradação do álcool ingerido em bebidas alcoólicas; essa organela é abundante em células do fígado.  
b) O complexo de Golgi é mais desenvolvido em células secretoras e é responsável pela modificação e eliminação de secreções.  
c) Os lisossomos exercem função autofágica, contribuindo para a renovação do material citoplasmático.  
d) O retículo endoplasmático rugoso é muito desenvolvido em células com função secretora, como, por exemplo, em células do pâncreas e em células caliciformes intestinais.
- x e) Os peroxissomos atuam sobre os lipídios, convertendo-os em açúcares, processo fundamental para a construção da membrana plasmática.
9. (FGV-SP) O pâncreas é uma glândula anficrina, ou seja, com dupla função, desempenhando um papel junto ao sistema digestório na produção de enzimas, tais como amilases e lipases, e também junto ao sistema endócrino, na produção de hormônios, tais como a insulina e o glucagon. Tendo em vista a composição bioquímica desses catalisadores pancreáticos, as organelas citoplasmáticas membranosas envolvidas diretamente na produção e no armazenamento dessas substâncias são, respectivamente, o:
- x a) retículo endoplasmático rugoso e o complexo golgiense.  
b) retículo endoplasmático liso e o lisossomo.  
c) ribossomo e o retículo endoplasmático rugoso.  
d) complexo golgiense e o lisossomo.  
e) lisossomo e o vacúolo digestivo.
10. (UFPE-PE) Como mostrado na figura a seguir, substâncias capturadas do meio externo, assim como partes componentes da própria célula, sofrem digestão intracelular. Com relação aos processos ilustrados, assinale a alternativa **incorreta**.



- a) Os lisossomos (1) são pequenas vesículas que contêm enzimas responsáveis pela digestão intracelular.  
b) A autofagia (2) pode representar um meio de reciclagem do material celular.  
c) Os vacúolos digestivos (3) originam-se da fusão de lisossomos com fagossomos ou pinossomos.  
x d) Os vacúolos residuais (4) são bolsas membranosas onde se processa a digestão autofágica.  
e) Clasmocitose (5) é o processo de eliminação de resíduos resultantes da digestão intracelular para o exterior da célula.

# Metabolismo energético



Luciano Candiani

**Figura 11.1.** Sabemos que o Sol é a fonte direta e indireta de energia para a maioria das formas de vida do planeta. Praticamente todo o oxigênio necessário para a respiração celular deriva da fotossíntese, processo que está em primeiro plano para a manutenção da vida na Terra. Plantas realizam também a respiração celular, do mesmo modo que os animais. É nas células dos seres vivos que se dá o metabolismo energético. Observando a perereca sobre a folha jovem de uma samambaia, nesta fotografia, podemos não perceber a dependência do animal em relação à planta; no entanto, ele precisa dos produtos da fotossíntese para viver. A perereca da fotografia tem cerca de 1,5 cm de comprimento.



## Pense nisso

- Existe uma crença popular de que as pessoas não devem dormir em quartos com plantas, pois há o risco de asfixia. Você acredita que isso possa acontecer? Por quê?
- É comum ouvirmos dizer que não podemos usar roupas impermeáveis por muito tempo porque nossa pele precisa respirar. Você concorda? Qual é seu conceito de respiração? Justifique sua resposta.
- A respiração é o único processo do metabolismo energético que ocorre na espécie humana? Justifique sua resposta.
- Responda usando exemplos: Ocorrem reações químicas nas células de uma planta? E nas de um animal? E em uma bactéria? Onde? Por quê?

# 1. Reações químicas, acoplamento de reações e ATP

As noções que serão abordadas aqui envolvem conceitos da área de Química, o que evidencia a importância da visão interdisciplinar do conhecimento.

Já vimos em outros capítulos a importância da síntese e da degradação de moléculas orgânicas para a manutenção da vida. Nesses processos ocorre transformação de energia, e o conjunto das atividades metabólicas das células relacionadas com essas funções é chamado metabolismo energético.

Nas reações químicas, os reagentes interagem uns com os outros e se transformam em produtos (Fig. 11.2).

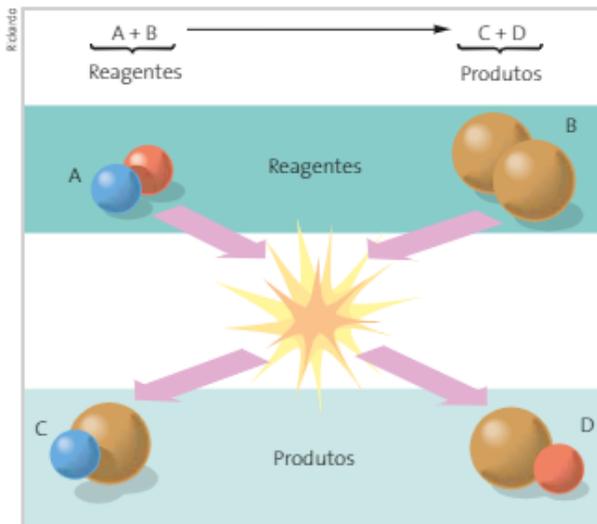


Figura 11.2. Esquema exemplificando uma reação química. (Cores fantasia.)

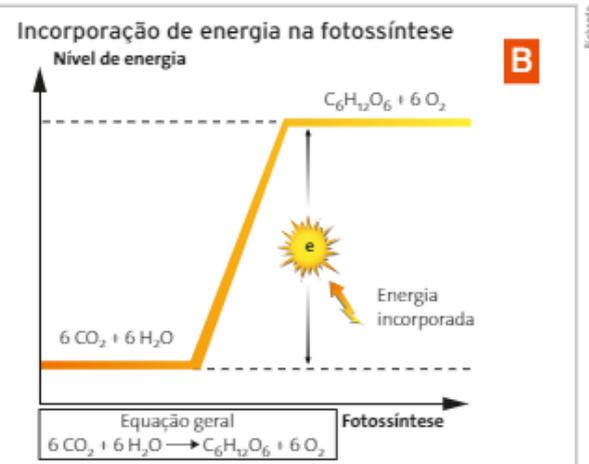
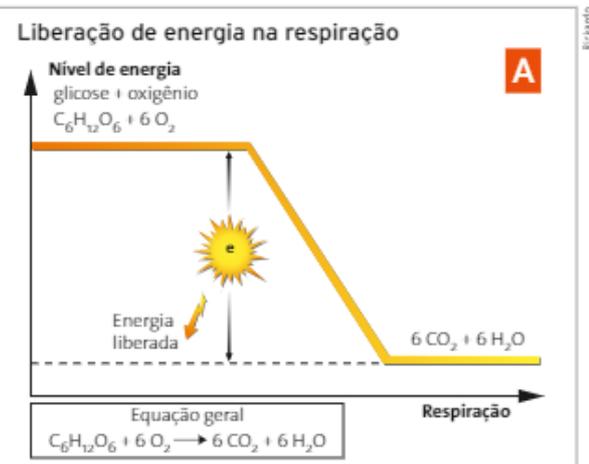
Existem reações químicas que, para ocorrer, precisam receber energia. Elas são chamadas **endergônicas**. Nesses casos, os reagentes têm menos energia do que os produtos. Outras reações, no entanto, liberam energia. Elas são chamadas **exergônicas**. Nessas reações, os reagentes possuem mais energia do que os produtos, e parte da energia dos reagentes é liberada na forma de calor.

Essas noções que foram aplicadas para reações individuais podem ser estendidas para processos que envolvem diversas reações. Nesse sentido, o processo de fotossíntese como um todo pode ser considerado endergônico, e o da respiração, exergônico. Na representação desses processos nos gráficos que se seguem, compara-se a energia das substâncias que entram com a das que são produzidas, como se vê nas equações gerais (Fig. 11.3).

Nas células, as reações exergônicas liberam parte da energia sob a forma de calor e parte para promover reações endergônicas. Essa utilização só é possível por meio de um mecanismo conhecido como **acoplamento**

Professor(a), a explicação da existência de ligações químicas que, ao serem quebradas, liberam energia envolve conceitos de Química. Seria interessante que você conversasse com o(a) responsável pela disciplina para uma abordagem interligada desse tema, mencionando outros exemplos (biológicos ou não) em que isso acontece.

UNIDADE 2 • Origem da vida e Biologia Celular



Fonte: RAVEN, P. H. et al. *Biology of Plants*. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2013.

Figura 11.3. Gráficos esquemáticos da liberação de energia pela respiração no processo de quebra da glicose (A) e da incorporação de energia pela fotossíntese no processo de formação de glicose (B), tomando por base as equações gerais desses processos. A fotossíntese não é um processo inverso ao da respiração. Tanto fotossíntese quanto respiração são processos complexos que envolvem inúmeras reações químicas. Nesses gráficos, apenas as equações gerais foram representadas.

**de reações**, no qual há participação de uma substância comum que direciona o aproveitamento de energia e, assim, promove pouca liberação de calor.

Essa substância comum é principalmente o trifosfato de adenosina, ou adenosina trifosfato, cuja abreviação é **ATP**. Esse composto armazena, em suas ligações-fosfato, grande parte da energia desprendida pelas reações exergônicas. Além disso, o ATP tem a capacidade de liberar, por hidrólise, essa energia para promover reações endergônicas. O ATP funciona dentro da célula como uma reserva de energia, que pode ser usada em qualquer momento que a célula necessitar.

O ATP é um nucleotídeo formado por uma molécula de adenina (base nitrogenada), uma molécula do açúcar ribose e três fosfatos (representados por P). O conjunto adenina + ribose forma a adenosina, que, ligada a um fosfato, forma a adenosina monofosfato (AMP). Com a adição de mais um fosfato, forma-se a adenosina difosfato (ADP); e, com a adição do terceiro fosfato, forma-se finalmente a adenosina trifosfato (ATP) (Fig. 11.4).

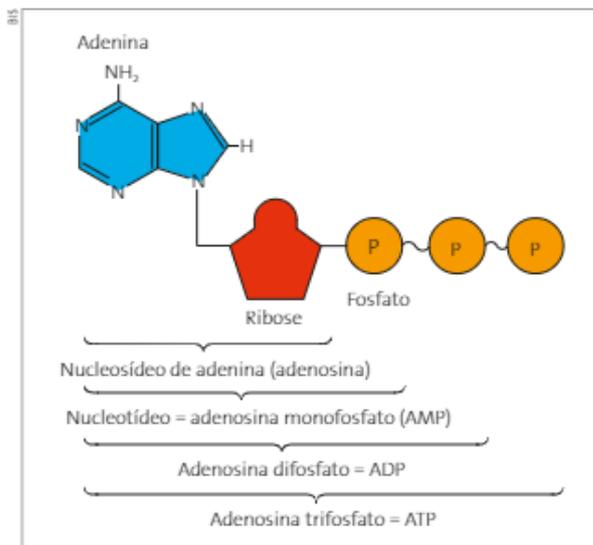


Figura 11.4. Esquema da molécula de ATP. O símbolo ~ representa ligação química que, ao ser quebrada, libera muita energia. (Cores fantasia.)

Pode-se esquematizar a atuação do ATP da seguinte forma (Fig. 11.5):

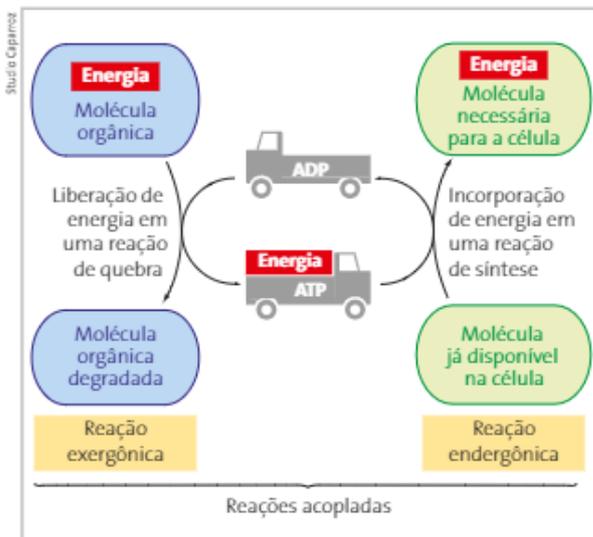
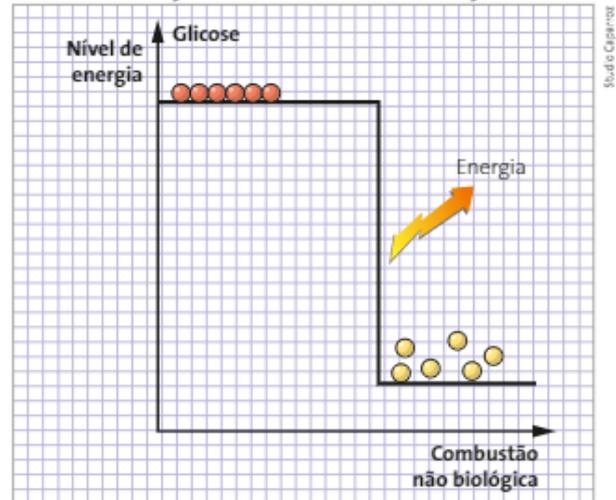


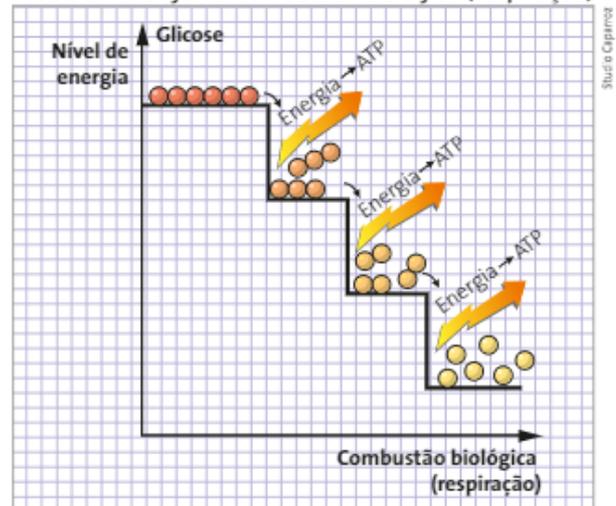
Figura 11.5. Esquema de duas reações acopladas, nas quais o ATP atua como substância comum, com a função de transportar energia.

Para entender a importância das reações acopladas nas células e da função do ATP, vamos comparar a combustão não biológica (que não ocorre nas células) com a quebra biológica da glicose (que ocorre na respiração celular) (figura 11.6).

#### Níveis de energia na combustão não biológica



#### Níveis de energia na combustão biológica (respiração)



Fonte: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. Glenview: Pearson Education, Inc., 2014.

Figura 11.6. Gráficos da variação dos níveis de energia nos processos de combustão não biológica e na respiração.

Na combustão não biológica, a energia é liberada rapidamente, sob a forma de calor. Este é tão intenso que, se ocorresse na célula, poderia matá-la. Na quebra biológica, a energia armazenada nas ligações químicas é liberada de modo gradativo e utilizada na síntese de ATP. Nesse caso também há liberação de calor, mas em menor quantidade. Havendo necessidade, o ATP é quebrado e a energia liberada é utilizada para promover outras funções celulares.

## 2. Transportadores de hidrogênio: NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup> e FAD

As reações químicas em que ocorrem transferências de elétrons são conhecidas como reações de oxidorredução. O reagente que perde elétrons fica oxidado e o que recebe fica reduzido. Podemos dizer que a oxidação libera energia, enquanto na redução ela é incorporada.

Durante os processos de síntese e de degradação de substâncias orgânicas nas células, ocorrem muitas reações químicas com liberação de elétrons com alto nível de energia e átomos de hidrogênio. Esses elétrons e átomos são captados por uma classe específica de substâncias denominadas **transportadoras de hidrogênio**, cujas formas oxidadas estão representadas pelo **NAD<sup>+</sup>**; **NADP<sup>+</sup>** e **FAD**.

O NAD e o FAD são nucleotídeos associados respectivamente às vitaminas nicotinamida e riboflavina. Assim, NAD é a sigla da molécula **Nicotinamida-Adenina-Dinucleotídeo**, e FAD, a da molécula **Flavina-Adenina-Dinucleotídeo**. O NADP apresenta um grupo fosfato (**P**).

Ao receberem elétrons e hidrogênios, NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup> e FAD ficam reduzidos.

NAD<sup>+</sup> e NADP<sup>+</sup> são substâncias semelhantes, mas atuam em processos distintos: o NAD<sup>+</sup> atua em processos catabólicos, que são os processos de quebra de moléculas, como é o caso da fermentação e da respiração; e o NADP<sup>+</sup> atua em processos anabólicos, que são os de síntese, como é o caso da fotossíntese e da quimiossíntese. O FAD também atua em processos catabólicos, mas está restrito apenas a algumas etapas da respiração.



Neste capítulo, vamos analisar os principais processos relacionados ao metabolismo energético das células; iniciaremos pelos processos de síntese, representados pela fotossíntese e pela quimiossíntese; e depois passaremos aos processos de quebra, representados pela respiração e fermentação.

## 3. Fotossíntese Professor(a), veja as Orientações didáticas.

A fotossíntese — principal processo autotrófico — é realizada pelos seres clorofilados, representados por plantas, alguns protistas, bactérias fotossintetizantes e cianobactérias.

Com exceção das bactérias fotossintetizantes, os demais seres usam na fotossíntese o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O), formando carboidratos e gás oxigênio (O<sub>2</sub>), o qual é liberado para o meio. Por liberar gás oxigênio, esse tipo de fotossíntese é chamado **fotossíntese oxigênica**.

A equação geral da fotossíntese dos eucariontes e das cianobactérias é:



Essa equação mostra que, na presença de luz e clorofila, o gás carbônico e a água são usados na produção de uma triose (carboidrato), gás oxigênio e água. Duas tri-

ses unidas formam a glicose, por isso, é comum representar a glicose como um dos produtos da fotossíntese.



Outra maneira de representar o carboidrato é pela sua fórmula geral (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>.

Assim, a equação geral da fotossíntese pode ser escrita da seguinte forma:



Os seres fotossintetizantes oxigênicos são fundamentais para a manutenção da vida em nosso planeta, pois, além de serem a base da maior parte das cadeias alimentares, produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera em concentrações adequadas, graças principalmente à atividade fotossintética.



## Despertando ideias



### Luz e fotossíntese

#### Objetivo

Testar a hipótese de que a luz é importante para a fotossíntese.

#### Materiais

- 2 ramos de *Elodea* sp. (encontrada em lojas de aquarismo);
- bicarbonato de sódio;
- água;
- 2 recipientes iguais de vidro transparente ou béqueres;
- 2 funis de haste curta (altura total menor do que a do recipiente);
- 2 tubos de ensaio;
- 1 caixa de papelão em que caiba um dos recipientes.

#### Procedimento

1. Com seu grupo de estudos, coloque, em cada recipiente, água com uma pequena quantidade de bicarbonato de sódio. O bicarbonato de sódio libera  $\text{CO}_2$  na solução, a fim de fornecer grande quantidade desse gás para a fotossíntese e o experimento ocorrer mais rapidamente.
2. Acomode, dentro de cada funil, um ramo de *Elodea* sp. e coloque essa montagem dentro do recipiente, com a maior abertura do funil em contato com o fundo do recipiente. Cuide para que a *elódea* fique totalmente dentro do funil. A água do recipiente vai entrar no funil, que deve ficar totalmente imerso na água.
3. Cubra a haste dos funis com um tubo de ensaio completamente cheio da própria solução do recipiente, tal como representado na [figura 11.7](#). Tome cuidado para não formar bolhas de ar no interior do tubo de ensaio. Para isso, encha o tubo de ensaio com a solução até o máximo que ele pode conter. Tampe com o dedo a abertura do tubo e vire-o dentro da água do recipiente. Tire o dedo da abertura e acomode o tubo na haste do funil.
4. Você terá, então, duas montagens idênticas. Coloque uma das montagens exposta à luz. A outra deve ficar no mesmo local, porém coberta por uma caixa de papelão a fim de bloquear a passagem da luz. Assim, a variável que estaremos avaliando será a luz.
5. Depois de 30 minutos, descreva o que aconteceu em cada uma das montagens.



Figura 11.7. Representação da montagem do experimento. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

#### Discussão

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Dizemos que a montagem que foi coberta pela caixa de papelão serve como controle do experimento. Explique o que isso significa.
2. Os resultados foram iguais ou diferentes nas duas montagens experimentais? Explique.
3. O experimento propiciou o teste da hipótese? Explique.
4. Junto com seu grupo de estudos, proponha uma nova investigação sobre fotossíntese. Formule uma pergunta, levante hipóteses e proponha experimentos para testar sua hipótese. Seu(sua) professor(a) saberá dizer se há possibilidade na escola de realizar a experimentação proposta por seu grupo.

### 3.1. Origem do oxigênio e fotossíntese bacteriana

O gás oxigênio liberado pela fotossíntese realizada pelos eucariontes e pelas cianobactérias provém da água, e não do gás carbônico, como se pensava antigamente.

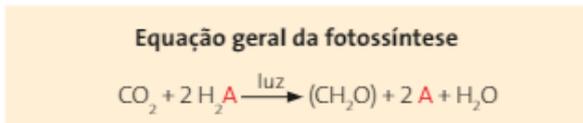
O primeiro pesquisador a propor isso foi **Cornelius van Niel** (1897-1985), na década de 1930, quando estudava bactérias fotossintetizantes. Ele verificou que as bactérias vermelhas sulfurosas (ou sulfobactérias púrpuras) realizavam uma forma particular de fotossíntese em que não havia formação de gás oxigênio.

Ele verificou que essas bactérias usam gás carbônico e sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e produzem carboidrato e enxofre. Por não produzir oxigênio, a fotossíntese dessas bactérias é chamada **anoxigênica** (*a* = prefixo de negação).

Niel escreveu, então, a fórmula geral da fotossíntese realizada por essas bactérias:



Foi a compreensão desse processo de fotossíntese que levou esse pesquisador à proposição da equação geral da fotossíntese:



Essa equação propõe que  $H_2A$  pode ser a água ( $H_2O$ ) ou o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e evidencia que, se for a água, ela é a fonte de gás oxigênio na fotossíntese.

Essa interpretação foi confirmada posteriormente, na década de 1940, por experimentos em que pesquisadores forneceram às plantas água cujo oxigênio era de massa 18 ( $O^{18}$ , isótopo pesado do oxigênio), em vez de 16 ( $O^{16}$ ), como o oxigênio da água comum. Eles verificaram que o gás oxigênio liberado pela fotossíntese era composto de  $O^{18}$ , corroborando a interpretação de Niel.

Ficou comprovado, então, que o gás oxigênio liberado durante a fotossíntese dos eucariontes e das cianobactérias (fotossíntese **oxigênica**) provém da água, e não do gás carbônico.

Embora nas equações resumidas da fotossíntese a glicose seja normalmente colocada como um produto, na realidade, o produto imediato da fotossíntese é um carboidrato de três carbonos (triose) chamado **gliceraldeído**. Assim, a melhor maneira para se representar a fórmula geral da fotossíntese das cianobactérias e dos eucariontes clorofilados é:

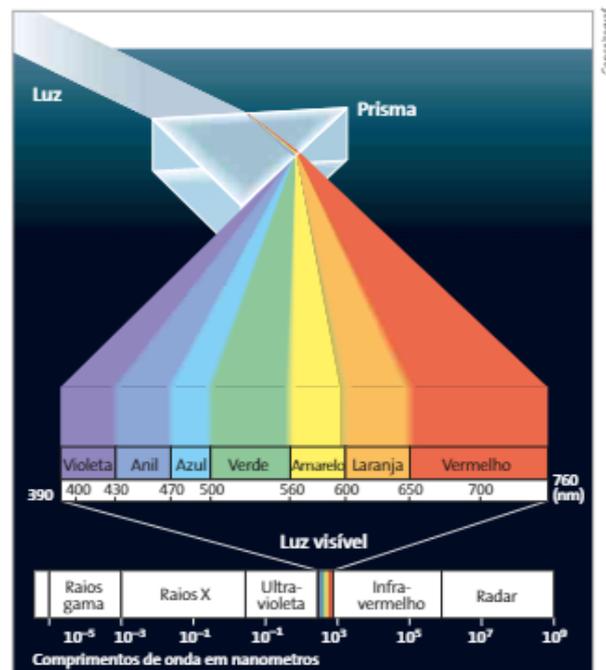


### 3.2. Luz e pigmentos fotossintetizantes

A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de **pigmentos** especializados que conseguem captar a energia luminosa.

A radiação solar é composta de vários comprimentos de onda. Entre eles, o olho humano só consegue distinguir os que compõem a luz visível ou luz branca.

Ao passar por um prisma, a luz é decomposta e podem-se perceber as sete cores que compõem a luz branca. Cada cor abrange uma faixa de comprimentos de onda (Fig. 11.8).



**Figura 11.8.** Esquema da decomposição da luz branca e da localização do espectro de luz visível no espectro eletromagnético, do qual fazem parte os raios gama, os raios X, as radiações ultravioleta e infravermelha e as ondas de radar.



## Despertando ideias

REGISTRE  
NO CADERNO



### A influência da luz na percepção das cores

Analise o experimento a seguir.

Uma planta de folhas verdes foi colocada dentro de uma caixa de papelão que continha uma lâmpada vermelha e uma lâmpada azul, como mostra a **figura 11.9**. Quando a luz vermelha está acesa, o observador verá pelo orifício da caixa que as folhas estão pretas. O mesmo ocorre quando a luz azul está acesa.

Pequeno orifício por onde o observador deve olhar



**Figura 11.9.** Esquema representando a montagem do experimento. (Cores fantasia.)

#### Discussão

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

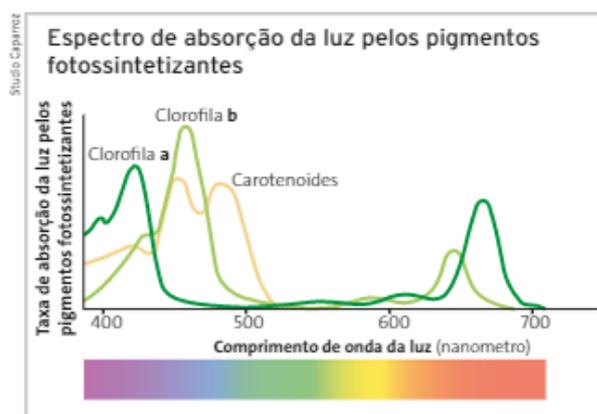
- Elabore uma explicação para essas observações

Os pigmentos têm a propriedade de absorver e refletir determinados comprimentos de onda. A cor do pigmento é dada pelo comprimento de onda refletido. Na fotossíntese, vários pigmentos participam da absorção de energia luminosa, sendo que nas plantas esses pigmentos são as clorofilas **a** e **b** e os carotenoides. As clorofilas refletem o comprimento de onda da luz verde e por isso são verdes. Os carotenoides podem ser de várias cores, desde alaranjados, amarelados ou avermelhados, associando-se ao comprimento de onda que refletem.

Colocando-se em um gráfico as diferentes taxas de absorção da luz pelos pigmentos fotossintetizantes em função do comprimento de onda, obtém-se o espectro de absorção de cada um deles (**Fig. 11.10**). Esse espectro pode ser comparado ao da taxa de fotossíntese em função do comprimento de onda: **espectro de ação fotossintética** (**Fig. 11.11**). Contrapondo-se os dois gráficos, pode-se verificar que as clorofilas são os pigmentos mais importantes para a fotossíntese. São elas que conseguem absorver com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha, nos quais a fotossíntese é mais intensa.

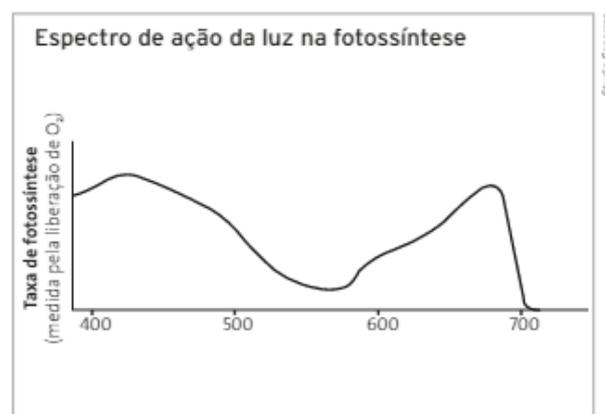
Como vimos, nos eucariontes, os pigmentos fotossintetizantes ficam nos tilacoides dos cloroplastos. Já nos procariontes fotossintetizantes, os pigmentos localizam-se em membranas internas, organizadas em lamelas concêntricas ou em pequenas vesículas esféricas, mas que nunca chegam a formar plastos.

