

**INTERAÇÃO**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA  
E SUAS TECNOLOGIAS**

GABRIEL DE MOURA SILVA  
SAMUEL SCHNORR  
SANDRA FAGIONATO  
MAURÍCIO PIETROCOLA  
(COORD.)

**VOLUME  
ÚNICO**

**BIOLOGIA**  
**CIENTÍFICA E CULTURA**  
**CONTEMPORÂNEO**

**MANUAL DO  
PROFESSOR**

ENSINO MÉDIO – 1º, 2º E 3º ANOS  
CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS  
TECNOLOGIAS – BIOLOGIA



**Editora  
do Brasil**





## BIOLOGIA ▶ CULTURA CIENTÍFICA E MUNDO CONTEMPORÂNEO

### GABRIEL DE MOURA SILVA

- ▶ Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Bacharel e licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Professor de Ciências e Biologia na Educação Básica

### SAMUEL SCHNORR

- ▶ Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Mestre em Educação pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeI)
- ▶ Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeI)
- ▶ Professor do Núcleo de Educação Científica – Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB)
- ▶ Professor do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências (PPGEduC-UnB)
- ▶ Professor do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia (PROFBio-UnB)

### SANDRA FAGIONATO

- ▶ Mestre e Doutora em Educação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
- ▶ Formada em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista (Unesp – Rio Claro)
- ▶ Professora da Educação Básica no município de São Carlos (SP)

### MAURÍCIO PIETROCOLA (COORD.)

- ▶ Doutor em Epistemologia e História das Ciências Exatas e das Instituições Científicas pela Universidade Paris 7
- ▶ Mestre em Ciências: Ensino de Física pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Professor da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP)

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

Silva, Gabriel de Moura

Biologia : cultura científica e mundo contemporâneo : volume único / Gabriel de Moura Silva, Samuel Schnorr, Sandra Fagionato ; Maurício Pietrocola (coord.). -- 1. ed. -- São Paulo : Editora do Brasil, 2024. -- (Interação ciências da natureza e suas tecnologias)

ISBN 978-85-10-10280-3 (aluno)

ISBN 978-85-10-10279-7 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Schnorr, Samuel.  
II. Fagionato, Sandra. III. Pietrocola, Maurício.  
IV. Título. V. Série.

24-224735

CDD-570

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Biologia : Ensino médio 570

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

© Editora do Brasil S.A., 2025

Todos os direitos reservados

**Direção-geral:** Paulo Serino de Souza

**Diretoria editorial:** Felipe Ramos Poletti

**Gerência editorial de conteúdo didático:** Erika Caldin

**Gerência editorial de produção e design:** Ulisses Pires

**Supervisão de design:** Catherine Saori Ishihara

**Supervisão de arte:** Abdonildo José de Lima Santos

**Supervisão de revisão:** Elaine Cristina da Silva

**Supervisão de iconografia:** Léo Burgos

**Supervisão de digital:** Priscila Hernandez

**Supervisão de controle e planejamento editorial:** Roseli Said

**Supervisão de direitos autorais:** Luciana Sposito

**Supervisão editorial:** Thalita Carrara

**Edição:** Ana Caroline S. Rodrigues Cioco, Erika Maria de Jesus, Juliana Bardí, Luisiana Andresa Carneiro e Lygia Del Matto

**Assistência editorial:** Ana Paula Jodas

**Revisão:** Bianca Oliveira, Jéssie Panegassi, Vitor Silva e Yasmin Fonseca

**Pesquisa iconográfica:** Bruna Parronchi e Pamela Rosa

**Tratamento de imagens:** Robson Mereu

**Projeto gráfico:** Talita Lima, Diego Lima e Rafael Gentile

**Capa:** Gláucia Koller

**Imagem de capa:** LuchschenF/Shutterstock.com

**Edição de arte:** Marcela Tengan

**Ilustrações:** Ericson Guilherme Luciano, Luiz Moura, Reinaldo Vignati,

Renan Oracic e TDPStudio

**Edição eletrônica:** Estúdio Type

**Licenciamentos de textos:** Cinthya Utiyama, Ingrid Granzotto, Renata Garbellini e Solange Rodrigues

**Controle e planejamento editorial:** Bianca Gomes, Juliana Gonçalves, Maria Trofino, Regiane Matos, Terezinha Oliveira e Valéria Alves

1ª edição, 2025



Avenida das Nações Unidas, 12901  
Torre Oeste, 20º andar  
São Paulo, SP - CEP: 04578-910  
Fone: +55 11 3226-0211  
www.editoradobrasil.com.br

Em respeito ao meio ambiente, as folhas deste livro foram produzidas com fibras obtidas de árvores de florestas plantadas, com origem certificada.

## Prezada(o) estudante,

Esta obra é dedicada a você, que tem curiosidade e busca conhecer a vida em todas as suas formas. Nesta jornada, nós convidamos você a desbravar as páginas que apresentam e aprofundam o mundo biológico em toda sua complexidade, proporcionando uma experiência única de aprendizado.

A **Biologia** é uma ciência que estuda desde a menor unidade de vida, a célula, até as intrincadas teias de interações nos ecossistemas, proporcionando um conhecimento abrangente dos processos vitais e das dinâmicas que permeiam a diversidade biológica. Esta obra é uma ferramenta para a sua jornada de investigações científicas, permitindo que você explore, questione e compreenda os fenômenos biológicos ao seu redor.

Assim como na vida contemporânea, em que soluções inovadoras são resultado do esforço colaborativo, a Biologia também se constitui historicamente do trabalho em equipe, da elaboração de teorias e da aplicação do conhecimento. Ao longo desta obra, você vai se envolver em leituras, atividades práticas e projetos interdisciplinares, experimentando o fazer científico e a resolução de problemas, que certamente contribuirão para a ampliação do seu entendimento sobre a vida.

Adotamos uma abordagem inclusiva na exploração da Biologia, reconhecendo a importância de todos os seres vivos, independentemente de suas características singulares, o que inclui a valorização e o respeito à diversidade humana. Ao longo desta obra, convidamos você a refletir sobre como a Biologia, ao abraçar a diversidade, contribui não apenas para o entendimento científico, mas também para a construção de uma sociedade mais justa e consciente.

Torne-se parte ativa desse fascinante universo, celebrando a riqueza e a interconexão da diversidade biológica, estabelecendo, assim, vínculos entre quem fomos, quem somos e as possibilidades para nosso futuro.

Bom trabalho e boa jornada!

Autores

# CONHEÇA SEU LIVRO

A obra está organizada em unidades e capítulos. Os conteúdos são apresentados ao longo dos capítulos e de suas seções. Veja e entenda a estrutura de seu livro e o propósito de cada parte dele.

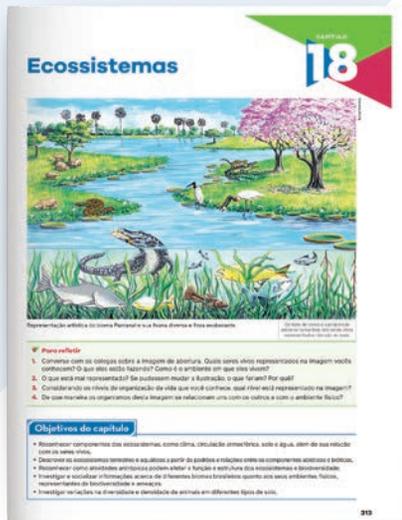


## Abertura de unidade

Imagens e texto apresentam a você uma temática atual que tem tudo a ver com os conteúdos abordados na unidade. Apresentada de forma atrativa e contextualizada, é um convite à reflexão a partir de contextos conhecidos e que merecem ser melhor estudados.

## Para começar

É uma preparação para o estudo. Traz questões que instigam a curiosidade e a reflexão a respeito da temática abordada no texto e nas imagens e busca mobilizar os conhecimentos prévios.



## Abertura de capítulo

Cada unidade é dividida em quatro capítulos, organizados para construir gradualmente os conceitos relevantes à temática. A abertura sempre traz imagens atrativas e significativas para o desenvolvimento do capítulo.

## Para refletir

Questões de leitura inferencial de imagem de abertura e/ou de levantamento de conhecimentos prévios que ajudam a estabelecer relações entre o que você já sabe e o que será estudado.

## Objetivos do capítulo

Descreve as expectativas de aprendizagem, ou seja, o que é esperado que você aprenda após o estudo do capítulo.



## Saiba mais

Traz informações complementares e aprofundamentos que ajudam a estabelecer relações entre os conceitos, compreender problemáticas atuais e fazer a articulação com outras áreas do conhecimento.

## Atividades comentadas

Traz estratégias de resolução, com foco nos conceitos abordados no capítulo, e serve de apoio às atividades propostas.

**Ciência por dentro**  
Seção que apresenta situações de aprendizagem para você vivenciar diferentes vertentes da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico: experimentos e pesquisas. A seção propicia o desenvolvimento de investigação, argumentação, de análise de dados e do pensamento científico.



**Ciência por fora**  
Seção destinada a abordar as interfaces entre a ciência, a tecnologia e o mundo social, essenciais para a avaliação dos desafios contemporâneos e para tomada de decisões informadas e responsáveis. Articulada com os conteúdos conceituais, esta seção propicia o trabalho com argumentação, leitura inferencial e com os Temas Contemporâneos Transversais.

**Se liga**  
Pequenos textos que buscam a retomada de conceitos importantes previamente trabalhados ou a diferenciação de conceitos e processos.



**Ciências da Natureza**

A composição química do corpo humano é estudada com outro enfoque no **capítulo 3** do volume de **Química** desta coleção.

**Ciências da Natureza**

Boxe que estabelece a relação entre capítulos dos componentes de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que tratam de conceitos relacionados sob diferentes perspectivas, visando fomentar uma compreensão integrada e aprofundada dos temas.

**#FicaADica**

Disposta ao longo dos capítulos, esta seção traz sugestões comentadas de livros, filmes e recursos da internet que ampliam seus conhecimentos sobre os assuntos trabalhados.

**Atividades propostas**

Seção que acompanha o desenvolvimento teórico de cada capítulo, contendo atividades – especialmente elaboradas para esta coleção ou extraídas de exames vestibulares e do Enem – de sistematização e aplicação dos conceitos estudados.

**Recapitule**

Encerrando cada capítulo, este boxe apresenta um breve resumo dos principais conteúdos abordados e pode propor a retomada das respostas dadas para as questões de abertura do capítulo, proporcionando a revisão à luz do conhecimento construído, além de poder incluir atividades mais desafiadoras que vão auxiliá-lo na consolidação da aprendizagem.



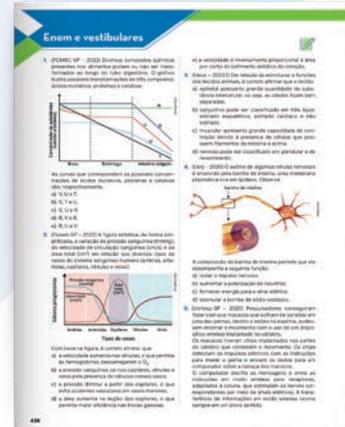
**Planeje e resolva**

Diante de uma situação-problema interdisciplinar, você terá a oportunidade de aplicar e aprofundar seu conhecimento, assumindo um papel ativo na elaboração de soluções. Este processo envolve uma prática reflexiva e engajada, permitindo que você explore as possibilidades e expanda suas habilidades de maneira eficaz.



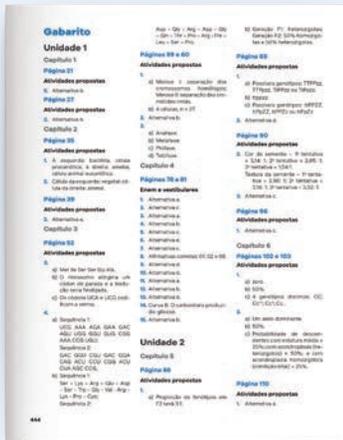
### Material de apoio

Disposta no fim do volume, esta seção apresenta o infográfico "Segurança no laboratório".



### Enem e vestibulares

Uma seleção de atividades – do Enem e dos principais exames vestibulares de todo o país – para ajudá-lo a revisar, aplicar, aprofundar e até expandir os conceitos estudados na unidade.



### Gabarito

Nas páginas finais de cada volume há respostas das atividades de múltipla escolha e das que requerem cálculo.

### Ícones TCT

Estes ícones indicam o trabalho sobre um Tema Contemporâneo Transversal.



Meio ambiente



Cidadania e civismo



Economia



Multiculturalismo



Saúde



Ciência e tecnologia

### Ícones



O ícone-medida é aplicado para indicar o tamanho médio do ser vivo que aparece em imagens, podendo indicar a altura ou o comprimento.



Utilizado quando a atividade deve ser realizada em grupo.



Utilizado quando a atividade deve ser realizada em dupla.



Resposta no caderno.



Pensamento computacional.



Podcast



Vídeo



Infográfico clicável



Mapa clicável



Carrossel de imagens

# SUMÁRIO

<b>UNIDADE 1 O mundo celular</b> .....	<b>12</b>	Estruturas não membranosas .....	41
<b>CAPÍTULO 1</b>		Estruturas membranosas .....	42
<b>Estudo e organização da vida</b> .....	<b>14</b>	<b>Recapitule</b> .....	<b>44</b>
<b>História da Biologia</b> .....	<b>15</b>	<b>CAPÍTULO 3</b>	
Os primórdios da investigação biológica ...	15	<b>Informação genética e ciclo celular</b> .....	<b>45</b>
Senso comum e conhecimento científico ..	16	<b>Material e código genético</b> .....	<b>46</b>
História e reconhecimento de grandes cientistas .....	16	DNA .....	46
<b>Ciência por fora</b>		RNA .....	48
<b>Integração de saberes em Políticas Públicas</b> .....	<b>17</b>	Cromossomos .....	49
<b>Métodos científicos</b> .....	<b>19</b>	Síntese de proteínas: transcrição e tradução .....	50
Método hipotético-dedutivo .....	19	<b>Ciclo celular</b> .....	<b>53</b>
<b>A Ciência e a realidade social</b> .....	<b>20</b>	Interfase .....	53
Precisão e replicabilidade .....	20	<b>Ciência por fora</b>	
<b>Características dos seres vivos</b> .....	<b>22</b>	<b>Ciclo celular, p53 e câncer</b> .....	<b>54</b>
Composição química do organismo .....	22	Divisão celular .....	55
Organização celular .....	23	<b>Ciência por dentro</b>	
Respostas a estímulos ambientais .....	23	<b>Modelo da divisão celular</b> .....	<b>58</b>
Metabolismo .....	23	<b>Recapitule</b> .....	<b>60</b>
Homeostase .....	23	<b>CAPÍTULO 4</b>	
Crescimento e desenvolvimento .....	23	<b>Metabolismo energético celular</b> .....	<b>61</b>
Reprodução .....	24	<b>O que é metabolismo?</b> .....	<b>62</b>
Evolução .....	24	Reações metabólicas .....	62
<b>Organização da vida</b> .....	<b>25</b>	Reações de oxirredução .....	63
Hierarquia biológica .....	25	A adenosina trifosfato .....	64
<b>Recapitule</b> .....	<b>27</b>	<b>Ciência por fora</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b>		<b>O “corpo perfeito” – a que risco?</b> .....	<b>65</b>
<b>Membranas e organelas celulares</b> .....	<b>28</b>	<b>Glicólise</b> .....	<b>66</b>
<b>A teoria celular</b> .....	<b>29</b>	<b>Fermentação</b> .....	<b>66</b>
 <b>Infográfico clicável</b> .....	<b>29</b>	<b>Ciência por dentro</b>	
<b>Composição química das células</b> .....	<b>30</b>	<b>Substrato e temperatura</b> .....	<b>67</b>
Água .....	30	<b>Respiração celular</b> .....	<b>68</b>
Proteínas .....	30	Ciclo de Krebs .....	69
Carboidratos .....	32	Fosforilação oxidativa .....	70
Lipídeos .....	32	<b>Fotossíntese</b> .....	<b>71</b>
Vitaminas .....	33	Fotossíntese em eucariontes .....	72
Sais minerais .....	33	Fotossíntese em bactérias .....	74
Ácidos nucleicos .....	33	<b>Ciência por fora</b>	
<b>Tipos de células</b> .....	<b>34</b>	<b>Fotossíntese artificial</b> .....	<b>74</b>
<b>Membrana plasmática</b> .....	<b>35</b>	<b>Quimiossíntese</b> .....	<b>76</b>
O modelo mosaico fluido .....	35	<b>Recapitule</b> .....	<b>77</b>
<b>Tipos de transporte</b> .....	<b>37</b>	<b>Planeje e resolva</b> .....	<b>77</b>
Transporte passivo .....	37	<b>Enem e vestibulares</b> .....	<b>78</b>
Transporte ativo .....	38	<b>UNIDADE 2 Genética e biotecnologia</b> .....	<b>82</b>
Transporte mediado por vesículas .....	38	<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Ciência por fora</b>		<b>As leis de Mendel</b> .....	<b>84</b>
<b>Terapia celular</b> .....	<b>40</b>		
<b>Organelas celulares</b> .....	<b>41</b>		

Experimentos de Mendel .....	85
Lei da segregação dos fatores .....	85
Lei da segregação independente .....	87
 <b>Podcast</b> .....	87
<b>Leis de probabilidade e hereditariedade</b> .....	88
Probabilidades em cruzamentos mendelianos .....	89
<b>Tradução do trabalho de Mendel e seu modelo</b> .....	91
Herança com dominância completa .....	92
A primeira lei de Mendel e a meiose .....	93
Genótipo e fenótipo .....	94
<b>Heredogramas</b> .....	95
<b>Ciência por fora</b>	
Conceito de raça .....	97
<b>Recapitule</b> .....	98
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>Heranças monogênicas e poligênicas</b> .....	99
<b>Heranças monogênicas</b> .....	100
Alelos múltiplos .....	101
Alelos letais .....	102
<b>Ciência por fora</b>	
Testes genéticos e a medicina personalizada .....	103
Dominância incompleta .....	106
Codominância .....	106
<b>Ciência por dentro</b>	
Tipagem sanguínea da comunidade escolar .....	108
Pleiotropia .....	109
<b>Heranças poligênicas</b> .....	110
Herança poligênica aditiva .....	110
 Vídeo .....	110
Herança poligênica não aditiva .....	112
<b>Recapitule</b> .....	113
<b>CAPÍTULO 7</b>	
<b>Cromossomos e genética de populações</b> .....	114
<b>Cromossomos e herança</b> .....	115
Recombinação genética e variabilidade .....	115
Herança e cromossomos sexuais .....	118
<b>Síndromes cromossômicas</b> .....	122
<b>Ciência por fora</b>	
Gravidez tardia .....	123
<b>Expressividade e penetrância gênicas</b> .....	126
Inativação do cromossomo X .....	127
<b>Genética de populações</b> .....	128
Princípio de Hardy-Weinberg .....	128
<b>Recapitule</b> .....	130

<b>CAPÍTULO 8</b>	
<b>Inovações e aplicações genéticas</b> .....	131
<b>Engenharia Genética</b> .....	132
Ferramentas e técnicas .....	132
 Infográfico clicável .....	132
Modificação de organismos .....	135
Clonagem .....	136
Células-tronco .....	137
Preocupações e regulamentações .....	139
<b>Ciência por fora</b>	
Ameaças às sementes crioulas .....	140
<b>Biotecnologia na Medicina</b> .....	142
Transplante de órgãos e tecidos .....	142
Medicina regenerativa .....	143
<b>Ciência por fora</b>	
Transplante de órgãos geneticamente modificados .....	143
Terapia gênica .....	144
Epigenética .....	144
Considerações éticas e sociais .....	145
<b>Recapitule</b> .....	146
<b>Planeje e resolva</b> .....	147
<b>Enem e vestibulares</b> .....	148

## **UNIDADE 3** Origem e evolução da vida ..... 152

<b>CAPÍTULO 9</b>	
<b>O fenômeno da vida</b> .....	154
Diferentes perspectivas sobre a vida .....	155
A origem da vida para a Ciência .....	156
<b>Ciência por dentro</b>	
Receita de vida .....	158
<b>A Terra primitiva e os primeiros seres vivos</b> .....	159
<b>Origem por evolução química</b> .....	159
Hipótese de Oparin e Haldane .....	159
O experimento de Miller e Urey .....	160
Mundo de RNA .....	161
<b>Panspermia cósmica</b> .....	162
<b>Ciência por fora</b>	
Teria a vida na Terra começado no espaço? .....	163
<b>Evolução do metabolismo</b> .....	164
<b>Recapitule</b> .....	165
<b>CAPÍTULO 10</b>	
<b>Evolução biológica</b> .....	166
Pensamento evolutivo .....	167
<b>Fatores evolutivos</b> .....	168
Mutações .....	168