Neste capítulo nos deteremos no estudo geral da fotossíntese realizada pelas plantas.



Fonte: RAVEN, P. H. et al. *Biology of Plants*. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2013.

**Figura 11.10.** Gráfico do espectro de absorção de luz pelos pigmentos fotossintetizantes das plantas.



Fonte: RAVEN, P. H. et al. *Biology of Plants*. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2013.

**Figura 11.11.** Gráfico do espectro de ação da luz na fotossíntese das plantas.



## Despertando ideias



### Quais comprimentos de onda são importantes para a fotossíntese?

Se a luz é formada por diferentes comprimentos de onda e os pigmentos responsáveis pela fotossíntese são as clorofilas e os carotenoides, quais comprimentos de onda são mais importantes nesse processo?

Para responder a essa pergunta, realize o seguinte experimento:

#### Materiais

- 6 béqueres ou recipientes de vidro transparentes;
- 6 tubos de ensaio;
- bicarbonato de sódio;
- água;
- 6 ramos de elódea com o mesmo tamanho;
- 6 funis;
- folhas de papel celofane transparente: sem cor, vermelho, cor de laranja, amarelo, verde e azul.

#### Procedimento

1. Monte os béqueres com solução de água e bicarbonato e ramos de elódea como explicado na página 241.
2. Envolve cada montagem com um tipo de papel celofane, ou seja, um béquer ficará envolto por papel sem cor, outro com o celofane vermelho, outro com o de cor de laranja, outro com o amarelo, outro com o verde e outro com o azul (Fig. 11.12).
3. Coloque as montagens em um mesmo local, expostas à luz solar, nas mesmas condições de luminosidade.
4. Depois de 60 minutos (o tempo pode variar um pouco dependendo das condições de luminosidade), faça observações e anote os resultados em seu caderno.

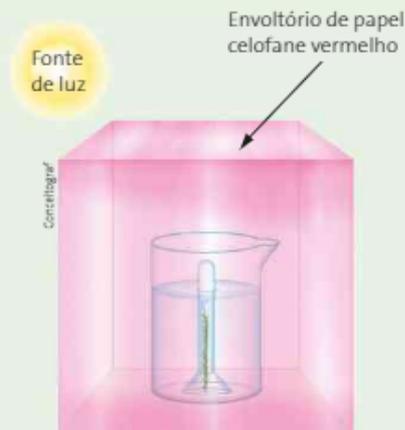


Figura 11.12. Representação da etapa 2 do procedimento, apenas para o celofane vermelho. A mesma montagem deverá ser feita com as outras cores de celofane. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

#### Discussão

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

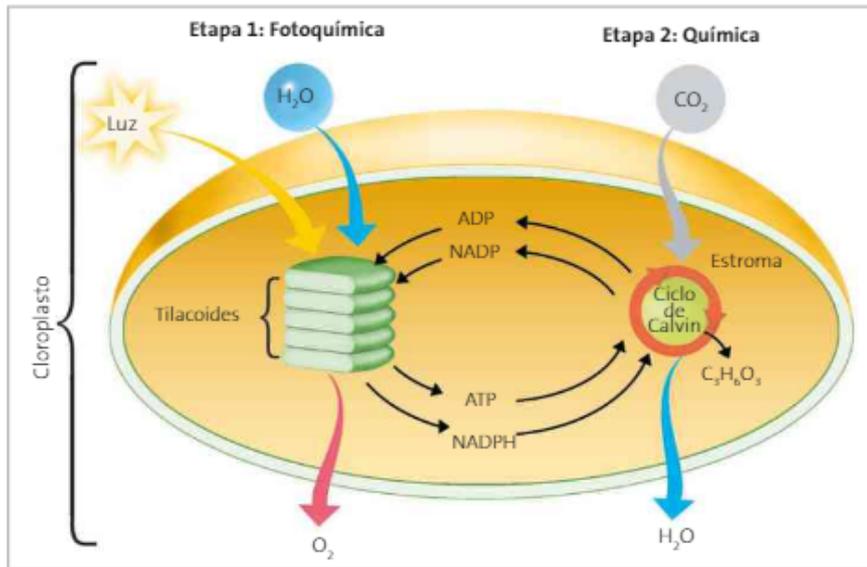
1. Com base nesses resultados, que resposta você poderia dar à pergunta feita inicialmente, ou seja, quais comprimentos de onda são mais importantes para a fotossíntese?
2. Qual é a importância, nesse experimento, da montagem envolta por papel celofane sem cor? Deixar uma montagem sem o envoltório de papel celofane produziria o mesmo efeito?
3. Sabe-se que o gás oxigênio é acumulado no ápice dos tubos de ensaio. Houve diferença entre as quantidades de gás em cada caso?
4. Considerando que a quantidade do gás liberado é um indicativo da taxa de fotossíntese, ordene as montagens experimentais da que apresentou a maior taxa até a que apresentou a menor taxa. Em quais casos a taxa de fotossíntese é maior? Em quais é menor?

### 3.3. As etapas da fotossíntese

Apesar de ser apresentada em apenas uma equação, a fotossíntese não ocorre em uma única reação química. Existem várias reações que, tradicionalmente, têm sido agrupadas em duas etapas interligadas:

- a primeira, **fotoquímica** ou **fase clara**, em que há participação da energia luminosa;
- a segunda, **química** ou **fase escura**, na qual não há participação direta da energia luminosa.

A etapa fotoquímica ocorre nos tilacoides, com a participação dos pigmentos fotossintetizantes, e a etapa química ocorre no estroma dos cloroplastos (Fig. 11.13).



Jussara Ribeiro

Figura 11.13. Esquema simplificado das etapas da fotossíntese no interior do cloroplasto. (Cores fantasia.)

#### Etapa fotoquímica

Na etapa fotoquímica, dois conjuntos básicos e relacionados de reações acontecem em presença de luz: **fotofosforilação** e **fotólise da água**.

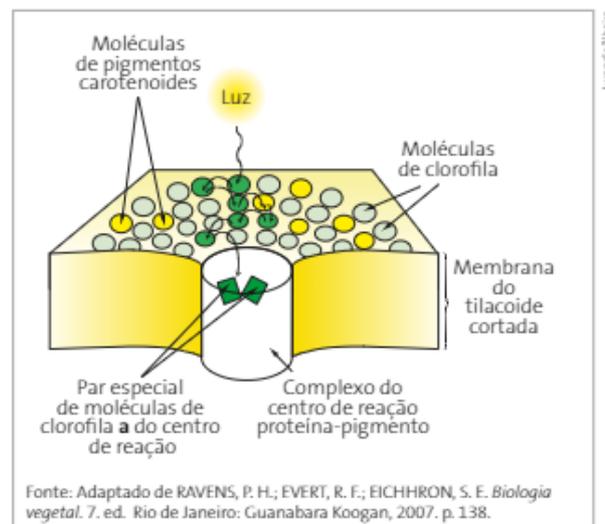
Fotofosforilação significa adição de fosfato (fosforilação) em presença de luz (foto, do grego: *photós* = luz). A substância que sofre fosforilação é o ADP, formando ATP.

Nesse processo, participam moléculas de clorofila e outros pigmentos acessórios (como os carotenoides), substânciasceptoras de elétrons e enzimas que se organizam no complexo-antena, formando dois tipos de fotossistema: I e II.

Cada complexo-antena é capaz de captar a energia luminosa por meio dos pigmentos fotossintetizantes e conduzi-la até um **centro de reação**, onde essa energia pode ser aproveitada. Esse centro é formado por um par especial de clorofilas **a**, cujas propriedades diferem das demais clorofilas (Fig. 11.14).

No fotossistema I, esse par de clorofilas recebe o nome de  $P_{700}$ , pois absorve mais eficientemente luz com 700 nm de comprimento de onda. No fotossistema II,

esse par de clorofilas **a** recebe o nome de  $P_{680}$ , pois absorve mais eficientemente luz com 680 nm de comprimento de onda.



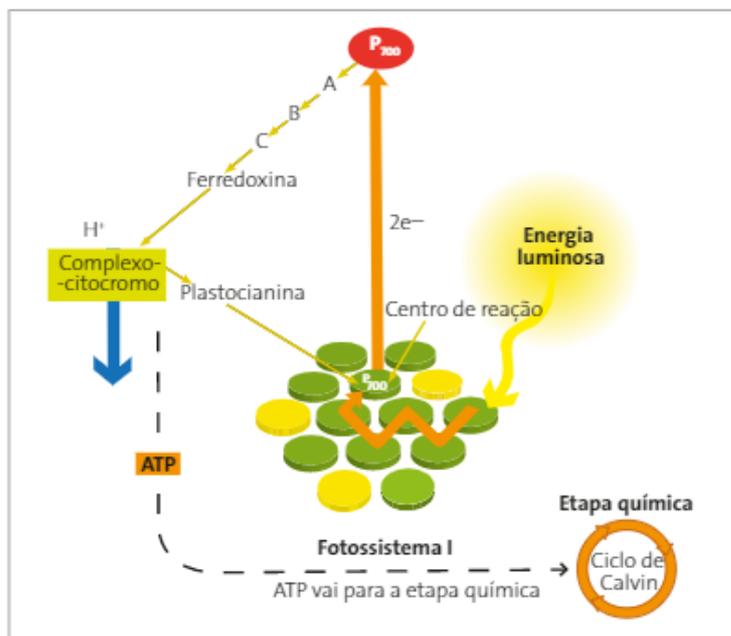
Jussara Ribeiro

Figura 11.14. Esquema de parte de um complexo-antena presente na membrana do tilacoide, representado em corte para evidenciar o centro de reação. (Cores fantasia.)

Quando clorofilas  $P_{700}$  do fotossistema I são excitadas pela energia luminosa, elétrons saem da molécula e são transferidos para uma substância aceptora de elétrons. Essa substância logo transfere os elétrons para outra substância, e assim por diante, formando uma cadeia de transporte de elétrons. Entre as substâncias transportadoras estão os **citocromos**.

Nessas transferências entre os aceptores, os elétrons vão liberando gradativamente a energia. Quando os elétrons passam pelo citocromo, a energia é empregada em um processo complexo que resulta na formação de ATP. Nesta obra, não detalharemos esse processo.

Ao chegarem ao último aceptor dessa cadeia, os elétrons têm nível energético suficientemente baixo e retornam ao par de clorofilas  $P_{700}$ . Como os elétrons retornam às moléculas de clorofila do mesmo fotossistema, fala-se em **fotofosforilação cíclica** (Fig. 11.15).



Cronos/igf

Figura 11.15. Esquema simplificado da fotofosforilação cíclica: só há formação de ATP. Ferredoxina e plastocianina também são transportadoras de elétrons, assim como as substâncias identificadas apenas por A, B e C. (Cores fantasia.)

Existe outra forma de fotofosforilação que ocorre de modo independente da cíclica e que envolve os fotossistemas I e II e a fotólise da água. Nessa outra forma, elétrons das moléculas de clorofila  $P_{700}$  do fotossistema I, excitados pela luz, são captados por uma substância aceptora, mas, em vez de passarem pela cadeia de transporte de elétrons, são captados pelo  $NADP^+$ , formando  $NADPH$ . Nesse caso, não retornam para o mesmo centro de reação e as clorofilas  $P_{700}$  ficam temporariamente deficientes de elétrons.

Esses elétrons são repostos por outros provenientes do fotossistema II — o par de clorofilas  $P_{680}$ . Excitado pela energia luminosa, esse par libera elétrons que são captados por uma primeira substância aceptora. Depois, os elétrons passam por uma cadeia de aceptores, entre eles um complexo de citocromos. Nessas transferências, os elétrons perdem gradativamente energia. Do mesmo modo que na fotofosforilação cíclica, quando os elétrons passam pelo citocromo, a energia é empregada em um processo complexo que resulta na síntese do ATP.

Ao final dessa sequência, os elétrons com menos energia são captados pelo par de clorofilas  $P_{700}$ , que se recompõe. Já o par  $P_{680}$  do fotossistema II fica deficiente de elétrons. Eles são repostos pelos que provêm da quebra da molécula de água em presença de luz, processo denominado **fotólise da água** (do grego: *lisis* = quebra), o qual também libera prótons ( $H^+$ ) e gás oxigênio.

#### Fotólise da água



Como os elétrons não retornam às clorofilas dos fotossistemas dos quais saíram, fala-se em **fotofosforilação acíclica**. Nesse caso, participam os dois fotossistemas, enquanto na fotofosforilação cíclica participa apenas o fotossistema I. Além disso, na fotofosforilação acíclica há formação de ATP e  $NADPH$ , enquanto na cíclica há formação apenas de ATP (Fig. 11.16).

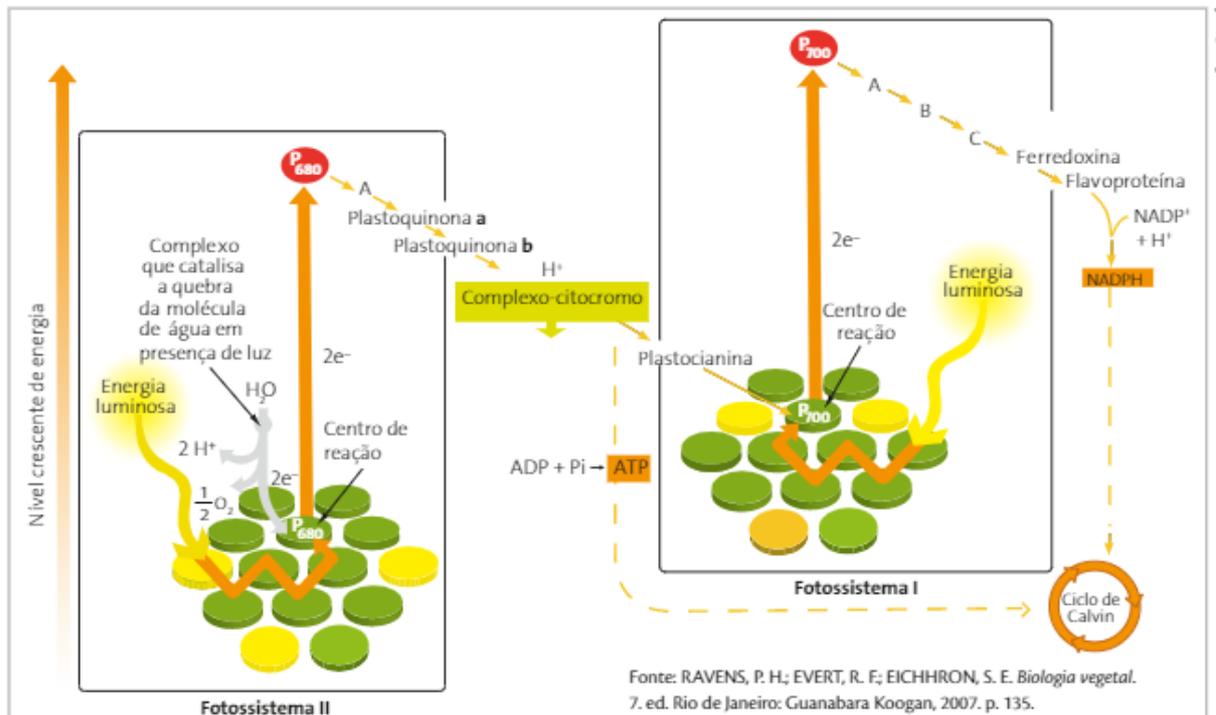


Figura 11.16. Esquema da fotólise da água e da fotofosforilação acíclica, também chamada esquema em Z ou em zigue-zague. Há formação de ATP e de NADPH + H<sup>+</sup> que entram no ciclo de Calvin (etapa química). (Cores fantasia.)

#### Produtos da etapa fotoquímica (fotofosforilação + fotólise da água)

- O<sub>2</sub> é liberado para fora do cloroplasto;
- NADPH, H<sup>+</sup> e ATP serão usados na etapa seguinte, a etapa química.

#### Equação geral da etapa fotoquímica



### Etapa química

Nesta etapa ocorrem reações ligadas à fixação do carbono presente no CO<sub>2</sub>. Essas reações ocorrem no estroma dos cloroplastos e, apesar de não dependerem diretamente da luz, dependem das reações da fase fotoquímica, pois precisam do ATP, do NADPH e dos H<sup>+</sup> formados na presença de luz.

Na etapa química, o CO<sub>2</sub> participa de uma série de reações que ocorrem no chamado ciclo das pentoses (açúcares de cinco carbonos na molécula), elucidado na década de 1940 por Melvin Calvin com a participação de Adam Benson.

Esse ciclo é bastante complexo e será comentado aqui de forma resumida, no esquema simplificado na figura 11.17.

O CO<sub>2</sub> entra no ciclo de Calvin e se une a um composto de cinco carbonos, a **ribulose bifosfato (RuBP)**, que já existe no estroma do cloroplasto. Esse processo

é chamado **fixação de carbono** e é catalisado pela ação de uma enzima chamada **rubisco**, a mais abundante na natureza. Ela corresponde a cerca de 25% do total de proteínas solúveis nas folhas. Pela ação da rubisco formam-se moléculas de um açúcar de seis carbonos, que é instável e logo é quebrada em moléculas de três carbonos: o **fosfoglicerato (PGA)**. Em função da formação dessa substância de três carbonos, o ciclo de Calvin é também chamado de ciclo **C3** e as plantas que o possuem são chamadas de **plantas C3**.

Em seguida, com o fornecimento de energia de moléculas de ATP e a ação do NADPH, forma-se a partir do PGA o **gliceraldeído fosfato** ou **PGAL**, que também tem três carbonos. Esse produto do ciclo de Calvin pode seguir dois caminhos: parte das moléculas de PGAL será usada para recompor a RuBP, que irá se unir a uma nova molécula de CO<sub>2</sub> reiniciando o ciclo de Calvin, e parte é usada para a síntese de glicose e outros carboidratos. Os carboidratos

produzidos na fotossíntese suprem a planta com a energia química e o carbono necessários para sintetizar outras moléculas orgânicas, como aminoácidos e ácidos graxos.

Parte do PGAL produzido no ciclo de Calvin é exportada do cloroplasto para o citosol e parte permanece no cloroplasto.

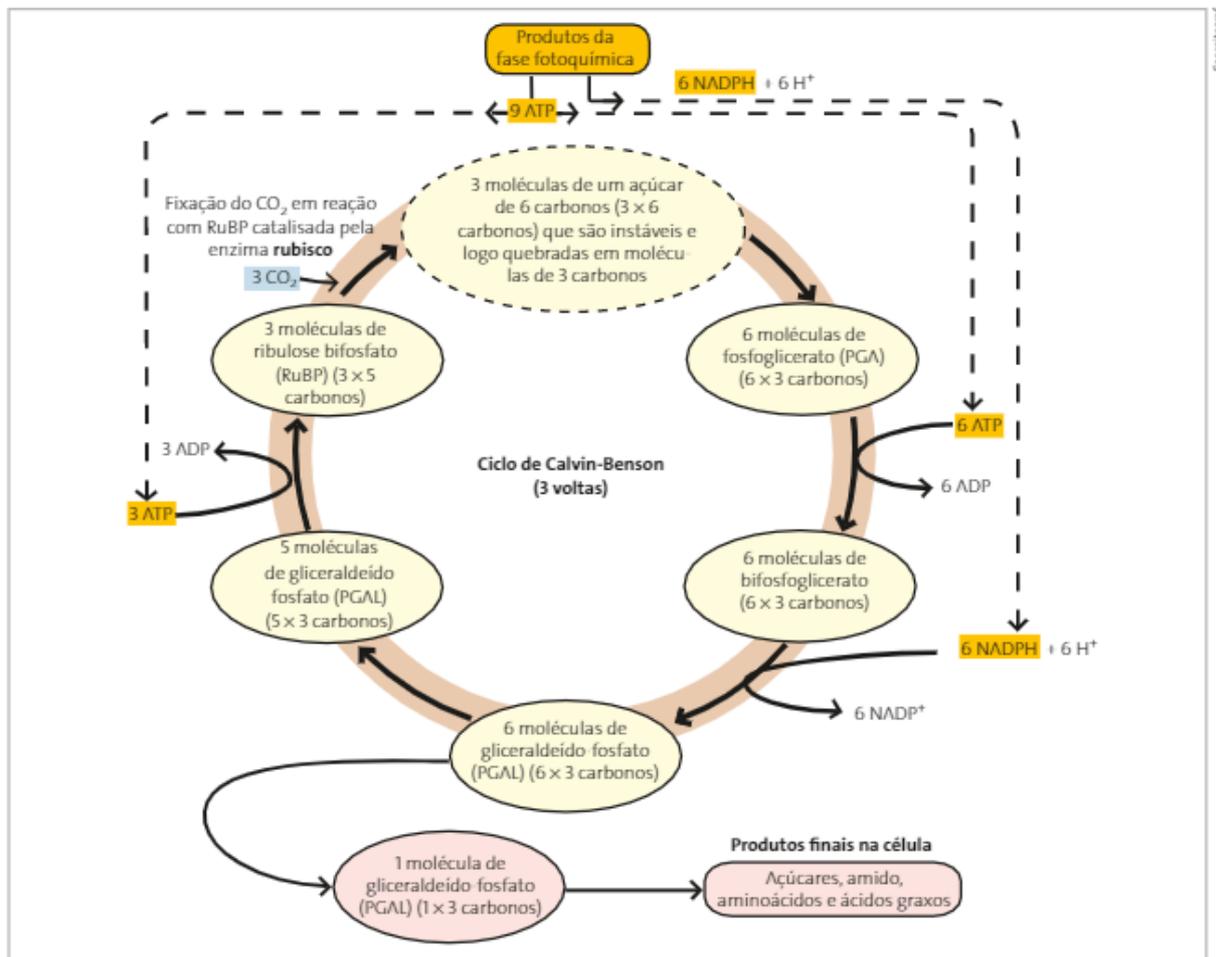


Figura 11.17. Representação do ciclo de Calvin-Benson. As quantidades das moléculas referem-se a 3 voltas no ciclo.

O que vai para o citosol pode ser convertido em glicose e usado diretamente na respiração celular. O que não é usado na respiração é convertido em sacarose por meio de uma série de reações.

A sacarose é um dissacarídeo, considerado o principal açúcar de transporte da planta. Ela sai da folha e é transportada pelos vasos condutores de seiva elaborada para todas as partes da planta que não realizam fotossíntese. Assim que chega a uma célula não fotossintetizante, a sacarose é degradada em moléculas de glicose que são utilizadas na respiração celular, e a energia liberada é empregada em grande variedade de reações. As plantas, como regra, produzem mais carboidratos do que necessitam. Muito do excesso de glicose é estocado na forma de amido, que pode ficar armazenado em células de reserva situadas em raízes

(Fig. 11.18) e caules (Fig. 11.19). Outra parte é usada na síntese do polissacarídeo celulose, especialmente nas células em crescimento. A celulose é o principal constituinte da parede celular das plantas.



Figura 11.18. Fotografia de cenouras: exemplo de raiz com reserva de amido.



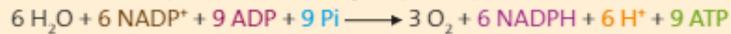
Figura 11.19. Fotografia de batata inglesa: exemplo de caule com reserva de amido.

O PGAL que permanece no cloroplasto e não participa novamente do ciclo de Calvin é convertido em amido, o principal carboidrato de reserva da planta. O amido fica armazenado temporariamente durante o período de luz, na forma de grãos, no estroma do cloroplasto. No período sem luz, o amido é degradado a sacarose, que é exportada da folha, via vasos condutores de seiva elaborada, para outras partes da planta.

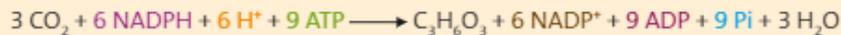
## Resumo das etapas da fotossíntese

Considerando as duas etapas da fotossíntese e as equações gerais apresentadas, obtém-se o seguinte:

### Fotofosforilação e fotólise da água (presença de luz e clorofila)



### Ciclo de Calvin



Somando essas equações, cancelam-se os produtos de uma, que são reagentes da outra, como destacamos em cor. Os reagentes e produtos restantes comporão a equação geral da fotossíntese oxigênica.

### Equação geral da fotossíntese oxigênica



## Colocando em foco

### COMO MILHO, ABACAXI E OUTRAS PLANTAS TROPICAIS FIXAM CARBONO?

O gás carbônico do ar atmosférico entra nas plantas através de pequenas aberturas presentes nas folhas e em caules verdes. Por essas aberturas também ocorre a saída do  $\text{O}_2$  produzido na fotossíntese e da água liberada sob a forma de vapor no processo de transpiração da planta.

Vamos dar ênfase ao que ocorre nas folhas, o principal órgão da planta responsável pela fotossíntese e pela transpiração.

As trocas de gases e a saída de vapor de água ocorrem de maneira controlada por meio de estruturas especiais, os **estômatos**, formados por duas células estomáticas que delimitam um poro estomático (Fig. 11.20).

A planta pode abrir ou fechar o poro estomático em função de determinadas variáveis.

Uma variável de grande importância é a disponibilidade de água. Havendo restrição de água, os estômatos se fecham, reduzindo a perda de água por transpiração.

Certas plantas tropicais possuem adaptações à vida em locais com alta intensidade luminosa, altas temperaturas e baixa disponibilidade de água. Nessas condições, os estômatos podem permanecer fechados por muito tempo durante o dia, o que reduz a transpiração da planta. No entanto, isso restringe a entrada de gás carbônico, fundamental para o processo de fotossíntese.

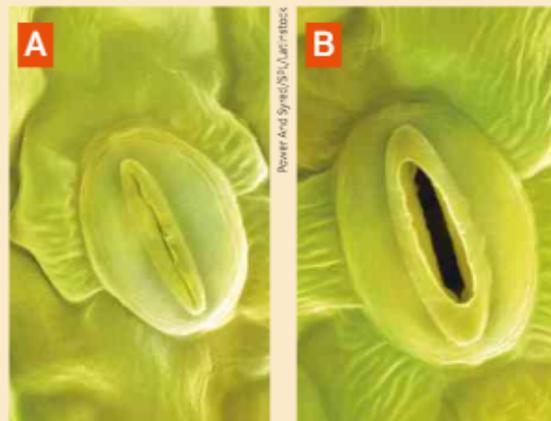


Figura 11.20. Eletromicrografia de varredura, colorida artificialmente, mostrando estômato fechado (A) e aberto (B). Ampliação: cerca de 1200 vezes.

Dessa forma, como essas plantas conseguem obter o gás carbônico necessário à fotossíntese, se durante o dia os estômatos estão geralmente fechados?

Duas estratégias adaptativas são encontradas: a das plantas C4 e a das plantas CAM.

São exemplos de plantas C4 o milho e a cana-de-açúcar (Fig. 11.21) e de plantas CAM o abacaxi e outras plantas da família das bromélias, os cactos, as orquídeas, as agaváceas e as plantas com folhas suculentas, ricas em água, do grupo das crassuláceas, como a fortuna (gênero *Kalanchoe*) (Fig. 11.22). A sigla CAM deriva do fato de esse mecanismo ter sido inicialmente descrito para crassuláceas e ficou conhecido como **Metabolismo Ácido das Crassuláceas**.

Para essas plantas, o ciclo de Calvin não é a única maneira usada para fixar o carbono. Elas possuem outra via que fixa o CO<sub>2</sub> quando os estômatos estão abertos, formando uma molécula de quatro carbonos, chamada **malato**. O malato pode ficar armazenado como uma reserva de CO<sub>2</sub> para a planta. Ao ser quebrado, o malato dá origem ao CO<sub>2</sub> que pode ser usado no ciclo de Calvin.

No caso das plantas C4, a fixação de CO<sub>2</sub> em malato ocorre em células clorofiladas de parênquima da folha e o ciclo de Calvin ocorre em células clorofiladas que ficam ao redor dos feixes vasculares e que formam as nervuras das folhas. Assim, esses dois processos ocorrem em células distintas, ou seja, são separados espacialmente. O malato armazenado em uma célula passa para outra onde é quebrado, e o CO<sub>2</sub> liberado pode participar do ciclo de Calvin. Nas plantas C4, portanto, a fixação do CO<sub>2</sub> ocorre de forma eficiente mesmo em clima quente e seco e com estômatos parcialmente fechados.

Nas plantas CAM, os dois processos ocorrem na mesma célula clorofilada do parênquima foliar. A fixação do CO<sub>2</sub> em malato ocorre durante a noite, quando os estômatos estão abertos e o CO<sub>2</sub> atmosférico pode entrar na planta. O ciclo de Calvin ocorre durante o dia, enquanto os estômatos estão fechados. Portanto, nas plantas CAM os ciclos estão separados temporalmente, mas ocorrem na mesma célula (Fig. 11.23).

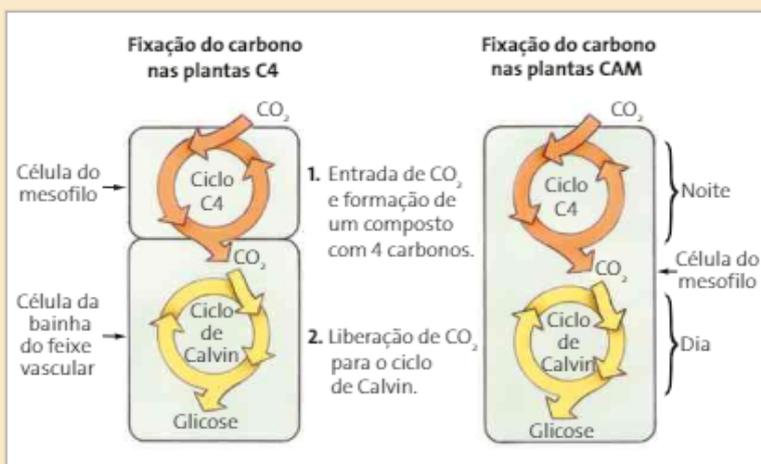


Figura 11.23. Esquema comparativo da fixação do carbono em plantas C4 e em plantas CAM.



Figura 11.21. Fotografias de milho (A) e de cana-de-açúcar (B): exemplos de plantas C4.



Figura 11.22. Fotografias de abacaxi (A) e de cactos (B): exemplos de plantas CAM.

## 4. Quimiossíntese

A quimiossíntese é um processo em que a energia utilizada na formação de compostos orgânicos provém da oxidação de substâncias inorgânicas, e não da energia luminosa.

A quimiossíntese é realizada por algumas bactérias que, por isso, são chamadas bactérias quimiossintetizantes ou quimiolitioautótrofas.

Os principais exemplos de bactérias quimiossintetizantes são:

- **ferrobactérias** — utilizam a energia química proveniente da oxidação de compostos de ferro para a síntese de matéria orgânica (Fig. 11.24);
- **nitrobactérias** — utilizam a energia química proveniente da oxidação de íons amônio ou de íons nitrito para a síntese de matéria orgânica. As nitrobactérias ou bactérias nitrificantes (gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) existem livres no solo e são de grande importância no ciclo do nitrogênio, como já discutimos na unidade anterior;
- **sulfobactérias** — utilizam energia proveniente da oxidação de  $H_2S$ , como fazem as bactérias quimiossintetizantes das fontes termais submarinas.

Podemos representar a equação química desse processo do seguinte modo:



Figura 11.24. Fotografia de parte de um navio naufragado. A crosta esbranquiçada que cobre as superfícies ferrosas é formada por bactérias que obtêm sua energia a partir da oxidação do ferro.

## 5. Respiração

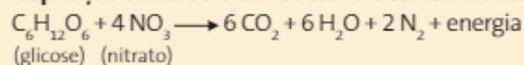
Quando se fala de mecanismos intracelulares, a palavra **respiração** é empregada em todo processo de síntese de ATP que envolve a cadeia respiratória.

São dois os tipos de respiração:

- a **anaeróbia**, em que o aceptor (substância que recebe) final de hidrogênios na cadeia respiratória não é o oxigênio, mas outra substância, como o sulfato e o nitrato;
- a **aeróbia**, em que o aceptor final de hidrogênios na cadeia respiratória é o oxigênio.

Realizam respiração anaeróbia bactérias desnitrificantes do solo, como a *Pseudomonas denitrificans*. Elas participam do ciclo do nitrogênio, devolvendo à atmosfera o  $N_2$ . Como as bactérias só realizam esse processo na ausência de  $O_2$ , a desnitrificação ocorre em regiões onde a taxa de  $O_2$  é reduzida ou nula, como nos pântanos.

### Respiração anaeróbia em bactéria desnitrificante

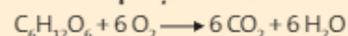


A respiração aeróbia é realizada por muitos procariontes, protistas e fungos e por plantas e animais. Será nela que deteremos nossa atenção.

Estudaremos as reações que ocorrem na respiração aeróbia considerando a glicose como matéria orgânica a ser degradada.

A equação geral da respiração aeróbia é:

### Respiração aeróbia



Pode-se considerar a respiração como um processo realizado em quatro etapas integradas: glicólise, formação de acetil-CoA, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.

A glicólise não depende do gás oxigênio para ocorrer, mas as outras etapas dependem, direta ou indiretamente, desse gás.

Nos procariontes, as três primeiras etapas ocorrem no citoplasma, e a cadeia respiratória ocorre associada à face da membrana plasmática voltada para o citoplasma. Já nos eucariontes, somente a glicólise ocorre no citosol, e as demais acontecem no interior das mitocôndrias, organelas ausentes nos procariontes. Vamos nos deter na respiração em eucariontes (Fig. 11.25).

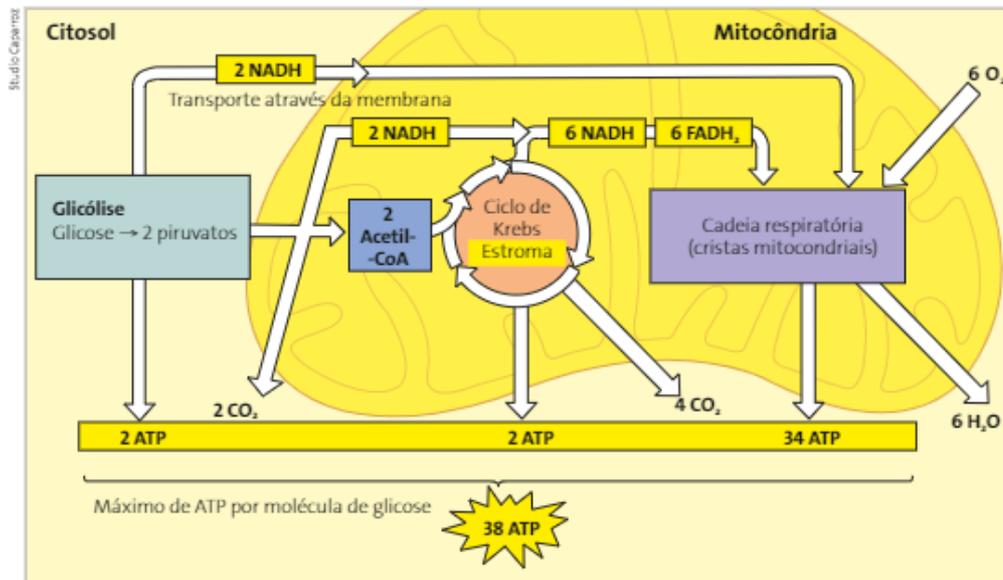


Figura 11.25. Visão geral das etapas da respiração aeróbia. Esquema da mitocôndria vista em corte para mostrar a localização das etapas da respiração que ocorrem em seu interior. (Cores fantasia.)

## 5.1. Glicólise

Na glicólise (Fig. 11.26), cada molécula de glicose é desdobrada em dois piruvatos (formados por três carbonos – 3 C), com liberação de hidrogênio e energia, por meio de várias reações químicas.

O hidrogênio combina-se com moléculas transportadoras de hidrogênio ( $\text{NAD}^+$ ), formando  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . A energia liberada é usada para a síntese de ATP, resultando, no final do processo, um saldo de 2 ATP.

O piruvato formado na glicólise é um composto-chave no metabolismo celular, pois pode ser utilizado tanto nos processos aeróbios como nos anaeróbios. O principal fator determinante de qual via o piruvato vai seguir é o oxigênio. Na presença desse gás, o piruvato é degradado em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  na respiração. Na ausência, é parcialmente degradado nos processos de fermentação.

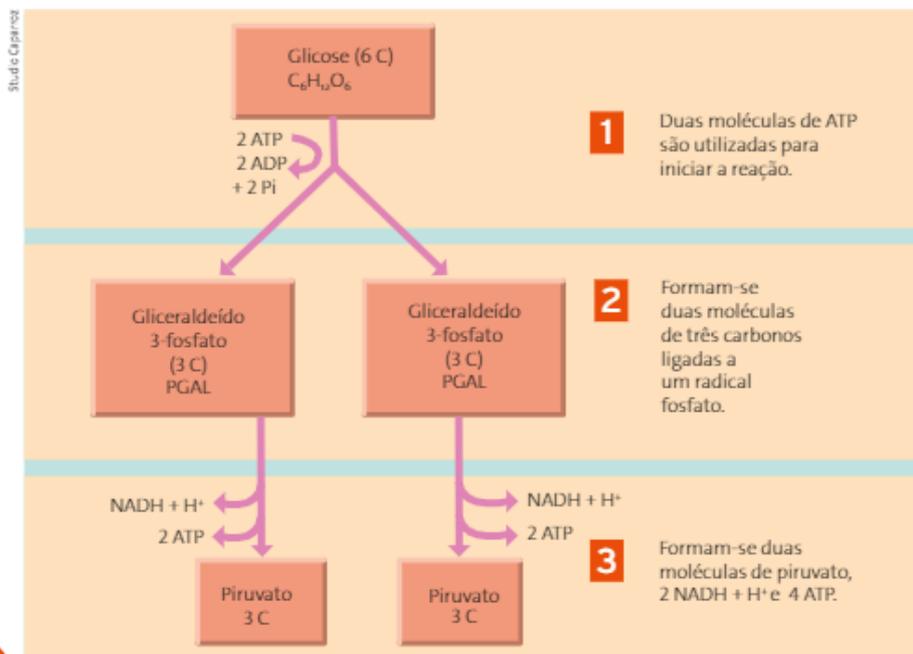


Figura 11.26. Esquema simplificado da glicólise. O saldo em ATP é de 2 moléculas.

## 5.2. Formação de acetil-CoA e ciclo de Krebs

Na respiração, o piruvato formado na glicólise penetra na matriz mitocondrial e é transformado em acetil (molécula com dois carbonos – 2 C), havendo liberação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e de hidrogênio (H).

O acetil combina-se com uma substância denominada coenzima A (CoA), formando o acetil-coenzima A (acetil-CoA), que entra no ciclo de Krebs (Fig. 11.27).

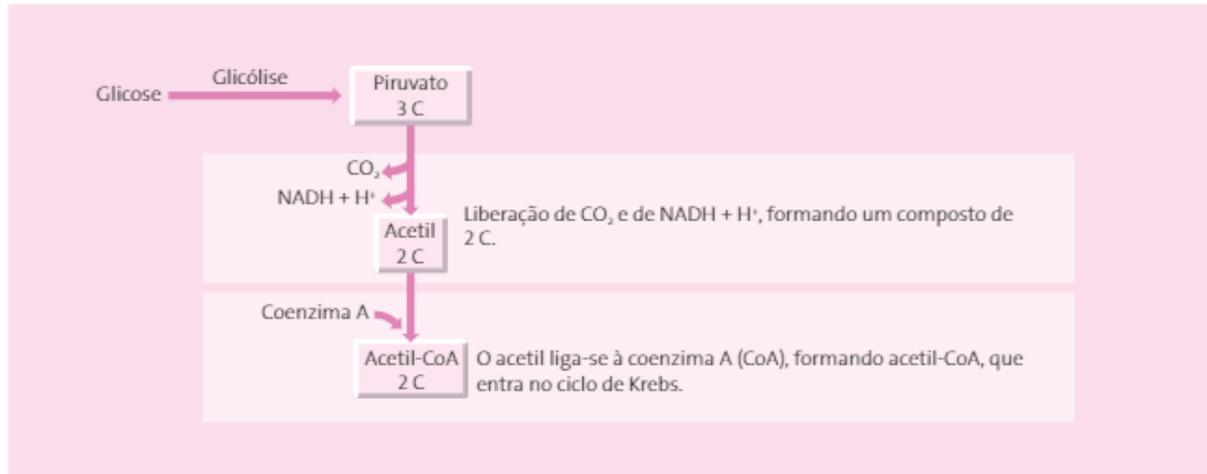


Figura 11.27. Esquema da formação de acetil-CoA.

O ciclo de Krebs foi elucidado por Hans Adolf **Krebs**, que, em função disso, recebeu o Prêmio Nobel de Fisiologia em 1953.

O ciclo de Krebs é também chamado ciclo do ácido cítrico ou ciclo dos ácidos tricarbóxicos e está esquematizado de forma simplificada na figura 11.28. Analise-o.

Nesse ciclo são liberados  $\text{CO}_2$ , ATP,  $\text{NADH} + \text{H}^+$  e  $\text{FADH}_2$ .

Todo o gás carbônico liberado na respiração provém da formação de acetil e do ciclo de Krebs.

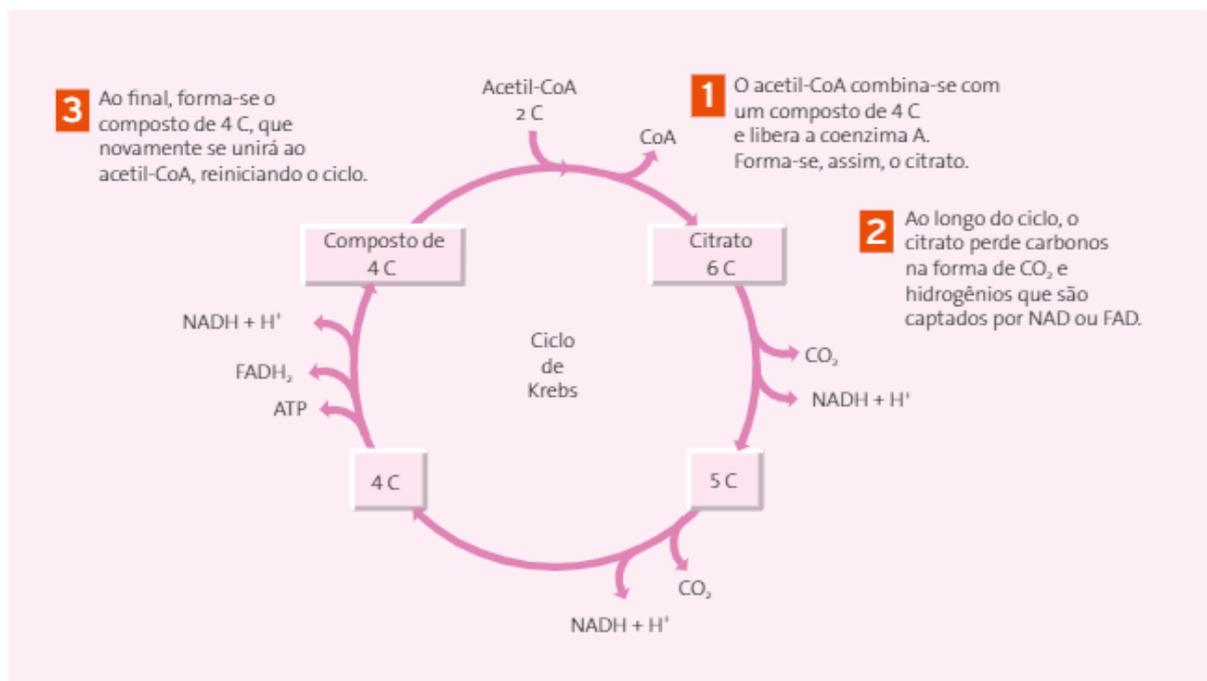


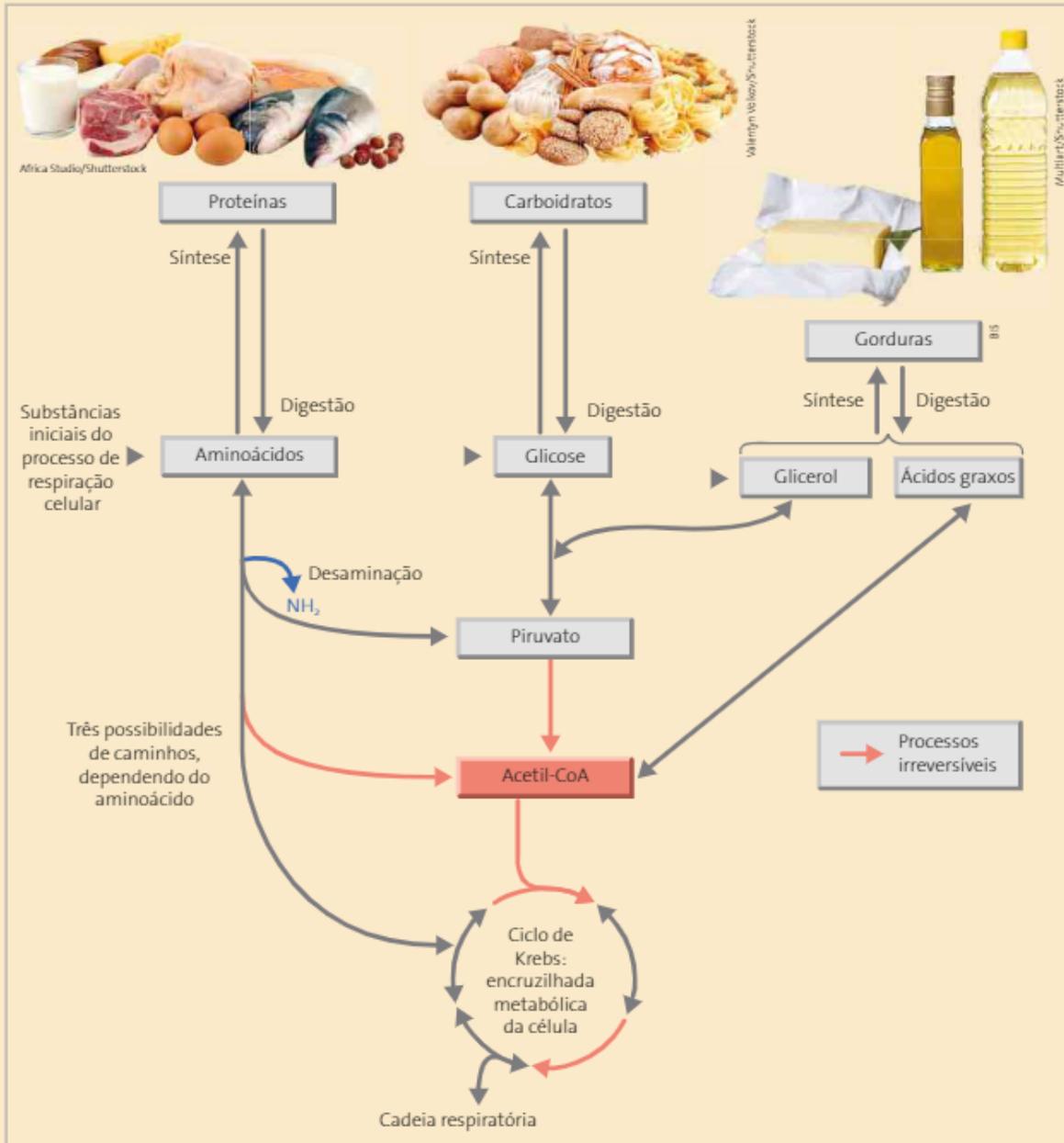
Figura 11.28. Esquema do ciclo de Krebs.

## Colocando em foco

### CICLO DE KREBS, A GRANDE ENCRUZILHADA METABÓLICA DA CÉLULA

#### O catabolismo de outras moléculas

Ao longo deste capítulo, vimos que a glicose é usada como combustível para a respiração celular. Entretanto, aminoácidos, glicerol e ácidos graxos também podem participar desse processo, como mostra de forma simplificada a **figura 11.29**.



^ **Figura 11.29.** Esquema de processo de respiração celular tendo proteínas, carboidratos e gorduras como combustível.

A digestão dos carboidratos no sistema digestório produz monossacarídeos, entre eles a glicose. Depois que ocorre a absorção, as células recebem esses monossacarídeos.

Parte da glicose entra no processo de respiração celular e parte fica estocada nas células sob a forma do polissacarídeo glicogênio, armazenado principalmente nas células do fígado e dos músculos. Quando necessário, as células quebram esse glicogênio em moléculas de glicose, que participam da glicólise.

As proteínas também podem ser usadas na respiração como fonte de energia. Após a digestão no sistema digestório, formam-se várias moléculas de aminoácidos, que depois de absorvidos são levados até as células e usados para sintetizar outras proteínas. Os aminoácidos em excesso são convertidos por ação enzimática em piruvato ou em produtos intermediários do ciclo de Krebs. Em todos os casos, antes de o aminoácido entrar na respiração sempre ocorre a remoção do grupo amino ( $\text{NH}_2$ ), processo denominado **desaminação**. Esse grupo amino é eliminado do corpo como componente da urina, sob a forma de excreta nitrogenada: ureia, amônia ou ácido úrico.

As gorduras, após a digestão, são transformadas em ácidos graxos e glicerol. Depois que ocorre a absorção, o glicerol é convertido em um produto intermediário da glicólise e entra no processo de respiração. Os ácidos graxos podem ser quebrados pela ação de enzimas dos peroxissomos e formar uma substância que entra no ciclo de Krebs.

A degradação da gordura na respiração produz mais energia do que a degradação de outras substâncias. Por exemplo, 1 grama de gordura na respiração produz mais ATP do que 1 grama de carboidrato ou de proteína.

Com base na **figura 11.29** e analisando as reações reversíveis e as irreversíveis, é possível notar que:

- as proteínas ingeridas na alimentação podem ser convertidas em carboidratos e ácidos graxos;
- os carboidratos podem ser convertidos em ácidos graxos;
- os ácidos graxos não podem ser transformados em nenhum dos outros nutrientes;
- os carboidratos não podem ser transformados em proteínas; apesar de o piruvato poder dar origem a alguns aminoácidos, na ausência de apenas um dos aminoácidos componentes de uma proteína, sua síntese é inviável.

Esses dados reforçam a importância das proteínas na alimentação. As células não conseguem armazenar proteínas como substância de reserva, embora consigam armazenar carboidratos ou lipídios, utilizando-os quando necessário. Além disso, as proteínas precisam ser ingeridas como fonte de aminoácidos para a síntese proteica.

*Professor(a), optamos por não abordar a síntese do ATP, tanto na fotossíntese como aqui, por considerarmos que esse tema é complexo demais para esse nível de escolaridade e para os objetivos do novo Ensino Médio.*

### 5.3. Cadeia respiratória

A cadeia respiratória ocorre associada às cristas mitocondriais. Por meio desse processo, há transferência de hidrogênios transportados pelo  $\text{NAD}^+$  e pelo FAD para o gás oxigênio formando água e produzindo ATP.

O oxigênio é o aceptor final de hidrogênios e participa diretamente apenas da última etapa da cadeia respiratória. Apesar disso, é um reagente fundamental para que a respiração ocorra, pois todas as demais reações da respiração que ocorrem dentro da mitocôndria cessam na sua ausência. Sem oxigênio, alguns organismos e mesmo células do tecido muscular esquelético humano continuam a realizar glicólise, desviando o metabolismo para a fermentação.

Nas transferências de hidrogênios ao longo da cadeia respiratória, há liberação de elétrons excitados, que vão sendo captados por transportadores intermediários, dentre eles os **citocromos**. Da mesma ma-

neira como vimos para a fotossíntese, os complexos-citocromo participam de um complexo mecanismo que resulta na síntese de ATP.

Cada NADH libera energia para formar 3 moléculas de ATP, e cada  $\text{FADH}_2$  libera energia para formar 2 moléculas de ATP. Como são formados 10 NADH e 2  $\text{FADH}_2$  nas etapas anteriores da respiração, teremos o total de 34 ATP formados na cadeia respiratória.

Como o saldo energético da glicólise é de duas moléculas de ATP e o do ciclo de Krebs também, o saldo energético final da respiração na quebra de cada molécula de glicose é de 38 moléculas de ATP.

Entretanto, em certas células eucarióticas, como as da musculatura esquelética humana e provavelmente as do cérebro, o saldo energético da respiração por molécula de glicose degradada é de 36 ATP. Isso ocorre em função de um mecanismo relacionado à entrada do

NADH na mitocôndria, em que há gasto de 1 ATP por NADH. Como são 2 NADH produzidos na glicólise por molécula de glicose, o gasto total é de 2 ATP.

Desse modo, dependendo do tipo de célula eucariótica, o saldo total de ATP na respiração aeróbia pode ser de 36 ou 38 ATP (Fig. 11.30).

Nos procariontes, como não há mitocôndrias, o processo inteiro da respiração ocorre no citoplasma e na face citoplasmática da membrana celular. Nesse caso, o rendimento energético total da respiração é de 38 moléculas de ATP para cada molécula de glicose degradada.

Visão geral do processo respiratório Resumo do saldo em ATP	
Etapa	Saldo em ATP
Glicólise	2
Ciclo de Krebs	2
Cadeia respiratória e fosforilação oxidativa	32 ou 34
<b>Total</b>	<b>36 ou 38</b>

Figura 11.30. Quadro com saldo em ATP nas etapas do processo respiratório.

## 6. Fermentação

A fermentação é um processo anaeróbio (não utiliza gás oxigênio) de síntese de ATP e não envolve cadeia respiratória. Na fermentação, o aceptor final de hidrogênios é um composto orgânico.

Algumas bactérias realizam só a fermentação, enquanto outras realizam só a respiração anaeróbia. Para algumas bactérias anaeróbias, o gás oxigênio é letal, e elas só ocorrem em ambientes muito particulares, como solos profundos e regiões onde o teor de  $O_2$  é praticamente zero. Esses organismos são chamados anaeróbios estritos. Um exemplo é o bacilo causador do tétano (*Clostridium tetani*).

Há, no entanto, seres anaeróbios facultativos, que realizam a fermentação na ausência de  $O_2$  e a respiração aeróbia na presença desse gás. É o caso de certos fungos, como *Saccharomyces cerevisiae* (levedura), e de muitas bactérias.

Na fermentação, a glicose é degradada parcialmente, na ausência de oxigênio, em substâncias orgânicas mais simples, como o ácido láctico (**fermentação**

Apesar de esses valores serem os mais tradicionalmente aceitos como rendimento da respiração, estudos recentes indicam que eles podem não ser definitivos. Outras medidas, que têm sido consideradas mais precisas, vêm demonstrando que na oxidação são necessários 2 NADH para formar 5 ATP e 2  $FADH_2$  para formar 3 ATP na cadeia respiratória, o que dá apenas 2,5 ATP por NADH e 1,5 ATP por  $FADH_2$ .

Com esses novos dados, o total modifica-se, como calculado a seguir:

No citosol (glicólise):

- 2 NADH  $\rightarrow$  5 ATP, sendo que 2 ATP podem ser usados na entrada desses NADH na mitocôndria
- 2 ATP formados diretamente

**Saldo: 5 ou 7 ATP**

Na mitocôndria (formação de acetil-CoA e ciclo de Krebs):

- 8 NADH  $\rightarrow$  20 ATP
- 2  $FADH_2$   $\rightarrow$  3 ATP
- 2 ATP

**Saldo: 25 ATP**

Assim sendo, o total de moléculas de ATP produzidas por molécula de glicose degradada poderá ser de 30 ou 32.

**lática**) e o álcool etílico (**fermentação alcoólica**). Nesses processos, há um saldo de apenas 2 moléculas de ATP por molécula de glicose degradada. Portanto, o ganho energético é maior na respiração aeróbia do que na fermentação.

A fermentação ocorre no citosol. Inicialmente acontece a glicólise, quando a molécula de glicose é degradada em dois piruvatos, cada um com três carbonos, com saldo de 2 ATP. Essa etapa é comum tanto para a fermentação como para a respiração.

### 6.1. Fermentação láctica

Na fermentação láctica, o piruvato é transformado em ácido láctico pela utilização de íons hidrogênio transportados pelos NADH formados na glicólise. Não há liberação de  $CO_2$ .

A fermentação láctica é realizada por algumas bactérias, alguns protozoários e fungos e por células do tecido muscular humano.

Quando uma pessoa realiza atividade física muito intensa, há insuficiência de gás oxigênio para manter a respiração celular nos músculos e liberar a energia necessária. Nesses casos, as células degradam anaerobiamente a glicose em ácido lático. Cessada a atividade física, o ácido lático formado é transformado novamente em piruvato, que continua a ser degradado pelo processo aeróbio (Fig. 11.31).

A indústria alimentícia emprega a atividade de fermentação láctica das bactérias na produção de vários alimentos, como queijos, coalhadas e iogurtes.