Recombinação genética .....	169
Seleção natural .....	169
Seleção artificial .....	170
<b>Evidências da evolução biológica .....</b>	<b>172</b>
Os registros fósseis .....	172
Biogeografia .....	172
Anatomia e embriologia comparada .....	173
Biologia molecular .....	175
<b>Ciência por fora</b>	
As serpentes já tiveram pernas? .....	176
<b>Especiação .....</b>	<b>177</b>
Especiação alopátrica e simpátrica .....	177
<b>A síntese moderna da evolução .....</b>	<b>178</b>
<b>Árvores filogenéticas .....</b>	<b>178</b>
<b>Recapitule .....</b>	<b>179</b>
<b>CAPÍTULO 11</b>	
<b>Sistemática: taxonomia e filogenia .....</b>	<b>180</b>
<b>Taxonomia .....</b>	<b>181</b>
Classificação biológica .....	181
<b>Ciência por dentro</b>	
O trabalho taxonômico .....	186
<b>Filogenia .....</b>	<b>187</b>
Análise filogenética .....	188
Nomenclatura filogenética .....	189
Crítérios para agrupamento filogenético .....	191
<b>Ciência por fora</b>	
O que é um protista? .....	192
<b>Recapitule .....</b>	<b>195</b>
<b>CAPÍTULO 12</b>	
<b>Evolução dos primatas .....</b>	<b>196</b>
<b>Taxonomia evolutiva de primatas .....</b>	<b>197</b>
Mãos hábeis e polegares opositores .....	197
Visão estereoscópica .....	197
Natureza social .....	197
Parentes próximos dos humanos .....	198
<b>Ciência por fora</b>	
Jane Goodall: evolução e comportamento animal .....	200
<b>Taxonomia evolutiva humana .....</b>	<b>202</b>
Principais linhagens .....	202
 <b>Mapa clicável .....</b>	<b>206</b>
<b>Adaptações às diferentes regiões .....</b>	<b>208</b>
<b>Ciência por dentro</b>	
Estudo do comportamento animal .....	209
<b>Recapitule .....</b>	<b>212</b>
<b>Planeje e resolva .....</b>	<b>212</b>
<b>Enem e vestibulares .....</b>	<b>213</b>

## **UNIDADE 4 Biodiversidade** ..... 216

### **CAPÍTULO 13**

#### **Vírus, arqueas e bactérias** ..... 218

##### **Vírus** ..... 219

Ciclo de replicação ..... 220

Ecologia e evolução de vírus ..... 222

##### **Arqueas e bactérias** ..... 223

Estrutura ..... 224

Reprodução ..... 225

Ecologia e evolução de arqueas ..... 225

Ecologia e evolução de bactérias ..... 227

 *Podcast* ..... 229

Bactérias patogênicas ..... 230

#### **Ciência por fora**

Resistência microbiana ..... 231

**Recapitule** ..... 234

### **CAPÍTULO 14**

#### **Microrganismos eucariontes e algas pardas** ..... 235

##### **Diversidade de eucariontes** ..... 236

##### **Amoebozoa** ..... 237

Parasitismo e saúde humana ..... 237

Bolores limosos ..... 238

##### **Discoba** ..... 239

Euglenoidea ..... 239

Kinetoplastea ..... 239

##### **Metamonada** ..... 242

##### **SAR** ..... 243

Rhizaria ..... 243

Alveolata ..... 244

#### **Ciência por fora**

O branqueamento de corais ..... 245

Stramenopiles ..... 248

**Recapitule** ..... 250

### **CAPÍTULO 15**

#### **Glaucofitas, algas vermelhas, algas verdes e plantas terrestres** ..... 251

##### **O clado Archaeplastida** ..... 252

Glaucophyta ..... 252

Rhodophyceae ..... 253

Chlorophyta ..... 253

Embryophyta ..... 254

##### **A conquista do ambiente terrestre** ..... 255

Plantas não vasculares ..... 255

Plantas vasculares ..... 256

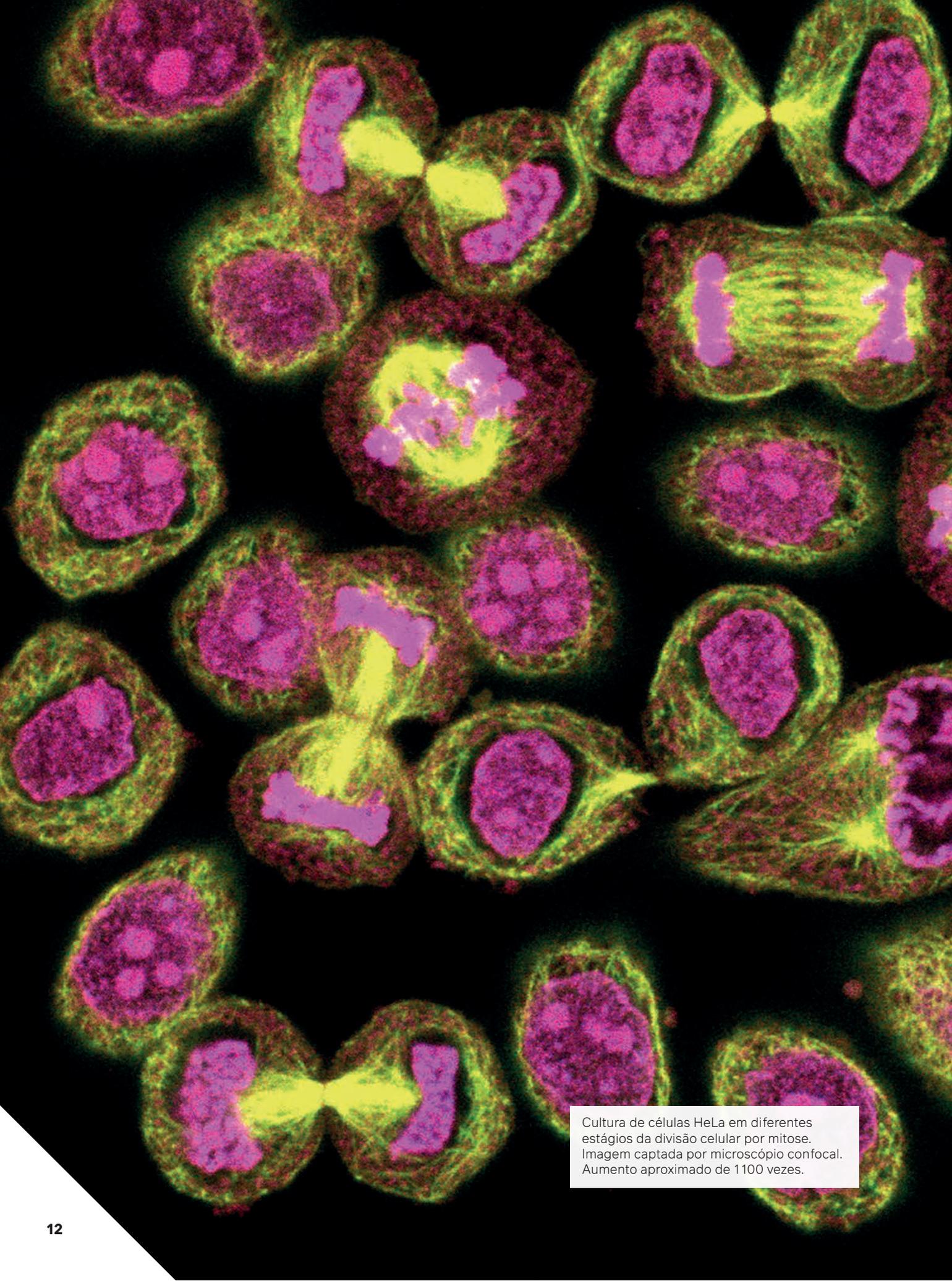
 *Vídeo* ..... 258

#### **Ciência por dentro**

Explorando a diversidade vegetal da comunidade ..... 260

<b>Morfofisiologia vegetal</b> .....	<b>261</b>	Composição química do ar, solo e água .....	320
Raízes .....	261	<b>Ciência por dentro</b>	
Caules .....	262	A fauna do solo .....	322
Folhas .....	262	<b>Classificação de ecossistemas</b> .....	<b>324</b>
Flores .....	263	 Carrossel de imagens .....	325
Frutos .....	264	<b>Ciência por dentro</b>	
Sementes .....	264	Biomias brasileiros: características e	
<b>Ciência por fora</b>		ameaças .....	326
Plantas alimentícias não convencionais		<b>Recapitule</b> .....	<b>328</b>
(PANCS) .....	265	<b>CAPÍTULO 19</b>	
Tecidos vegetais .....	266	<b>Fluxo de energia e ciclo da matéria</b> .....	<b>329</b>
Respostas a estímulos ambientais .....	268	<b>A energia nos ecossistemas</b> .....	<b>330</b>
<b>Recapitule</b> .....	<b>269</b>	Fluxos, ciclos e cadeias .....	330
<b>CAPÍTULO 16</b>		<b>Ciência por dentro</b>	
<b>Fungos e animais</b> .....	<b>270</b>	Observação de cadeias alimentares .....	332
<b>O clado Opisthokonta</b> .....	<b>271</b>	Produtividade .....	332
<b>Os fungos</b> .....	<b>272</b>	Ciclagem de nutrientes .....	334
Principais grupos e características .....	273	<b>Ciência por fora</b>	
<b>Ciência por fora</b>		Impacto de monoculturas no fluxo de	
Declínio dos anfíbios .....	276	energia .....	335
<b>Os animais</b> .....	<b>278</b>	<b>Ciclos biogeoquímicos</b> .....	<b>336</b>
Embriologia animal .....	279	Ciclo da água .....	336
Ciclos de vida .....	280	Ciclo do carbono .....	338
Principais grupos e características .....	281	Ciclo do oxigênio .....	339
<b>Recapitule</b> .....	<b>291</b>	Ciclo do nitrogênio .....	340
<b>Planeje e resolva</b> .....	<b>291</b>	Ciclo do fósforo .....	341
<b>Enem e vestibulares</b> .....	<b>292</b>	Fatores que impactam os ciclos .....	341
<b>UNIDADE 5 Ecologia e</b>		<b>Adaptações à disponibilidade de</b>	
<b>conservação</b> .....	<b>294</b>	alimentos .....	<b>343</b>
<b>CAPÍTULO 17</b>		<b>Ciência por fora</b>	
<b>Interações entre os seres vivos</b>		Adaptações das plantas às condições	
<b>e o ambiente</b> .....	<b>296</b>	do cerrado brasileiro .....	345
<b>Dinâmica da vida</b> .....	<b>297</b>	<b>Recapitule</b> .....	<b>346</b>
Hábitat e nicho ecológico .....	297	<b>CAPÍTULO 20</b>	
Populações .....	299	<b>Conservação da biodiversidade</b> .....	<b>347</b>
<b>Ciência por fora</b>		<b>Ameaças à natureza</b> .....	<b>348</b>
Qual será o destino das antas? .....	301	Exploração intensiva dos recursos	
<b>Ciência por fora</b>		naturais .....	348
Ciência cidadã e abelhas .....	302	Destruição e fragmentação de habitats ...	348
Comunidades .....	306	Poluição .....	349
Relações ecológicas .....	308	Mudanças climáticas .....	349
<b>Recapitule</b> .....	<b>312</b>	<b>Proteção, serviços e manejo dos</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b>		<b>ecossistemas</b> .....	<b>351</b>
<b>Ecossistemas</b> .....	<b>313</b>	Serviços ecossistêmicos .....	351
<b>Sistemas adaptativos complexos</b> .....	<b>314</b>	Conservação <i>in situ</i> e <i>ex situ</i> .....	352
Clima e circulação atmosférica .....	315	Manejo sustentável .....	355
<b>Ciência por fora</b>		<b>Governança ambiental</b> .....	<b>356</b>
Hibernação e torpor .....	318	Gestão global .....	356
		Sustentabilidade .....	357
		Política e legislação .....	358

<b>Ciência por fora</b>	
Reconhecimento da cosmovisão dos povos originários .....	358
<b>Restauração ecológica</b> .....	360
 Carrossel de imagens .....	360
<b>Recapitule</b> .....	361
<b>Planeje e resolva</b> .....	362
<b>Enem e vestibulares</b> .....	363
<b>UNIDADE 6 Bem-estar e sociedade</b> .....	366
<b>CAPÍTULO 21</b>	
<b>Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário</b> .....	368
<b>Introdução aos sistemas vitais</b> .....	369
<b>Sistema digestório</b> .....	369
Digestão e absorção de nutrientes .....	369
<b>Ciência por fora</b>	
Padrões alimentares de adolescentes .....	372
<b>Sistema respiratório</b> .....	374
Processo de inspiração e expiração .....	375
Trocias gasosas .....	375
Poluição e saúde pulmonar .....	376
<b>Sistema cardiovascular</b> .....	377
Coração .....	378
Vasos sanguíneos .....	380
Sangue .....	380
<b>Sistema urinário</b> .....	382
Processo de formação e eliminação da urina .....	383
Regulação do equilíbrio hídrico .....	383
<b>Recapitule</b> .....	383
<b>CAPÍTULO 22</b>	
<b>Sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune</b> .....	384
<b>Sistema nervoso</b> .....	385
Células do sistema nervoso .....	385
Impulsos nervosos e sinapses .....	386
Sistema nervoso central .....	388
Sistema nervoso periférico .....	389
Doenças neurodegenerativas .....	391
<b>Sistema musculoesquelético</b> .....	392
Esqueleto .....	392
Tecidos musculares .....	395
<b>Sistema endócrino</b> .....	398
Hipófise, tireoidea e paratireoideas .....	399
Glândulas suprarrenais e pâncreas .....	400
<b>Sistema imune</b> .....	402
Imunidade inata .....	402
Imunidade adaptativa .....	403
 Infográfico clicável .....	404
<b>Ciência por fora</b>	
Sepse .....	406
<b>Recapitule</b> .....	407
<b>CAPÍTULO 23</b>	
<b>Reprodução humana</b> .....	408
<b>Processos de reprodução e desenvolvimento</b> .....	409
Sistema genital .....	409
Fertilização e desenvolvimento fetal .....	414
O parto e o pós-parto .....	416
<b>Direitos sexuais e reprodutivos</b> .....	417
 <b>Vídeo</b> .....	418
<b>Ciência por dentro</b>	
A nossa comunidade e os métodos contraceptivos .....	420
<b>Recapitule</b> .....	421
<b>CAPÍTULO 24</b>	
<b>Saúde pública</b> .....	422
<b>Introdução à saúde pública</b> .....	423
Saúde pública no Brasil .....	423
<b>Ciência por fora</b>	
<b>Revolta da Vacina</b> .....	424
Sistema Único de Saúde (SUS) .....	426
Barreiras de acesso e desigualdades .....	428
<b>Epidemiologia</b> .....	428
Estatísticas epidemiológicas .....	429
Principais doenças no Brasil .....	430
<b>Ciência por dentro</b>	
Conhecer e prevenir: saúde em nossa comunidade .....	432
<b>Saúde ambiental e ocupacional</b> .....	432
Impacto ambiental na saúde pública .....	433
Riscos à saúde no ambiente de trabalho .....	434
<b>Desafios e futuro da saúde pública</b> .....	435
 <b>Podcast</b> .....	435
<b>Recapitule</b> .....	436
<b>Planeje e resolva</b> .....	437
<b>Enem e vestibulares</b> .....	438
<b>Material de apoio</b> .....	442
<b>Gabarito</b> .....	444
<b>Referências comentadas</b> .....	446



Cultura de células HeLa em diferentes estágios da divisão celular por mitose. Imagem captada por microscópio confocal. Aumento aproximado de 1100 vezes.

# O mundo celular

Nesta unidade, vamos explorar as características das células e o metabolismo energético. Esse é um ponto de partida fundamental para o estudo da Biologia no Ensino Médio. A intenção é que você aprofunde e amplie seu conhecimento sobre esta área das Ciências da Natureza.

A imagem mostra uma cultura de células em diferentes estágios de divisão celular por mitose. Essas células são oriundas de uma linhagem que começou a ser estudada nos anos 1950 por um pesquisador chamado George Otto Gey (1899-1970). As células foram retiradas de Henrietta Lacks (1920-1951), uma paciente diagnosticada com câncer de útero, e deram origem ao nome HeLa. Apesar de o estudioso ter iniciado uma pesquisa científica fundamental para o conhecimento sobre o câncer, a situação se tornou eticamente questionável, já que as células foram retiradas sem o conhecimento ou consentimento da paciente. As células HeLa são consideradas uma linhagem celular humana imortalizada e se tornaram protagonistas em laboratórios, abrindo várias linhas de pesquisa e transformando a maneira como entendemos a Biologia Celular.

## ▼ Para começar

1. Como você explicaria para um colega o que é uma célula?
2. Explique a frase: “As células realizam funções essenciais em nosso corpo”.
3. O conhecimento sobre a biologia celular fundamenta áreas como medicina, biotecnologia, conservação ambiental, entre outras. Reflita de que forma o conhecimento sobre as células pode ser aplicado nessas áreas.

# Estudo e organização da vida



Paulo Whitaker/Reuters/Fotoarena

Profissionais da saúde envolvem com pele de tilápia o braço de uma criança que sofreu queimaduras. O tratamento, que auxilia na recuperação da pele, foi realizado no Instituto Dr. José Frota, em Fortaleza (CE), 2017. Os estudos sobre esse tratamento já ganharam diversos prêmios.

## ▼ Para refletir

1. Você já ouviu falar de cientistas que tenham realizado contribuições significativas para o campo da Biologia? Comente o que conhece sobre tais contribuições.
2. Qual é a razão de cientistas utilizarem métodos científicos?
3. A vida em outros planetas é um tema de grande curiosidade e interesse da humanidade. Se você fosse procurar vida em outros planetas, que características você consideraria para identificar um ser vivo?
4. Como você organizaria a vida em diferentes níveis? Como essa organização pode ajudar a compreender a sobrevivência das espécies e a manutenção da vida?

## Objetivos do capítulo

Consulte, no Manual do Professor, as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Identificar como os conhecimentos científicos influenciaram o entendimento contemporâneo da vida, destacando o papel da História no reconhecimento de grandes cientistas.
- Articular os princípios fundamentais dos métodos científicos para fundamentar processos de investigação biológica, enfatizando o método hipotético-dedutivo.
- Aplicar os métodos científicos em situações contextualizadas, incluindo observação, experimentação, formulação de hipóteses, coleta de dados e resolução de questões biológicas.
- Reconhecer e explicar as características dos seres vivos, abrangendo organização celular, metabolismo, resposta a estímulos ambientais, crescimento, reprodução, composição química específica, evolução e homeostase.
- Descrever e aplicar os diversos níveis de organização da vida, desde o molecular até o da biosfera.

# História da Biologia

A Biologia é a ciência que estuda a vida e sua diversidade. Sua história remonta às tradições da medicina e filosofia natural de civilizações egípcias, mesopotâmias e greco-romanas.

## Os primórdios da investigação biológica

Muito antes do advento da ciência e do uso sistematizado de métodos científicos, a humanidade já dispunha de uma série de conhecimentos e técnicas que visavam à qualidade e à manutenção da vida, seja por necessidade, seja por curiosidade.

Os povos antigos fizeram contribuições valiosas para a medicina. Eles observaram o efeito de plantas e substâncias naturais na saúde humana. Algumas dessas observações se transformaram em práticas médicas que perduraram por gerações. Os egípcios, por exemplo, usavam ervas como o *Aloe vera* para tratar ferimentos, enquanto povos chineses antigos exploravam as propriedades curativas das plantas medicinais.



A *Aloe vera* é uma planta medicinal popularmente conhecida como babosa, com propriedades medicinais e estéticas muito apreciadas.

## Estudos científicos na Antiguidade e Idade Média

Na Grécia Antiga, alguns filósofos, como Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), elaboraram classificações e descrições de animais e plantas. Eles demonstraram os primeiros conceitos de como organizar o conhecimento sobre a vida. A dissecação de cadáveres humanos e animais foi uma atividade precursora nos estudos de Anatomia. No Egito, em 3400 a.C., médicos realizavam cirurgias baseadas nos estudos de anatomia humana, no entanto, essas atividades também eram aliadas à magia e à religiosidade.

Hipócrates (460 a.C.-322 a.C.) dissecava animais e comparava-os com características humanas. Artistas como Michelangelo (1475-1564) e Leonardo da Vinci (1452-1519) também praticavam a dissecação e deixaram um legado importante com seus registros.

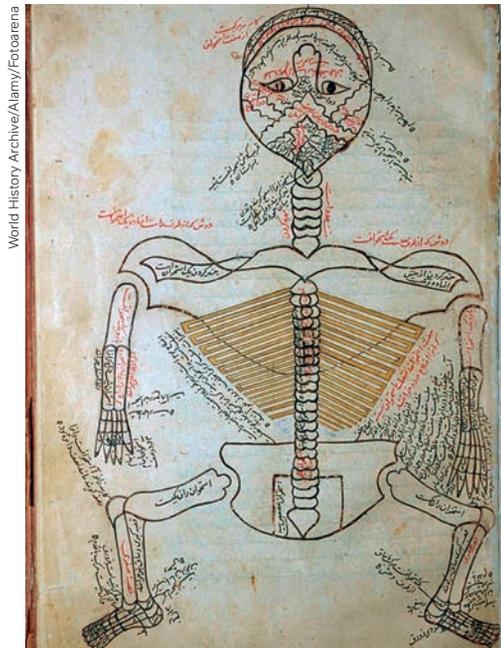
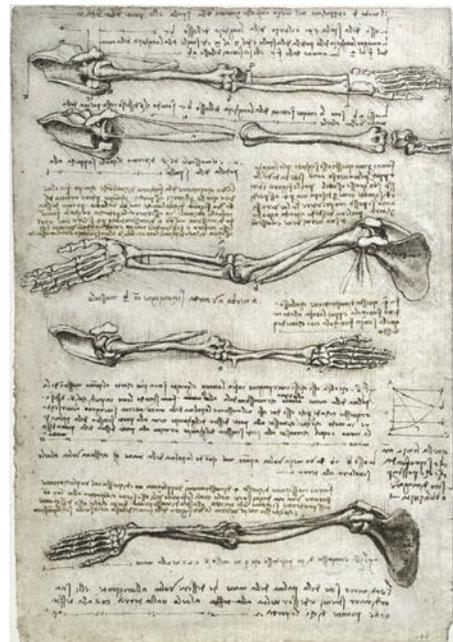


Ilustração encontrada em um registro médico persa, datado de 1390 a.C. A imagem compõe uma série de representações conhecida por Anatomia de Mansur.