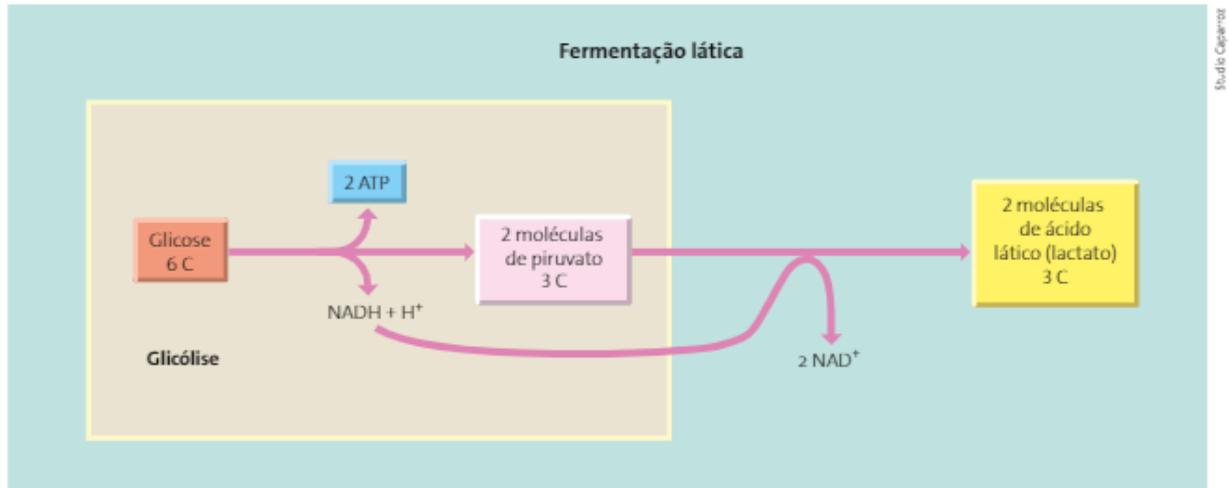


Figura 11.31. Esquema de fermentação láctica.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas a sugestão de atividade extra intitulada "Fermentação de carboidrato por *Saccharomyces cerevisiae* – liberação de CO<sub>2</sub>", que pode ser realizada neste momento.

## 6.2. Fermentação alcoólica

Na fermentação alcoólica, inicialmente o piruvato libera uma molécula de CO<sub>2</sub>, formando um composto com dois carbonos que sofre redução pelo NADH, originando álcool etílico (Fig. 11.32).

A fermentação alcoólica ocorre principalmente em bactérias e leveduras. Entre as leveduras, que são fungos microscópicos, a espécie *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada na produção de bebidas alcoólicas. Esse levedo transforma suco de uva em vinho e suco de cevada em cerveja. O suco de cana-de-açúcar fermentado e destilado produz o álcool etílico (etanol), usado como combustível ou na produção de aguardente.

O levedo também é empregado para fazer pão. Nesse caso, o CO<sub>2</sub> produzido por fermentação fica armazenado no interior da massa, em pequenas câmaras, fazendo-a crescer. Ao assar a massa, as paredes dessas câmaras se enrijecem, mantendo a estrutura alveolar.

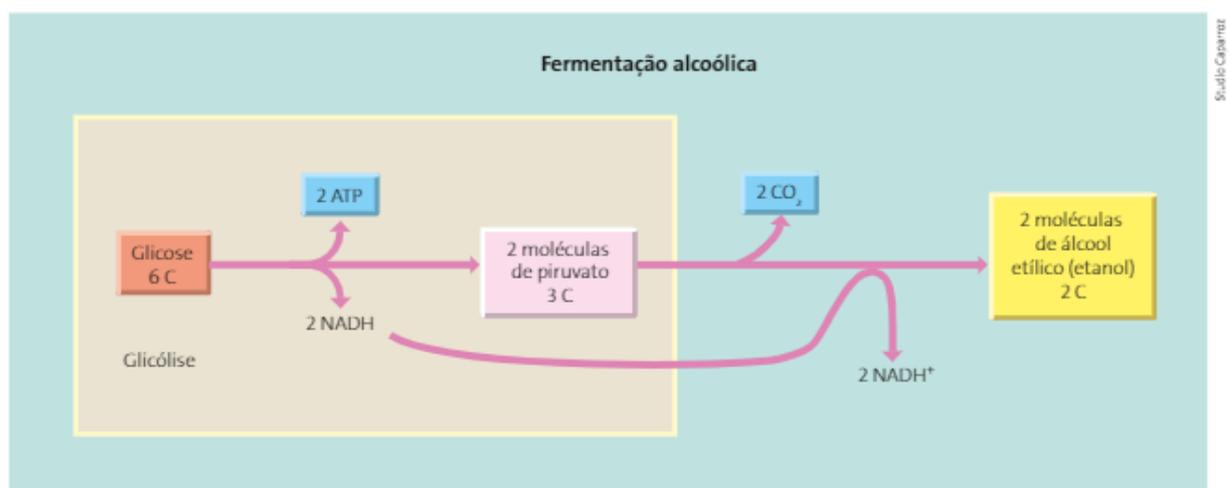


Figura 11.32. Esquema de fermentação alcoólica.



## Tema para discussão

Professor(a): 1. Há possibilidade de se trabalhar noções de cidadania e despertar nos estudantes o interesse de divulgar conhecimentos, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e as condições humanas em sua comunidade, sobre a importância da atividade física orientada para se ter uma vida saudável. Estimule-os a elaborar algum material de divulgação, como folhetos. 2. Veja nas Orientações didáticas sugestões de como trabalhar esse tema com a disciplina de Educação Física.

### Como adquirir um bom condicionamento físico

Você já deve ter ouvido falar que fazer ginástica é saudável e importante para nossa saúde física e mental. Vamos ver fisiologicamente por quê.

Para melhorar nosso condicionamento físico sem causar danos ao corpo, devemos aumentar gradual e progressivamente a intensidade, a frequência e a duração de uma atividade física. Não devemos iniciar um programa de atividade física fazendo muito esforço de uma só vez.

Toda ginástica deve ser praticada sob orientação de profissionais capacitados, caso contrário a atividade física pode ser prejudicial à saúde, e não benéfica.

Com um programa bem orientado, verifica-se um aumento da capacidade do corpo em utilizar o gás oxigênio para queimar o glicogênio das células musculares. Com isso, aos poucos, a pessoa vai conseguindo executar a atividade física com mais eficiência.

Esse aumento na capacidade de utilizar o oxigênio está relacionado principalmente a dois fatores:

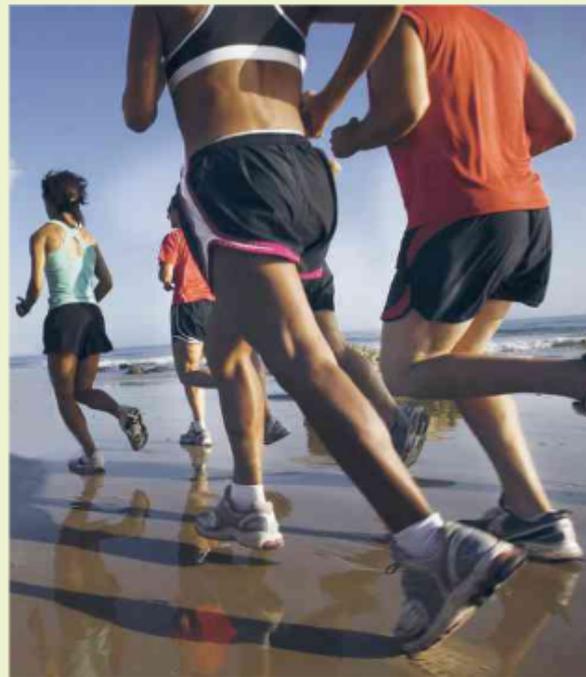
1. O coração passa a bombear mais sangue por minuto. Isso é conseguido porque há aumento na quantidade de sangue que é bombeada em cada contração do coração. Pessoas com bom condicionamento físico, quando estão em repouso, apresentam frequência de batimentos cardíacos menor do que a de pessoas que não costumam praticar atividade física. Atletas maratonistas, por exemplo, apresentam, em média, 45 pulsações por minuto quando em repouso, enquanto a média na população não treinada é de 70 pulsações por minuto. Essas pessoas bem treinadas desenvolveram, ao longo do tempo, a musculatura cardíaca, que se tornou capaz de bombear mais sangue por minuto. Por causa disso, quando estão fazendo atividade física, a pulsação não aumenta tanto quanto a de uma pessoa sedentária que resolve correr sem preparo anterior.
2. Os músculos esqueléticos de uma pessoa treinada são capazes de extrair mais gás oxigênio do sangue. Isso porque com a atividade física as mitocôndrias das células musculares tornam-se mais numerosas e maiores e há aumento da quantidade de mioglobina (proteína capaz de armazenar oxigênio nos músculos) e do número de capilares sanguíneos nos músculos.

Esses fatores atuam em conjunto e nós não conseguimos fazer com que isso tudo ocorra em nosso corpo de uma hora para outra. Por isso, a atividade física deve ser intensificada gradualmente, até que se chegue ao preparo físico desejado.

A atividade física bem orientada contribui para uma vida saudável, pois exerce um forte efeito positivo sobre o coração e os vasos sanguíneos. Além disso, contribui para que se tenha uma vida mais longa e com menos doenças.

A saúde mental também se beneficia da atividade física. Pode parecer contraditório, mas a atividade física relaxa o nosso corpo. Durante os exercícios, há estímulo para aumentar a produção de uma substância chamada endorfina, produzida no sistema nervoso central (na glândula hipófise e em outras regiões do encéfalo). Essa substância atua no nosso corpo diminuindo a dor e nos dando sensação de bem-estar. Os exercícios são recomendados inclusive como um dos tratamentos contra a depressão.

Assim, devemos organizar nossa vida no sentido de praticar esportes, ou qualquer atividade física bem orientada e com regularidade. Só temos a lucrar com isso.



As atividades físicas, como a corrida, devem ser praticadas preferencialmente com orientação de um profissional.

Blendit / Foti / iStock / Zomedia

1. No mundo de hoje, as pessoas estão se tornando cada vez mais sedentárias e, por isso, é fundamental que se esclareça o porquê da recomendação de atividade física. Discuta em classe a importância de essa atividade física ser bem orientada e por que ela contribui para o bem-estar físico e mental de nosso corpo.
2. Como atividade em grupo, elabore materiais de divulgação sobre o tema “condicionamento físico”. Adicione as informações que foram discutidas em classe e conhecimentos adquiridos nas aulas de Educação Física.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.



## Retomando

Neste capítulo, você aprendeu sobre como a energia entra nas cadeias alimentares e como ela é utilizada pelos organismos. Relacione o que você aprendeu aqui com aquilo que já estudou e verifique o que você mudaria nas respostas que deu às questões da seção **Pense nisso** deste capítulo.



## Ampliando e integrando conhecimentos



### Atividade 1 Fotossíntese e mudanças climáticas Habilidades do Enem: H2, H4, H9, H19, H27.

Leia o trecho a seguir, extraído de um artigo publicado na revista *Science* e divulgado pela Agência Fapesp: Professor(a), essa atividade propicia ampla discussão sobre cidadania. Caso seja possível, recomende aos estudantes que ampliem a pesquisa

**Seca ameaça sequestro de carbono na Amazônia** a respeito do tema e apresentem os resultados em um *blog* ou

[...] Durante anos, a Amazônia tem ajudado a reduzir a velocidade das mudanças climáticas, mas confiar nesse “subsídio” da natureza é extremamente perigoso, disse Oliver Phillips, professor da Universidade de Leeds, no Reino Unido, que coordenou o estudo. em rede social, de modo a que possam estender a discussão para outras turmas da escola.

[...] Se o sequestro de carbono realizado pelo planeta diminuir, ou se, em vez de sequestrar carbono as áreas de florestas emitirem, os níveis de dióxido de carbono aumentarão em uma velocidade maior.

O estudo [...] teve como base a extraordinária seca que afetou a Amazônia em 2005 [...].

Normalmente, a floresta absorve quase 2 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano, mas a seca em 2005 causou perda de mais de 3 bilhões de toneladas.

Visualmente, a maior parte da floresta parecia pouco afetada pela seca, mas nossos dados mostram que a taxa de mortalidade de árvores aumentou. Devido à imensa dimensão da região amazônica, mesmo uma pequena alteração ecológica pode provocar um grande impacto no ciclo global do carbono, disse Phillips.

Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/seca\\_ameaca\\_sequestro\\_de\\_carbono\\_na\\_amazonia\\_/10183/](http://agencia.fapesp.br/seca_ameaca_sequestro_de_carbono_na_amazonia_/10183/)>. Acesso em: mar. 2016.

Com base no que foi apresentado e nos seus conhecimentos a respeito do assunto, responda:

- a) O que é sequestro de carbono?
- b) Sugira soluções para reduzir a emissão de gás carbônico na atmosfera.
- c) Como a seca pode afetar as taxas de carbono disponíveis na atmosfera?

### Atividade 2 Mitocôndrias e atividade metabólica Habilidades do Enem: H3, H13, H14.

Acompanhe o trecho extraído da matéria “Mitocôndria, um E.T. na célula”, publicada na revista *Superinteressante*, edição 76, de 1994:

Células mais ativas possuem um número maior de mitocôndrias. As do fígado, por exemplo, que trabalham exaustivamente na degradação de substâncias, possuem até 2000 mitocôndrias, ocupando cerca de um quinto do seu volume. Em média, porém, uma célula tem entre 100 e 150 dessas organelas em seu interior.

Responda:

- a) Por que células mais ativas apresentam mais mitocôndrias?
- b) Por que o título da matéria se refere à mitocôndria como um E.T. na célula?

### Atividade 3 Fermentação e combustível renovável Habilidades do Enem: H2, H8, H9, H10, H12, H25, H26, H29.

A adição de álcool proveniente da cana-de-açúcar na gasolina teve início na segunda metade do século passado, com o lançamento do Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool). Com isso, o Brasil tornou-se pioneiro no uso de combustíveis renováveis.

Atualmente, o uso do etanol como combustível vem sendo amplamente discutido em todo o mundo, pois esse tipo de energia é, de certa forma, considerado limpo. Isso se deve ao fato de a produção de álcool não disponibilizar o carbono – que já estava no subsolo há milhões de anos – para a atmosfera. Desse modo, a utilização desse combustível evita um incremento na acumulação de gases do efeito estufa.

Responda:

- A produção do etanol envolve processos extremamente importantes. Faça um esquema em seu caderno indicando esses processos e a participação do carbono em cada um deles.
- De que maneira o carbono, presente no subsolo há milhões de anos, é disponibilizado na atmosfera? O texto faz referência a que tipo de combustível?
- Embora a produção do etanol proporcione os benefícios já comentados, estima-se que exista um grande viés ambiental associado às produções em larga escala. Que viés é esse? Comente.

*Professor(a), o item c dessa atividade propicia ampla discussão sobre cidadania e ética. Caso seja possível, recomende aos estudantes que pesquisem sobre o tema e coloquem os resultados, assim como suas opiniões, em um blog ou em rede social.*

### Atividade 4 Amido e fotossíntese

Habilidades do Enem: H1, H8, H15, H22, H29.

Um estudante de Biologia montou um experimento para comprovar a relação entre o comprimento de onda da luz e a fotossíntese. Selecionou três plantas envasadas da mesma espécie e idade. Cada uma foi colocada dentro de uma pequena estufa, com condições idênticas de umidade e concentração de gases. Na estufa 1, a planta foi exposta à luz branca; na estufa 2, a planta foi exposta à luz vermelha, com uso de uma lâmpada especial; na estufa 3, a luz emitida pela lâmpada era verde. Depois de alguns dias, o estudante analisou a quantidade de amido armazenado nas folhas das três plantas. Responda:

- O procedimento de analisar a quantidade de amido nas folhas é válido para avaliar a taxa de fotossíntese? Por quê?
- Qual pode ter sido a hipótese elaborada pelo estudante antes de montar o experimento?
- Se você fosse o estudante, que resultados esperaria observar? Justifique sua resposta.

## Testes

- (Enem) A fotossíntese é importante para a vida na Terra. Nos cloroplastos dos organismos fotossintetizantes, a energia solar é convertida em energia química que, juntamente com água e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), é utilizada para a síntese de compostos orgânicos (carboidratos). A fotossíntese é o único processo de importância biológica capaz de realizar essa conversão. Todos os organismos, incluindo os produtores, aproveitam a energia armazenada nos carboidratos para impulsionar os processos celulares, liberando  $\text{CO}_2$  para a atmosfera e água para a célula por meio da respiração celular. Além disso, grande fração dos recursos energéticos do planeta, produzidos tanto no presente (biomassa) como em tempos remotos (combustível fóssil), é resultante da atividade fotossintética.

As informações sobre obtenção e transformação dos recursos naturais por meio dos processos

vitais de fotossíntese e respiração, descritas no texto, permitem concluir que:

- o  $\text{CO}_2$  e a água são moléculas de alto teor energético.
  - os carboidratos convertem energia solar em energia química.
  - a vida na Terra depende, em última análise, da energia proveniente do Sol.
  - o processo respiratório é responsável pela retirada de carbono da atmosfera.
  - a produção de biomassa e de combustível fóssil, por si, é responsável pelo aumento de  $\text{CO}_2$  atmosférico.
- (Enem) Considere a situação em que foram realizados dois experimentos, designados de experimentos **A** e **B**, com dois tipos celulares, denominados células **1** e **2**. No experimento **A**, as

células **1** e **2** foram colocadas em uma solução aquosa contendo cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e glicose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), com baixa concentração de oxigênio. No experimento **B** foi fornecida às células **1** e **2** a mesma solução, porém com alta concentração de oxigênio, semelhante à atmosférica. Ao final do experimento, mediu-se a concentração de glicose na solução extracelular em cada uma das quatro situações. Este experimento está representado no quadro a seguir. Foi observado no experimento **A** que a concentração de glicose na solução que banhava as células **1** era maior que a da solução contendo as células **2** e esta era menor que a concentração inicial. No experimento **B**, foi observado que a concentração de glicose na solução das células **1** era igual à das células **2** e esta era idêntica à observada no experimento **A**, para as células **2**, ao final do experimento.

Experimento A		Experimento B	
Células 1	Células 2	Células 1	Células 2
NaCl e glicose Baixa concentração de oxigênio		NaCl e glicose Alta concentração de oxigênio	

Pela interpretação do experimento descrito, pode-se observar que o metabolismo das células estudadas está relacionado às condições empregadas no experimento, visto que as

- x a) células 1 realizam metabolismo aeróbio.
  - b) células 1 são incapazes de consumir glicose.
  - c) células 2 consomem mais oxigênio que as células 1.
  - d) células 2 têm maior demanda de energia que as células 1.
  - e) células 1 e 2 obtiveram energia a partir de substratos diferentes.
3. (Enem) Há milhares de anos o homem faz uso da biotecnologia para a produção de alimentos como pães, cervejas e vinhos. Na fabricação de pães, por exemplo, são usados fungos unicelulares, chamados de leveduras, que são comercializados como fermento biológico. Eles são usados para promover o crescimento da massa, deixando-a leve e macia. O crescimento da massa do pão pelo processo citado é resultante da:
- x a) liberação de gás carbônico.
  - b) formação de ácido láctico.
  - c) formação de água.
  - d) produção de ATP.
  - e) liberação de calor.

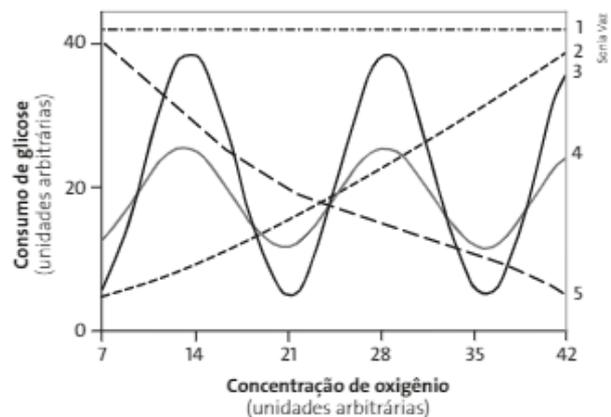
4. (Ufes) Quando se fala em fluxo de energia no interior de uma célula, algumas moléculas como a glicose e o ATP (trifosfato de adenosina) têm papel de destaque. Considerem-se as seguintes afirmativas.

- I. A incorporação do fosfato inorgânico ao ADP (difosfato de adenosina), com consumo de oxigênio e armazenamento da energia proveniente da degradação de moléculas orgânicas, chama-se fosforilação oxidativa.
- II. Na realização de trabalho celular, a energia vem da hidrólise do ATP, que resulta em ADP e fosfato inorgânico.
- III. No processo de fotofosforilação, a energia liberada pelos elétrons excitados por fótons de luz permite a incorporação do fosfato inorgânico ao ADP produzindo ATP.

Conclui-se que:

- a) apenas I e II estão corretas.
- b) apenas I e III estão corretas.
- c) apenas II e III estão corretas.
- d) apenas II está correta.
- x e) I, II e III estão corretas.

5. (Enem) Normalmente, as células do organismo humano realizam a respiração aeróbica, na qual o consumo de uma molécula de glicose gera 38 moléculas de ATP. Contudo em condições anaeróbicas, o consumo de uma molécula de glicose pelas células é capaz de gerar apenas duas moléculas de ATP.



Qual curva representa o perfil de consumo de glicose, para manutenção da homeostase de uma célula que inicialmente está em uma condição anaeróbica e é submetida a um aumento gradual de concentração de oxigênio?

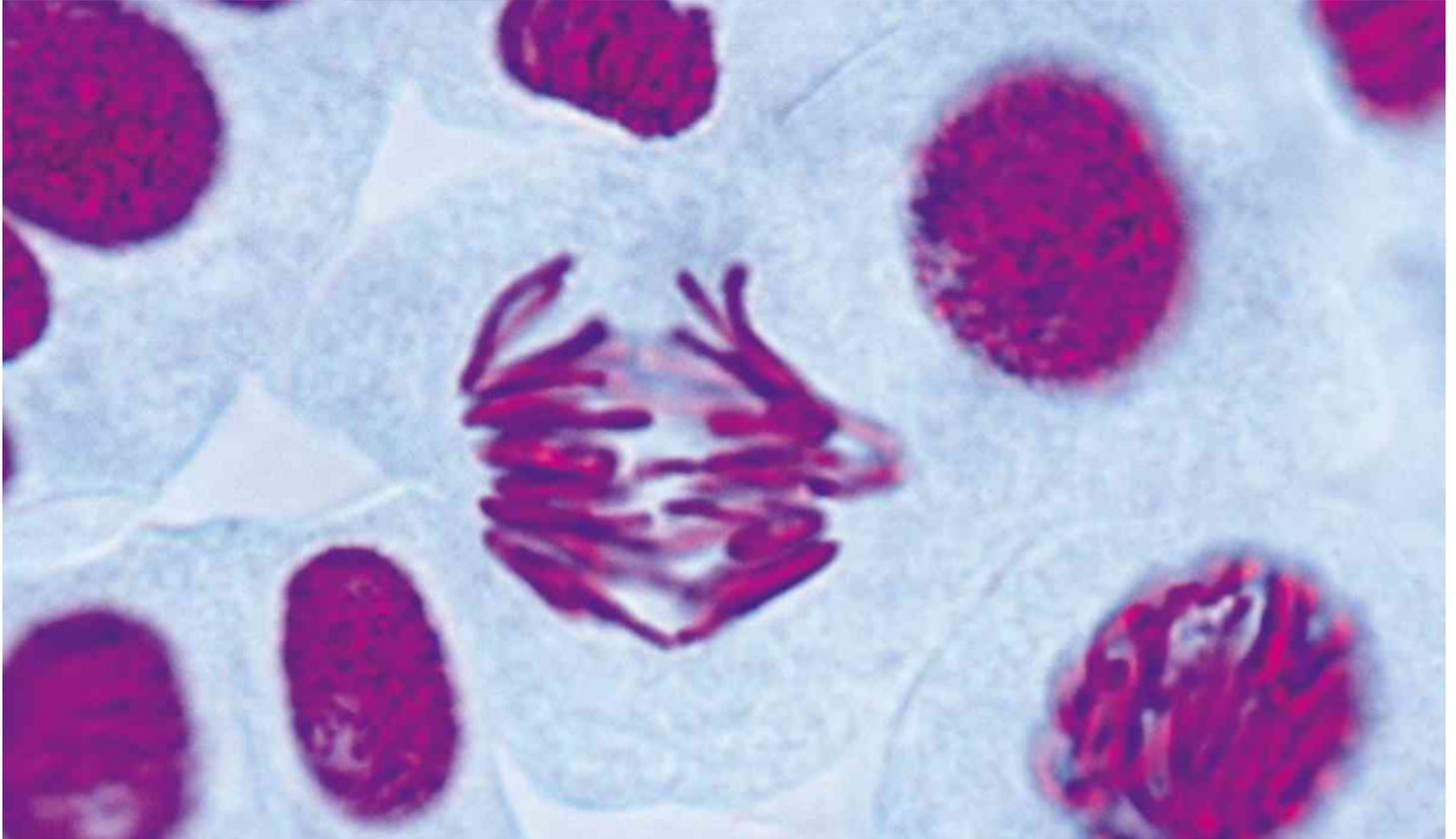
- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- x e) 5

## CAPÍTULO

## 12

## Núcleo, divisões celulares e reprodução

Ed Reschke/Oxford Scientific/Getty Images



**Figura 12.1.** Entender a estrutura do núcleo e como os processos de divisão celular ocorrem nos eucariontes fornece os princípios básicos da perpetuação desses organismos. Todos dependem da reprodução, seja assexuada ou sexuada. Além disso, os multicelulares dependem da divisão celular para o crescimento e a reposição das células que morrem naturalmente. Essa fotomicrografia colorida artificialmente mostra, na célula central em destaque, o momento quase final da divisão de uma célula de raiz de cebola em duas células-filhas, que têm o mesmo material genético da célula inicial. Nesta imagem, notam-se os cromossomos, condensados, em processo de separação, migrando para lados opostos da célula. Fotomicrografia de células de cebola, ampliação de cerca de 3 500 vezes.



## Pense nisso

- As células eucarióticas possuem membrana, citoplasma e núcleo. Sabendo que muitas das situações que ocorrem no citoplasma provêm de informações que estão no núcleo, elabore um modelo que explique a comunicação do núcleo com o citoplasma.
- Cada espécie possui um número típico de pares de cromossomos em suas células. Na espécie humana, esse número é de 23 pares ou 46 cromossomos. Quantos cromossomos temos em uma célula do nosso fígado? E do cérebro? E em um gameta?
- Elabore um modelo para mostrar como uma célula se divide, explicando o que acontece com o núcleo.

# 1. Núcleo

O núcleo é uma estrutura presente nas células eucarióticas e é constituído pelo envelope nuclear (ou carioteca), pelo nucleoplasma, pela cromatina e pelo nucléolo. Geralmente, o núcleo é arredondado, mas existem núcleos com outras formas. De maneira geral, o formato do núcleo é relativamente constante para cada tipo de célula. A maioria das células eucarióticas é mononucleada (apresenta apenas um núcleo), mas existem células binucleadas, multinucleadas e até mesmo anucleadas (Fig. 12.2).

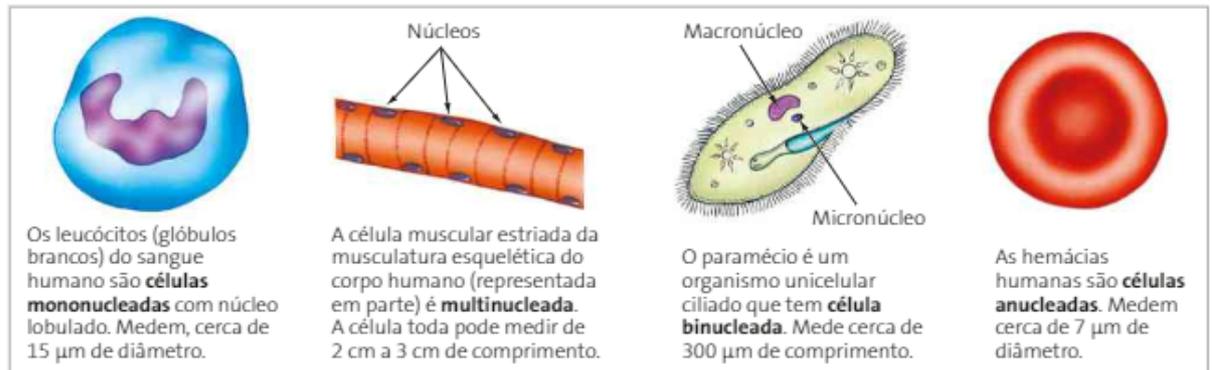


Figura 12.2. Esquema de quatro tipos celulares. O formato, o tamanho e o número de núcleos são características que variam nos diferentes tipos de célula. No caso da célula muscular, representou-se apenas um segmento dela. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



## Despertando ideias

REGISTRE NO CADERNO

### A importância do núcleo

Analise os dois experimentos a seguir, que visam demonstrar o papel do núcleo.

**Experimento 1:** uma alga marinha unicelular do gênero *Acetabularia* é cortada em duas partes: a parte que ficou com o núcleo cresce e regenera o pedaço que foi cortado. Já a parte que ficou sem núcleo acaba morrendo (Fig. 12.3).

**Experimento 2:** uma ameba, organismo unicelular, tem parte de seu citoplasma cortado. Uma parte da célula fica com o núcleo e a outra, sem o núcleo. A que ficou com o núcleo cresce e se divide e a outra vive um curto período de tempo, não cresce e morre (Fig. 12.4).

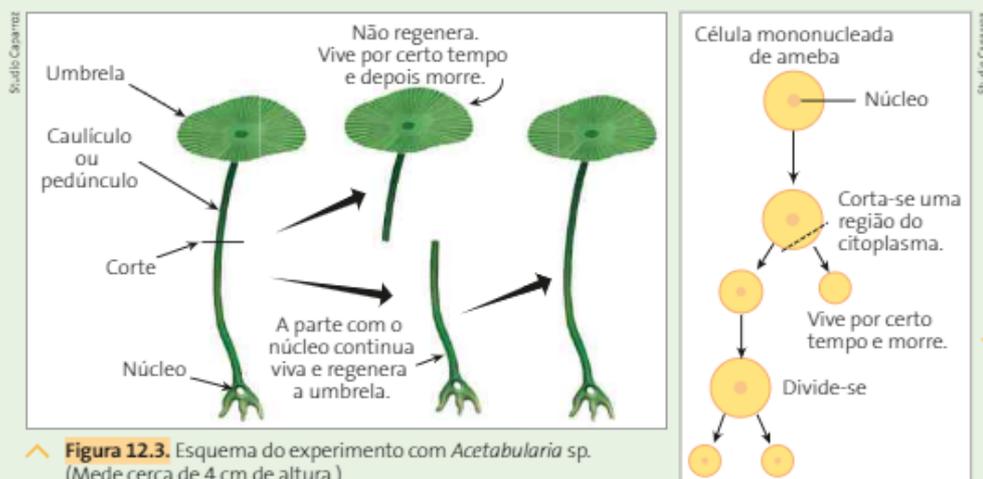


Figura 12.3. Esquema do experimento com *Acetabularia* sp. (Mede cerca de 4 cm de altura.)

Figura 12.4. Esquema do experimento com ameba (mede cerca de 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro). (Cores fantasia.)

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Com base nesses experimentos, o que se pode dizer sobre a importância do núcleo para a célula?
2. Com base em sua resposta, escreva uma sentença sobre a importância do núcleo para as células.

As células anucleadas vivem por um certo tempo e não se dividem, pois no núcleo está o material genético (DNA), responsável pelo comando das atividades vitais e pela reprodução. As hemácias, por exemplo, não se dividem e morrem depois de cerca de 120 dias no sangue. A reposição das hemácias é feita a partir da divisão de células nucleadas da medula óssea vermelha. Essas células perdem o núcleo, dando origem às hemácias.

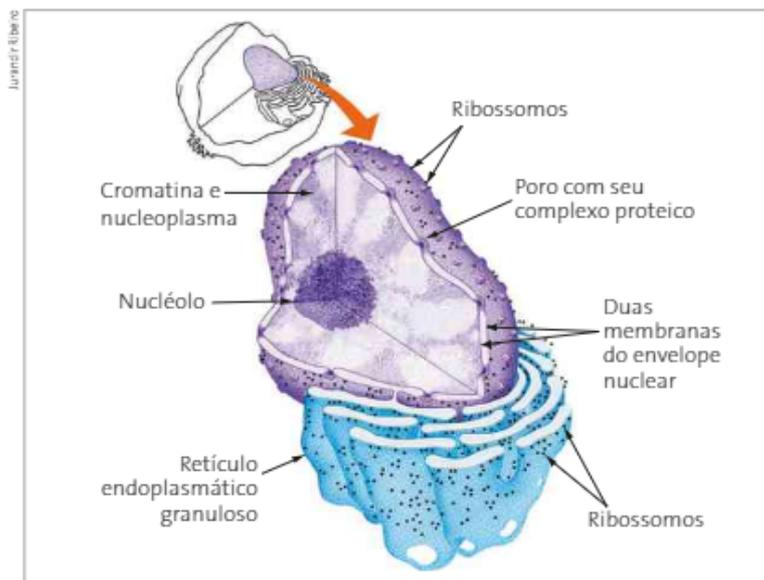
Além de comandar o processo de divisão celular, o núcleo é responsável também por coordenar todas as demais funções celulares.

## 2. Envelope nuclear

O envelope nuclear, também chamado de carioteca ou envoltório nuclear, separa o material nuclear do citoplasma (Fig. 12.5). É formado por duas membranas lipoproteicas, cada uma delas com organização estrutural semelhante à das demais membranas celulares. Entre essas membranas existe um espaço denominado **espaço perinuclear**.

A membrana externa do envelope nuclear conecta-se ao retículo endoplasmático granuloso e, como ele, apresenta ribossomos aderidos em sua superfície.

O envelope nuclear apresenta **poros** ou *annuli*, delimitando espaços através dos quais ocorrem trocas de substâncias entre núcleo e citoplasma. Em cada poro há um complexo de proteínas que regula a entrada e a saída de substâncias, de modo que há controle sobre o que entra e o que sai do núcleo.



< **Figura 12.5.** Esquema de célula animal com parte da célula removida, destacando o núcleo, o nucléolo e o envelope nuclear. Em azul, está representado o retículo endoplasmático granuloso. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 3. Nucleoplasma e cromatina

O **nucleoplasma** é constituído de substâncias (íons, vários tipos de enzimas, moléculas de ATP) dissolvidas em água.

O termo **cromatina** é derivado do grego *chroma*, que significa cor, e foi empregado logo no início do estudo das células, quando os cientistas verificaram que o núcleo se tingia com determinados tipos de corantes básicos. Hoje se sabe que a cromatina consiste em DNA associado a proteínas histonas (núcleo-proteínas) e é o material que forma cada um dos **cromossomos**.

Ao longo das moléculas de DNA estão os genes, responsáveis pelas características hereditárias. Cada gene é transcrito em moléculas de RNA que passam

pelos poros do envelope nuclear para o citoplasma, onde participam da síntese de proteínas.

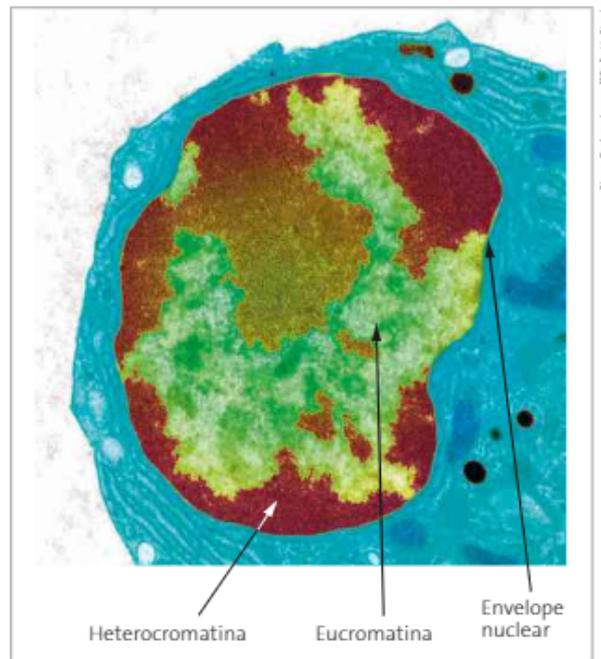
É na interfase, período em que a célula não está em divisão, que ocorre a transcrição de genes. Nessa fase, os cromossomos se apresentam como fios muito longos e finos, não visíveis individualmente. Somente quando a célula entra em divisão é possível ver os cromossomos individualizados, pois ocorre a sua condensação, de modo a formar uma estrutura mais curta e espessa. Assim condensada, a molécula de DNA do cromossomo deixa de ser transcrita e conseqüentemente cessa a produção de novas moléculas de RNA.

Observando ao microscópio cortes corados de núcleo interfásico, verificam-se dois tipos básicos de cromatina: a **heterocromatina**, que corresponde a regiões mais coradas da cromatina, pois os filamentos estão mais condensados, e a **eucromatina**, que corresponde a regiões menos coradas, pois os filamentos estão menos condensados (Fig. 12.6). A eucromatina corresponde aos locais onde os genes estão ativos.

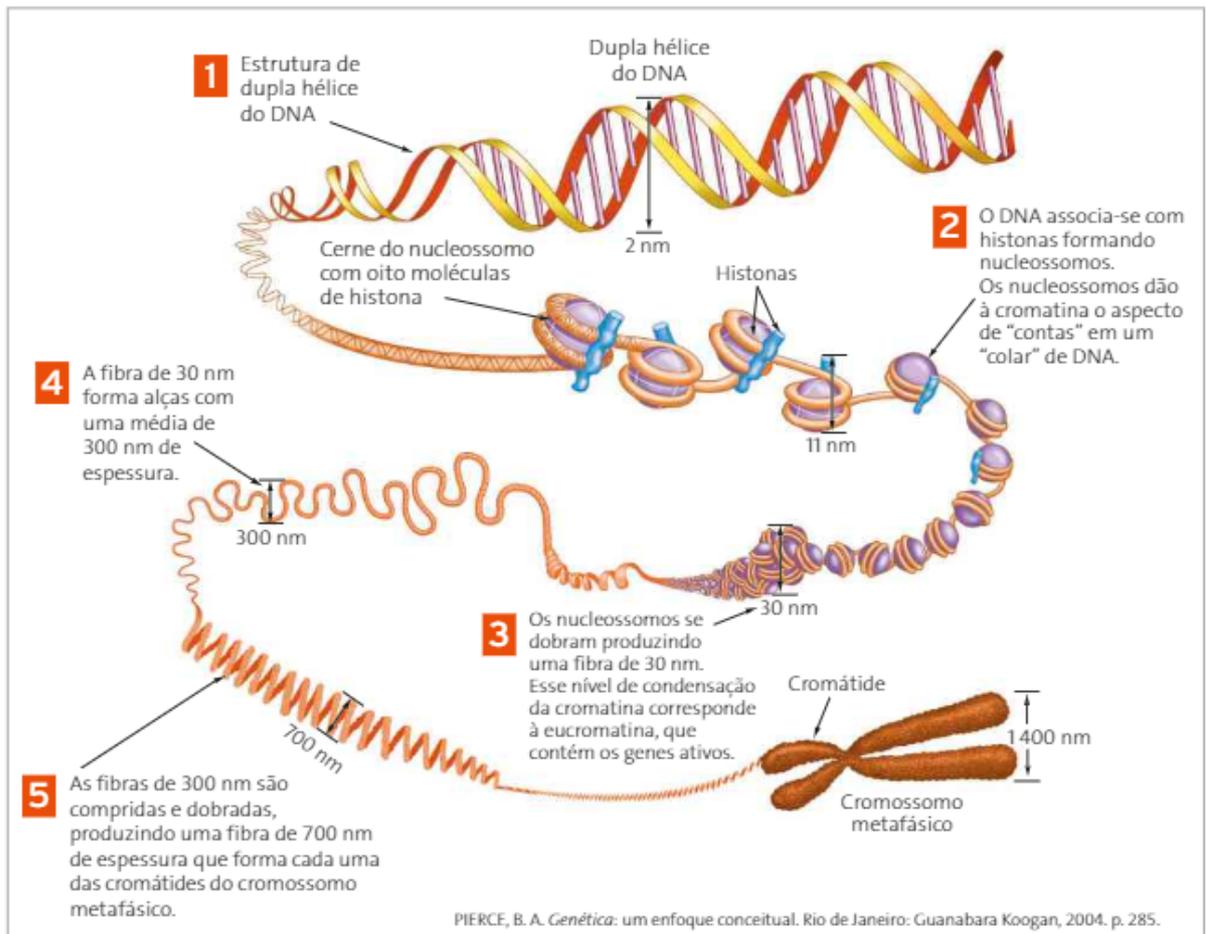
Antes de a célula entrar em divisão, ocorre a duplicação da molécula de DNA e cada cromossomo passa a ser formado por duas moléculas de DNA unidas em um local. Cada metade do cromossomo recebe o nome de **cromátide**.

Ao longo das diferentes fases da interfase e da divisão da célula, a cromatina passa por modificações em sua aparência e função (Fig. 12.7).

**Figura 12.6.** Eletromicrografia de transmissão de célula animal com destaque para o núcleo interfásico. O diâmetro do núcleo é de cerca de 5  $\mu\text{m}$ . (Cores artificiais.)



Steve Gschmeiner/SP, Jui En Block



Enid de Ampa Arns

**Figura 12.7.** Esquema mostrando a complexidade de organização da cromatina. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.) Professor(a), sugerimos visita ao site <[http://genoma.ib.usp.br/?page\\_id=1438](http://genoma.ib.usp.br/?page_id=1438)>; acesso em: mar. 2016.

## 4. Nucléolo

Há no interior do núcleo uma região mais densa, não delimitada por membrana, que se cora mais intensamente com corantes básicos. Essa região corresponde ao **nucléolo**, local de intensa transcrição de um dos tipos de ácido nucleico: o ácido ribonucleico ribossômico (RNAr). Essa síntese ocorre em certas regiões de determinados cromossomos, denominadas **regiões organizadoras do nucléolo**, onde estão os genes responsáveis por esse processo.

Logo após sua síntese, o RNAr associa-se a proteínas, formando grãos de ribonucleoproteínas, que compõem os **ribossomos**. Esses grãos permanecem por algum tempo próximos ao local de sua síntese e depois saem do núcleo em direção ao citoplasma, passando através dos poros do envelope nuclear. Enquanto isso, novos grãos vão sendo formados no nucléolo, repondo os que estão saindo do núcleo. O nucléolo corresponde, portanto, a uma região de grande concentração de ribonucleoproteínas e de RNAr (Fig. 12.8).

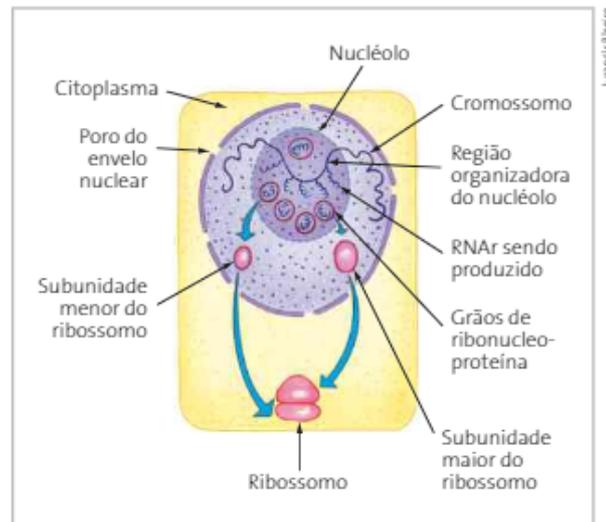


Figura 12.8. Esquema da organização do nucléolo e da formação de ribossomos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 5. Divisão celular: noções gerais

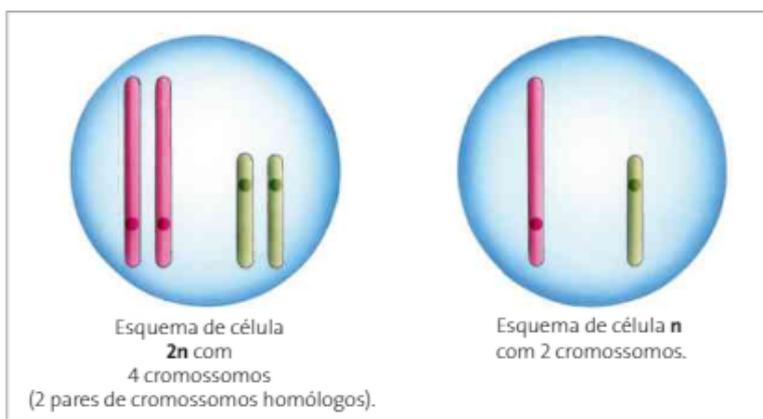
Vamos analisar agora o que acontece com o núcleo e com a célula como um todo nos processos de divisão. Nos eucariontes existem dois tipos de divisão celular:

- **mitose** — uma célula dá origem a duas outras com o mesmo número de cromossomos da célula inicial. É o tipo de divisão realizado quando há reprodução assexuada e que ocorre no crescimento dos organismos multicelulares e na regeneração de tecidos;
- **meiose** — uma célula dá origem a quatro, cada uma com a metade do número de cromossomos da célula inicial. Os gametas, na maioria dos casos, são formados por esse processo.

De acordo com o número de cromossomos, as células podem ser diploides ou haploides.

As células **diploides** possuem pares de cromossomos homólogos e são representadas por  $2n$ .

As células **haploides** possuem apenas um dos cromossomos de cada par de homólogos; essas células são representadas por  $n$  (Fig. 12.9).



Studio Caparroz

Figura 12.9. Representação simplificada de uma célula diploide e de uma célula haploide, com destaque apenas para os cromossomos. (Cores fantasia.)

Os cromossomos homólogos possuem genes relacionados aos mesmos caracteres, situados em posições correspondentes. O lugar que cada gene ocupa nos cromossomos chama-se **loco** (do latim: *locus* = lugar) **gênico**. Assim, os cromossomos homólogos apresentam a mesma sequência de locos gênicos.

Na mitose, uma célula  $2n$  dá origem a duas células  $2n$ , ou uma célula  $n$  dá origem a duas células  $n$ . Na meiose, uma célula  $2n$  origina quatro células  $n$  (Fig. 12.10).

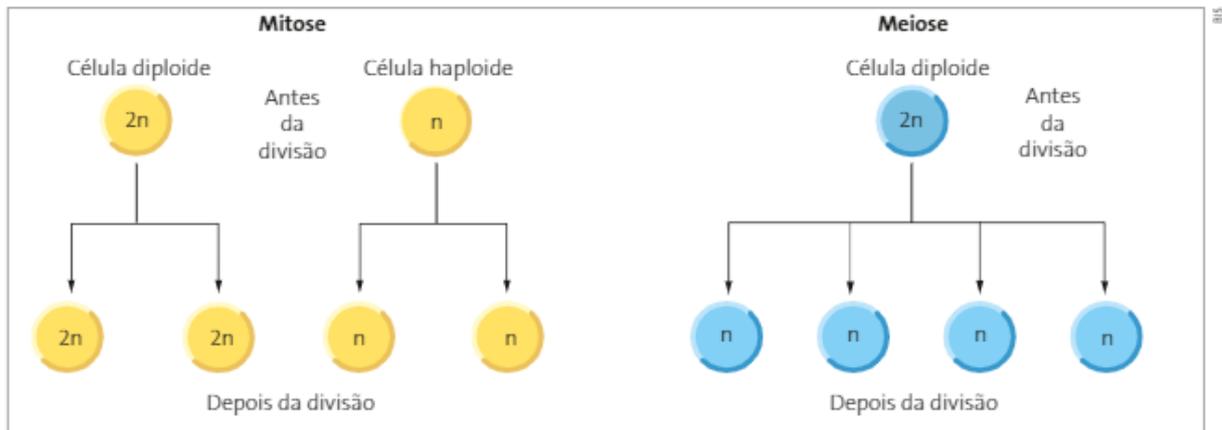


Figura 12.10. Esquema de mitose e meiose, mostrando apenas as células iniciais e as resultantes desses processos.

Na espécie humana, por exemplo, as células que formam o corpo (células **somáticas**) são diploides, e as células que se destinam à perpetuação da espécie (**gametas**) são haploides.

Cada espécie de ser vivo possui um número típico de cromossomos em suas células. Na espécie humana, as células somáticas têm 46 cromossomos cada uma, distribuídos em 23 pares de cromossomos homólogos. Ao sofrer mitose, cada célula origina duas com 23 pares de cromossomos homólogos, mantendo, portanto, o número de cromossomos da célula inicial.

Na formação de gametas (ou células sexuais), uma célula inicial diploide com 46 cromossomos sofre meiose e os cromossomos homólogos se separam. Assim, cada célula origina quatro com metade do número de cromossomos da célula inicial, isto é, 23 cromossomos cada uma. Quando ocorre a fecundação, um óvulo e um espermatozoide se unem, recompondo o número diploide da espécie: 46 cromossomos ou 23 pares de homólogos (Fig. 12.11).

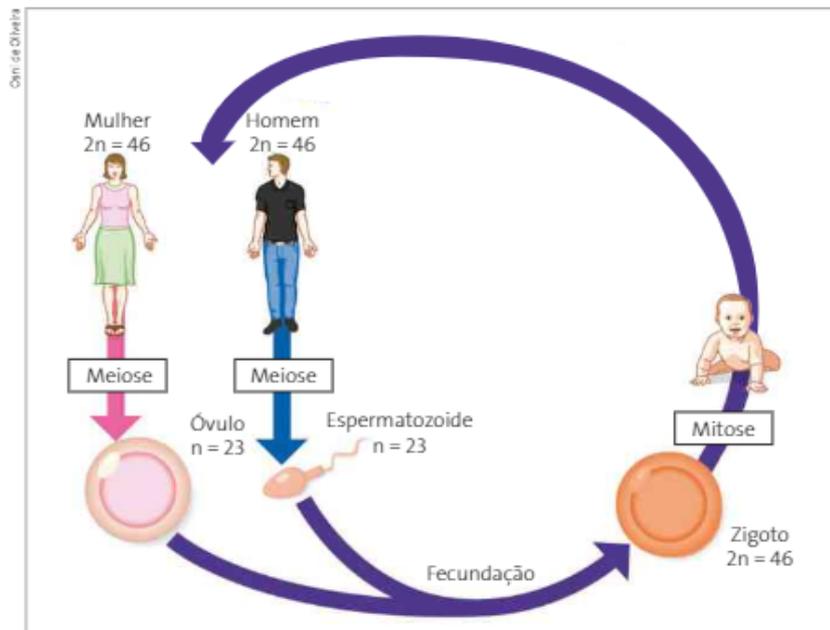


Figura 12.11. Esquema de ciclo reprodutivo da espécie humana. A meiose dá origem a gametas com um cromossomo de cada par de homólogos. Na fecundação, os gametas unem-se, restabelecendo o número  $2n$ , típico da espécie. O zigoto sofre várias mitoses, originando um novo indivíduo, que cresce e pode se reproduzir sexuadamente, dando continuidade ao ciclo de vida. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

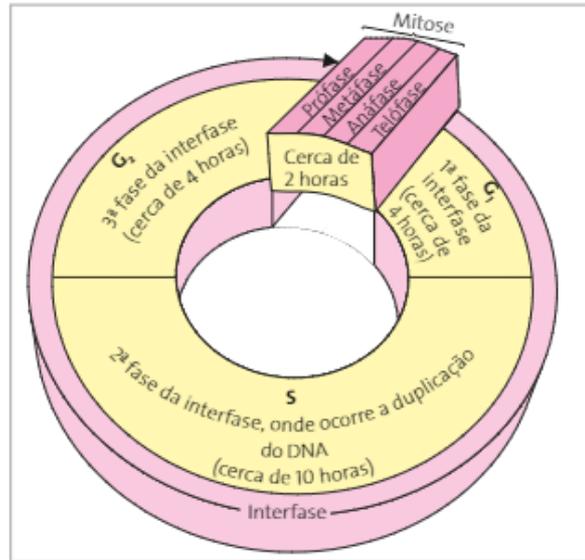
## 6. Ciclo celular

Uma célula não está permanentemente em mitose, isto é, não está sempre se dividindo. A maior parte da vida da célula é representada pelo período entre uma divisão e outra, que é a interfase.

Assim, no ciclo celular devem ser considerados dois períodos (Fig. 12.12):

- **interfase**, em que a célula não está se dividindo. Ela ocorre em três fases, chamadas  $G_1$ , S e  $G_2$ ;
- **mitose**, em que a célula se divide em duas. Ela ocorre em quatro fases, chamadas prófase, metáfase, anáfase e telófase.

**Figura 12.12.** Esquema do ciclo celular. A estimativa de duração de cada fase é apenas ilustrativa. A duração real varia de célula para célula, mas em geral a interfase é a fase mais longa.

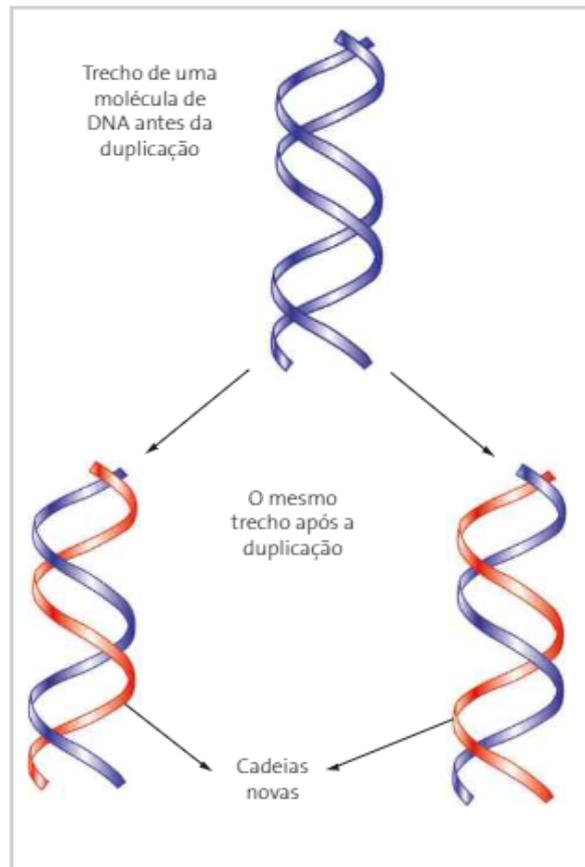


Studio Caparroz

## 7. Interfase

Na interfase são definidas três fases:

- $G_1$  — não há atividade relacionada com o processo de divisão celular (a letra **G** deriva da palavra inglesa *gap*, que significa intervalo); nessa fase cada cromossomo contém uma só molécula de DNA, falando-se em uma só cromátide; todos os cromossomos apresentam uma região especial de constrição chamada centrômero e, em cada extremidade livre, um telômero.
- **S** — ocorre a duplicação do DNA de cada cromossomo (a letra **S** deriva da palavra síntese, que no caso é de DNA). A duplicação do DNA é chamada **semiconservativa**, pois cada DNA recém-formado tem uma das cadeias de polinucleotídeos da molécula-mãe; a outra cadeia é nova e complementar à cadeia-molde da molécula-mãe (Fig. 12.13). A união dos novos nucleotídeos complementares é feita pela enzima DNA polimerase. As moléculas resultantes são idênticas entre si. Na fase **S**, ocorre a duplicação, mas as moléculas-filhas não se separam completamente e cada cromossomo passa a ser formado por duas cromátides idênticas que ficam unidas pelos centrômeros; essas cromátides são chamadas **cromátides-irmãs**; cada cromátide-irmã consiste em uma única molécula de DNA.
- $G_2$  — a síntese de DNA já se completou; é a fase que antecede a mitose.



Studio Caparroz

**Figura 12.13.** Esquema da duplicação semiconservativa do DNA como proposto por Watson e Crick. As duplas de bases nitrogenadas foram omitidas. (Cores fantasia.)

Na região do **centrômero** de cada cromátide-irmã, surge um complexo proteico chamado **cinetócoro**, ao qual se unirão microtúbulos do citoesqueleto, que se organizam em **fibras do fuso** na divisão celular (Fig. 12.14).

Os telômeros estabilizam as pontas dos cromossomos e são importantes na limitação do número de divisões celulares. A cada divisão celular, os telômeros se encurtam, e, se esse encurtamento for além de determinado ponto considerado crítico, o cromossomo se tornará instável e será degradado, o que causará a morte da célula. O encurtamento dos telômeros pode contribuir para o envelhecimento.