Folheto de Leonardo da Vinci publicado no século XVIII.

## Senso comum e conhecimento científico

O **senso comum** diz respeito aos conhecimentos práticos que fazem parte da vida cotidiana. Esses conhecimentos são produzidos por meio da observação, vivência e experiências do mundo, e são transmitidos de geração a geração, mas não possuem critérios de análise ou replicabilidade. O **conhecimento científico** se refere a ideias que, a partir de métodos sistematizados, são estudadas, testadas e comprovadas. Se por um lado a humanidade conhece e transmite o uso de certas plantas para fins medicinais, por outro, o conhecimento científico identifica suas propriedades e explica a ação dos compostos extraídos dessas plantas. Se os produtores rurais testam e sabem o tempo de plantar e de colher, é por meio do conhecimento científico, por sua vez, que a ciência investiga a fisiologia da planta e explica como ela se desenvolve, recomendando melhorias na produtividade ou, ainda, desenvolvendo técnicas de alterações genéticas que aumentam sua resistência a pragas, por exemplo.

## História e reconhecimento de grandes cientistas

A história da Ciência é repleta de pessoas que colaboraram para o entendimento da vida e dos seres vivos. Muitos cientistas, homens e mulheres, deixaram grandes contribuições para o avanço do conhecimento. Cientistas notáveis ganharam destaque por suas realizações, e suas histórias são frequentemente contadas em livros, aulas e documentários.

A cientista Marie Curie (1867-1934) é um exemplo disso. Pioneira nos estudos sobre radioatividade, além de ter sido a primeira mulher a ganhar o Prêmio Nobel, foi a primeira pessoa e única mulher a receber esse prêmio científico tão prestigiado duas vezes e em campos científicos distintos: Física e Química.

No Brasil, Graziela Maciel Barroso (1912-2003) foi uma pesquisadora importante na construção das bases da Botânica brasileira. Entrou para a faculdade aos 47 anos, com os filhos já adolescentes, e obteve o título de doutora aos 61 anos de idade. Foi professora universitária e orientou muitos estudantes. Trabalhou com sistemática, morfologia e taxonomia vegetal, tornando-se uma das maiores botânicas brasileiras. Na trajetória de Graziela, identificar plantas era um trabalho ainda mais difícil do que é hoje, pois era necessário visitar os herbários. Ela foi eleita para a Academia Brasileira de Ciências, mas faleceu um mês antes de tomar posse.

Apesar de ter grandes nomes, a ciência não é uma empreitada solitária, é um esforço coletivo que envolve a colaboração de muitas pessoas ao longo do tempo. Infelizmente, inúmeros cientistas que contribuíram de maneira significativa não são tão amplamente reconhecidos. Há várias razões para isso:

- **Falta de reconhecimento em vida:** Pesquisadores que trabalharam em condições difíceis ou enfrentaram algum tipo de discriminação podem não receber o crédito de suas contribuições.
- **Estilo de vida e personalidade:** Pessoas de personalidade introvertida ou menos encorajadas a buscar publicidade podem ter pouca visibilidade em suas contribuições.
- **Mudanças de paradigmas:** Situações nas quais uma nova teoria ou abordagem substitui a anterior podem mudar o quadro de reconhecimento de cientistas.
- **Diversidade e discriminação:** Cientistas que pertençam a grupos minoritários por vezes enfrentam discriminação de gênero, origem étnica, classe social ou orientação sexual e têm menos reconhecimento do que aqueles que fazem parte de grupos majoritários.
- **Conhecimento acumulado:** À medida que o conhecimento científico se acumula, as contribuições individuais podem ser ofuscadas por contextos mais amplos. Isso pode levar ao esquecimento de cientistas que trabalharam em campos específicos ou em momentos anteriores.



Albany/Fotoarena

Marie Curie (1867-1934), primeira pessoa e única mulher a ser premiada duas vezes com o prêmio Nobel.



Arthur Max/Agência O Globo

Graziela Maciel Barroso (1912-2003) contribuiu para os fundamentos da Botânica brasileira.



## Integração de saberes em Políticas Públicas

O uso de plantas medicinais no cuidado e na promoção da saúde consiste em prática tradicional secular, tendo há décadas o reconhecimento da Organização Mundial da Saúde (OMS). Em 1978, na Declaração de Alma-Ata, a OMS expressou a sua posição a respeito da necessidade de valorizar a utilização desses recursos naturais e eficazes no âmbito sanitário, uma vez que 80% da população mundial já utilizava plantas medicinais ou suas preparações na atenção primária à saúde. O Brasil, que tem a maior biodiversidade do planeta, traduzida em mais de 20% do número total de espécies vegetais da Terra, o que o eleva ao posto de principal nação entre os 17 países megadiversos, traz importantes contribuições quanto à discussão da tradicionalidade do uso de plantas medicinais. Várias dessas plantas, usadas com eficácia no cuidado de diferentes enfermidades, foram descritas desde a chegada dos primeiros europeus ao continente no século XVI, como é o caso das plantas nativas barbatimão, copaíba, carapiá, espinheira-santa, guaco e guaraná.

[...]

### Projeto inovador nos territórios do SUS

É no contexto da Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos que surge em 2010 um projeto inovador, as Farmácias Vivas. Este modelo [...] abrange o cultivo e o beneficiamento de plantas medicinais, além da dispensação de fitoterápicos na forma de preparações magistrais e oficinais. Vinculadas à atenção primária à saúde, principal porta de acesso ao SUS, as Farmácias Vivas ampliam o acesso à medicação preparada com plantas que tiveram confirmação da atividade a elas atribuídas, colhidas nas próprias hortas, e à fitoterapia, com segurança, eficácia e qualidade, na perspectiva da integralidade da atenção à saúde, considerando o conhecimento tradicional e científico sobre essas espécies vegetais. [...]

MACHADO, K. Farmácia Viva: política pública brasileira de plantas medicinais que integra conhecimento popular e científico. *Cabsin*, São Paulo, 6 abr. 2022. Disponível em: <https://cabsin.org.br/farmacia-viva-politica-publica-brasileira-de-plantas-medicinais-que-integra-conhecimento-popular-e-cientifico/>. Acesso em: 3 set. 2024.

## Trocando ideias



1. Quais são os benefícios da integração de saberes tradicionais e científicos no tratamento primário de enfermidades?
2. Na internet, localize um documento que estabelece a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF). Leia o conteúdo do documento, em seguida, responda: Por que é importante haver uma Política Nacional sobre o assunto?
3. A PNPMF destaca o acúmulo de conhecimentos e tecnologias tradicionais sobre manejo e uso de plantas medicinais em decorrência da diversidade cultural e étnica do Brasil. Ao longo da história, vimos nossa sociedade se apropriar de conhecimentos tradicionais, como os das comunidades indígenas, ribeirinhas e quilombolas, muitas vezes sem que tais grupos recebam devido reconhecimento e valorização. Neste contexto, pesquise sobre etnociência e medicina tradicional indígena e explique como a sistematização desses conhecimentos pode beneficiar tanto as comunidades indígenas quanto a sociedade em geral. Considere aspectos terapêuticos, culturais, sociais e ambientais, além da promoção de uma abordagem mais inclusiva da saúde e do bem-estar.

## #FicaADica

### Mulheres na Ciência

Os artigos a seguir contam a trajetória de mulheres na Ciência, destacando suas contribuições e as dificuldades de estabelecer-se em uma carreira científica, ainda hoje composta majoritariamente de homens.

**A ciência precisa de mais mulheres**, de Malena Stariolo e Aline Vessoni, 10 fev. 2023. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2023/02/11/a-ciencia-precisa-de-mais-mulheres/>.

**Mulheres na ciência e na saúde: digitalização e difusão dos arquivos pessoais de mulheres do acervo da Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz**, de Equipe do Departamento de Arquivo e Documentação, Casa de Oswaldo Cruz, Fiocruz. Disponível em: <https://basearch.coc.fiocruz.br/arquivos-mulheres>.

**Mulheres cientistas e seus desafios**, do Ministério da Educação, Instituto Federal de São Paulo. Disponível em: <https://www.ifsp.edu.br/o-que-e-rss/17-ultimas-noticias/3544-mulheres-cientistas-e-seus-desafios>. Acessos em: 20 jun. 2024.



1. Analise o texto a seguir e indique as afirmações que estão relacionadas ao senso comum, ao conhecimento científico e ao conhecimento histórico.

## Manga com leite faz mal?

### Verdade ou mentira?

Esse é um mito que já ouvimos diversas vezes e que não passa de uma superstição alimentícia. Se manga com leite causasse congestão, não poderíamos tomar sorvete, nem comer mousse de manga. Os dois juntos possuem nutrientes essenciais para compor uma dieta saudável; a manga é uma fruta rica em vitaminas e fibras, enquanto o leite é fonte de cálcio.

Pelo que se sabe, esse mito alimentar está relacionado com a época da escravidão. Alguns historiadores dizem que os senhores de engenho não queriam que os escravizados comessem a manga, por ser considerada uma fruta nobre, originada da Índia. Outros dizem que [...] não queriam que os escravizados bebessem leite, por ser um alimento bastante raro e caro.

[...]

TELLES, R. Manga com leite faz mal? Verdade ou mentira? *In*: SÃO PAULO. Secretaria Municipal da Saúde. São Paulo: SMS, 9 set. 2023. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/noticias/?p=156263>. Acesso em: 15 ago. 2024.

2. Um artigo da revista *História da Ciência* sobre Maria Bandeira (1902-1992), publicado em 2016, salienta:

Maria Bandeira, primeira botânica do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, que atuou na década de 1920, desconhecida na historiografia e pouco citada na literatura científica. O significativo número de espécimes de plantas, fungos e líquens por ela coletados, a *expertise* em alcançar locais de difícil acesso, a extensa correspondência com especialistas estrangeiros e sua ida para estudar na Sorbonne permitem analisar o “fazer botânica” e as redes de sociabilidades nas ciências à época.

BEDIAGA, B.; PEIXOTO, A. L.; FILGUEIRAS, T. S. Maria Bandeira: uma botânica pioneira no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. *História, Ciências, Saúde*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 799-822, 2016.



Smithsonian Instituto de Pesquisa, Washington, D.C., EUA

As botânicas Mary Agnes Chase e Maria Bandeira em trabalho de campo, no cume do Pico do Itatiaia (RJ), 1847.

- a) O excerto destaca a importância de se coletar plantas e de se ter uma boa rede de correspondência, essenciais para a realização de pesquisas na área de botânica. Por que isso é importante? Quais outros recursos são utilizados atualmente para realizar uma pesquisa em botânica?
  - b) Assim como Maria Bandeira, outros cientistas são desconhecidos na historiografia científica. Por que apenas algumas pessoas recebem destaque e outros cientistas igualmente importantes acabam tendo sua identidade negligenciada?
3. Em duplas, pesquisem e reflitam sobre pseudociência, senso comum e conhecimento científico em situações cotidianas. Em seguida, apresentem para a turma o que foi discutido. Coletivamente, selecionem os exemplos que julgarem mais preocupantes e, considerando explicações científicas para os fatos, elaborem materiais de divulgação visando ao combate à desinformação. Pensem em utilizar formatos diversos (teatro, música, jornal, panfletos, postagens em redes sociais).
  4. O curso de Ciências Biológicas atrai estudantes interessados em seguir carreira de pesquisa, no entanto, a Biologia oferece um campo profissional vasto e diversificado. Para explorar essas possibilidades, pesquisem sobre as diferentes áreas de atuação e atividades profissionais no site do Conselho Federal de Biologia. Após a pesquisa, exponha o que vocês encontraram e reflitam sobre suas próprias aptidões e interesses. Vocês se identificam com alguma dessas áreas? Por quê?

# Métodos científicos

Trata-se de um conjunto de abordagens sistemáticas que os cientistas usam para fazer perguntas, buscar respostas e testar ideias. Esses métodos são aplicados na produção de conhecimentos precisos e orientam o trabalho de pesquisa. Alguns exemplos de métodos científicos são: o dedutivo, o indutivo, o hipotético-dedutivo, o etnográfico e o fenomenológico. Essa variedade de métodos é essencial para a pesquisa e para o desenvolvimento científico por várias razões.

- **Versatilidade:** Diferentes métodos científicos podem ser mais apropriados para diferentes tipos de perguntas de pesquisa, fenômenos ou áreas de trabalho. Por exemplo, o método dedutivo parte de princípios, leis ou teorias gerais e, com base na lógica, realiza previsões para casos particulares. É bastante utilizado na Física e na Matemática, cuja natureza do conhecimento é baseada em leis gerais.
- **Comprovação cruzada:** Utilizar diferentes métodos para abordar o mesmo problema pode levar a resultados convergentes, reforçando a confiabilidade das conclusões. Quando resultados semelhantes são obtidos por meio de métodos diferentes, amplia-se a robustez do estudo.
- **Resolução de problemas complexos:** Fenômenos complexos muitas vezes exigem a combinação de vários métodos para serem compreendidos em sua totalidade. A abordagem multifacetada possibilita uma análise mais completa do problema.

## Método hipotético-dedutivo

O método hipotético-dedutivo é uma abordagem lógica e estruturada pela investigação científica, que oferece um guia que pode ser seguido para formular perguntas, propor hipóteses, realizar experimentos e analisar os dados de maneira organizada. Essas ações estimulam o desenvolvimento de habilidades críticas de pensamento e a resolução de problemas.

### Etapas do método hipotético-dedutivo

- **Formulação de um problema:** as pesquisas científicas não começam do zero. Ao perceber-se lacunas no conhecimento, identifica-se o problema a ser investigado, buscando respostas para fatos não explicados.
- **Elaboração de hipóteses:** com base no que se conhece, são propostas respostas provisórias para as perguntas, passíveis de serem testadas.
- **Teste de hipóteses:** são planejadas e realizadas investigações para verificar a validade das hipóteses. Nesta etapa, são organizadas estratégias para a coleta de informações, como observação em campo, experimentos e modelagem estatística.
- **Análise e conclusão:** os dados obtidos na etapa anterior são analisados e é avaliado se a hipótese é confirmada ou refutada.

#### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre método científico também pode ser visto no **capítulo 1** do volume de **Química** desta coleção.

### Hipótese, teoria e lei científica

Um dos equívocos comuns na Ciência é a confusão entre os termos hipótese, teoria e lei científica. É importante compreender a diferença fundamental entre esses termos.

	O que é?	Baseia-se em quê?	Pode se alterar?
<b>Hipótese</b>	Explicação provisória para um fenômeno observado.	Em evidências limitadas ou em observações iniciais que ainda não foram amplamente testadas ou confirmadas.	Sim. Hipóteses podem ser ajustadas ou mesmo refutadas à medida que mais informações são coletadas.
<b>Teoria</b>	Conjunto abrangente de princípios que explica um fenômeno observado ou aspecto do mundo natural e suas exceções.	Em hipóteses confirmadas; possui um corpo substancial de evidências, testadas repetidamente e confirmadas por cientistas em diferentes circunstâncias.	Sim. Apesar de estáveis, estão abertas a ajustes caso novas evidências surjam.
<b>Lei científica</b>	Descrição da regularidade de fenômenos (ou acontecimentos) específicos que ocorrem em condições bem determinadas.	Em observações de fenômenos que se manifestam sempre da mesma maneira em estudos diferentes e independentes.	Não. Pode ser entendida como uma regra na qual não há exceções.

# A Ciência e a realidade social

A produção científica, por mais objetiva que seja, não está isenta de influências sociais. A escolha de tópicos de pesquisa, o financiamento, as pressões acadêmicas e as crenças pessoais dos cientistas podem influenciar no direcionamento dos estudos. Isso significa que, em alguns casos, a ciência pode refletir vieses e preconceitos da sociedade.

Pesquisas sobre questões ambientais, por exemplo, podem ser influenciadas por interesses comerciais, e os resultados podem se tornar distorcidos. Assim, a ciência não é neutra e sofre, portanto, pressões políticas e econômicas.

A Ciência, como qualquer empreendimento humano, é passível de erros e incertezas. Experimentos podem ser mal planejados, dados podem ser interpretados de maneira incorreta e, em alguns casos, podem ocorrer fraudes científicas.

Em meio a desafios e imperfeições, a comunidade científica valoriza a revisão por pares para reduzir a probabilidade de erro e garantir a confiabilidade. Por isso, a precisão e a replicabilidade são pilares fundamentais desse processo.

## Precisão e replicabilidade

Pesquisas imprecisas podem levar a conclusões equivocadas e influenciar negativamente políticas e práticas. A precisão assegura que os resultados da pesquisa estejam fundamentados em dados confiáveis, possibilitando a replicabilidade, ou seja, que outras equipes de pesquisa repitam os experimentos. A replicabilidade é fundamental para a validação dos conhecimentos produzidos e para a construção do consenso científico. Situações em que os resultados não podem ser replicados podem sinalizar erros ou vieses na pesquisa original, assim, a replicabilidade possibilita que o conhecimento seja produzido e expandido ao longo do tempo.

## Atividades propostas



1. Analise a afirmação e, depois, reúna-se em equipes para realizar as propostas a seguir:

Segundo dados da Unesco, as mulheres representam 33,3% de todos os pesquisadores no mundo e apenas 12% delas são membros de academias científicas nacionais. Ao olhar para áreas de tecnologia e inovação a presença de pesquisadoras cai ainda mais: elas são apenas uma em cada cinco profissionais.

STARIOLO, M.; VESSONI, A. A ciência precisa de mais mulheres. *Jornal da Unesp*, São Paulo, 11 fev. 2023. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2023/02/11/a-ciencia-precisa-de-mais-mulheres/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

- a) Elaborem uma pesquisa a ser desenvolvida com estudantes do Ensino Médio. A intenção é inventariar que tipos de carreira almejam para suas vidas. Proponham a questão da pesquisa, a hipótese e a metodologia para testar a hipótese. Sugere-se que essa atividade seja realizada por meio de questionários ou entrevistas; vocês podem, ainda, utilizar formulários *on-line*. Não é preciso ser nominal, mas lembrem-se de destacar o gênero e o ano escolar dos estudantes investigados. Apliquem questionários, analisem os dados e façam cálculos de porcentagem que respondam às perguntas a seguir:

- Quais são as carreiras mais citadas?
- Quais carreiras são mais citadas por estudantes do gênero feminino? E do gênero masculino?
- São citadas carreiras científicas? Entre as pessoas que citam carreiras científicas, há mais estudantes do gênero feminino ou masculino?
- Os resultados da pesquisa realizada por vocês assemelham-se aos dados da Unesco? Explique.

- b) Pesquise sobre o assunto: Por que o número de mulheres na carreira científica é menor que o de homens? Em seguida, compartilhe com seus colegas as informações que encontraram.

- c) Quais estratégias poderiam ser utilizadas para ampliar a participação das mulheres no meio científico?

- d) Elabore um relatório final descrevendo todo o percurso da pesquisa e as estratégias que foram utilizadas.

2. Leia o trecho a seguir para responder à questão:

O cientista virou um mito. E todo mito é perigoso, porque induz o comportamento e inibe o pensamento. Esse é um dos resultados engraçados (e trágicos) da ciência. Se existe uma classe especializada em pensar de maneira correta (os cientistas), os outros indivíduos são liberados da obrigação de pensar e podem simplesmente fazer o que os cientistas mandam.

ALVES, R. *Filosofia da Ciência*: introdução ao jogo e suas regras. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981. p. 7-8.

Considerando o que você estudou no capítulo sobre a ciência, como é possível interpretar o comentário de Rubem Alves sobre o ofício do cientista?

3. (UnB-DF – 2023) As pseudociências caracterizam-se como um conjunto de crenças ou práticas que aparentam ser científicas, mas que não o são, pois não seguem as etapas objetivas de verificação estipuladas no método científico. Um exemplo é a chamada criptozoologia, que é o estudo de supostos animais desconhecidos da zoologia contemporânea, com base em depoimentos, fotografias e vestígios (pegadas, restos mortais etc.). Exemplos clássicos desses supostos animais são o monstro do Lago Ness, o pé-grande (também conhecido como Yeti ou abominável homem das neves) e o chupa-cabra. Diante dessas informações[,] explique, com base nos pressupostos do método científico, por que a criptozoologia não pode ser classificada como Ciência.