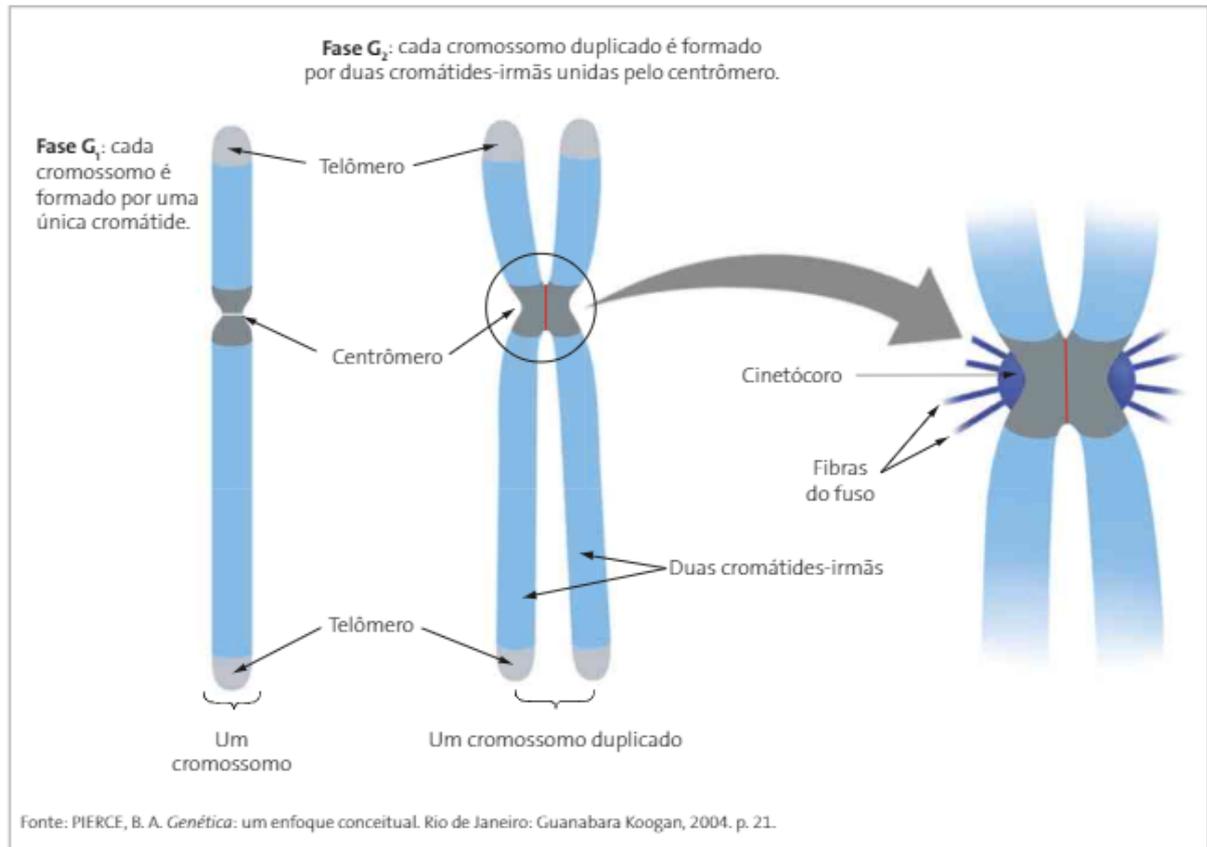


Figura 12.14. Representações esquemáticas de cromossomos. (Cores fantasia.)

Em certos tipos de células sujeitas a divisões celulares frequentes, há um mecanismo que impede a redução dos telômeros. É o caso dos unicelulares que se dividem por bipartição e de certas células do corpo dos multicelulares, como as células embrionárias iniciais, as germinativas que vão formar gametas e as células da medula óssea e do revestimento intestinal. Nelas, um tipo de enzima chamada **telomerase** repõe as pontas dos cromossomos, impedindo que eles se reduzam. Essa enzima, portanto, participa do processo de reposição de bases nitrogenadas do DNA nas pontas da molécula.

Na maioria das células somáticas adultas, essa enzima tem pouca ou nenhuma atividade, e os cromossomos se reduzem a cada divisão celular.

A telomerase atua como um sistema de reparo das extremidades do DNA, mas nem sempre é atuante. Estudos indicam que pessoas submetidas a estresse ou *bullying* constante têm em suas células menor atividade da telomerase, o que acarreta em envelhecimento precoce.

A telomerase parece ter também um papel importante no desenvolvimento de câncer. As células cancerosas têm a capacidade de se dividir continuamente; nelas a telomerase se expressa, repondo as pontas dos cromossomos, o que propicia o prosseguimento das divisões celulares. Parece que a ação da telomerase é uma das condições necessárias para o surgimento de tumores cancerosos, mas a explicação para a ocorrência de câncer é mais complexa e depende também de outros fatores.

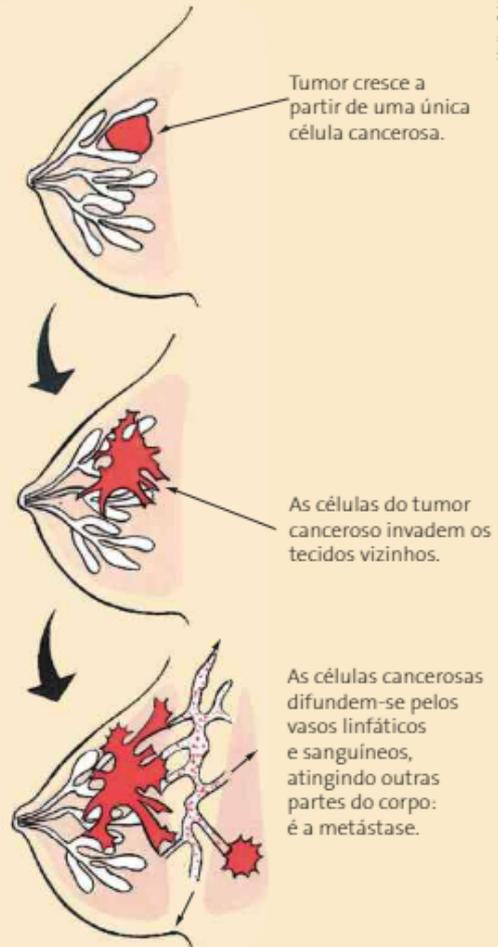
## Colocando em foco

### ENTENDENDO A BASE BIOLÓGICA DO CÂNCER

A base biológica do câncer está fundamentada na perda da capacidade normal de a célula regular sua divisão. As células cancerosas não param de se multiplicar. Com isso, crescem sobre outras células e invadem tecidos saudáveis, formando massas celulares que são os tumores malignos. Elas têm a capacidade de se espalhar pelo corpo todo, originando as chamadas metástases (Fig. 12.15).

Vários fatores podem desencadear essa disfunção da capacidade de divisão das células. Existem causas genéticas e até mesmo causas virais. O câncer de mama, por exemplo, tem base genética; já alguns tipos de leucemia são causados por infecção viral. O câncer de colo de útero pode ser causado pelo papiloma vírus (HPV) e o câncer de fígado, pelo vírus da hepatite B.

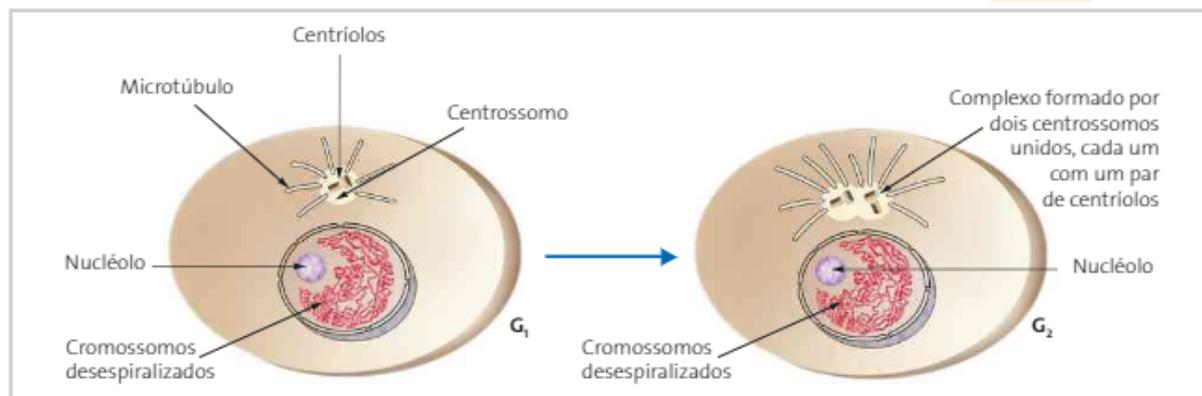
Radiações (como os raios X e ultravioleta) também podem provocar o aparecimento de câncer, o mesmo acontecendo com alguns produtos químicos. Os derivados de tabaco (cigarro, charuto, rapé etc.), por exemplo, contêm pelo menos 48 substâncias comprovadamente cancerígenas. Eles respondem diretamente por 30% de todos os casos de câncer existentes no mundo, especialmente os que atingem pulmão, boca, laringe, esôfago, rins, fígado, pâncreas e bexiga. Substâncias cancerígenas também são encontradas nos resíduos industriais, nos pesticidas e nos conservantes de alimentos industrializados.



**Figura 12.15.** Esquema de formação e metástase do câncer de mama. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Quando a célula vai entrar em divisão, também ocorrem modificações no citoplasma. No final da fase  $G_2$ , o centríolo e o par de centríolos (quando presente) se duplicam.

Assim, antes de iniciar a divisão celular, a célula já duplicou o DNA, o centríolo e os centríolos. Os centríolos são responsáveis pela formação dos microtúbulos que vão originar as fibras do fuso (Fig. 12.16).



**Figura 12.16.** Esquema do centríolo no início da fase  $G_1$  e já duplicado, na fase  $G_2$  da interfase. (Cores fantasia.)

## 7.1. O controle do ciclo celular

A interfase é a etapa em que a célula apresenta intensa atividade metabólica. Nela ocorrem transcrição gênica, síntese de proteínas e demais atividades vitais da célula. Há também aumento no tamanho da célula até que ela atinja suas dimensões características.

Durante a fase **S** ocorre síntese de DNA nuclear. Portanto, é nessa fase que acontece a duplicação dos cromossomos, fundamental para a divisão celular. Nas fases **G<sub>1</sub>** e **G<sub>2</sub>** não há síntese de DNA, mas o crescimento celular é acentuado. Como regra, as células crescem na interfase. Quando terminam a divisão celular, originam células menores, que crescem novamente antes de se dividir. Se elas não crescessem na interfase, a cada novo ciclo celular seriam formadas células cada vez menores.

Em algumas situações muito especiais, como acontece no início do desenvolvimento embrionário dos animais, as fases **G<sub>1</sub>** e **G<sub>2</sub>** são muito reduzidas. Com isso, as células praticamente não aumentam de tamanho entre uma divisão e outra.

Existem três grandes categorias de células no corpo humano adulto:

- células que depois de diferenciadas não se dividem mais ao longo de sua vida. É o caso das células nervosas e musculares, que permanecem em um estado modificado de **G<sub>1</sub>**, denominado **G<sub>0</sub>**;
- células que normalmente não se dividem, mas saem de **G<sub>0</sub>** quando submetidas a certos estímulos e reiniciam o ciclo celular. Nesse grupo estão as células do fígado, que podem se dividir a cada um ou dois anos, ou mais rapidamente quando estimuladas por remoção cirúrgica de parte desse órgão. Outro exemplo são os linfócitos, glóbulos brancos do sangue que, sob estímulos de agentes estranhos que penetram no corpo (antígenos), proliferam e

Professor(a), antes de iniciar o estudo da mitose e da meiose, sugerimos que realize com os estudantes as sugestões de atividade extra propostas nas Orientações didáticas.

## 8. Mitose em células animais

Embora a mitose seja contínua, para efeito de estudo costuma-se dividi-la em quatro fases: **prófase**, **metáfase**, **anáfase** e **telófase**.

A separação final das duas células resultantes é chamada **citocinese**.

### 8.1. Prófase

No início da prófase, cada cromossomo formado por duas  **cromátides-irmãs** unidas pelos centrômeros começa a se condensar, tornando-se individualizado e visível ao microscópio (Fig. 12.18).

participam dos mecanismos de defesa, combatendo os antígenos;

- células que normalmente possuem grande capacidade de divisão. É o caso das células da epiderme da pele, que estão constantemente sendo produzidas, repondo as que são perdidas pelo processo natural de descamação. Processo semelhante ocorre com as células do epitélio intestinal, que se dividem de uma a duas vezes por dia, repondo as células que são perdidas por descamação.

No ciclo celular, existem momentos que podem ser chamados pontos de checagem, em que mecanismos celulares verificam as condições da célula antes de prosseguir de uma fase para outra. Um importante ponto de checagem ocorre em **G<sub>1</sub>** e outro em **G<sub>2</sub>**, como mostra o esquema a seguir. Se tudo estiver funcionando corretamente, a célula prossegue no ciclo (Fig. 12.17).

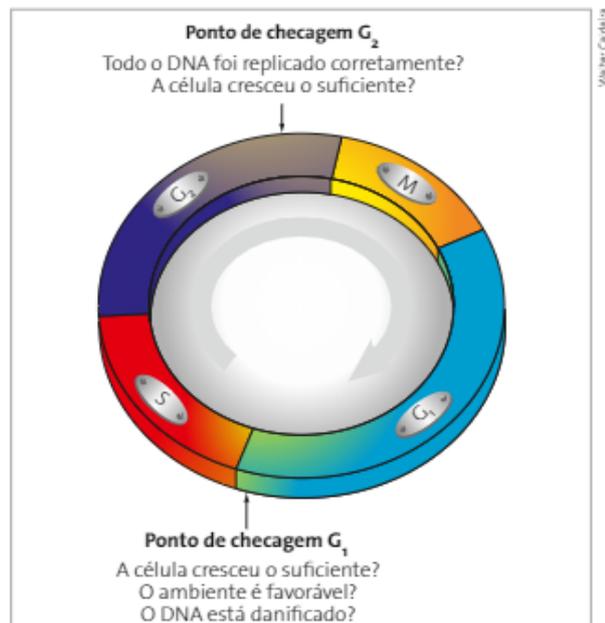


Figura 12.17. Esquema dos locais em que ocorrem dois dos pontos de checagem do ciclo celular: um em **G<sub>1</sub>** e outro em **G<sub>2</sub>**.

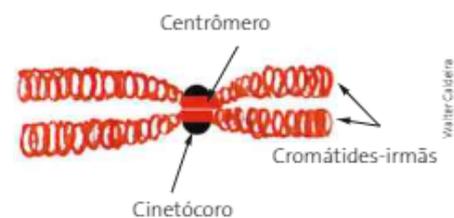


Figura 12.18. Esquema de cromossomo duplicado em início de condensação. (Cores fantasia.)

Os nucléolos vão se tornando menos evidentes, até desaparecerem, pois cessa a transcrição de RNAr.

No citoplasma, cada centro celular organiza seu próprio arranjo radial de microtúbulos, dando ao conjunto um aspecto de estrela, por isso denominado **âster** (do grego: *aster* = estrela). Aos poucos, algumas das fibras de cada centrossomo crescem, determinando o afastamento dos centros celulares, indo cada um para um dos polos da célula. Essas fibras maiores constituem as **fibras polares**.

A prófase termina com a degeneração do envelope nuclear (Fig. 12.19).

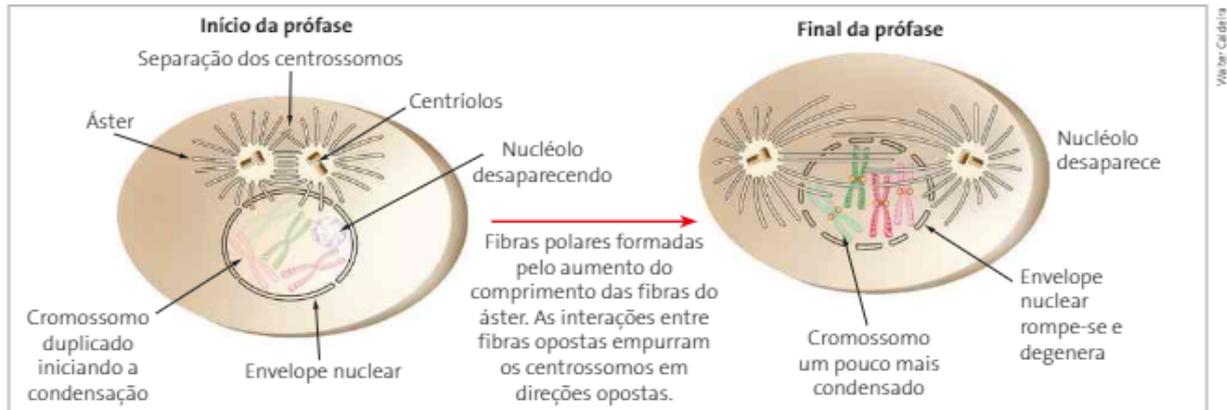


Figura 12.19. Esquema resumido da prófase. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 8.2. Metáfase

A metáfase começa logo após a ruptura da carioteca, quando deixa de existir limite físico entre o citoplasma e o material nuclear, permitindo que as fibras polares atinjam a região antes ocupada pelo núcleo.

Nessa fase alguns microtúbulos das fibras polares unem-se aos cinetócoros, formando as **fibras cromossômicas** ou **fibras do cinetócoro**. Essa união possibilita e orienta o deslocamento dos cromossomos em direção à região equatorial da célula, formando a **placa equatorial**, também chamada placa metafásica.

O conjunto de fibras do âster, fibras polares e fibras cromossômicas recebe o nome de **fuso mitótico**.

Os cromossomos permanecem presos às fibras do fuso e são bem visíveis nessa fase, pois atingem o máximo de condensação (Fig. 12.20).

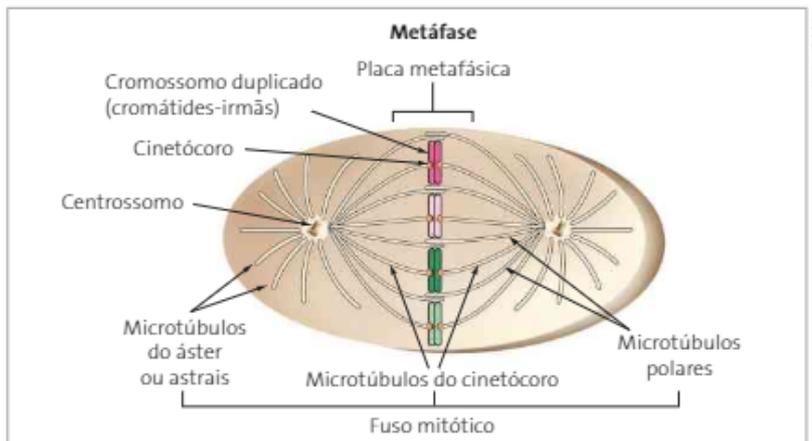


Figura 12.20. Esquema da disposição dos centrossomos e da formação do fuso mitótico na metáfase. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 8.3. Anáfase

A anáfase inicia-se com a separação dos centrômeros, permitindo a separação completa das duas cromátides-irmãs de cada cromossomo. Assim que se separam, as cromátides-irmãs passam a ser chamadas **cromossomos-irmãos**.

Os cromossomos-irmãos são puxados pelas fibras do fuso para polos opostos da célula. Nesse processo, as fibras cromossômicas sofrem despolimerização na região do cinetócoro por ação de enzimas, havendo diminuição do

comprimento do microtúbulo. Como na outra extremidade (a que fica em contato com o centríolo) não há redução, o encurtamento da fibra na parte próxima do cinetócoro puxa o cromossomo para o respectivo polo da célula. Quando os cromossomos atingem essa região, termina a anáfase (Fig. 12.21).

Cada polo da célula recebe o mesmo material cromossômico, pois os cromossomos-irmãos possuem a mesma informação gênica; lembre-se de que esses pares são resultantes da duplicação semiconservativa de um mesmo DNA do cromossomo da célula inicial.

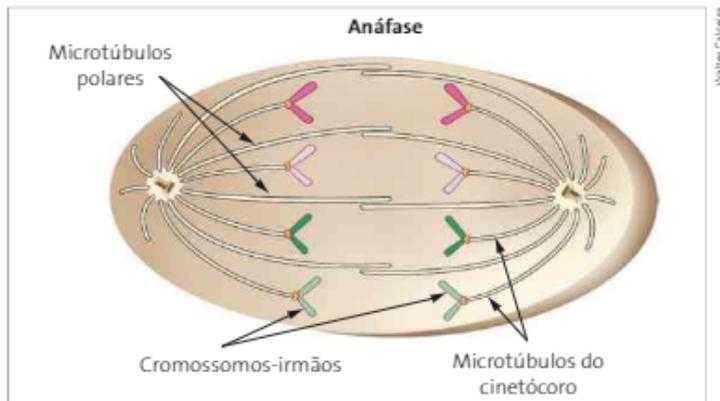


Figura 12.21. Esquema representando a anáfase. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 8.4. Telófase e citocinese

Na telófase, última fase da mitose, os cromossomos sofrem descondensação; os cinetócoros e as fibras cromossômicas desaparecem; o envelope nuclear e o nucléolo são reorganizados. Ficam apenas fibras polares, restritas ao citoplasma.

Ao final da telófase, os dois núcleos-filhos apresentam o mesmo aspecto do núcleo interfásico e fica também concluída a divisão do núcleo ou **cariocinese**. Completa-se a divisão celular com a divisão do citoplasma ou **citocinese** (Fig. 12.22).

Na maioria dos casos, a citocinese é relacionada com a cariocinese, tendo início na telófase ou até mesmo no final da anáfase (Fig. 12.23).

Nas células animais, a citocinese inicia-se por uma constrição na região equatorial da célula que, ao se completar, divide a célula em duas, totalmente individualizadas. Trata-se, portanto, de uma citocinese **centrípeta** (de fora para dentro), possível graças à flexibilidade da membrana plasmática e à atuação dos microfilamentos de actina e da proteína miosina, que formam um anel contrátil próximo à membrana plasmática nessa região.

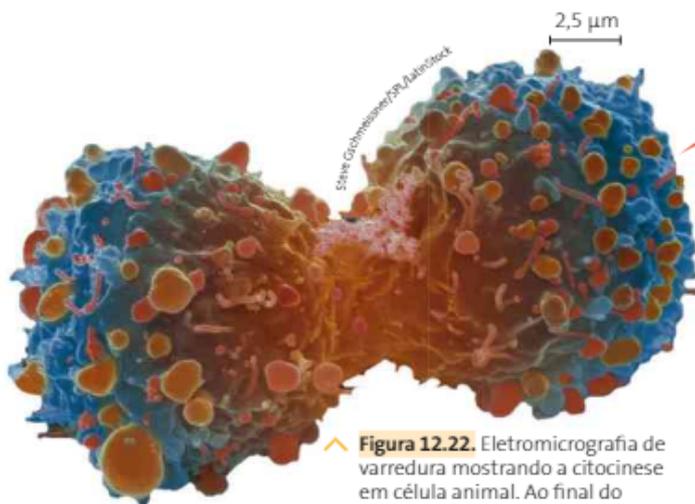
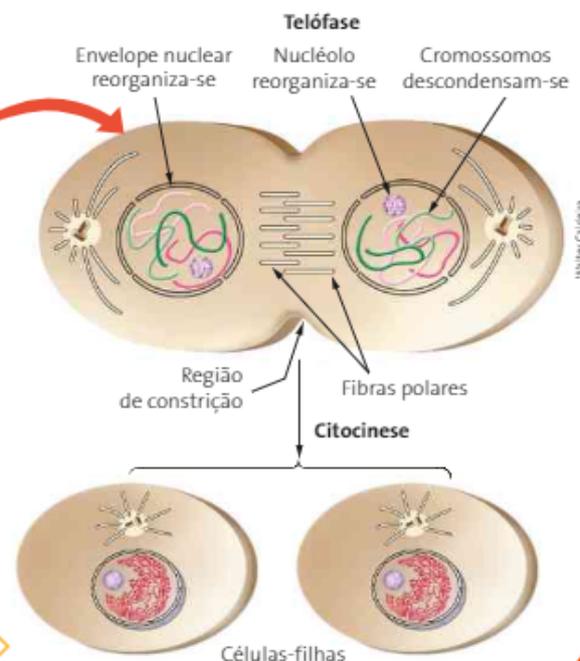


Figura 12.22. Eletromicrografia de varredura mostrando a citocinese em célula animal. Ao final do processo, formam-se duas células. (Cores artificiais.)

Figura 12.23. Esquema representando a telófase e a citocinese. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)





## Colocando em foco

### CARIÓTIPO E IDIOGRAMA

Interrompendo-se a divisão celular na metáfase da mitose, fase em que os cromossomos apresentam o máximo de condensação, é possível contá-los e classificá-los. Esses dados nos permitem estabelecer o **cariótipo** de um indivíduo. A interrupção da mitose é feita em células mantidas em meios de cultura, usando uma substância, geralmente a colchicina, que impede a formação do fuso mitótico.

Os cromossomos podem ser classificados de acordo com a posição do centrômero (Fig. 12.24):



Figura 12.24. Esquema dos quatro tipos de cromossomos, com base na posição do centrômero. (Cores fantasia.)

Os cromossomos são corados e fotografados ao microscópio de luz e as imagens são recortadas de modo a se organizar os cromossomos aos pares e em ordem decrescente de tamanho. Assim organizados, eles compõem um **idiograma** ou **cariograma**.

As imagens seguintes (Fig. 12.25) exemplificam os idiogramas humanos do sexo feminino e do sexo masculino após a organização dos cromossomos em pares e por ordem decrescente de tamanho. Analisando-as, verifica-se que, dos 23 pares de cromossomos, 22 são semelhantes em ambos os sexos. Eles recebem o nome de **autossomos**. O último par é diferente nos sexos, e os cromossomos são chamados **sexuais**. O sexo feminino tem dois cromossomos sexuais semelhantes, chamados **cromossomos X**. O sexo masculino apresenta um **cromossomo X** e outro muito distinto, que recebe o nome de **cromossomo Y**.

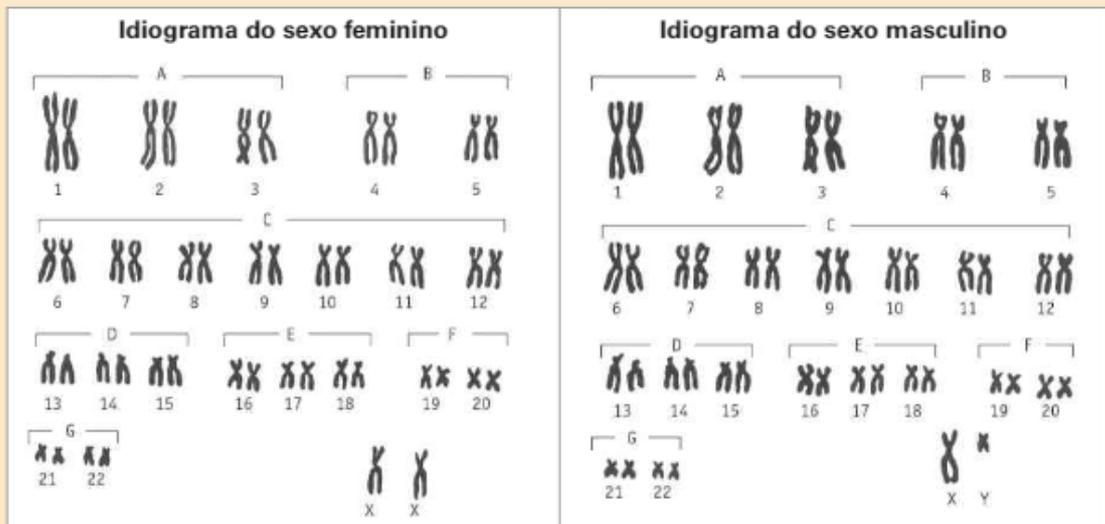


Figura 12.25. Idiogramas humanos. A espécie humana apresenta cariótipo com 22 pares de cromossomos autossômicos (não sexuais) e um par de cromossomos sexuais, que no sexo masculino é XY e no sexo feminino, XX.

Quando se quer representar o cariótipo humano especificando o sexo do indivíduo, faz-se da seguinte maneira:

- **sexo feminino:** 46, XX: o que significa dizer 46 cromossomos ao todo e entre eles o par de cromossomos sexuais XX;
- **sexo masculino:** 46, XY: o que significa dizer 46 cromossomos ao todo e entre eles o par de cromossomos sexuais XY.