4. Leia o relato de pesquisa realizado sobre um inseto popularmente conhecido como caruncho de milho, o *Sitophilus oryzae*, considerado uma das mais importantes pragas de cereais armazenados. A seguir, faça o que se pede.

Neste trabalho realizamos um experimento sobre a capacidade de dispersão de *Sitophilus oryzae* [...]. O experimento continha 16 pares de copos com milho, ligados por canudos em quatro distâncias. Em cada par, um deles recebeu [...] 35 indivíduos. Após uma semana, contamos o número de indivíduos em cada copo, repetindo o experimento outras duas vezes. Nossos resultados indicam que a quantidade de indivíduos diminui com o aumento da distância. Este resultado é interessante, já que a espécie é uma praga em cereais armazenados.

VITAL, M. V. C. *et al.* Insetos em experimentos de ecologia de populações: um exemplo de abordagem didática. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 26, n. 3, p. 287-290, 2004.

a) Ilustre como você imagina a montagem do experimento. Em seguida, apresente sua produção aos colegas e verifique semelhanças e diferenças nos registros.

b) No artigo científico publicado, os autores descrevem outros procedimentos metodológicos realizados, explicando que:

- o experimento foi totalmente coberto com lona de plástico preto;
- tomou-se o cuidado de controlar temperatura e umidade de todo o experimento;
- em cada copo, foi colocada a mesma quantidade (em gramas) de milho de pipoca;
- um dos copos de cada par foi sorteado para receber os indivíduos;
- o experimento foi repetido outras duas vezes, sempre substituindo o milho e os indivíduos utilizados.

Por que esses procedimentos são importantes? Explique.

c) Qual foi o resultado do experimento?

d) A qual conclusão podemos chegar a partir dos resultados do experimento?

e) Se você fosse um produtor de milho, como se beneficiaria dessa pesquisa?

5. (Unesp-SP – 2024) Não existe definição objetiva, nem muito menos neutra, daquilo que é ou não a ciência. Esta tanto pode ser uma procura metódica do saber quanto um modo de interpretar a realidade; tanto pode ser uma instituição, com seus grupos de pressão, seus preconceitos, suas recompensas oficiais, quanto uma atuação subordinada a instâncias administrativas, políticas ou ideológicas. Se perguntarmos sobre o modo de funcionamento da ciência, sobre seu papel social, sobre sua maneira de explicar os fenômenos e de compreender o ser humano no mundo, perceberemos facilmente que as condições reais em que são produzidos os conhecimentos objetivos e racionalizados estão banhadas por uma inegável atmosfera sócio-político-cultural.

(Hilton Japiassu. O mito da neutralidade científica, 1975. Adaptado.)

A consideração de Hilton Japiassu em relação à neutralidade da ciência destaca

- |   |   |
|---|---|
| a) a inexistência de método seguro.             | d) a submissão do saber ao senso comum.     |
| b) o enviesamento do fazer científico.          | e) o rompimento com o dogmatismo religioso. |
| c) a falta de recursos materiais nas pesquisas. |   |

## #FicaADica

**Mercadores da dúvida**, direção de Robert Kenner (2014, 202 min).

O documentário revela como a desinformação e a manipulação da opinião pública podem afetar questões ambientais críticas e destaca como algumas indústrias (do tabaco e de combustíveis fósseis) utilizaram táticas semelhantes para semear dúvidas sobre questões como o tabagismo e as mudanças climáticas. A obra alerta para a importância de discernir informações precisas de campanhas de desinformação.

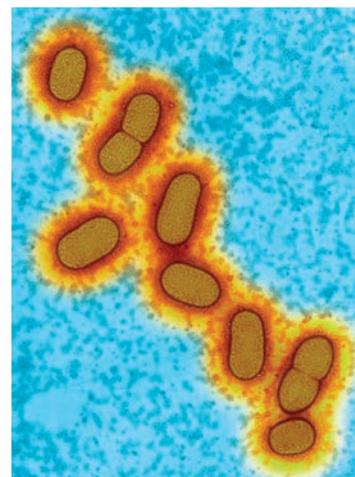
**Pseudociências: o que são e por que existem?**, de Lucas Miranda, 3 set. 2022. O artigo explica o que são as pseudociências, trazendo exemplos como a astrologia, o *design* inteligente e a homeopatia. Se você acredita, usa ou tem curiosidade sobre uma dessas pseudociências, vale a pena ler. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/ciencianerd/2022/09/03/pseudociencias/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

## Saiba mais

### Controvérsias científicas

Nem todos os problemas científicos foram resolvidos ou possuem consenso entre os pesquisadores: são as chamadas controvérsias científicas. Um exemplo é o conceito de vida. Uma perspectiva pode argumentar que um sistema é considerado vivo se ele apresentar um **ciclo vital**, caracterizado por uma sequência de eventos: nascimento, crescimento, reprodução e morte. No entanto, essa visão não se aplica a todos os sistemas que consideramos vivos. Por exemplo, bactérias se reproduzem por divisão celular, na qual uma célula inicial se divide em duas, cada célula-filha cresce e se divide novamente, e assim por diante. Portanto, a morte de uma célula bacteriana não é tão clara quanto em outros organismos, o que gera debates sobre o que é vida.

Eletromicrografia de bactéria *Porphyromonas gingivalis*, encontrada na cavidade oral. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 6350 vezes.



A. DOWSETT, NATIONAL INFECTION SERVICE/SPL/Fotoarena

## Características dos seres vivos

Definir o conceito de vida é complexo e gera debates em diversas áreas. Em Biologia, o foco reside na busca por características ou propriedades que possam ser utilizadas para identificar um sistema como um ser vivo.

## Composição química do organismo

O carbono é um dos principais elementos químicos que constituem os seres vivos, presente nos **compostos orgânicos**, que incluem proteínas (como o colágeno), carboidratos (como os açúcares), lipídios (como as gorduras) e ácidos nucleicos.

Os compostos orgânicos sustentam as funções vitais dos organismos vivos, servindo como blocos de construção essenciais para a formação e o reparo do corpo, além de fornecerem energia. O corpo dos seres vivos também contém **compostos inorgânicos**, principalmente água e sais minerais.

### Composição química do corpo humano

Elemento	Símbolo	Porcentagem da massa corpórea (incluindo a água)	
Oxigênio	O	65%	96,3%
Carbono	C	18,5%	
Hidrogênio	H	9,5%	
Nitrogênio	N	3,3%	
Cálcio	Ca	1,5%	3,7%
Fósforo	P	1%	
Potássio	K	0,4%	
Enxofre	S	0,3%	
Sódio	Na	0,2%	
Cloro	Cl	0,2%	
Magnésio	Mg	0,1%	

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 77.

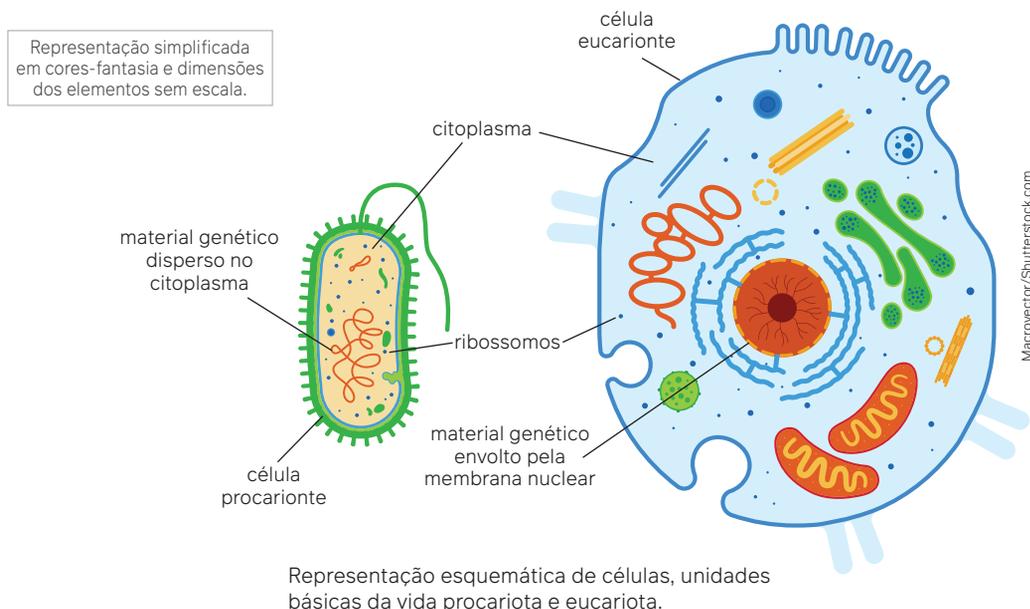
### GLOSSÁRIO

**compostos inorgânicos:** são moléculas formadas por ligações entre metais, não metais e/ou hidrogênio. Alguns compostos inorgânicos podem apresentar carbono em sua composição, no entanto, quando presente, ele não se ordena em cadeia carbônica. Água e sais minerais são exemplos de compostos inorgânicos presentes no organismo.

**compostos orgânicos:** são formados por moléculas que contêm ligações entre carbonos e/ou carbono e hidrogênio em sua estrutura. Vale ressaltar que nem toda molécula que possui carbono pode ser considerada um composto orgânico; por exemplo, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é considerado inorgânico.

## Organização celular

Todos os seres vivos são compostos de células, sendo elas as unidades estruturais e funcionais básicas da vida. As células são envolvidas por uma membrana plasmática que regula a entrada e a saída de substâncias. O interior das células é composto de citoplasma, organelas especializadas, ribossomos e material genético. As células que apresentam o material genético disperso no citoplasma são classificadas como **procariontes**; já as que apresentam material genético envolto por membranas são **eucariontes**.



## Respostas a estímulos ambientais

Os seres vivos têm a capacidade de responder a estímulos ambientais, como o crescimento das plantas em direção à luz (fototropismo) ou o movimento da maioria dos animais em direção a fontes de alimento. Os animais também podem responder a ameaças, como a presença de predadores, fugindo ou se defendendo.

Organismos unicelulares, como bactérias, podem responder a compostos químicos presentes no ambiente, movendo-se em direção a fontes de nutrientes ou afastando-se de substâncias tóxicas.

## Metabolismo

O metabolismo é o conjunto de reações químicas que ocorrem no interior das células para obter e usar energia, considerando a obtenção de nutrientes e a eliminação de resíduos metabólicos. Ele mantém o equilíbrio interno e fornece a energia necessária para as funções celulares, desde o movimento até a síntese de moléculas.

## Homeostase

A **homeostase** (do grego *homeo*, que significa “igual”; *stasis*, que significa estático) é um princípio fundamental da Biologia que descreve a capacidade dos seres vivos de manter um ambiente interno estável, apesar das mudanças no ambiente externo. Para que isso ocorra, existem mecanismos de controle que regulam variáveis críticas, como a temperatura, o equilíbrio ácido-base, a concentração de glicose, entre outros.

## Crescimento e desenvolvimento

Os seres vivos aumentam em tamanho à medida que suas células se dividem e se expandem. O crescimento é essencial para a formação de um organismo completo a partir de uma única célula, sejam estes uni, sejam multicelulares.

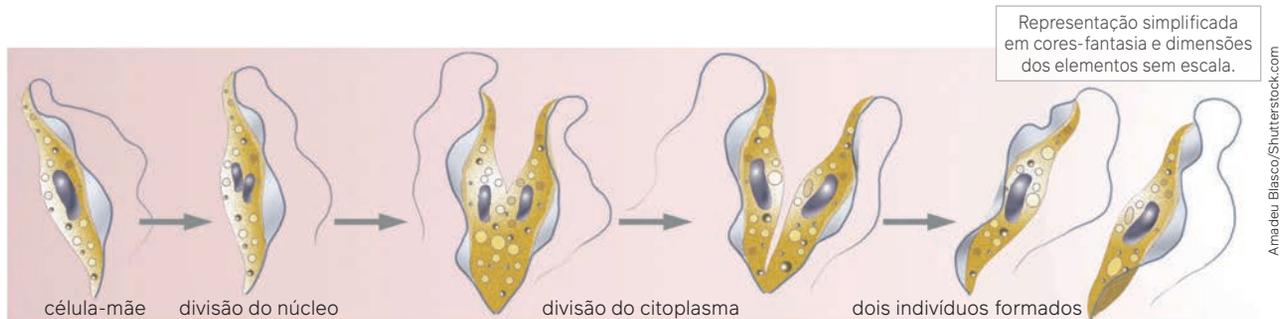
O desenvolvimento envolve mudanças nas estruturas e funções do organismo. Por exemplo, o desenvolvimento de um ser humano envolve a formação e maturação de órgãos, como o cérebro e os sistemas digestório e circulatório.

Além disso, muitos organismos passam por estágios específicos de desenvolvimento, como os estágios de metamorfose, que ocorre em artrópodes e anfíbios.

## Reprodução

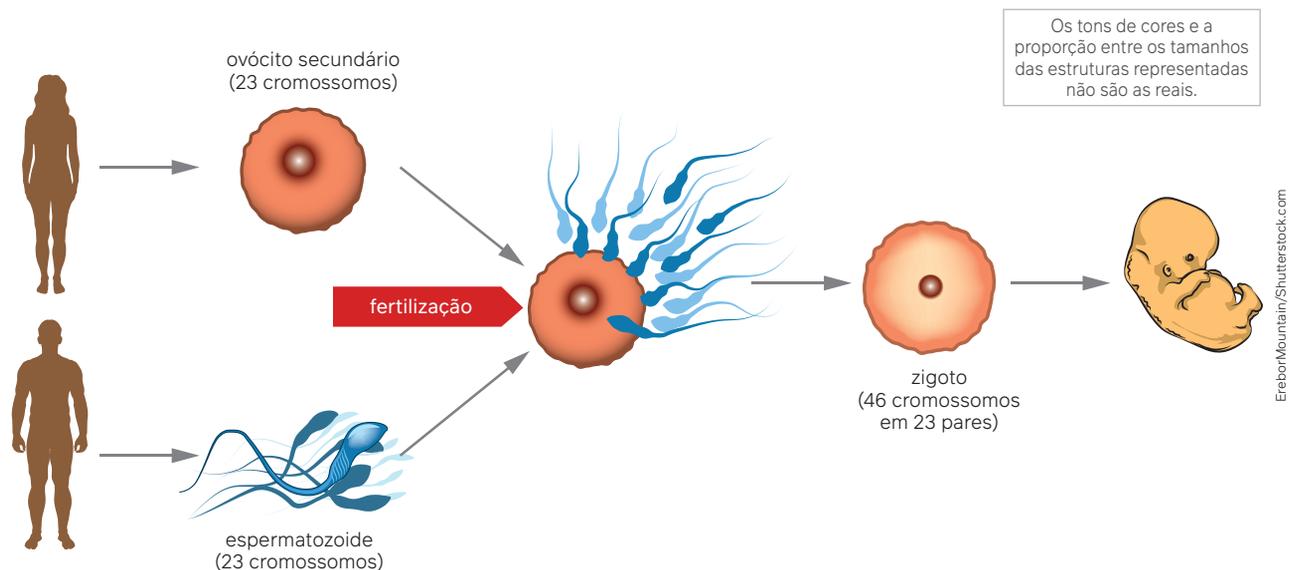
A reprodução é a capacidade de um organismo gerar descendentes e perpetuar a espécie, podendo ocorrer de forma:

- **Assexuada:** O mesmo organismo pode produzir descendentes geneticamente idênticos a ele. Alguns exemplos são: a divisão celular em bactérias, a fragmentação e regeneração em equinodermos e planárias e o brotamento em plantas.



Representação esquemática da reprodução assexuada de organismo unicelular, o protozoário *Trypanosoma cruzi*.

- **Sexuada:** Envolve a combinação de material genético de dois progenitores. A reprodução sexuada promove a variabilidade genética e é comum em plantas e animais, incluindo os seres humanos.



Representação esquemática da reprodução humana, do ovócito e espermatozoide ao zigoto.

## Evolução

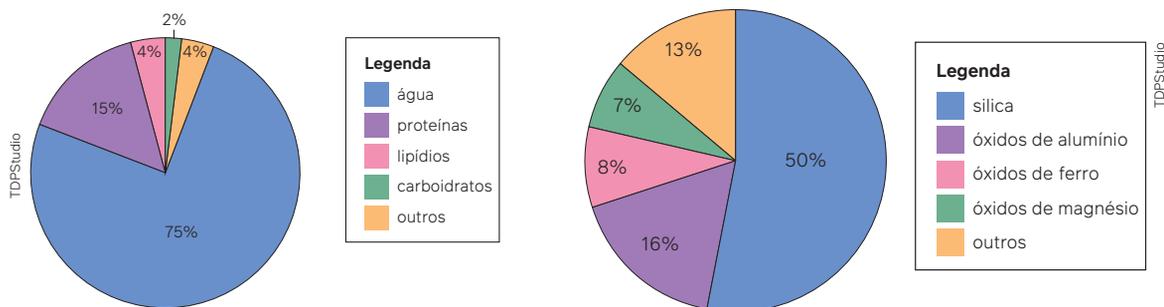
A evolução é um dos princípios fundamentais da vida que envolve mudanças nas características hereditárias de uma população ao longo do tempo.

### Atividades propostas



1. A vida na Terra é muito diversa e, apesar de todos os seres vivos compartilharem características comuns, como crescimento e desenvolvimento, metabolismo e reprodução, a forma como isso se dá em cada espécie é diferente. Em duplas, explique sobre como tais características se aplicam nas cigarras (*Quesada gigas*), nas almas-de-gato (*Piaya cayana*) e na Acácia (*Acacia mearnsii*). Quais são os pontos em comum dessas três espécies em relação à manutenção da vida?

2. A seguir, são apresentados dois gráficos: um com a composição química de uma célula animal e outro com a composição química de uma rocha basáltica. Com base no que estudou no capítulo, identifique qual é o gráfico que representa a composição química de uma célula animal. Explique como chegou a essa conclusão.



3. Outros tipos de caracterização dos seres vivos podem ser encontrados, como capacidade de aprendizado, comunicação e interação simbiótica. Organizem-se em grupos, pesquisem sobre o assunto e, com base no que estudaram neste capítulo, elaborem um texto sobre a importância desses outros fatores para a caracterização dos seres vivos.

## Organização da vida

Além de caracterizar a vida, a Biologia busca explicar como os seres vivos, com toda a sua diversidade, interagem e se organizam nos ambientes em que vivem.

### ▶ Ciências da Natureza

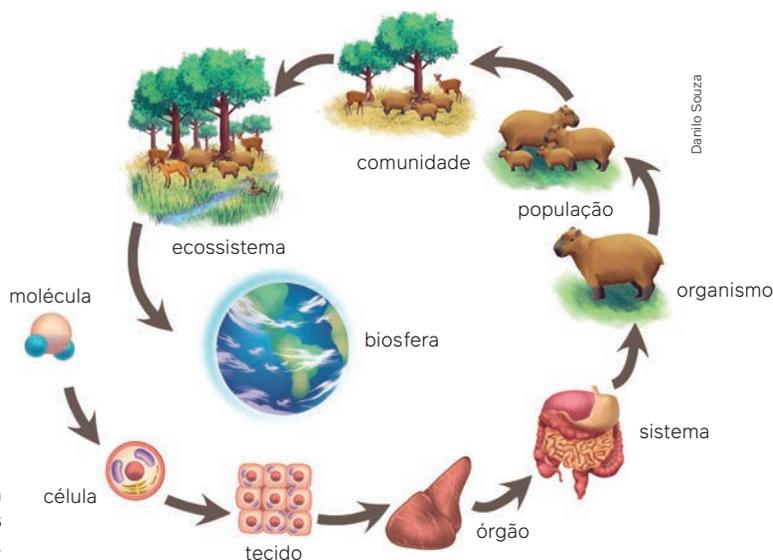
O estudo dos níveis de organização é abordado do ponto de vista da natureza da matéria no **capítulo 21** do volume de **Física** desta coleção.

## Hierarquia biológica

Os níveis de organização da vida nos fornecem uma proposta ordenada para estudar os seres vivos em diferentes escalas, permitindo analisar desde os detalhes microscópicos encontrados em células e tecidos até os padrões macroscópicos que influenciam os ecossistemas e a biosfera.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são as reais.

O estudo da vida na Biologia envolve compreender diversos níveis de organização biológica.



### Molecular

Abrange as menores unidades da vida, considerando moléculas como proteínas, ácidos nucleicos, lipídios e carboidratos. Compreender as interações moleculares é fundamental para desvendar os processos intracelulares e as bases da hereditariedade, fornecendo informações sobre como os seres vivos são construídos e como as estruturas funcionam.