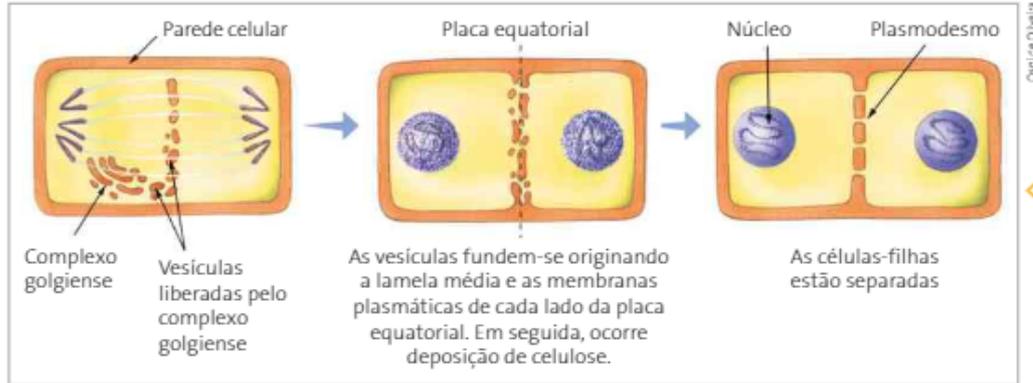
## 9. Mitose em células vegetais

Na mitose das células de plantas do grupo dos pinheiros e das plantas que produzem flores, existem alguns aspectos diferentes em relação à mitose das células animais. Nesses casos:

- não há centríolos (mitose acêntrica);
- não há formação de fibras do áster (mitose anastral);

- a citocinese é centrífuga (de dentro para fora), em função da grande resistência da parede celular. Nesse caso, vesículas formadas pelo complexo golgiense se unem e formam uma lamela que cresce do centro para a periferia, separando as células-filhas.

Acompanhe a explicação pela **figura 12.26**:



Osmar Oliveira

**Figura 12.26.** Esquema de citocinese em célula vegetal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 10. Meiose

A meiose garante a existência de uma fase haploide no ciclo de vida, que tem a fase diploide restabelecida por meio da fecundação. Sem um mecanismo como a meiose, a reprodução sexuada não seria possível.

Dentre os grupos de seres vivos com reprodução sexuada, há diferenças quanto ao momento do ciclo de vida em que ocorre a meiose. Considerando que os ciclos de vida têm início com a fecundação, a meiose pode ocorrer:

- logo após a fecundação (**meiose inicial** ou **zigótica**);
- no meio do ciclo (**meiose intermediária** ou **espórica**);
- no final do ciclo (**meiose final** ou **gamética**).

A meiose inicial ou zigótica ocorre, por exemplo, no ciclo de vida de algumas algas e de todos os fungos. Os indivíduos são haploides e os gametas são produzidos por mitose, sendo apenas o zigoto diploide. Os produtos da meiose são esporos  $n$  que germinam e dão origem a indivíduos haploides, reiniciando o ciclo.

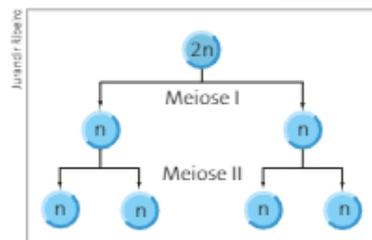
A meiose intermediária ou espórica ocorre, por exemplo, no ciclo de vida da maioria das algas e de todas as plantas terrestres. Os produtos da meiose são células que se diferenciam em esporos. Estes germinam e dão origem a indivíduos haploides que formam, por mitose, os gametas. Após a fecundação, reinicia-se o ciclo com a fase diploide. Dessa maneira, há **alternância de gerações** (ou **metagênese**), em que uma fase diploide, formadora de esporos por meiose, se alterna com uma

fase haploide, relacionada com a reprodução sexuada, formadora de gametas por mitose.

Em animais a meiose é gamética ou final, pois ocorre na formação dos gametas. Havendo fecundação, os indivíduos resultantes são diploides.

Na meiose acontecem duas divisões celulares sucessivas, dando origem a quatro células. Essas divisões são reunidas em duas etapas, denominadas primeira divisão meiótica e segunda divisão meiótica, ou **meiose I** e **meiose II**, respectivamente.

A meiose I é **reducional** (reduz à metade o número de cromossomos); a meiose II é **equacional** (o número de cromossomos das células iniciais é mantido igual nas células que se formam) (**Fig. 12.27**).



**Figura 12.27.** Representação esquemática da meiose, mostrando a célula inicial e as resultantes da primeira e da segunda divisão meiótica.

As fases das duas etapas da meiose são:

- **meiose I:** prófase I, metáfase I, anáfase I, telófase I;
- **meiose II:** prófase II, metáfase II, anáfase II, telófase II.

Vamos agora analisar cada uma dessas fases, com ênfase à meiose gamética que ocorre nos animais.

## 10.1. Meiose I

### Prófase I

Essa fase da meiose I é dividida em cinco subfases consecutivas: leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese. Não nos deteremos nas descrições dessas subfases, mas sim na descrição da prófase I como um todo.

Os processos descritos para a interfase antes de a célula entrar em mitose são os mesmos que ocorrem antes de a célula entrar em meiose.

Assim, no início da prófase I, cada um dos cromossomos já está formado por duas cromátides-irmãs unidas pelos seus respectivos centrômeros. Ocorre a condensação dos cromossomos, que só atinge seu máximo no final da metáfase I.

Os cromossomos homólogos duplicados emparelham-se. Com o emparelhamento e a condensação, é

possível notar que cada par de cromossomos homólogos apresenta quatro cromátides. Essas cromátides constituem uma **tétrade** ou bivalente e podem ser consideradas em dois grupos:

- cromátides-irmãs, que se originam de um mesmo cromossomo;
- cromátides homólogas, que se originam de cromossomos homólogos.

Dois cromátides homólogos podem sofrer uma ruptura na mesma altura e os dois pedaços podem trocar de lugar, realizando o que se denomina **permutação** ou **crossing-over**. Até o início da anáfase I essas cromátides ficam unidas pelos pontos onde houve permutação. Essas regiões chamam-se **quiasmas**.

O rompimento do envelope nuclear marca o final da prófase I e o início da metáfase I (Fig. 12.28).

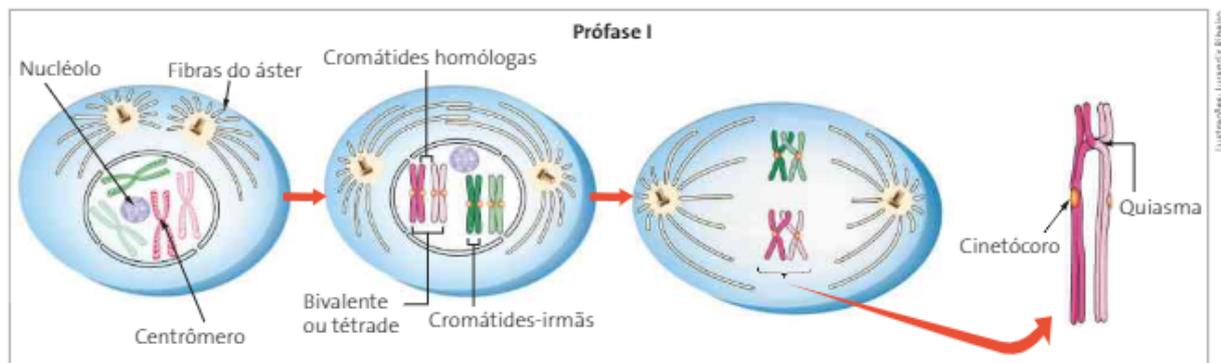


Figura 12.28. Esquema de células em diferentes fases da prófase I. No detalhe, tetrade e um local de permutação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

### Metáfase I

Na metáfase I, algumas das fibras polares associam-se aos cinetócoros dos cromossomos duplicados, formando as **fibras dos cinetócoros**.

Os cromossomos emparelhados permanecem dispostos no equador da célula, com seus maiores eixos perpendiculares ao eixo das fibras polares. Os cromossomos atingem o máximo de condensação e os quiasmas mantêm as cromátides homólogas unidas (Fig. 12.29).

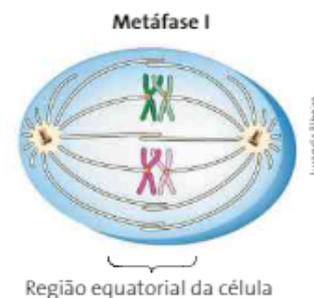


Figura 12.29. Esquema de célula em metáfase I. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

### Anáfase I

A anáfase I caracteriza-se pelo deslocamento dos cromossomos para os polos opostos da célula. O par de cromossomos homólogos separa-se, indo para cada polo um cromossomo de cada par (Fig. 12.30).

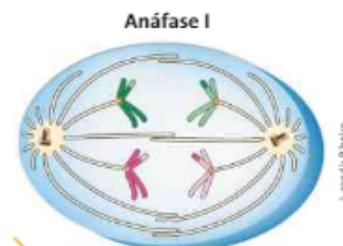
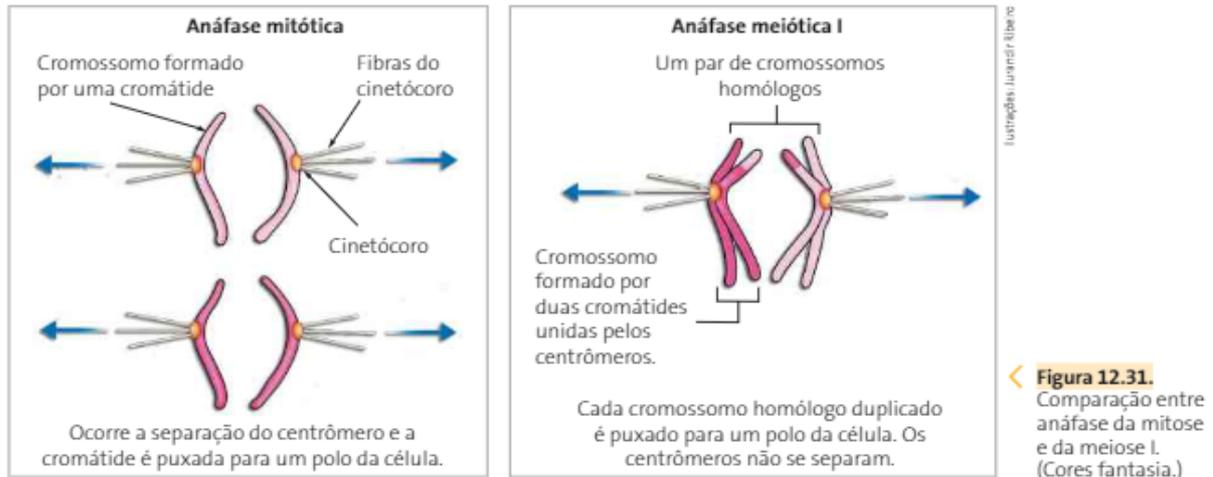


Figura 12.30. Esquema de célula em anáfase I. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

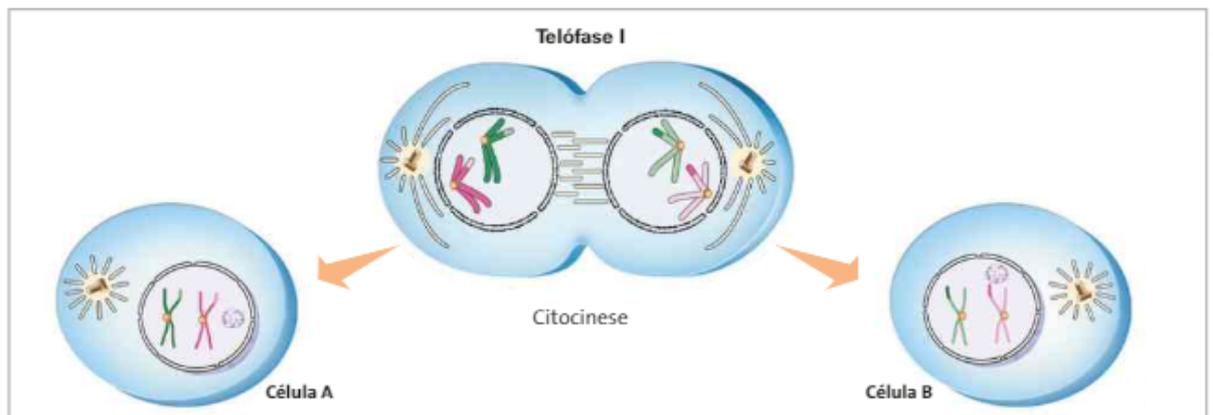
É importante salientar que **não** ocorre separação dos centrômeros, como acontece na anáfase da mitose. Essa é uma importante diferença entre a mitose e a meiose (Fig. 12.31).

Ao final da anáfase I da meiose, portanto, há em cada polo da célula **n** cromossomos duplicados, cada um deles com duas cromátides-irmãs ligadas pelo centrômero: são as **diádes**. Quando as diádes chegam aos polos termina a anáfase I e tem início a telófase I.



### Telófase I e citocinese

O que ocorre na telófase I é bastante semelhante ao que acontece na telófase da mitose: os cromossomos desespiralizam-se, o envelope nuclear e o nucléolo reorganizam-se e ocorre a citocinese (Fig. 12.32).



**Figura 12.32.** Esquema de célula em telófase I e citocinese. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O quadro abaixo (Fig. 12.33) resume e compara a mitose com as fases da meiose I.

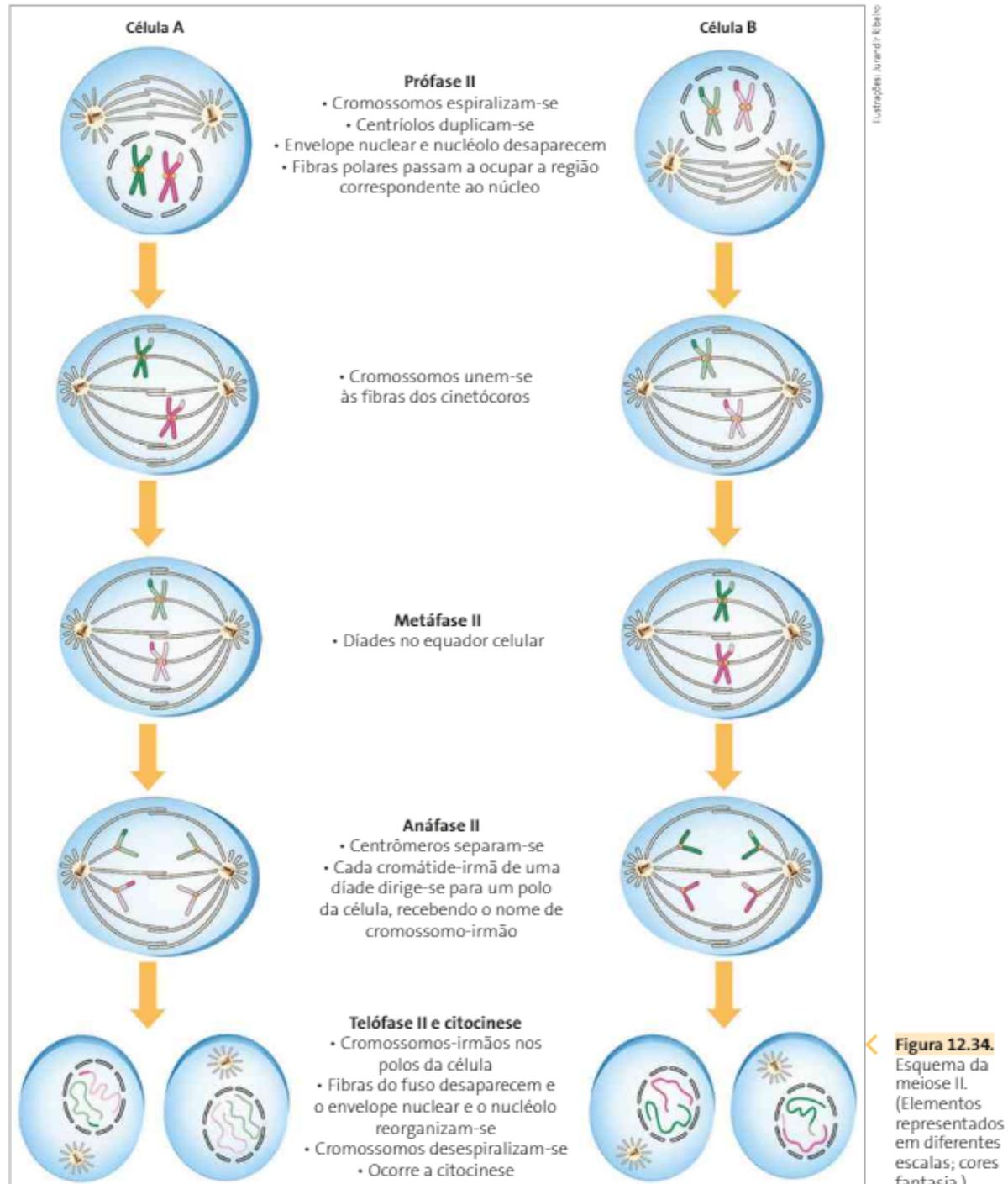
Fases	Mitose	Meiose I
<b>Prófase</b>	• Cromossomos homólogos não se emparelham.	• Cromossomos homólogos emparelham-se.
<b>Metáfase</b>	• Placa equatorial formada pelos cromossomos duplicados e não emparelhados. • Fibras do cinetócoro de cada cromátide-irmã irradiam-se para um dos polos opostos da célula.	• Placa equatorial formada pelas tétrades (pares de cromossomos homólogos duplicados e emparelhados). • Fibras do cinetócoro de cada diáde se irradiam para um dos polos opostos da célula.
<b>Anáfase</b>	• Ocorre separação do centrômero.	• Não ocorre separação do centrômero.
<b>Telófase</b>	• Em cada polo da célula encontram-se <b>2n</b> cromossomos simples (não duplicados).	• Em cada polo da célula encontram-se <b>n</b> cromossomos duplicados, formados por duas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero.

**Figura 12.33.** Quadro comparativo das fases da mitose com as da meiose I.

## 10.2. Meiose II

Cada uma das células haploides formadas pela meiose I (como exemplos temos a célula A e a célula B, figura 12.32) sofre uma segunda divisão, que é a meiose II ou segunda divisão meiótica. Nessa divisão ocorre a separação das cromátides-irmãs. Cada uma delas dirige-se para um dos polos da célula.

As fases da meiose II são prófase II, metáfase II, anáfase II e telófase II e estão resumidas na figura 12.34. Note que os eventos são como se descreve para a mitose: enquanto a meiose I é a etapa reducional, já que reduz ao meio o número de cromossomos, a meiose II é a equacional, pois mantém o número de cromossomos da célula inicial nas células-filhas.



## 11. A divisão celular das bactérias

Nos procariontes a divisão celular é mais simples e não ocorre por mitose. Ela se inicia com o alongamento da célula e a duplicação do cromossomo, que é único e circular, formado apenas por uma molécula de DNA. A seguir, continua o alongamento da célula e ocorre invaginação da membrana plasmática na região mediana, separando as duas células-filhas (Fig. 12.35).

Nos procariontes não há formação de gametas e não há meiose.

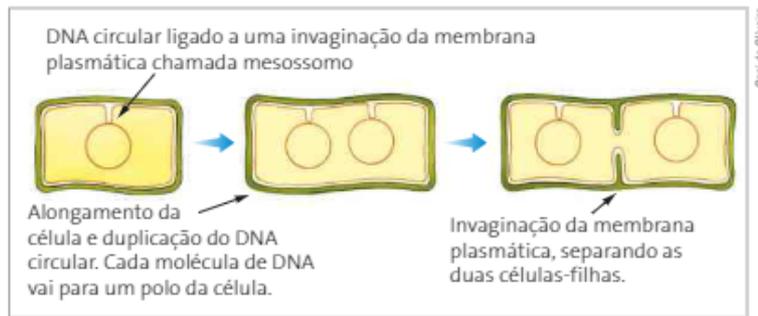


Figura 12.35. Esquema da bipartição em bactéria. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

## 12. Reprodução

Professor(a), antes de abordar o tema seguinte, sugerimos que realize com os estudantes a sugestão de atividade extra intitulada "Reprodução e variabilidade genética" das Orientações didáticas.

Vamos analisar agora uma das consequências naturais das divisões celulares: a reprodução.

Já comentamos que a reprodução é uma das características gerais dos seres vivos. Ela é fundamental para a preservação da espécie, mas não é necessária para a sobrevivência do indivíduo.

Em nível molecular, a reprodução está relacionada à capacidade ímpar do DNA de se duplicar de forma semi-conservativa, propiciando que as células resultantes tenham cópias das moléculas originais de DNA.

Os seres vivos apresentam vários tipos de reprodução, que podem ser agrupados em duas grandes categorias, quando não considerados os vírus: a reprodução assexuada e a sexuada. Os vírus são casos à parte e não serão estudados neste momento. Aqui vamos comentar brevemente alguns tipos de reprodução assexuada e sexuada.

Professor(a), os vírus serão estudados no volume 2. No volume 3 faremos uma discussão mais aprofundada acerca da reprodução humana e, no volume 2, um estudo dos diferentes tipos de reprodução dentro da grande diversidade de seres vivos.

### 12.1. Reprodução assexuada

Os indivíduos que surgem por reprodução assexuada são geneticamente idênticos ao que lhes deu origem e são geneticamente idênticos entre si. São, portanto, clones do indivíduo inicial. Os descendentes só terão patrimônio genético diferente se sofrerem mutação, ou seja, alteração na sequência de bases nitrogenadas em alguma molécula de DNA, ou alteração no número e na forma dos cromossomos.

Se comparada com a reprodução sexuada, a reprodução assexuada é mais simples, mais rápida e energeticamente menos custosa.

Vários são os grupos de seres vivos que se reproduzem assexuadamente e vários são os tipos de reprodução assexuada. Vamos comentar apenas alguns deles.

Nos procariontes só há reprodução assexuada e a forma mais comum é a **bipartição** (*bi* = dois), nome que descreve exatamente o que está acontecendo: de uma célula inicial, surgem duas menores, uma do mesmo tamanho que a outra. Esse processo também é chamado **cissiparidade** (do latim: *scissus* = separado, fendido; *parese* = reproduzir, parir) e **divisão binária**.

A bipartição ocorre nos procariontes sem envolver a mitose.

Nos eucariontes há grupos que fazem apenas reprodução assexuada, caso das euglenas, mas na maioria há reprodução assexuada e sexuada.

Os termos bipartição, cissiparidade e divisão binária citados para os procariontes podem ser aplicados à reprodução assexuada em unicelulares eucariontes, mas nesses casos há mitose.

Unicelulares eucariontes também podem apresentar outro tipo de reprodução assexuada — **brotamento** ou **gemiparidade** —, processo no qual o indivíduo inicial produz um broto geneticamente idêntico. O broto cresce e geralmente se destaca, passando a ter vida independente (Fig. 12.36).



Figura 12.36. Eletromicrografia de varredura de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) em brotamento. (Cores artificiais.)

O termo brotamento também é aplicado para casos de reprodução assexuada em multicelulares eucariontes. É o que se verifica, por exemplo, na hidra, um pequeno animal que vive em água doce (Fig. 12.37).

Nas plantas, há várias formas de reprodução assexuada. Um caso bastante estudado é o da batata-inglesa. Você já deve ter notado que esse tipo de batata apresenta o que se chama popularmente de olhos, que são, na realidade, gemas, estruturas formadas por células indiferenciadas capazes de intensa divisão mitótica e que podem originar uma nova planta (Fig. 12.38).



Figura 12.37. Fotomicrografia de hidra (cerca de 3 mm de altura) com broto.



Figura 12.38. Fotografia de batata com gemas em desenvolvimento.

## 12.2. Reprodução sexuada

Na reprodução sexuada, duas células haploides especializadas (gametas) (Fig. 12.39) ou dois núcleos haploides especiais se fundem, formando uma célula-ovo ou zigoto diploide. Por mitoses sucessivas o zigoto dá origem a um novo indivíduo. Vimos neste capítulo, no entanto, que em certos grupos de seres vivos, como é o caso dos fungos, o zigoto não forma um novo indivíduo, mas sofre meiose imediata e origina esporos haploides. São estes que, por mitoses sucessivas, formarão novos indivíduos.

Nos animais a meiose está relacionada com a formação de gametas, enquanto nas plantas relaciona-se com a formação de esporos.

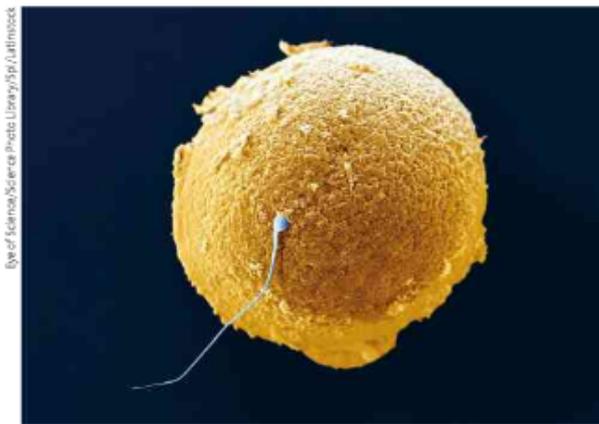


Figura 12.39. Na fecundação, o gameta masculino funde-se ao gameta feminino. Fotomicrografia de espermatozoide (cerca de 65  $\mu\text{m}$  de comprimento) fecundando um ovócito humano (cerca de 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro).

Nos animais, os gametas masculinos são muito menores do que os femininos e, na maioria dos casos, sua morfologia está relacionada com o deslocamento: apresentam formato hidrodinâmico, com uma longa cauda utilizada na propulsão.

Os gametas femininos dos animais são geralmente células grandes e imóveis, que contêm reserva de nutrientes para o desenvolvimento do embrião. Esses nutrientes compõem o **vitelo**.

Por haver mistura de material genético, os indivíduos resultantes da fecundação não são iguais aos pais, mas sim semelhantes a eles, e não são iguais entre si, a não ser em casos de gêmeos idênticos.

O modo sexuado de reprodução, apesar de mais custoso energeticamente que a reprodução assexuada, traz vantagens evolutivas e é o mais amplamente difundido entre os diferentes grupos de eucariontes.

Se o ambiente fosse completamente estável, sem sofrer alterações ao longo do tempo e do espaço, a reprodução assexuada seria muito vantajosa, pois preservaria as características dos organismos para uma dada condição ecológica. Essa, entretanto, não é a realidade.

O ambiente sempre pode apresentar alterações e uma modificação desfavorável pode eliminar de uma só vez toda a população se ela for formada por indivíduos geneticamente idênticos.

Em populações em que há reprodução sexuada, esse processo não deve ocorrer, pois a variabilidade genética entre os indivíduos é maior. A alteração ambiental pode afetar parte da população, mas outra parte sobrevive graças a variações no material genético que propiciam condições de sobrevivência.



## Tema para discussão

REGISTRE  
NO CADERNO



### Consequências da não disjunção dos cromossomos na meiose humana

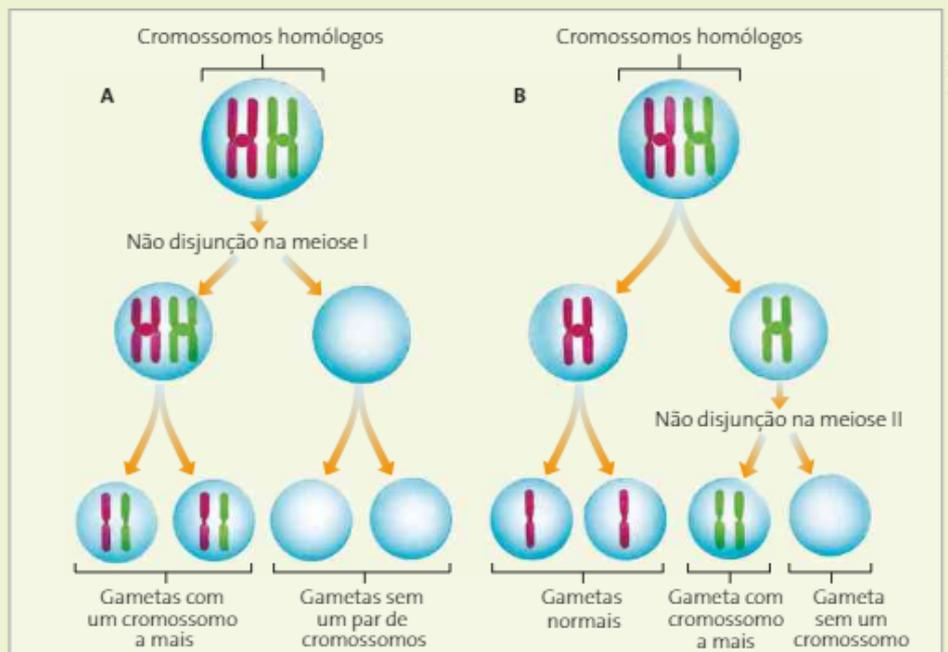
A meiose é um processo complexo, e erros na disjunção (separação) dos cromossomos homólogos na meiose I ou das cromátides-irmãs na meiose II levam à formação de gametas com número anormal de cromossomos.