### Celular

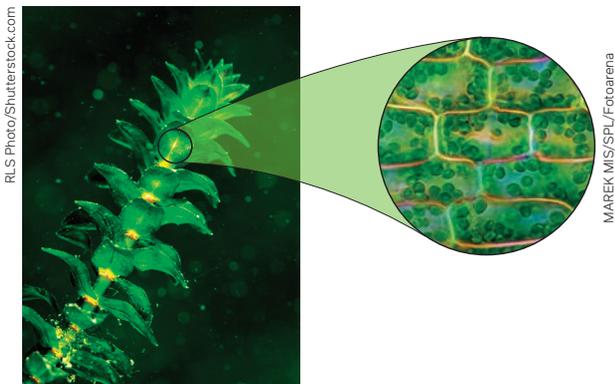
A célula é a unidade morfológica e funcional dos seres vivos. Organismos unicelulares, como as bactérias, são formados por uma célula que executa as funções essenciais da vida, como reprodução, crescimento e metabolismo. Nos organismos multicelulares, compostos de muitas células, cada tipo de célula desempenha um papel único, contribuindo para a sobrevivência do organismo como um todo.

## Tecidos

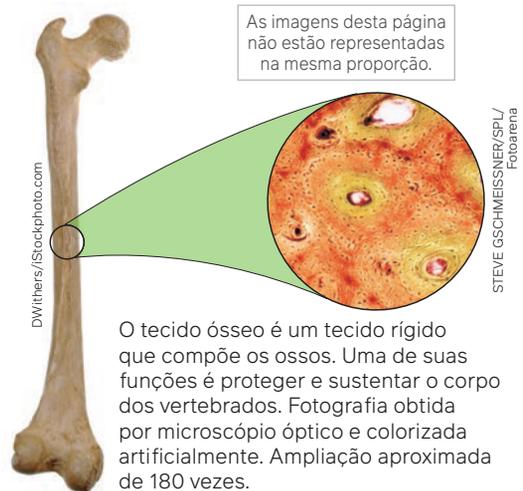
Tecidos são conjuntos de células que atuam de modo integrado na realização de funções específicas. Os organismos unicelulares não apresentam esse nível de organização, assim como alguns multicelulares, a exemplo dos poríferos, que, apesar de serem formados por várias células, não formam tecidos verdadeiros. Nesse nível, é possível avaliar como diferentes tipos de célula se organizam em funções específicas, como os tecidos muscular, ósseo, nervoso e epitelial.

## Órgãos

Os órgãos são formados pela combinação de vários tecidos e desempenham funções distintas em nosso corpo. Para compreender esse nível, é possível estudar a anatomia e a fisiologia de órgãos, como coração, pulmões e cérebro.



*Elodea*, uma planta aquática, com sua estrutura multicelular mostrada em detalhes. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 150 vezes.



O tecido ósseo é um tecido rígido que compõe os ossos. Uma de suas funções é proteger e sustentar o corpo dos vertebrados. Fotografia obtida por microscópio óptico e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 180 vezes.

## Sistemas

Os sistemas, como o sistema cardiovascular e o sistema nervoso, são formados por órgãos interconectados que colaboram para manter as funções vitais.

## Organismos

Termo utilizado para descrever o conjunto de sistemas que interagem para formar um organismo ou indivíduo. Essa mesma terminologia é empregada para identificar os seres unicelulares, como bactérias e amebas, que não exibem os níveis de organização de tecidos, órgãos e sistemas.

## Populações

Reúne todos os indivíduos da mesma espécie que vivem em determinado ambiente no mesmo intervalo de tempo. Nesse nível, podemos compreender de que forma fatores como natalidade, mortalidade e migração influenciam o tamanho das populações.

## Comunidades

É o conjunto de todas as populações de espécies distintas que habitam um determinado local no mesmo intervalo de tempo. Na escala das comunidades, podemos analisar como diferentes espécies coexistem em uma dada localidade e discutir as interações ecológicas, como predação, competição e mutualismo.

## Ecossistemas

Abriga todas as comunidades – fatores bióticos – e todas as variáveis físicas e químicas – fatores abióticos – de uma área em particular no mesmo intervalo de tempo. Em um ecossistema, ocorre interação de todos os seres vivos entre si e dos seres vivos com os fatores físicos e químicos do ambiente, formando uma unidade funcional na qual se pode observar o fluxo de energia e o ciclo de nutrientes.

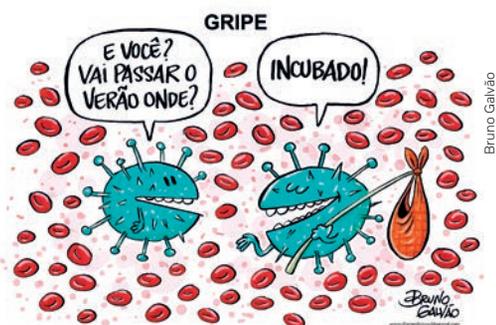
## Biosfera

Engloba todos os ecossistemas do planeta Terra. Neste nível, podemos explorar como a vida é distribuída globalmente, como os seres vivos afetam o clima e como são afetados por ele. Além disso, é possível observar como os ecossistemas terrestres, aquáticos e atmosféricos estão interconectados.

### Atividades propostas



1. Para se ter uma compreensão abrangente da vida, são realizados estudos em diferentes níveis. Analise a charge a seguir e descreva os diversos níveis de organização da vida estudados, a fim de construir uma base sólida de conhecimentos sobre a gripe.



GALVÃO, B. [Sem título]. In: CHARGESBRUNO. [S. l.], 27 ago. 2009. Disponível em: <https://chargesbruno.blogspot.com/2009/08/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

2. (PUC-Camp – 2020) Em um levantamento dos indivíduos presentes em um costão rochoso[,] foram encontradas oito espécies, sendo contados 83 mariscos, 62 cracas, 45 caramujos, 25 algas verdes, 30 algas pardas, 6 estrelas-do-mar, 18 ouriços-do-mar e 11 anêmonas. Este levantamento apresentou
  - a) um ecossistema e oito comunidades.
  - b) uma comunidade e oito populações.
  - c) um ecossistema e uma população.
3. Corais são animais marinhos que constituem recifes. Devido à dureza de seu exoesqueleto, são comumente confundidos com rochas. Essa confusão é muito comum em áreas turísticas, como na Praia do Espelho, em Trancoso (BA), e em Porto de Galinhas (PE). Caminhar por cima dessas estruturas, muitas vezes por desconhecimento, acaba por degradar o ecossistema.
  - a) Faça uma pesquisa sobre os corais e, com base no que estudou neste capítulo, elabore um texto caracterizando-os como seres vivos.
  - b) Os recifes de corais abrigam grande diversidade de organismos (peixes, moluscos, anêmonas, esponjas etc.), constituindo-se um ecossistema de grande importância. Indique os níveis de organização da vida existente em um recife de corais.
  - c) Reúnam-se em equipes e elaborem estratégias que poderiam ser adotadas em áreas turísticas para reduzir a degradação dos recifes de corais. Em seguida, elabore uma postagem para uma rede social, alertando os turistas sobre os cuidados que devem ser tomados com a preservação dos seres vivos ao visitarem praias com recifes de corais. Procure explicar na postagem que se trata de animais. Apresente aos colegas sua produção e, com a autorização do professor, compartilhe a postagem nas redes sociais da escola, caso exista.

### Recapitule



No decorrer deste capítulo, foram explorados os fundamentos da Biologia, desde sua história até os níveis de organização da vida. A história da Biologia nos ensina que a curiosidade e a busca pelo entendimento da vida impulsionam a Ciência. Abordou-se o papel dos métodos científicos, especialmente o método hipotético-dedutivo, que guia os cientistas em suas investigações com rigor e precisão. A observação, experimentação, formulação de hipóteses e coleta de dados são essenciais para a pesquisa científica. Ao explorar as características dos seres vivos, foram apresentados critérios que os distinguem das entidades não vivas, como a organização celular, o metabolismo, a resposta a estímulos, o crescimento, a reprodução e a evolução. Para finalizar, destacou-se que a vida pode ser estudada em diferentes níveis de organização, desde o molecular até o da biosfera.

A partir dos seguintes termos, elabore um esquema hierárquico que sintetize esses conceitos-chave abordados no capítulo, contribuindo para a visualização e organização de seu conhecimento em Biologia:

História da Biologia

Métodos científicos

Características dos seres vivos

Níveis de organização da vida

# Membranas e organelas celulares



Biophoto Associates/Science Source/Fotorema

Célula eucariótica de um organismo unicelular do gênero *Euglena*, revelando a intrincada rede de organelas e estruturas que ilustram a vida em nível microscópico. Fotomicrografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 40 000 vezes.

## ▼ Para refletir

1. Quais estruturas celulares você identifica na imagem? Comente com os colegas.
2. Como as células estão relacionadas com o funcionamento dos organismos vivos?
3. Comente as principais características de células procarióticas e eucarióticas. Forneça exemplos de cada uma delas.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Refletir acerca dos limites da vida e da ciência a partir de conhecimentos sobre Biologia celular, microscopia e saberes tradicionais.
- Caracterizar a estrutura das células eucarióticas e procarióticas, identificando as principais estruturas e descrevendo suas funções.
- Analisar o modelo mosaico fluido da membrana plasmática, considerando os componentes bicamada lipídica, proteínas de membrana e carboidratos associados.
- Explicar os processos de difusão, osmose e transporte ativo, considerando como ocorre a regulação de entrada e saída de íons, de moléculas e de substâncias nas células.
- Avaliar os princípios científicos subjacentes a uma técnica de terapia celular, ponderando sobre os potenciais benefícios sociais e os desafios associados à sua aplicação clínica.

# A teoria celular

Por volta do ano 1665, Robert Hooke (1635-1703) construiu um microscópio composto de mais de uma lente e, ao examinar um corte fino de cortiça, descreveu estruturas semelhantes a cavidades, nomeadas células. Posteriormente, percebeu-se que Hooke havia observado a parede celular de células vegetais, uma vez que a cortiça é um tecido morto, sem o material celular interno à membrana plasmática. O trabalho e o equipamento construído por Robert Hooke constituíram a base para inúmeras pesquisas realizadas nos séculos seguintes, especialmente as de Theodor Schwann (1810–1882), Matthias Schleiden (1804–1881) e Rudolf Virchow (1821–1902), cujos estudos levaram à proposta de três postulados que sustentam a **teoria celular**:

**Todos os organismos vivos são compostos de uma ou mais células.**

Plantas, animais, fungos, bactérias e outras formas de vida são formadas por uma ou mais células. Essa constatação permitiu que cientistas começassem a estudar a estrutura e a função dessas unidades fundamentais da vida.

**A célula é a unidade estrutural e funcional básica da vida.**

Nas células, ocorrem as funções necessárias à sobrevivência de um organismo, como respiração, digestão e síntese de proteínas. As células desempenham várias funções, como metabolismo, crescimento, reprodução e respostas a estímulos. Cada célula possui seu próprio conjunto de organelas que trabalham juntas para manter a vida.

**Todas as células se originam de células preexistentes.**

Novas células são formadas pela divisão de células que já existem. A vida não surge espontaneamente a partir de matéria inanimada, embora esse pensamento tenha sido defendido no passado.

Claude Nuridsamy & Marie Perennou/SPL/Fotoarena



Reprodução assexuada: ameba divide-se por fissão binária, originando dois indivíduos. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 900 vezes.



Infográfico clicável  
Avanços da microscopia

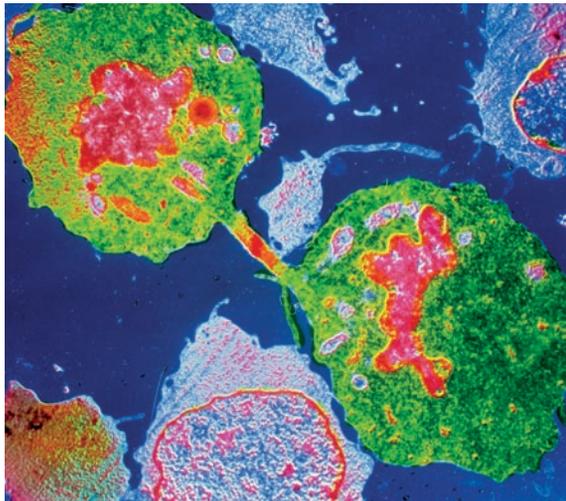
As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

Representação de crescimento e desenvolvimento: após a fertilização, o zigoto divide-se em novas células.



TheVisualMD/Science Source/Fotoarena

CNR/SPL/Fotoarena



Renovação de tecido: divisão de célula precursora do tecido sanguíneo. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 5 000 vezes.

## ► Ciências da Natureza

O estudo sobre o funcionamento das lentes que compõem, por exemplo, os microscópios ópticos é feito no **capítulo 12** do volume de **Física** desta coleção.



- Há muito tempo se discute a natureza biológica dos vírus na comunidade científica. Na sua opinião, os vírus, que são acelulares, poderiam ser considerados seres vivos? Com a orientação do professor, pesquise em fontes confiáveis as características gerais dos vírus (como estrutura e ciclo de vida) e relacione-as aos pressupostos da teoria celular e às propriedades dos seres vivos abordadas no Capítulo 1. Em seguida, redija um texto explicando a que se deve essa controvérsia científica.
- Uma pesquisa realizada com as comunidades quilombolas da região do Jalapão (TO) apresentou, pela primeira vez, cortes anatômicos de duas plantas que a comunidade utilizava na produção de seu artesanato – o buriti e o capim-dourado. O objetivo principal foi aproximar o conhecimento das comunidades do conhecimento científico, entrelaçando os saberes.

Com esse intuito, pesquisadores e artesãs dialogaram sobre as observações microscópicas e puderam refletir sobre as características e adaptações das plantas ao ambiente. Uma artesã relatou:

“Tem lugar que o capim é mais bem dourado e tem outros lugares que é mais claro, mais grosso... E tem lugar que ele é baixinho, grosso, crespo pra costurar”.

VIANA, R. V. R. *et al.* Pesquisa de campo como possibilidade de concretizar oportunidades de diálogo: experiências em duas comunidades artesãs do Jalapão - TO. *Revista Desenvolvimento Social*, n. 13, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/rds/article/view/1849/1977>. Acesso em: 20 jul. 2024.

A partir desse olhar, o grupo de pesquisa iniciou uma investigação sobre os possíveis fatores que determinam a variedade morfológica do capim-dourado e sua relação com os solos de diferentes campos úmidos na região. Refletindo a respeito da confluência de vozes e saberes que a pesquisa provocou, discuta com colegas sobre a relevância de estabelecer diálogos entre os conhecimentos biológicos e os saberes tradicionais.

## Composição química das células

As células são constituídas, quimicamente, de compostos inorgânicos, representados pela água e pelos sais minerais, e de compostos orgânicos: proteínas, carboidratos (como os açúcares), lipídeos (gorduras), vitaminas e ácidos nucleicos.

### ► Ciências da Natureza

A composição química do corpo humano é estudada com outro enfoque no **capítulo 3** do volume de **Química** desta coleção.

## Água

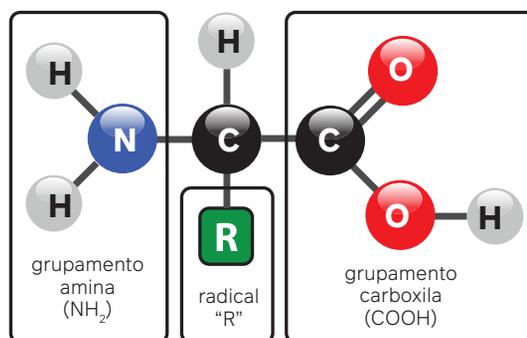
A substância mais abundante nas células é a água, componente essencial para a construção de certas estruturas biológicas. Atua como solvente, permite o transporte de substâncias e é o meio para as reações químicas que ocorrem ao nível celular.

## Proteínas

As **proteínas** fazem parte das estruturas celulares e participam de todos os processos biológicos. Atuam como hormônios, enzimas, anticorpos e constituem diversas estruturas, como os músculos, cabelos, penas e unhas. São as substâncias orgânicas mais abundantes nas células. Elas são compostas, basicamente, de átomos de carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H) e nitrogênio (N), podendo ainda conter enxofre (S).

As proteínas são formadas pela associação variável entre 20 tipos de aminoácidos sequenciados em diferentes proporções e posicionamentos. A quantidade e a combinação desses aminoácidos determinam qual será a proteína produzida.

Nos animais, por exemplo, os aminoácidos podem ser obtidos a partir da alimentação (aminoácidos essenciais) ou podem ser sintetizados pelas células (aminoácidos não essenciais). Todos os aminoácidos são constituídos por um grupamento amina ( $\text{NH}_2$ ) e um grupamento ácido carboxílico ou carboxila, de onde deriva o nome “aminoácido”. Esses grupamentos estão ligados a um carbono central, que, por sua vez, está ligado a um hidrogênio e a um radical “R”. O que diferencia um aminoácido do outro é esse radical.



A estrutura de um aminoácido é formada por um carbono central ligado a um hidrogênio (H), um grupo amina ( $\text{NH}_2$ ), um radical “R” e um grupamento carboxila ( $\text{COOH}$ ).

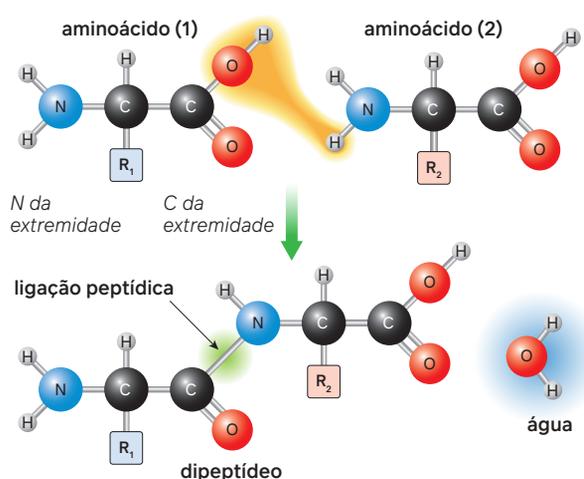
Fonte: SADAVA, D. *et al.* *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 46.

Os aminoácidos se unem por meio de **ligações peptídicas**, uma reação que libera água, formando uma cadeia peptídica. Uma proteína é composta de ao menos um polipeptídeo, que é formado pela ligação entre vários aminoácidos. Veja a representação esquemática da formação de uma ligação peptídica.

As proteínas têm diferentes níveis de estrutura que determinam sua forma tridimensional, que, por sua vez, está relacionada à sua função no organismo:

- **Estrutura primária:** sequência linear de aminoácidos.
- **Estrutura secundária:** dobramento da cadeia polipeptídica, sendo os dois principais tipos a  $\alpha$ -Hélice e folha  $\beta$ -pregueada.
- **Estrutura terciária:** dobramento final da cadeia polipeptídica, por meio de interações entre as cadeias laterais dos aminoácidos.
- **Estrutura quaternária:** presente apenas em proteínas formadas por mais de uma cadeia polipeptídica e se refere ao arranjo tridimensional das subunidades.

Alguns fatores, como a temperatura elevada e as variações de pH, podem provocar a **desnaturação** das proteínas. Neste processo ocorre a alteração da forma, sem alterar a estrutura primária, mas prejudicando a função da proteína no organismo.



Representação esquemática da formação de uma ligação peptídica.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 47.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

## Enzimas

As enzimas são proteínas especializadas que funcionam como **catalisadores**, acelerando e facilitando as reações químicas nas células. As enzimas atuam reduzindo a **energia de ativação** necessária para que uma reação aconteça, permitindo que as reações ocorram a taxas adequadas para a vida celular.

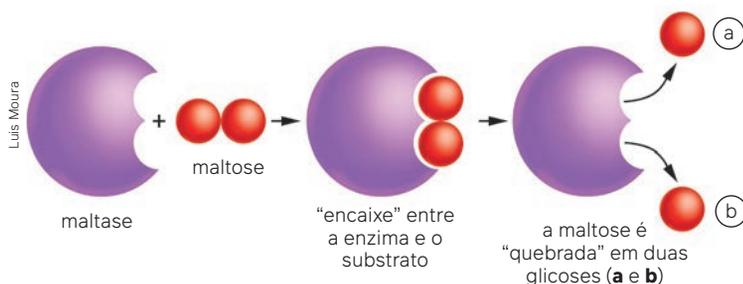
### Se liga

A energia de ativação é a quantidade mínima de energia que as moléculas reagentes devem adquirir para superar as barreiras energéticas e iniciar a reação. Isso ocorre porque as moléculas reagentes precisam superar colisões e interações desfavoráveis antes que a reação possa prosseguir.

Essas proteínas são altamente específicas, o que significa que cada enzima atua em um substrato específico. Para que a reação ocorra, o substrato liga-se a uma região da enzima, chamada de **sítio ativo**.

A especificidade enzima-substrato garante que as reações químicas nas células sejam altamente reguladas e ocorram de maneira controlada. Isso é fundamental para o funcionamento adequado das atividades celulares, desde a digestão de alimentos até a síntese de moléculas e a produção de energia. Cada tipo de enzima tem sua função específica na célula e interage somente com os substratos correspondentes a essa função.

As atividades celulares, como a digestão de alimentos, a síntese de moléculas, a replicação do DNA e a produção de energia, dependem das enzimas para garantir que as reações ocorram de maneira eficaz e controlada. Alguns exemplos de enzimas são a DNA polimerase, envolvida na replicação do DNA, a ribonuclease, envolvida na degradação do RNA celular, e a ATPase, uma enzima que catalisa a quebra da ATP (Adenosina trifosfato), molécula que armazena energia, liberando essa energia para ser utilizada pelas células.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Exemplo de ação enzimática. A maltase é uma enzima que catalisa a reação que quebra a maltose (açúcar dos cereais) em duas moléculas de glicose. A enzima (maltase) tem um encaixe com o formato adequado ao seu substrato (maltose).

# Carboidratos

Os **carboidratos** são moléculas que armazenam, fornecem e transportam energia para o metabolismo celular. Alguns deles, como a celulose e a quitina, têm função estrutural, e o amido e o glicogênio têm função de reserva. Já a glicose armazena e transporta energia no organismo. Em linhas gerais, podemos classificar os carboidratos nas seguintes categorias:

Tipo	Estrutura	Exemplos
<b>Monossacarídeos</b>	Açúcares simples	Glicose
<b>Dissacarídeos</b>	União de dois monossacarídeos	Sacarose (glicose + frutose) Lactose (glicose + galactose) Maltose (glicose + glicose)
<b>Polissacarídeos</b>	Formados por centenas ou até milhares de monossacarídeos	Amido, glicogênio e celulose

Fonte: SADAVA, D. *et al. Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 54.

# Lipídeos

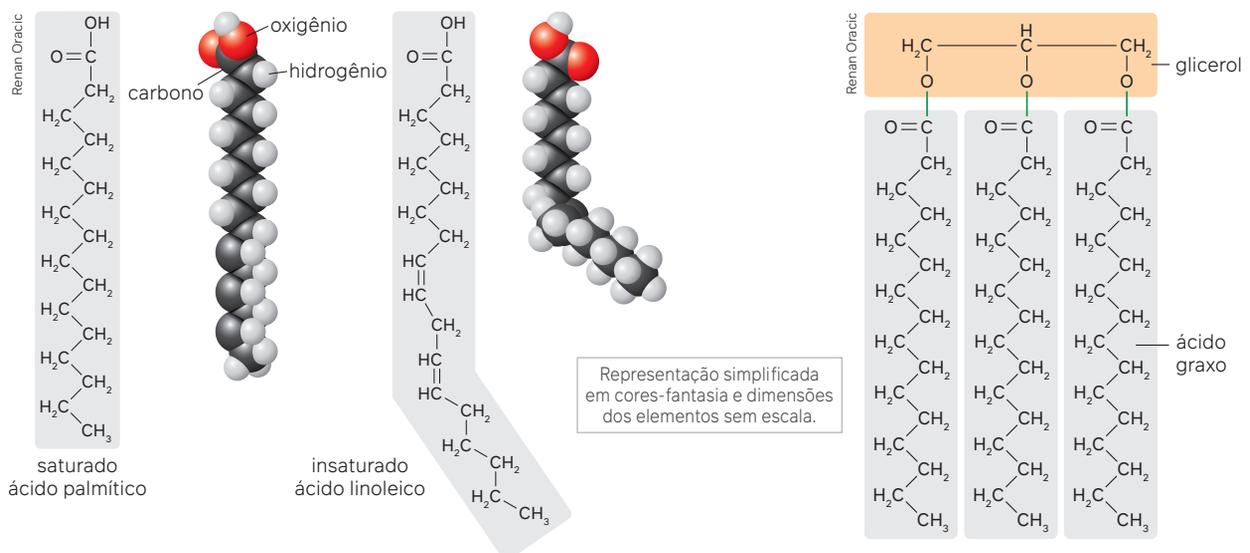
Os **lipídeos** são substâncias insolúveis em água e que, além de fazerem parte da estrutura da membrana plasmática das células, como os fosfolipídeos, também desempenham a função de reserva de energia e de isolantes térmicos, como óleos, ceras e gorduras. Outro grupo de lipídeos é o dos carotenoides, pigmentos que capturam luz durante a fotossíntese e influenciam a coloração de partes vegetais, como a cor alaranjada da cenoura.

## Óleos e gorduras

Os óleos e as gorduras são lipídeos diretamente relacionados à nutrição e à saúde humana. As **gorduras** são sólidas em temperaturas de aproximadamente 20 °C, já os **óleos** são encontrados na forma líquida. Eles são classificados como **triglicérides**, porque são formados por uma molécula de glicerol e três de ácidos graxos.

Você provavelmente já deve ter ouvido falar em gordura saturada, insaturada e trans. Essa classificação se dá de acordo com o tipo de ácido graxo que a compõe. O ácido graxo é composto de uma longa cadeia carbônica e, de acordo com a terminação dessa cadeia, ele pode ser classificado como saturado ou insaturado:

- **Ácidos graxos saturados:** todas as ligações entre os átomos de carbono são simples, porque se encontram saturadas com os átomos de hidrogênio.
- **Ácidos graxos insaturados:** podem conter uma ou mais ligações duplas na cadeia entre os átomos de carbono.



Moléculas de ácidos graxos: saturado (ácido palmítico) e insaturado (ácido linoleico).

Fórmula estrutural de um triglicérido.

Fonte: SADAVA, D. *et al. Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 59-60.

As **gorduras saturadas** são geralmente encontradas em carnes e laticínios. No entanto, apesar de fornecerem energia e vitaminas, seu consumo em excesso não é recomendado, porque aumenta o risco do desenvolvimento de doenças cardiovasculares. As **gorduras insaturadas** podem ser obtidas por meio da ingestão de alimentos como azeites, castanhas, abacate e peixes (que contêm as gorduras ômega 3 e ômega 6). O consumo em poucas quantidades é recomendado porque ajuda a elevar o colesterol considerado "bom" (HDL) e a diminuir o considerado "ruim" (LDL). Já as **gorduras trans** são um tipo de gordura insaturada. Elas estão presentes em pequenas quantidades em alguns alimentos de origem animal. São gorduras industrializadas e encontradas em alimentos ultraprocessados, como margarina, biscoitos, bolos industrializados, salgadinhos, pães de forma etc. O consumo desse tipo de gordura não é recomendado, porque está relacionado ao aumento das chances de desenvolver obesidade e doenças cardiovasculares.

## Vitaminas

As **vitaminas** são de vital importância para o metabolismo energético e de aminoácidos, absorção de minerais, remoção de compostos indesejáveis, composição de pigmentos, entre outras funções. Podem ser classificadas em hidrossolúveis e lipossolúveis, sendo necessárias em pequenas quantidades, mas sua falta pode trazer prejuízos para a saúde do organismo.

## Sais minerais

Os **sais minerais** têm funções variadas, podendo constituir estruturas esqueléticas de alguns seres vivos, como o cálcio e o fósforo, ou serem essenciais para a transmissão de impulsos nervosos, como o sódio, entre outras funções. Podem ser divididos em macrominerais (necessários em quantidades maiores ou iguais a 100 mg/dia) e microminerais (necessários em quantidades inferiores a 15 mg/dia). Destacam-se como macrominerais o cálcio, o sódio, o potássio, o magnésio, o fósforo, o enxofre e o cloro. Entre os microminerais, destacam-se o ferro, o cobre, o iodo e o zinco.

## Ácidos nucleicos

Os **ácidos nucleicos** são de dois tipos: o ácido desoxirribonucleico (DNA) e o ácido ribonucleico (RNA). O DNA contém informações codificadas nas características dos indivíduos. Já o RNA participa do processo de síntese proteica.

## Atividades propostas



1. A lactase, enzima presente na maioria dos mamíferos, é responsável pela digestão da lactose, principal açúcar do leite. O texto a seguir aborda a atividade dessa enzima no decorrer da vida dos mamíferos. Leia-o e, em seguida, responda às questões.

A expressão dessa enzima é elevada em mamíferos recém-nascidos e diminui progressivamente após o desmame. Por ser uma enzima empregada na digestão de um carboidrato presente exclusivamente no leite que, por sua vez, para a maioria dos mamíferos, é um alimento disponível apenas nas primeiras fases do desenvolvimento, observa-se uma alta atividade enzimática da lactase em mamíferos recém-nascidos e imaturos e uma baixa atividade enzimática em indivíduos desmamados e adultos. Contudo, em humanos é possível observar adultos apresentando tanto baixa quanto alta atividade enzimática.

SUKOW, N. M.; BELTRAME, M. H. O que a (in)tolerância à lactose nos conta sobre a evolução humana? *Genética na Escola*, Paraná, v. 18, n. 2, p. 100-108, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55838/1980-3540.ge.2023.545>. Acesso em: 20 jul. 2024.

- a) Considerando a função das enzimas, explique como a atividade da enzima lactase se relaciona com a capacidade de digerir a lactose ao longo da vida dos mamíferos e por que essa atividade diminui após o desmame.
- b) Elabore uma hipótese para explicar por que alguns adultos humanos ainda mantêm uma alta atividade da enzima lactase, enquanto outros apresentam uma atividade enzimática reduzida, resultando em intolerância à lactose.

# Tipos de células

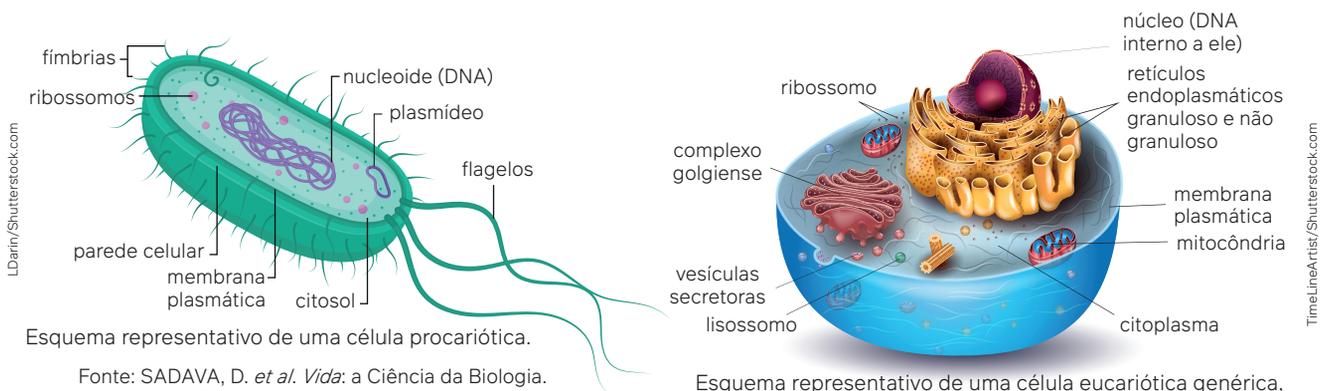
As células compartilham certas características: **membrana plasmática** (ou membrana celular), uma barreira seletiva que delimita o meio intracelular do meio extracelular; **citossol**, uma substância semifluida e gelatinosa que preenche as células; **material genético**; e **ribossomos**. Tendo em vista essas características, existem basicamente dois tipos de célula: as procarióticas e as eucarióticas.

As células **procarióticas** constituem as bactérias e as arqueias e não apresentam núcleo nem organelas membranosas. O material genético está localizado em uma região do citossol chamada **nucleoide**, que contém o DNA cromossômico, além dos **plasmídeos**, que são moléculas de DNA circular. Os plasmídeos podem se replicar de forma independente do DNA cromossômico e conter genes que carregam informações referentes à resistência a antibióticos, à produção de toxinas, e de enzimas que degradam substâncias específicas, e a fatores de virulência, que tornam a bactéria patogênica, permitindo-a infectar células hospedeiras.

As fímbrias são estruturas filamentosas finas e curtas que se projetam da superfície de algumas células bacterianas com função de fixação a membranas do hospedeiro. Já os pili são filamentos mais longos que mantêm duas células bacterianas próximas, possibilitando a transferência de DNA entre elas. Os **flagelos** são estruturas mais longas e filamentosas que as fímbrias, apresentam formato de chicote e estão associados ao movimento de certas células. O citossol das células procarióticas contém várias moléculas e estruturas envolvidas em processos celulares essenciais, como os ribossomos, organelas responsáveis pela síntese de proteínas.

As células **eucarióticas** são caracterizadas por possuírem uma série de estruturas que incluem as **organelas membranosas** e o **núcleo**, que abriga o material genético da célula. São encontradas em organismos unicelulares e multicelulares, como microrganismos, plantas, animais e fungos. Apresentam um **citoesqueleto** composto de microtúbulos, microfilamentos e filamentos intermediários. Essas estruturas fornecem suporte e atuam na divisão celular, na manutenção da forma da célula e no movimento de organelas e vesículas. Assim como nas células procarióticas, as células eucarióticas também podem apresentar flagelos, como os presentes em espermatozoides.

A **parede celular** é um revestimento que pode ser encontrado em diferentes tipos de organismo, fornecendo suporte estrutural e proteção. Diferentemente da membrana plasmática, a parede celular não seleciona substâncias que podem entrar ou sair das células, sendo, portanto, permeável. As principais moléculas que compõem a parede celular dos organismos são: celulose (presente em plantas e algas), peptidoglicano (presente em bactérias), pseudopeptidoglicano (presente em arqueas) e quitina (presente em fungos).

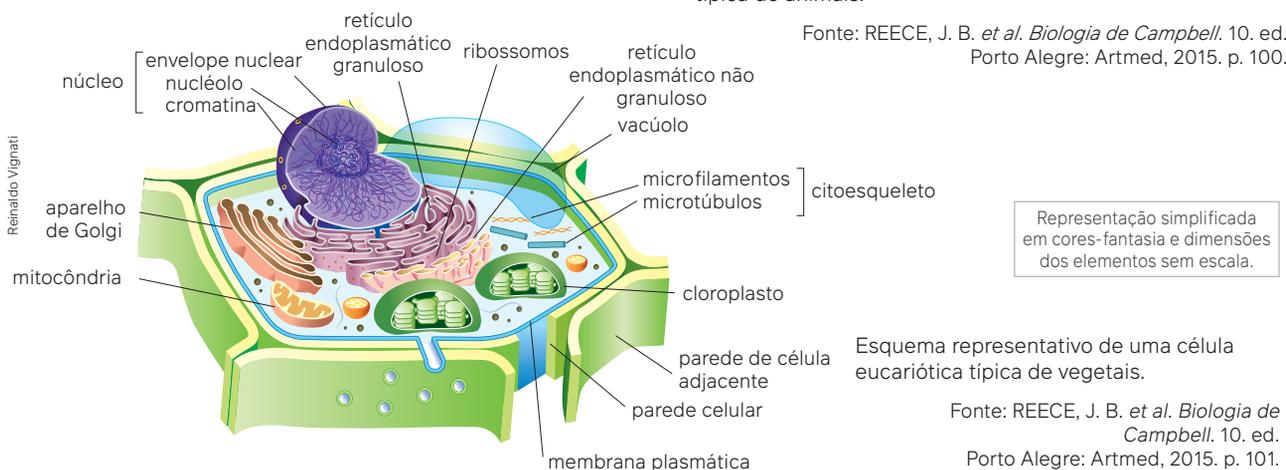


Esquema representativo de uma célula procariótica.

Fonte: SADAIVA, D. *et al. Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 86.

Esquema representativo de uma célula eucariótica genérica, típica de animais.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 100.



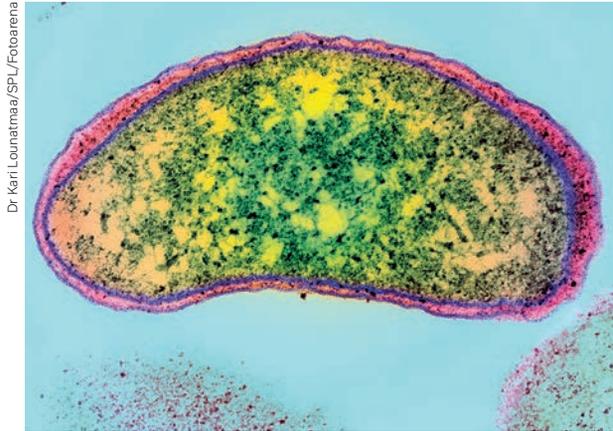
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo de uma célula eucariótica típica de vegetais.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 101.



1. Pesquisadores, que buscavam um ponto para captação de água para abastecimento de uma certa localidade, coletaram amostras de água de um riacho visando observar, no microscópio, os microrganismos que compunham a microbiota do corpo d'água. Após a coleta, eles analisaram as amostras e encontraram os seguintes tipos de organismo:



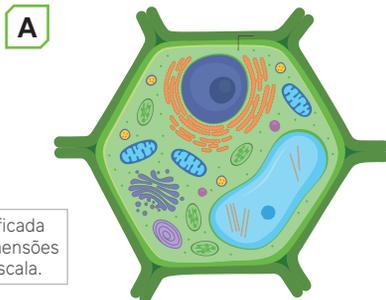
Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 45 000 vezes.



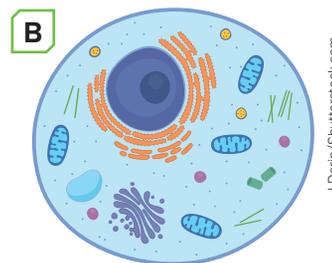
Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 60 vezes.

Os organismos observados pelos pesquisadores apresentam quais tipos de célula? Justifique.

2. Observe os esquemas das células a seguir. Um deles é atribuído à representação de uma célula animal, e o outro, a uma célula vegetal. Identifique-os e explique como chegou a essa conclusão.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



LDarin/Shutterstock.com

## Membrana plasmática

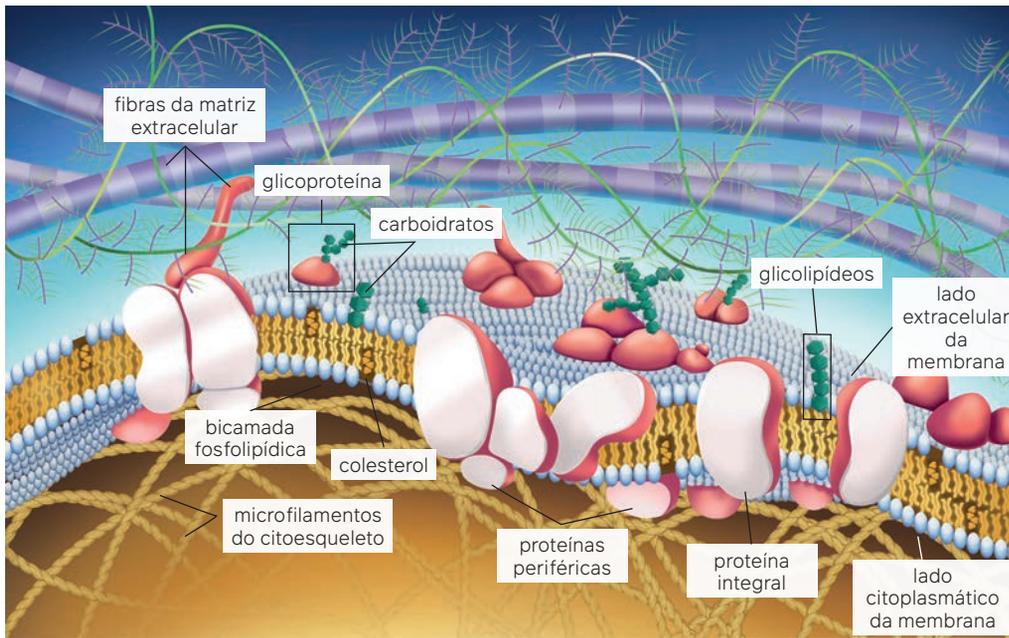
A membrana plasmática ou membrana celular atua como uma barreira seletiva que regula as entradas e as saídas de substâncias, moléculas e ions entre o ambiente intracelular e extracelular. Esse fenômeno é chamado de **permeabilidade seletiva**.

### O modelo mosaico fluido

A membrana é representada como uma estrutura dinâmica, composta de uma diversidade de moléculas, incluindo lipídeos, proteínas e carboidratos. Esse modelo estrutural é denominado **mosaico fluido**. A estrutura básica da membrana celular consiste em uma **bicamada lipídica**, composta principalmente de fosfolipídeos. Os lipídeos conferem à membrana sua característica de fluidez, possibilitando que alguns tipos de moléculas a atravessem.

A membrana inclui **proteínas integrais**, inseridas na bicamada lipídica, e proteínas periféricas, que estão associadas à membrana, mas não estão imersas na bicamada. Essas proteínas atuam no transporte de moléculas, **transdução de sinal** e suporte estrutural.

Os carboidratos são frequentemente encontrados ligados a lipídeos (glicolipídeos) ou proteínas (glicoproteínas) na superfície extracelular da membrana. Essas cadeias de carboidratos atuam no reconhecimento, na adesão e na comunicação celular.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo do modelo mosaico fluido da membrana plasmática.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 125.