Se um dos gametas anormais participar da fecundação, será formado um zigoto com número anormal de cromossomos. Essas alterações no número de cromossomos são chamadas **aneuploidias** e são consideradas mutações cromossômicas numéricas.

Nas aneuploidias pode haver um número maior ou menor de cromossomos. Por exemplo: quando há um cromossomo a mais no par de homólogos, fala-se em **trisomia**; quando há um cromossomo a menos, fala-se em **monossomia**.

A alteração pode acontecer nos cromossomos sexuais, que são os relacionados com a determinação do sexo, ou nos demais cromossomos, chamados autossomos. Quando a alteração envolve os autossomos, a anomalia não está relacionada ao sexo, podendo ocorrer tanto no sexo feminino quanto no masculino. Quando ocorre nos cromossomos sexuais, as anomalias estão relacionadas ao sexo.

Vamos comentar algumas dessas aneuploidias.



⤴ Representação esquemática mostrando as possibilidades de não disjunção na meiose de um dos pares de cromossomos homólogos. Se a não disjunção ocorrer na meiose I (situação A), todos os gametas terão número anormal de cromossomos; se ocorrer na meiose II (situação B), apenas dois dos quatro gametas serão anormais. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

- **Síndrome de Down ou mongolismo** – as células dos indivíduos têm um cromossomo a mais no par 21 (trisomia do 21). Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena, com a face achatada; olhos com os cantos externos puxados para cima; boca pequena, mas língua de tamanho normal; dentição irregular; pescoço curto e largo; baixa estatura; dedos curtos; linha reta na palma da mão; coeficiente intelectual baixo. Cariótipo com 47 cromossomos.
- **Síndrome de Patau** – as células dos indivíduos têm um cromossomo a mais no par 13 (trisomia do 13). Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena; olhos afastados; orelhas deformadas; má-formação séria no coração e nos sistemas digestório, genital e urinário. Geralmente os portadores dessa síndrome sobrevivem até cerca de 3 anos de idade. Cariótipo com 47 cromossomos.
- **Síndrome de Edwards** – as células dos indivíduos têm um cromossomo a mais no par 18

(trissomia do 18). Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena e estreita; olhos afastados; boca e queixo pequenos; pés deformados; anomalias graves no coração, nos rins e no sistema genital. Geralmente os portadores sobrevivem até cerca de 1 ano de idade. Cariótipo com 47 cromossomos.

- **Síndrome de Klinefelter** – as células dos indivíduos têm dois cromossomos X e um Y e são todos do sexo masculino. Alguns dos sinais clínicos são: testículos pequenos;

ausência de espermatozoides e, em alguns casos, mamas mais evidentes. Cariótipo: 47, XXY (o que indica que há 47 cromossomos no total, dentre eles 2 X e 1 Y).

- **Síndrome de Turner** – as células dos indivíduos têm apenas um cromossomo sexual: o X. São, portanto, mulheres. Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: baixa estatura; ovários não funcionais; pescoço curto e largo; anomalias renais. Cariótipo: 45, X0 (0 = ausência de um cromossomo sexual).

1. Atualmente, já existem testes que identificam, desde a oitava semana de gestação, se o bebê que está sendo gerado é portador de alguma anomalia cromossômica. Em caso de confirmação de uma anomalia em um bebê em formação, o que você acha que deve ser feito, considerando seus valores éticos, morais e religiosos?
2. No Brasil, o aborto é permitido apenas em casos excepcionais, como o de gestação decorrente de estupro, gravidez de feto anencéfalo (desde 2012) e quando a gestação envolve risco de morte para a mãe. Discuta esse assunto com seus pais, professores e amigos. Depois de debater o assunto, pondere a respeito da importância de saber com antecedência o cariótipo do bebê e se você gostaria de ter essa informação.
3. Monte modelos usando massa de modelar de diferentes cores para representar os cromossomos visando explicar a meiose normal e meioses anômalas em que não há disjunção de cromossomos. Use esses modelos para explicar como gametas anômalos podem ser formados e como as síndromes aqui mencionadas podem acontecer. **Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.**



## Retomando

Como você viu, o núcleo das células eucarióticas desempenha tarefa importante como um centro controlador da atividade celular. Durante as divisões celulares, mecanismos especiais operam para garantir que a informação nele contida seja passada para as células-filhas. Considerando o que estudou neste capítulo, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reavalie-as. Todas as células do organismo têm todos os cromossomos? Por que a reprodução sexuada depende de um mecanismo reducional de divisão celular?



## Ampliando e integrando conhecimentos



### Atividade 1 Citoesqueleto e divisão celular Habilidades do Enem: H15, H18.

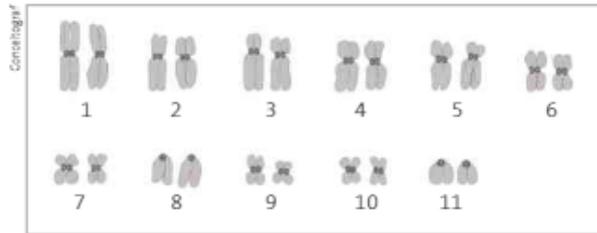
Para estudar o cariótipo de determinado organismo, suas células nucleadas, em especial os leucócitos do sangue, são coletadas e colocadas em meio de cultura especial, de modo a estimulá-las a entrar em mitose. Em determinado momento, introduz-se no meio de cultura uma substância chamada colchicina, que tem a propriedade de inibir a polimerização das proteínas dos microtúbulos do citoesqueleto. No instante em que a colchicina é aplicada, no meio de cultura encontram-se células em diferentes fases da mitose.

Com base nessas informações, responda:

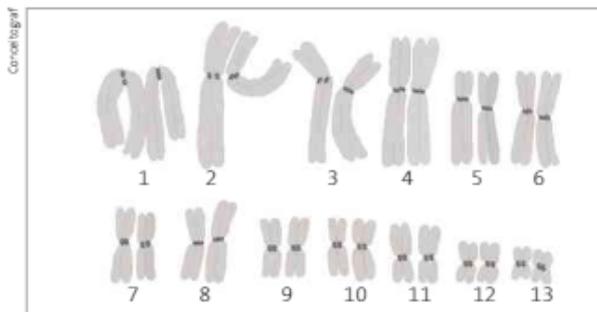
- a) Qual é o efeito produzido pela colchicina em relação à divisão celular?
- b) Quais fases da mitose podem estar presentes entre as células do meio de cultura após a aplicação da colchicina? Justifique.
- c) Por que a colchicina é amplamente empregada na preparação dos cromossomos para o estudo de cariótipos?

### Atividade 2 Interpretando idiogramas Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

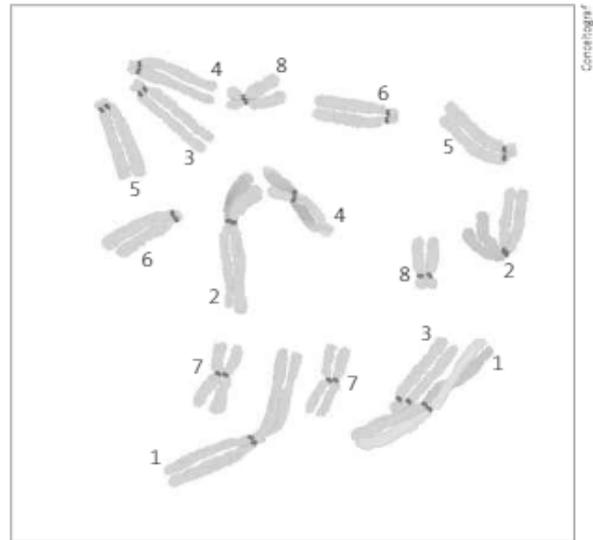
Analise os esquemas a seguir, que representam os conjuntos totais de cromossomos metafásicos de uma célula em divisão mitótica de diferentes organismos. Em seguida, responda às questões propostas.



Ilustrações representando cromossomos metafásicos da rã *Ischnocnema juipoca*.



Ilustrações representando cromossomos metafásicos da perereca *Phyllomedusa distincta*.



Ilustrações representando cromossomos metafásicos de *Alstroemeria aurea*, uma angiosperma.

- Quais são os números haploide e diploide de cada espécie?
- Determine o número de cromossomos:
  - em cada uma das células do fígado da rã *Ischnocnema juipoca*;
  - em cada um dos espermatozoides da perereca *Phyllomedusa distincta*;
  - em cada uma das células cerebrais da perereca *Phyllomedusa distincta*;
  - em um óvulo de cada uma das espécies de anfíbios;
  - em cada célula da pétala da flor de *Alstroemeria aurea*.
- Classifique, quanto à posição do centrômero, os cromossomos 1, 2, 6 e 8 da planta *Alstroemeria aurea*.
- Classifique, quanto à posição do centrômero, os cromossomos 1, 2, 8 e 11 da rã *Ischnocnema juipoca*.

### Atividade 3 Interpretando gráficos Habilidade do Enem: H17.

Analise o gráfico, que representa a variação da quantidade de DNA em uma célula ao longo de um processo de divisão celular. Em seguida, responda às questões.

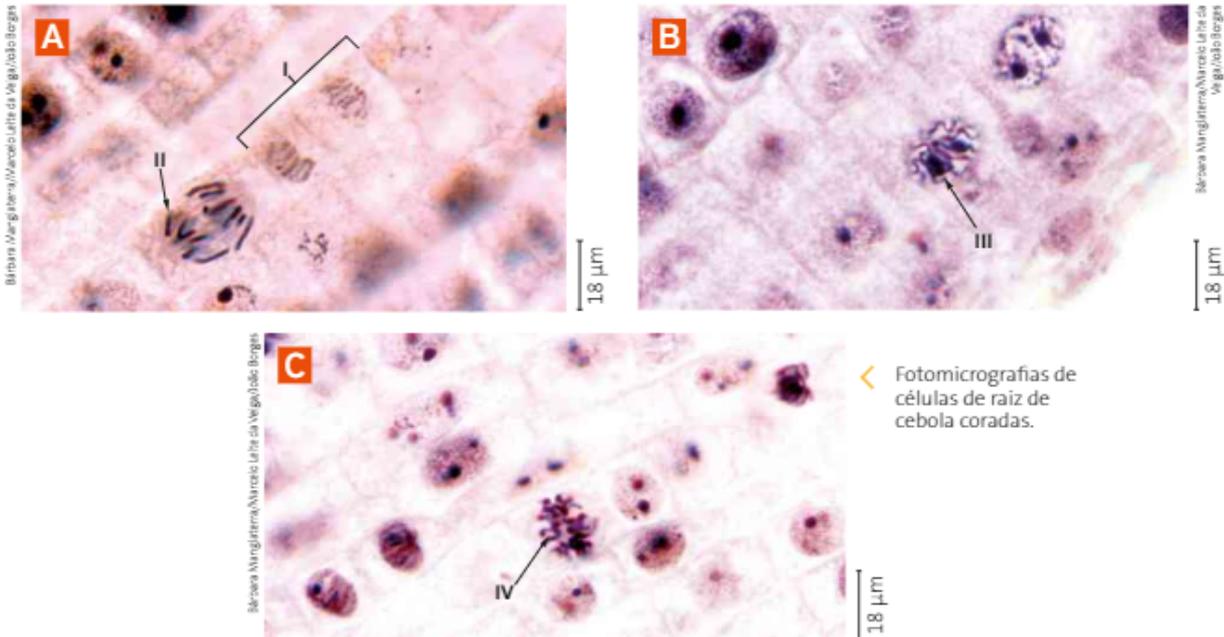
- A qual processo de divisão esse gráfico se refere? Justifique.
- Considerando que essa célula apresenta 22 cromossomos no momento a, indique a quantidade de moléculas de DNA nos momentos c, f e h.
- Esquematize em seu caderno as fases que ocorrem a partir do momento g. Use apenas um cromossomo em seu esquema.
- A que período corresponde o intervalo entre os momentos a e b?



Fonte: ALBERTS, B. *Biologia molecular da célula*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

#### Atividade 4 Interpretando fotomicrografias Habilidade do Enem: H15, H17.

As fotografias abaixo foram obtidas ao microscópio de luz e são do tecido da extremidade da raiz de cebola, onde ocorrem muitas divisões mitóticas. Observe as imagens e, em seguida, faça o que se pede.



Fotomicrografias de células de raiz de cebola coradas.

- Identifique as fases do processo em que as células indicadas estão (interfase, prófase, metáfase, anáfase ou telófase).
- Depois, descreva os principais eventos de cada uma dessas fases.



### Testes

REGISTRE NO CADERNO

- (Enem) Uma vítima de acidente de carro foi encontrada carbonizada devido a uma explosão. Índícios, como certos adereços de metal usados pela vítima, sugerem que a mesma seja filha de um determinado casal. Uma equipe policial de perícia teve acesso ao material biológico carbonizado da vítima, reduzido, praticamente, a fragmentos de ossos. Sabe-se que é possível obter DNA em condições para análise genética de parte do tecido interno de ossos. Os peritos necessitam escolher, entre cromossomos autossômicos, cromossomos sexuais (X e Y) ou DNAmT (DNA mitocondrial), a melhor opção para identificação do parentesco da vítima com o referido casal.

Sabe-se que, entre outros aspectos, o número de cópias de um mesmo cromossomo por célula maximiza a chance de se obter moléculas não degradadas pelo calor da explosão.

Com base nessas informações e tendo em vista os diferentes padrões de herança de cada fonte

de DNA citada, a melhor opção para a perícia seria a utilização

- do DNAmT, transmitido ao longo da linhagem materna, pois, em cada célula humana, há várias cópias dessa molécula.
- do cromossomo X, pois a vítima herdou duas cópias desse cromossomo, estando assim em número superior aos demais.
- do cromossomo autossômico, pois esse cromossomo apresenta maior quantidade de material genético quando comparado aos nucleares, como, por exemplo, o DNAmT.
- do cromossomo Y, pois, em condições normais, este é transmitido integralmente do pai para toda a prole e está presente em duas cópias em células de indivíduos do sexo feminino.
- de marcadores genéticos em cromossomos autossômicos, pois estes, além de serem transmitidos pelo pai e pela mãe, estão presentes em 44 cópias por célula, e os demais, em apenas uma.

2. (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:
- 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 o material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra célula com o material genético recém-sintetizado;
  - c) três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, essas 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, essas últimas contendo material genético recém-sintetizado;
  - e) quatro células, duas com material genético recém-sintetizado e duas com o material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora.
3. (Fuvest-SP) Quando afirmamos que o metabolismo da célula é controlado pelo núcleo celular, isso significa que:
- a) todas as reações metabólicas são catalisadas por moléculas e componentes nucleares.
  - b) o núcleo produz moléculas que, no citoplasma, promovem a síntese de enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
  - c) o núcleo produz e envia, para todas as partes da célula, moléculas que catalisam as reações metabólicas.
  - d) dentro do núcleo, moléculas sintetizam enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
  - e) o conteúdo do núcleo passa para o citoplasma e atua diretamente nas funções celulares, catalisando as reações metabólicas.
4. (UFPB-PB) Um pesquisador observou que, no início do desenvolvimento embrionário de um determinado tipo de animal, as divisões mitóticas ocorriam normalmente, aumentando o número de células, sem que, no entanto, houvesse aumento significativo no tamanho do embrião.

Relacionado a esse fato, observou também que dois períodos do ciclo celular dessas células eram de duração muito curta.

De acordo com essas observações e com os eventos biológicos que acontecem em cada período do ciclo celular, é possível depreender-se que o crescimento das células embrionárias, em questão, ocorre nos períodos do ciclo celular:

- a)  $G_1$  e S.
  - b) S e  $G_2$ .
  - c)  $G_2$  e mitose.
  - d) Mitose e  $G_1$ .
  - e)  $G_1$  e  $G_2$ .
5. (Fuvest-SP) A vinblastina é um quimioterápico usado no tratamento de pacientes com câncer. Sabendo-se que essa substância impede a formação de microtúbulos, pode-se concluir que sua interferência no processo de multiplicação celular ocorre na:
- a) condensação dos cromossomos.
  - b) descondensação dos cromossomos.
  - c) duplicação dos cromossomos.
  - d) migração dos cromossomos.
  - e) reorganização dos nucléolos.
6. (Fuvest-SP) Considere os eventos a seguir, que podem ocorrer na mitose ou na meiose:
- I. Emparelhamento dos cromossomos homólogos duplicados.
  - II. Alinhamento dos cromossomos no plano equatorial da célula.
  - III. Permutação de segmentos entre cromossomos homólogos.
  - IV. Divisão dos centrômeros resultando na separação das cromátides-irmãs.
- No processo de multiplicação celular para reparação de tecidos, os eventos relacionados à distribuição equitativa do material genético entre as células resultantes estão indicados em
- a) I e III, apenas.
  - b) II e IV, apenas.
  - c) II e III, apenas.
  - d) I e IV, apenas.
  - e) I, II, III e IV.

## Sugestões de consulta

### Livros

- 100 animais ameaçados de extinção no Brasil – E o que você pode fazer para evitar**, de Savio Freire Bruno, Ediouro, 2008.
- 40 contribuições pessoais para a sustentabilidade**, de Genebaldo Freire Dias, Global, 2005.
- Água – Origem, uso e preservação**, de Samuel Murgel Branco, Moderna, 2003.
- Animais aquáticos potencialmente perigosos do Brasil – Guia médico e biológico**, de Vidal Haddad Júnior, Roca, 2008.
- As cartas de Charles Darwin: uma seleta**, de Frederick Burkhardt (ed.), Unesp, 2000.
- A ciência através dos tempos**, de Attico Chassot, Moderna, 2001.
- A conservação das florestas tropicais**, de Sueli Angelo Furlan e João Carlos Nucci, Atual, 2004.
- A goleada de Darwin**, de Sandro Souza, Record, 2009.
- A maravilhosa aventura da vida**, de Clara Pinto Correia, Presença, 2009.
- A terceira margem**, de Ignacy Sachs, Companhia das Letras, 2009.
- A última floresta – A Amazônia na era da globalização**, de Mark London e Brian Kelly, Martins Fontes, 2007.
- Bioquímica do corpo humano – As bases moleculares do metabolismo**, de Fernando de Valencia, Unesp, 2014.
- Charles Darwin, a revolução da revolução**, de Rebecca Steffoff, Companhia das Letras, 2007.
- Clima e meio ambiente**, de José Bueno Conti, Atual, 2005.
- Darwin a bordo do Beagle**, de Richard Keynes, Jorge Zahar, 2004.
- Darwin e a evolução explicada aos nossos netos**, de Pascal Picq, Unesp, 2015.
- Dicionário básico de Biologia**, de Octacílio Lessa, Ciência Moderna, 2007.
- DNA: o segredo da vida**, de James D. Watson e Andrew Berry, Companhia das Letras, 2005.
- Do nicho ao lixo – Ambiente, sociedade e educação**, de Francisco C. Scarlato e Joel Arnaldo Pontin, Atual, 2009.
- Ecoguia – Guia ecológico de A a Z**, da Fundação Nicolas Hulot, Landy, 2008.
- Ecologia e cidadania**, de Carlos Minc, Moderna, 2005.
- Era verde? Ecossistemas brasileiros ameaçados**, de Zysman Neiman, Atual, 2005.
- Evolução: o sentido da Biologia**, de Diogo Meyer e Charbel Niño El-Hani, Unesp, 2005.
- Genes, povos e línguas**, de Luigi Luca Cavalli-Sforza, Companhia das Letras, 2003.
- Humanidade sem raças?**, de Sérgio D. J. Pena, Publifolha, 2008.
- Identidade genética e exame de DNA**, de Roseli Borin Ramadan Ahmad, Jurua, 2009.
- Infinitas formas de grande beleza**, de Sean B. Carroll, Jorge Zahar, 2006.
- Isto é Biologia – A Ciência do mundo vivo**, de Ernest Mayr, Companhia das Letras, 2008.
- Lixo, problema nosso de cada dia**, de Suzana Facchini Granato e Neide Simões de Mattos, Saraiva, 2005.
- Nossa escolha – Um plano para solucionar a crise climática**, de Al Gore, Amarilys, 2009.
- Os detetives do DNA**, de Anna Meyer, Record, 2008.
- O gene egoísta**, de Richard Dawkins, Itatiaia, 2001.
- O guia completo dos dinossauros do Brasil**, de Luiz Anelli, Peirópolis, 2010.
- O incrível mundo dos fungos**, de Gisela Ramos Terçarioli, Unesp, 2010.
- O que é vida?**, de Lynn Margulis e Dorion Sagan, Jorge Zahar, 2002.
- Para gostar de ler – A história da Biologia**, de Robson Fernandes de Farias, Átomo, 2009.
- Planeta Terra em perigo**, de Elizabeth Kolbert, Globo, 2008.
- Polegares e lágrimas e outras peculiaridades que nos tornam humanos**, de Chip Walter, Record, 2009.
- Seca no Nordeste – Desafios e soluções**, de Edith Oliveira de Menezes, Atual, 2005.
- Serpentes do Cerrado**, de Otavio Marques e André Eterovic, Holos, 2015.
- Terra: ontem e hoje – O planeta e as marcas deixadas pelo homem**, de Fred Pearce, Larousse, 2008.
- Uma introdução aos invertebrados**, de Janet Moore, Santos, 2003.
- Vivendo no Cerrado... e aprendendo com ele**, de Marcelo Ximenes Aguiar Bizerril, Saraiva, 2005.

## Sites

(Acessos em: abr. de 2016.)

### Biomias do Brasil

<<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomias-brasileiros>>  
 <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomias>>  
 <<http://www.biomiasdobrasil.com>>  
 <[http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/biomias](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomias)>  
 <[http://portais.ufg.br/uploads/160/original\\_uso\\_sustentavel.pdf](http://portais.ufg.br/uploads/160/original_uso_sustentavel.pdf)>  
 <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf)>  
 <[http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=409](http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=409)>  
 <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/manguezais>>  
 <[http://www4.icmbio.gov.br/cepene/index.php?id\\_menu=28](http://www4.icmbio.gov.br/cepene/index.php?id_menu=28)>

### Centros e museus de ciência no Brasil

<<http://www.museudavida.fiocruz.br/media/centros-e-museus-de-ciencia-do-brasil-2015%20novaversao.pdf>>

### Citologia

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-38292006000400012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-38292006000400012)>  
 <<http://www.ufrgs.br/biologiacelularatlas/morfo.htm>>

### Ciclo da água

<<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/5033/open/file/index.html>>  
 <<http://riosvoadores.com.br/>>

### Ciclo do carbono

<[http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/mud\\_clima/03\\_ciclo\\_do\\_carbono/03\\_ciclo\\_do\\_carbono.shtml](http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/mud_clima/03_ciclo_do_carbono/03_ciclo_do_carbono.shtml)>  
 <[http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/12644/zip/Intervencao%20humana%20no%20ciclo%20do%20carbono/Intervencao\\_humana\\_no\\_ciclo\\_do\\_carbono.htm](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/12644/zip/Intervencao%20humana%20no%20ciclo%20do%20carbono/Intervencao_humana_no_ciclo_do_carbono.htm)>  
 <[http://www.ige.unicamp.br/lrdg/pdf/55\\_Carbon\\_cycle2\\_pt.pdf](http://www.ige.unicamp.br/lrdg/pdf/55_Carbon_cycle2_pt.pdf)>

### Ciclo do nitrogênio

<<http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/nitrogenio.htm>>  
 <[http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/mud\\_clima/04\\_ciclo\\_do\\_nitrogenio/04\\_ciclo\\_do\\_nitrogenio.shtml](http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/mud_clima/04_ciclo_do_nitrogenio/04_ciclo_do_nitrogenio.shtml)>  
 <[http://www.ufpel.edu.br/iqg/livrovirtual/estanteamb\\_arquivos/nitrogenio.pdf](http://www.ufpel.edu.br/iqg/livrovirtual/estanteamb_arquivos/nitrogenio.pdf)>  
 <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/imprensa/2015/11/1,77039/video-descoberta-de-johanna-dobereiner-tornou-producao-de-soja-no-brasil-mais-competitiva.html>>

### Efeito estufa e equilíbrio ambiental

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/03/25/mecanizacao-da-colheita-de-cana-diminui-emissao>>  
 <<http://www.onu.org.br/consequencias-da-poluicao-do-ar-sao-piores-do-que-estimativas-anteriores-alerta-oms>>  
 <[http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/direito\\_poluicao.htm](http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/direito_poluicao.htm)>

### Mapa interativo do IBGE

<<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/>>

### Osmose em elódea

<[http://www.biologia.seed.pr.gov.br/arquivos/File/praticas/osmose\\_elodea.pdf](http://www.biologia.seed.pr.gov.br/arquivos/File/praticas/osmose_elodea.pdf)>  
 <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/16268/Osmose%20em%20cã@lulas%20vegetais.pdf?sequence=1>>

### Pegada de água

<<http://www.pegadahidrica.org/?page=files/home>>  
 <<http://site.sabesp.com.br/site/fale-conosco/faq.aspx?secaold=134&cid=27>>  
 <<http://www.wwf.org.br/?27822/Pegada-Hdrica-incentiva-o-uso-responsvel-da-gua>>  
 <<http://www.waterfootprint.org/downloads/ManualDeAvaliacaoDaPegadaHidrica.pdf>>  
 <[http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/coea/pncpr/PEGADA\\_AGUA.pdf](http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/coea/pncpr/PEGADA_AGUA.pdf)>

### Revista Unesp Ciência

<<http://www.unesp.br/revista>>

### Unidades de conservação

<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008\\_dap/\\_publicacao/149\\_publicacao05072011052951.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dap/_publicacao/149_publicacao05072011052951.pdf)>

# Gabarito

Respostas para as questões da seção **Testes**.

## Unidade 1 - O mundo em que vivemos

### Capítulo 1 - Introdução à Biologia

- |      |      |
|------|------|
| 1. D | 4. B |
| 2. A | 5. C |
| 3. A | 6. C |

### Capítulo 2 - Introdução à Ecologia

- |      |                      |
|------|----------------------|
| 1. B | 4. 28 (04 + 08 + 16) |
| 2. D | 5. B                 |
| 3. D |                      |

### Capítulo 3 - Ecossistemas terrestres e aquáticos

- |      |      |
|------|------|
| 1. A | 4. C |
| 2. E | 5. A |
| 3. B | 6. E |

### Capítulo 4 - Estrutura dos ecossistemas, fluxo de energia e ciclo da matéria

- |      |                      |
|------|----------------------|
| 1. E | 5. D                 |
| 2. D | 6. C                 |
| 3. D | 7. D                 |
| 4. D | 8. 13 (01 + 04 + 08) |

### Capítulo 5 - Comunidades e populações

- |      |                     |
|------|---------------------|
| 1. A | 5. C                |
| 2. D | 6. A                |
| 3. C | 7. 6(0 + 1 + 2 + 3) |
| 4. D | 8. V, F, V, V, F, V |

### Capítulo 6 - Alterações ambientais

- |      |      |
|------|------|
| 1. D | 6. B |
| 2. C | 7. C |
| 3. E | 8. D |
| 4. B | 9. E |
| 5. D |      |

## Unidade 2 - Origem da vida e Biologia celular

### Capítulo 7 - Das origens aos dias de hoje

- |      |      |
|------|------|
| 1. A | 5. D |
| 2. C | 6. A |
| 3. C | 7. E |
| 4. E |      |

### Capítulo 8 - A química da vida

- |      |      |
|------|------|
| 1. D | 4. C |
| 2. E | 5. C |
| 3. E | 6. E |

### Capítulo 9 - Citologia e envoltórios celulares

- |      |      |
|------|------|
| 1. E | 4. A |
| 2. B | 5. B |
| 3. C |      |

### Capítulo 10 - O citoplasma das células

- |             |       |
|-------------|-------|
| 1. A        | 6. D  |
| 2. D        | 7. A  |
| 3. B, C e D | 8. E  |
| 4. B        | 9. A  |
| 5. E        | 10. D |

### Capítulo 11 - Metabolismo energético

- |      |      |
|------|------|
| 1. C | 4. E |
| 2. A | 5. E |
| 3. A |      |

### Capítulo 12 - Núcleo, divisões celulares e reprodução

- |      |      |
|------|------|
| 1. A | 4. E |
| 2. A | 5. D |
| 3. B | 6. B |