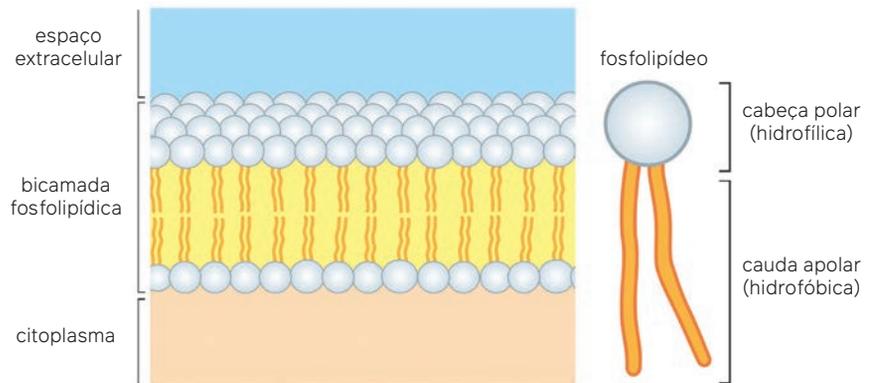
**Saiba mais**

**Transdução de sinal**

No contexto da Biologia e da Bioquímica, a transdução de sinal refere-se ao processo pelo qual as células convertem um estímulo ou sinal externo em uma resposta celular. Isso envolve uma série de eventos bioquímicos e moleculares que permitem que as células reajam a estímulos ambientais e respondam apropriadamente por meio da ação de hormônios, neurotransmissores, fatores de crescimento etc.

**Fosfolípidos**

A bicamada lipídica é formada, principalmente, por duas fileiras de fosfolípidos, que são moléculas que possuem cabeças polares **hidrofilicas** e caudas apolares **hidrofólicas**. As cabeças polares podem conter fosfato e/ou glicerol, enquanto as caudas hidrofólicas são formadas por ácidos graxos. As cabeças dos fosfolípidos ficam voltadas para os meios extra e intracelular, enquanto as caudas ficam voltadas para o interior da membrana. Veja a representação a seguir:



Soleil Nordic/Shutterstock.com

**GLOSSÁRIO**  
**hidrofilica:** tem afinidade com moléculas de água.  
**hidrofólica:** sem afinidade com moléculas de água.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Representação da membrana plasmática, com destaque para a estrutura de um fosfolípido. Na formação da membrana plasmática, as cabeças hidrofilicas dos ácidos graxos formadas por fosfato e/ou glicerol estabelecem contato com os meios extra e intracelulares (que apresentam água na sua composição), e as suas caudas hidrofólicas ficam isoladas desses meios.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 125.

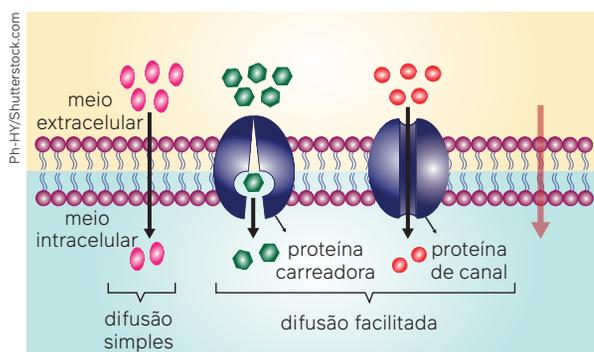
# Tipos de transporte

A membrana plasmática separa a célula do meio externo, mas não a isola. As células realizam constantes trocas entre seu meio interno e o meio externo. Isso se dá a partir de três diferentes tipos de transporte: passivo, ativo e mediado por vesículas.

## Transporte passivo

O transporte passivo ocorre sem gasto de energia (ATP) pela célula. A **difusão** é um exemplo de transporte passivo e ocorre quando as moléculas se movem de uma região de maior concentração de soluto para outra de menor concentração. A **difusão simples** ocorre diretamente através da bicamada lipídica da membrana plasmática, permitindo que moléculas pequenas e apolares, como o gás oxigênio e o dióxido de carbono, atravessem-na facilmente. A **difusão facilitada** envolve a participação de proteínas transportadoras (canal e carreadora) que auxiliam no transporte de moléculas polares ou grandes, como a glicose e os íons.

As **proteínas de canal** formam canais aquosos que permitem a passagem de íons ou moléculas específicas através da membrana – um caminho direto para a substância a ser transportada. As **proteínas carreadoras** interagem com as substâncias que precisam ser transportadas, ligando-se a elas e sofrendo uma mudança conformacional para transportá-las através da membrana.

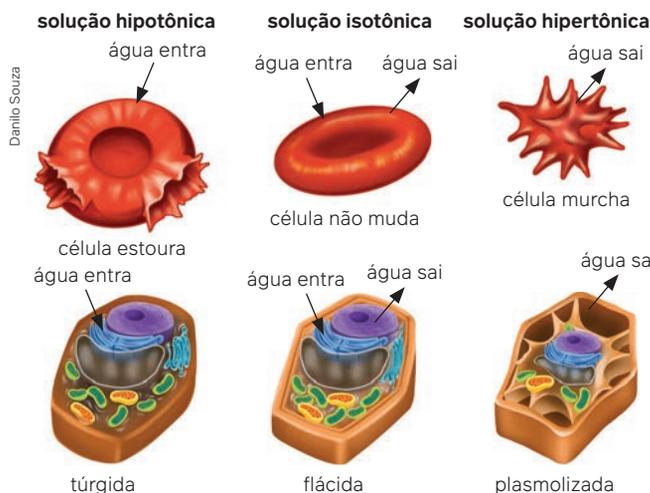


Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo das difusões simples e facilitada.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 135.

Outro exemplo de transporte passivo é a **osmose**. Nesse fenômeno, as moléculas de água locomovem-se de uma região com menor concentração de soluto (meio hipotônico) para uma região com maior concentração de soluto (meio hipertônico), no sentido de igualar a concentração e alcançar o equilíbrio osmótico. As **aquaporinas** são uma família de proteínas responsáveis por facilitar o transporte de moléculas de água através da membrana. Observe, no esquema a seguir, uma representação de como ocorre a osmose em células animais e vegetais em diferentes meios.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo da osmose em meios com diferentes concentrações de soluto, em uma hemácia (célula sanguínea) e em uma célula vegetal.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 132.

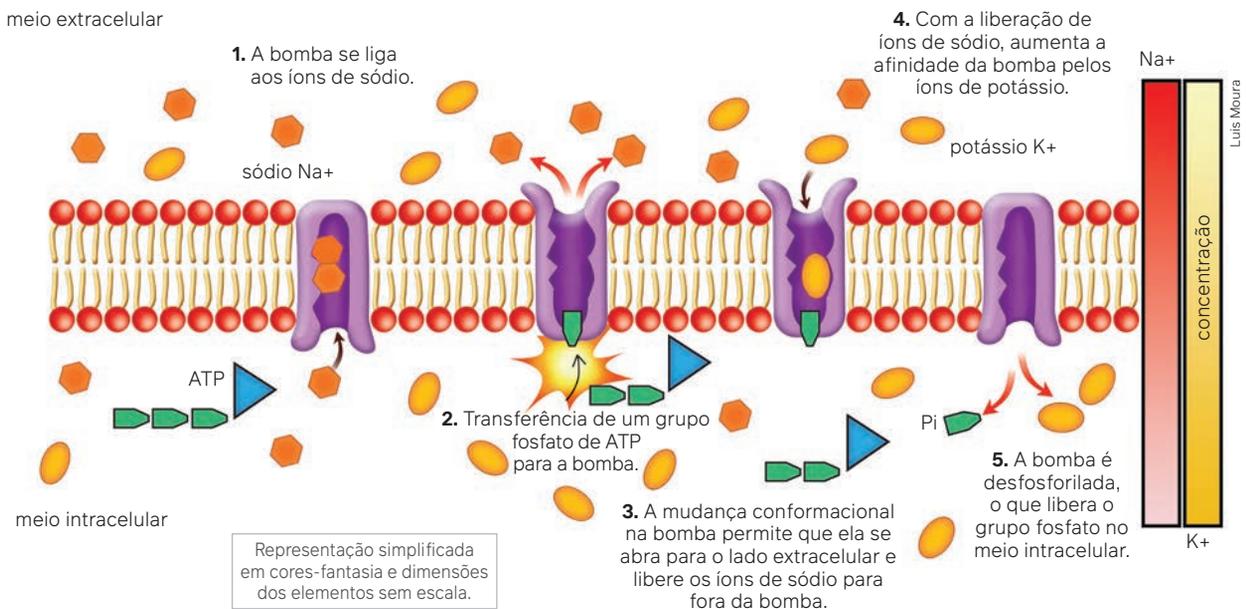
No tópico anterior, vimos que as células vegetais possuem uma **parede celular** rígida composta principalmente de celulose. Essa parede fornece suporte estrutural e impede que as células vegetais se rompam quando há entrada de água em um ambiente hipotônico. Além disso, as células vegetais têm um grande **vacúolo central** que pode armazenar água e solutos. O vacúolo atua como um regulador de turgidez, controlando a entrada e a saída de água, bem como a pressão na célula. Em solução hipertônica, pode ocorrer a **plasmólise**, ou seja, a retração da membrana celular, eventualmente ocasionando o seu descolamento em alguns pontos da parede celular.

## Transporte ativo

O transporte ativo requer energia celular (ATP) para mover substâncias contra o seu gradiente de concentração, mantendo a diferença de concentração entre a célula e o meio externo. As **bombas de íons** são proteínas especiais que utilizam energia metabólica, geralmente na forma de ATP, para transportar íons específicos contra o seu gradiente de concentração. Isso significa que as bombas movem íons do meio com menor concentração para o meio com maior concentração, envolvendo gasto de energia nesse processo.

A **bomba sódio-potássio** é uma proteína transmembrana que transporta ativamente íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) para fora da célula e íons potássio ( $\text{K}^+$ ) para dentro (na proporção de 3 íons  $\text{Na}^+$  para 2 íons  $\text{K}^+$ ). Dessa forma, esse transporte atua na manutenção do gradiente eletroquímico dos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) dentro e ao redor da célula, essencial para vários processos celulares, incluindo a função das células nervosas, as contrações musculares e o equilíbrio osmótico. Ao bombear sódio para fora da célula e potássio para dentro dela, a ação da bomba gera carga negativa dentro da célula, e carga positiva fora dela, estabelecendo condições para a excitabilidade elétrica nos neurônios e nas células musculares, por exemplo.

Observe o esquema.



Esquema representativo de bombas de sódio e potássio, que envolvem gasto de energia para mover íons contra seus gradientes de concentração.

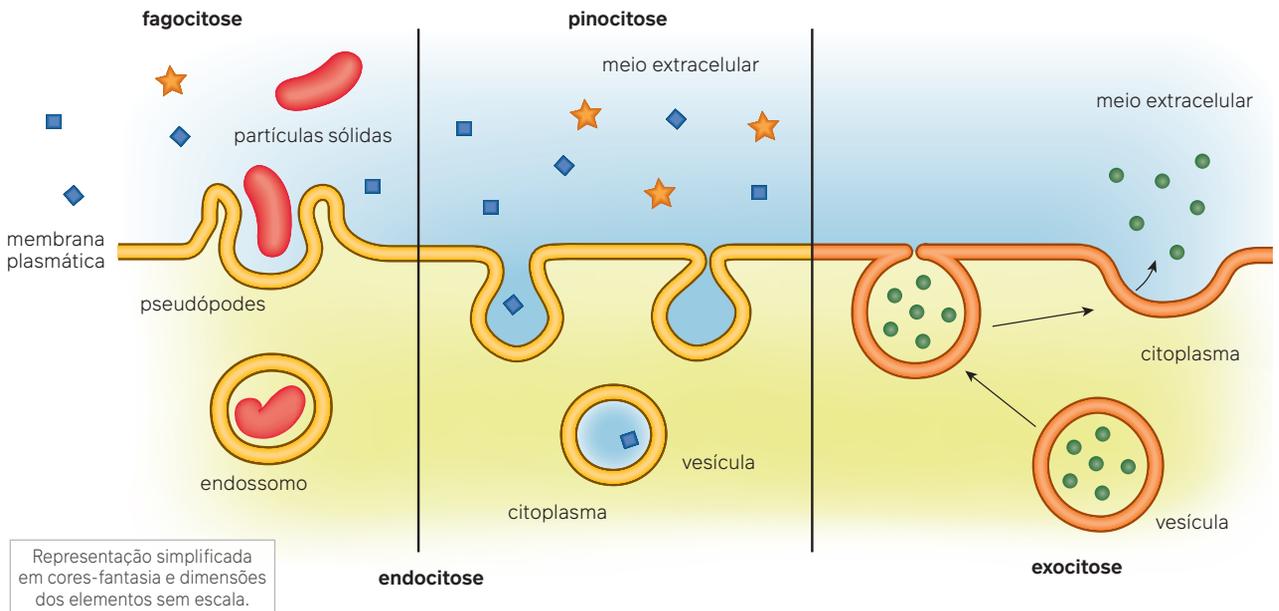
Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 135.

## Transporte mediado por vesículas

O transporte mediado por vesículas é um mecanismo celular especializado em mover grandes quantidades de substâncias para dentro e fora da célula. Isso ocorre por meio de vesículas, pequenas bolsas membranosas que agem como “carrinhos de entrega” dentro da célula.

Substâncias, moléculas, partículas e fluidos podem entrar e sair das células. A **endocitose** envolve a absorção de materiais do meio extracelular para dentro da célula. Nesse processo, as células fagocitam e internalizam partículas, fluidos ou mesmo outras células. A endocitose do tipo **fagocitose** envolve a absorção de partículas sólidas, englobadas por meio de pseudópodes, enquanto a **pinocitose** engloba fluidos por meio da invaginação da membrana celular. O material absorvido é envolto por **vesículas membranosas** que são transportadas para vários compartimentos celulares, como endossomos e lisossomos, onde os materiais internalizados podem ser processados ou degradados.

A **exocitose** envolve a liberação de materiais de dentro da célula para o meio extracelular. Durante a exocitose, vesículas secretoras que transportam proteínas, lipídeos ou outros materiais celulares fundem-se com a membrana plasmática da célula, expelindo seu conteúdo para fora dela. Esse processo promove diversas funções celulares, incluindo a liberação de neurotransmissores nas células nervosas, a secreção de hormônios nas células endócrinas e a incorporação de proteínas de membrana na superfície celular.



Ericson Guilherme Luciano

Esquema representativo da endocitose (fagocitose e pinocitose) e exocitose.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 138.

## Atividades propostas



- Você já deve ter percebido que a salada temperada, depois de um tempo, fica murcha. Dividam-se em grupos e elaborem um experimento para investigar esse processo. Com a supervisão do professor, definam o roteiro de experimentação, que inclua a elaboração de uma hipótese a ser testada e um grupo controle. Definam os materiais necessários, ambiente e tempo para realização e coloquem o experimento em prática. Em seguida, respondam às questões.
  - A hipótese do grupo foi confirmada com o resultado do experimento?
  - O experimento funcionou conforme o esperado? Em caso positivo, a que conclusões chegaram? Em caso negativo, a que atribuem o resultado?
  - Que processos estudados no capítulo foram observados no experimento? Justifique.
  - É possível reverter o processo? Elabore um procedimento para testar sua hipótese.
- (Enem – 2019) Uma cozinheira colocou sal a mais no feijão que estava cozinhando. Para solucionar o problema, ela acrescentou batatas cruas e sem tempero dentro da panela. Quando terminou de cozinhá-lo, as batatas estavam salgadas, porque absorveram parte do caldo com excesso de sal. Finalmente, ela adicionou água para completar o caldo do feijão. O sal foi absorvido pelas batatas por:
  - osmose, por envolver apenas o transporte do solvente.
  - fagocitose, porque o sal transportado é uma substância sólida.
  - exocitose, uma vez que o sal foi transportado da água para a batata.
  - pinocitose, porque o sal estava diluído na água quando foi transportado.
  - difusão, porque o transporte ocorreu a favor do gradiente de concentração.
- Suponha que você esteja montando uma Feira de Ciências na escola e tenha que elaborar uma exposição sobre transporte celular. Elabore um esboço dessa exposição, considerando o público-alvo, o tipo de informação, os conceitos relevantes e os mecanismos de transporte celular: difusão simples, osmose, difusão facilitada e transporte ativo. Você pode escolher o formato da exposição – pode ser um infográfico, uma apresentação de *slides*, um roteiro de vídeo animado ou qualquer outra forma criativa que você preferir. O objetivo é tornar os conceitos acessíveis e interessantes para o público. Lembre-se de incluir exemplos e situações em que cada mecanismo é fundamental para o funcionamento das células.



## Terapia celular

A terapia celular é um ramo da medicina regenerativa que envolve o uso de material celular para tratar ou curar doenças e condições médicas. Baseia-se no princípio de que as células do paciente ou de outras fontes podem ser aproveitadas para substituir, reparar ou induzir a morte de células e tecidos danificados ou com mau funcionamento. Leia a seguir um texto que aborda uma dessas técnicas.

### Membrana obtida de células é usada no tratamento do câncer

Cientistas desenvolveram nanocápsulas feitas com membranas de células para levar até o tumor substâncias que combatem o câncer.

Um modo inovador de levar às células dos tumores de câncer substâncias que vão combater a doença foi criado em pesquisa no Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP. Os cientistas utilizaram membranas de células cultivadas em laboratório para produzir nanocápsulas nas quais são colocados fármacos e outros compostos que atuam na terapia para o câncer. A técnica, testada com sucesso em animais, poderá ser usada no futuro em qualquer tipo de tumor maligno.

“Nanocápsulas são partículas fabricadas em escala nanométrica, capazes de carrear alguma substância (como fármacos e biomoléculas) pelo organismo e entregar em regiões específicas, como tumores, ou até mesmo dentro de células”, aponta o professor Valtencir Zucolotto, coordenador do Grupo de Nanomedicina e Nanotoxicologia (GNano) do IFSC, que coordenou a pesquisa. “Hoje, a maioria das nanocápsulas são fabricadas a partir de lipídeos, polímeros, etc.”.

Segundo o professor, os pesquisadores desenvolveram e aplicaram um novo sistema para entrega de fármacos e nanofármacos em células tumorais por meio de nanocápsulas que usam membranas celulares como matéria-prima. “A entrega é mais eficiente porque as membranas são constituídas pelo mesmo material das células-alvo”, destaca. “Em seguida, a irradiação com luz em comprimento de onda adequado promove o ataque químico e fototérmico (calor) contra as células do câncer.”

#### Da membrana à nanocápsula

As membranas usadas na pesquisa foram obtidas a partir de cultivo de células realizado no GNano. “A membrana foi separada da célula e processada na forma de cápsulas. Dentro delas foi colocado um extrato vegetal, a betalaxona, que funciona como quimioterápico”, conta Zucolotto. “A nanocápsula carrou também um nanobastão, ou ‘nanorod’ de ouro, que promove a hipertermia. Ambos os componentes induzem toxicidade às células dos tumores.”

Como a membrana da nanocápsula tem a composição muito parecida com a da célula tumoral, o reconhecimento pelo organismo é melhorado, pois ela não é vista como um corpo estranho. “Por fim, a nanocápsula é irradiada com luz infravermelha”, relata o professor. “O calor gerado pela luz libera os fármacos, que agem sobre a célula doente, provocando sua morte, que também ocorre devido ao aumento da temperatura (foto-hipertermia).”

[...]

BERNARDES, J. Membrana obtida de células é usada no tratamento do câncer. *Jornal da USP*, São Paulo, 27 maio 2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/membrana-obtida-de-celulas-e-usada-no-tratamento-do-cancer/>. Acesso em: 2 maio 2024.

## Trocando ideias



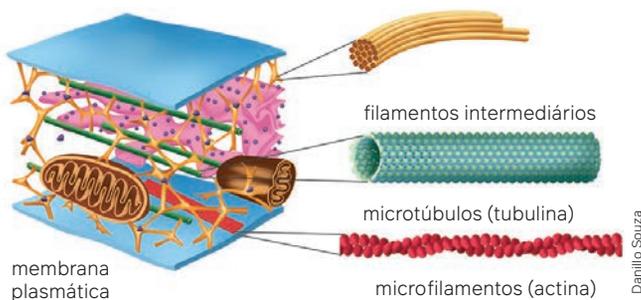
1. De acordo com a pesquisa descrita no texto, como as nanocápsulas são usadas para combater o câncer?
2. Por que o uso de membranas celulares como matéria-prima para as nanocápsulas é considerado uma inovação significativa nessa terapia?
3. Quais são os componentes das nanocápsulas mencionados no texto e qual é o papel de cada um deles no tratamento do câncer?
4. Tendo em vista os processos de transporte de membrana abordados no capítulo, explique os processos envolvidos na internalização das nanocápsulas compostas de lipídeos e polímeros.
5. Ao avaliar os potenciais benefícios sociais e os desafios associados à terapia celular, explique por que é importante considerar não apenas os avanços científicos, mas também as implicações éticas.

# Organelas celulares

No interior das células eucarióticas, no **citoplasma**, há uma variedade de estruturas denominadas organelas que desempenham funções específicas. Tais estruturas podem ser revestidas por membranas de composição química semelhante à membrana plasmática, como retículo endoplasmático, mitocôndrias e cloroplastos. Além delas, há estruturas não delimitadas por membranas, como os ribossomos e o citoesqueleto.

## Estruturas não membranosas

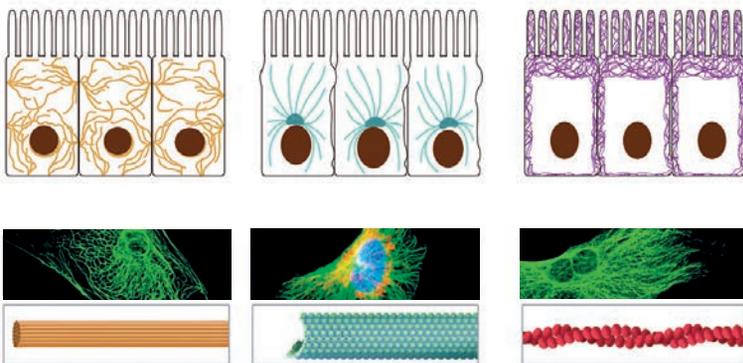
O citoesqueleto é uma rede de filamentos proteicos que atuam na manutenção da forma celular, na sustentação celular e na movimentação das estruturas celulares de organismos eucarióticos. São três os tipos de componentes do citoesqueleto: microtúbulos, microfilamentos e filamentos intermediários. Cada componente apresenta um arranjo específico de proteínas e ocupa distintas áreas no meio intracelular.



Alvin Telsler/Science Source/Fotoarena; Jennifer Waters/Science Source/Fotoarena; Alvin Telsler/Science Source/Fotoarena

Danillo Souza

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



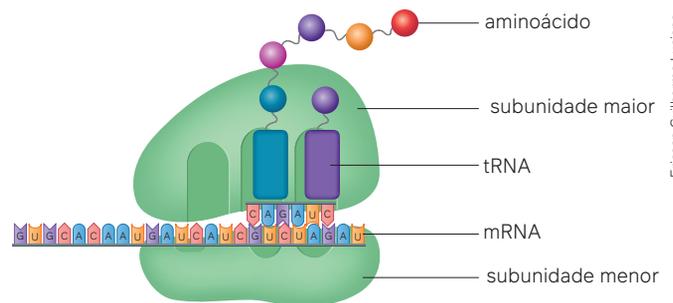
Esquema representativo do citoesqueleto, com destaque para seus componentes: filamentos intermediários, microtúbulos e microfilamentos.

Fonte: ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 891.

Nas células animais, os microtúbulos formam os **centríolos**, um par de estruturas que têm importante papel na divisão celular.

Outra estrutura não membranosas das células são os **ribossomos** – organelas relacionadas à produção de proteínas –, presentes em procariontes e eucariontes, ainda que difiram quanto à sua constituição. Os ribossomos são compostos de duas subunidades, uma menor e outra maior. Cada subunidade é composta de RNA ribossômico (rRNA) e proteínas ribossômicas.

Os ribossomos podem ser encontrados no citoplasma das células eucarióticas, associados ao retículo endoplasmático granuloso, ou aderidos à face citoplasmática da membrana nuclear. A principal função dos ribossomos é a **síntese proteica**, um processo que envolve a leitura do código genético do DNA e fornece as instruções para a sequência de aminoácidos que formarão uma proteína. Esse processo é intermediado por dois outros tipos de RNA: o mensageiro (mRNA) e o transportador (tRNA). As instruções são traduzidas pelos ribossomos em sequências de aminoácidos, que se unem para formar a proteína, um tema abordado no Capítulo 3.



Ericson Guilherme Luciano

Esquema representativo de um ribossomo e da síntese de uma proteína com a participação do RNA mensageiro e do RNA transportador.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 345.

## Estruturas membranosas

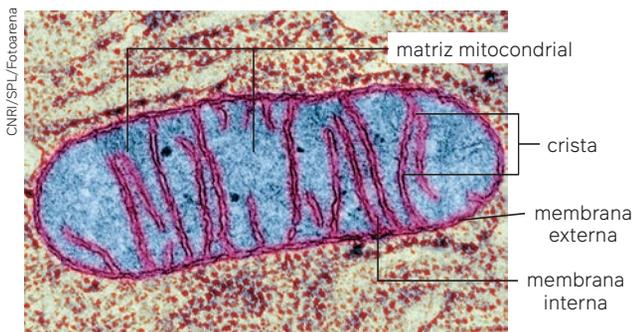
São as estruturas celulares envolvidas por membrana lipídica, de constituição similar à membrana plasmática. Veja a seguir quais são essas organelas.

### Mitocôndrias

As **mitocôndrias** são organelas de membrana dupla encontradas em células eucarióticas e estão relacionadas à respiração celular aeróbica, processo de liberação de energia a partir da quebra de compostos orgânicos, como a glicose. A quebra da glicose ocorre com a participação da água e do gás oxigênio, gerando, como produtos, o gás carbônico e o ATP, entre outros.

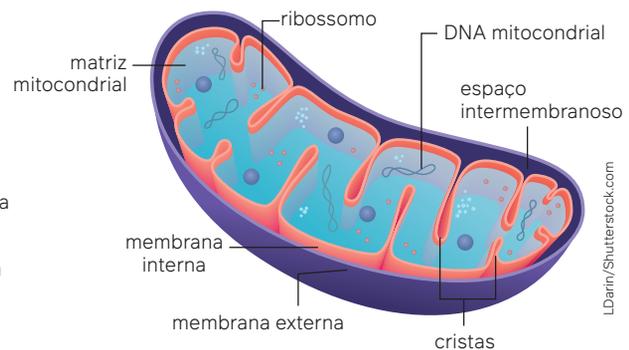
A membrana dupla é composta de uma membrana externa, que envolve a organela, e uma membrana interna, altamente dobrada em estruturas chamadas cristas, que envolvem a matriz mitocondrial. Essas dobras fornecem uma área de superfície maior para as reações químicas que ali ocorrem. As mitocôndrias possuem DNA próprio e ribossomos.

Na espécie humana, assim como em grande parte das linhagens eucariontes sexuadas, as mitocôndrias são herdadas apenas da linhagem materna. Isso ocorre porque, durante a fertilização, apenas o gameta feminino contribui com mitocôndrias para o zigoto (embrião unicelular), enquanto a parte dos espermatozoides que contém mitocôndrias não adentra no ovócito durante a fertilização.



Fotografia de mitocôndria obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 40 000 vezes.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Esquema representativo da mitocôndria.

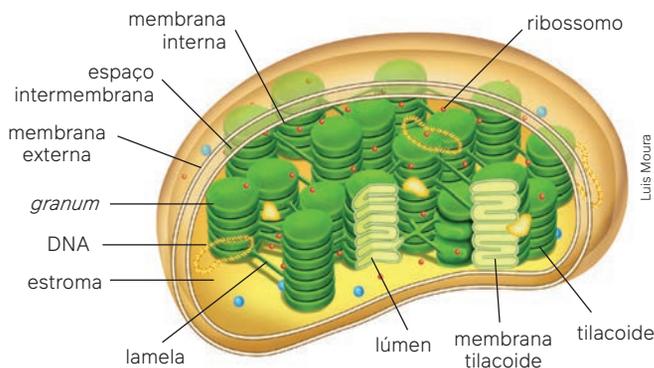
Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 111.

### Plastídios

Os **plastídios** ou plastos são organelas encontradas em células de plantas e algas e estão relacionados à fotossíntese e ao armazenamento de substâncias.

O **cloroplasto** é um plastídio diretamente envolvido na fotossíntese, sendo revestido por um envoltório duplo: uma membrana externa lipídica, que o isola do citoplasma, e uma membrana interna, que forma os tilacoides. Estes são estruturas arredondadas e achatadas que abrigam os pigmentos fotossintetizantes (clorofila). O espaço no interior dos tilacoides é chamado de lúmen. Os tilacoides se organizam em pilhas, cada uma delas é conhecida como **granum** (cujo plural é *grana*).

O DNA dos cloroplastos é próprio, sendo essas organelas capazes de se reproduzir independentemente da célula.



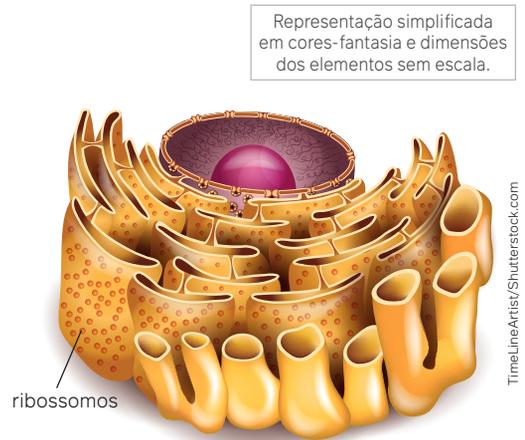
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo do cloroplasto.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 111.

## Retículo endoplasmático

O **retículo endoplasmático** é uma organela membrano-  
sa que participa da síntese e do transporte de proteínas  
e lipídeos. Nas células eucarióticas, existem dois tipos de  
retículos: o **granuloso** ou **rugoso**, organela que contém  
ribossomos aderidos à sua superfície externa e, portanto,  
envolvida na produção de proteínas secretadas; e o **não  
granuloso** ou **liso**, formado por túbulos conectados ao re-  
tículo granuloso, atuando na síntese de lipídeos e no me-  
tabolismo de desintoxicação.



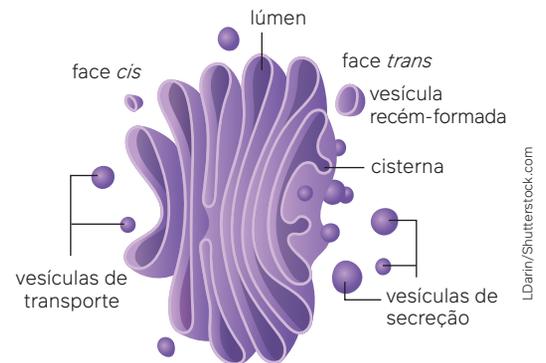
Esquema representativo dos retículos  
endoplasmáticos granuloso e não granuloso.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*.  
10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 105.

## Complexo golgiense

O **complexo golgiense** é formado por um conjunto de  
bolsas achatadas e empilhadas que atuam na modificação  
e no empacotamento de proteínas e lipídeos produzidos no  
retículo endoplasmático e na distribuição dessas substân-  
cias – na própria célula e fora dela.

Essa organela exibe uma organização com duas faces  
funcionais: a face *cis*, que inicialmente recebe as vesículas  
transportadoras contendo materiais do retículo endoplas-  
mático; e a face *trans*, que atua na liberação das vesículas se-  
cretoras que contêm as proteínas e lipídeos já processados.

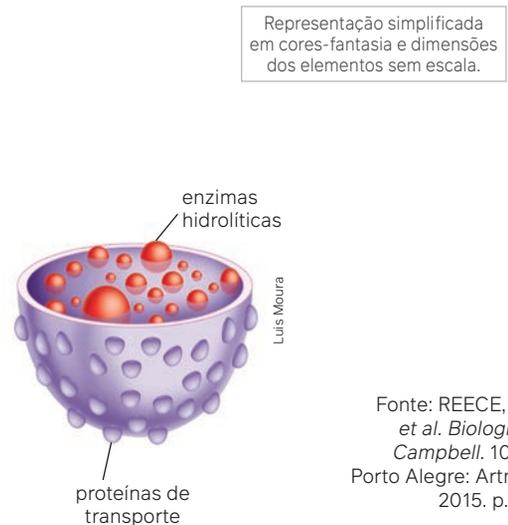
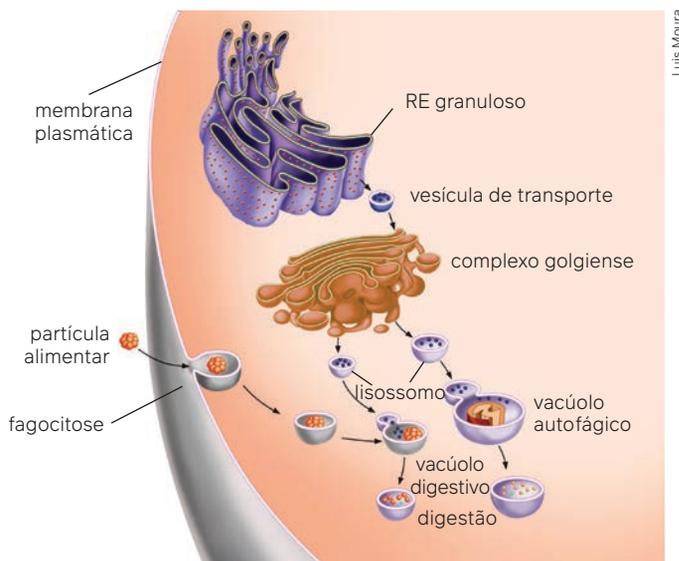


Esquema representativo do complexo golgiense.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*.  
10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 106.

## Lisossomo

Os **lisossomos** são vesículas que se originam do com-  
plexo golgiense e que contêm vários tipos de enzimas  
hidrolíticas. Essas enzimas quebram diferentes tipos de  
moléculas orgânicas complexas. Assim, essa organela está  
envolvida no processo de digestão intracelular, que pode  
ocorrer de duas formas: por heterofagia – digestão de ma-  
teriais provenientes do meio extracelular (pinocitose ou fa-  
gocitose) –, ou autofagia – digestão de partes da própria  
célula, como uma organela desgastada que não será mais  
utilizada. Os lisossomos se unem ao pinossomo, fagosso-  
mo ou autofagossomo, formando vacúolos digestivos.

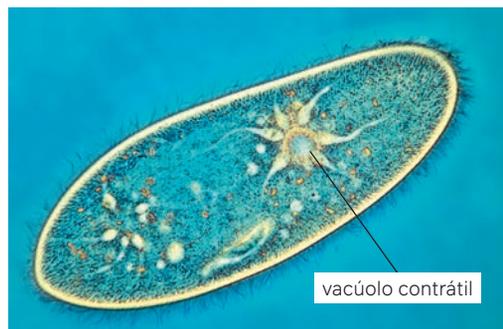


Esquema representativo de heterofagia e autofagia com  
participação de lisossomos. No detalhe, a estrutura de  
componentes dos lisossomos visto em corte.

Fonte: REECE, J. B.  
*et al. Biologia de  
Campbell*. 10. ed.  
Porto Alegre: Artmed,  
2015. p. 107.

## Vacúolos

Os **vacúolos** são estruturas encontradas em microrganismos eucariontes e em células vegetais, podendo ocupar até cerca de 90% do volume celular. Algumas células animais podem conter vacúolos, mas são raros e de pequeno tamanho. No interior de muitos desses vacúolos, encontra-se uma solução ácida com água, íons inorgânicos, açúcares, aminoácidos e, em alguns casos, proteínas, inclusive enzimas digestivas. Os vacúolos realizam diferentes funções dependendo do tipo celular em que são encontrados. Vimos anteriormente que os vacúolos alimentares são formados por fagocitose. Já os vacúolos contráteis, que aparecem em muitos eucariontes unicelulares que vivem em água doce, bombeiam o excesso de água para fora da célula, mantendo uma concentração adequada de íons e moléculas no meio intracelular. Em plantas e fungos, certos vacúolos têm função semelhante à dos lisossomos nas células animais, pois realizam hidrólise enzimática.



Frank Fox/SPL/Fotoarena

Vacúolo conectado à superfície celular do protozoário ciliado *Paramecium caudatum*. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 240 vezes.

## Atividades propostas



1. Paródias musicais podem ser usadas para auxiliar no estudo de conteúdos. A paródia da cantiga popular “Ciranda, cirandinha”, a seguir, aborda funções de organelas celulares.

### Ciranda das organelas

(autor desconhecido)

Mitocôndria, mitocôndria/ É quem faz respiração/ Ribossomo sintetiza/ Proteínas de montão.  
O Complexo de Golgi/ Armazena secreção/ Lisossomo tem enzimas/ “Prá” fazer a digestão.  
O retículo apresenta/ A função de transportar/ O centríolo participa/ Da divisão celular.

PAIXÃO, B. S. *O uso de paródias no ensino de Biologia*. 2019. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/10965>. Acesso em: 2 maio 2024.

- a) Apesar de possuírem funções distintas, algumas organelas agem em conjunto para o funcionamento da célula. Indique quais seriam essas organelas e de que forma elas atuam?
  - b) Reúna-se com mais três colegas e escolham uma música para elaborarem, juntos, uma paródia. O objetivo é facilitar o entendimento de algum conteúdo do capítulo estudado até aqui. Apresentem a paródia para os outros grupos.
2. Leia o texto a seguir:

[...] Envelhecimento e doenças como câncer e diabetes estão relacionados ao mau funcionamento da mitocôndria. Entender como essa organela funciona e, principalmente, como ela se defende de processos de oxidação, abre caminhos para desenvolvimento de novas terapias. [...].

MARIZ, F. Pesquisadores identificam enzima que evita oxidação celular. *Jornal da USP*, São Paulo, 28 jan. 2018. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/pesquisadores-identificam-localizacao-da-peroxirredoxina/>. Acesso em: 2 maio 2024.

O que são as mitocôndrias e onde elas são encontradas? Faça uma pesquisa e discuta com colegas por que o mau funcionamento das mitocôndrias está relacionado ao envelhecimento e doenças.

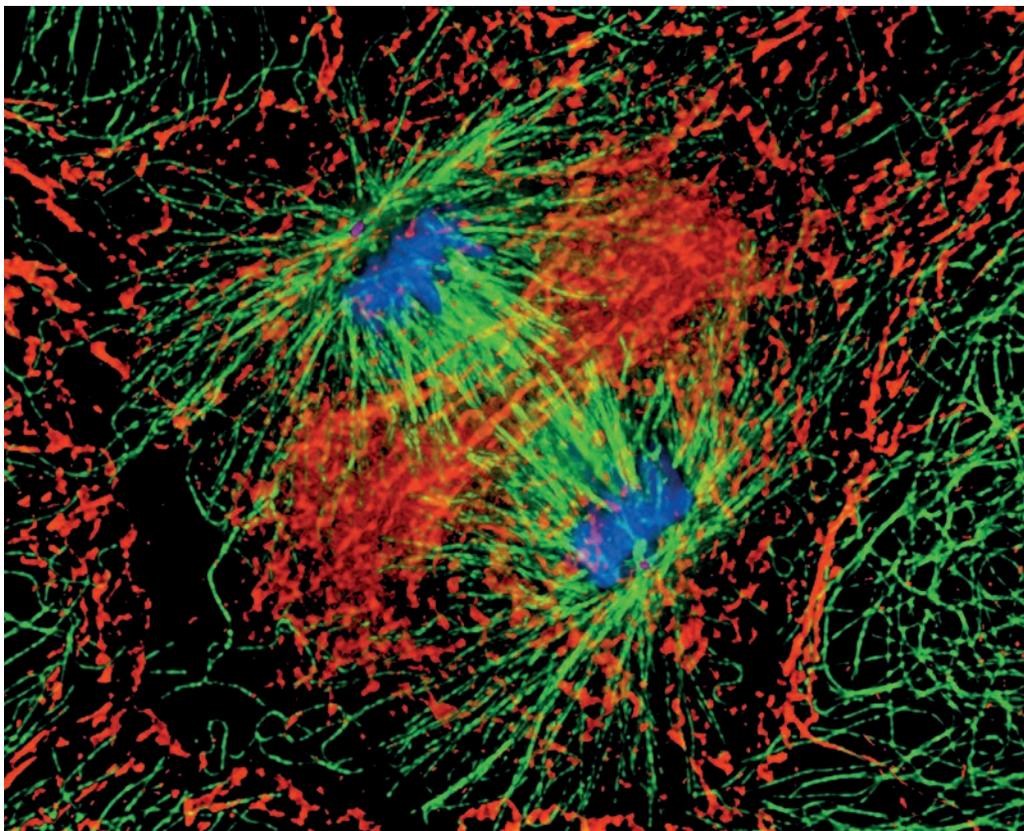
## Recapitule



Convidamos você a criar um painel que recapitule os principais conceitos abordados neste capítulo. Utilize os termos mínimos fornecidos como base para estruturar seu painel, explorando conexões entre os diferentes temas e destacando as relações entre eles. Seja criativo na organização das informações e na representação visual dos conceitos, tornando seu painel uma ferramenta para a revisão dos conteúdos estudados.

Termos mínimos para elaboração do painel: Teoria celular, células procarióticas, células eucarióticas, membrana plasmática, transporte celular, síntese proteica, terapia celular, organelas e suas funções.

# Informação genética e ciclo celular



DR ALEXEY KHOJAKOV/SPL/Fotoarena

Célula renal de rato-canguru em divisão. O material genético aparece em azul, os microtúbulos em verde e os filamentos intermediários em vermelho. Micrografia digital tridimensional de luz imunofluorescente. Ampliação aproximada de 3 000 vezes.

## ▼ Para refletir

1. A imagem apresenta uma célula se dividindo. Descreva a importância desse processo biológico.
2. Como as informações genéticas são transmitidas de geração em geração?
3. O que você sabe sobre o ciclo celular e suas fases? Comente com os colegas.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Reconhecer a localização e função do material genético nas células, considerando a relação do DNA com a hereditariedade.
- Explicar o funcionamento do código genético e analisar representações das etapas da síntese proteica: transcrição e tradução.
- Descrever as diferentes fases do ciclo celular, o processo de replicação do DNA e sua relevância na manutenção da integridade genômica.
- Avaliar a importância do controle do ciclo celular e sua relevância na prevenção do câncer.

# Material e código genético

O **material genético** das células é composto principalmente por dois tipos de ácidos nucleicos: o DNA (ácido desoxirribonucleico) e o RNA (ácido ribonucleico).

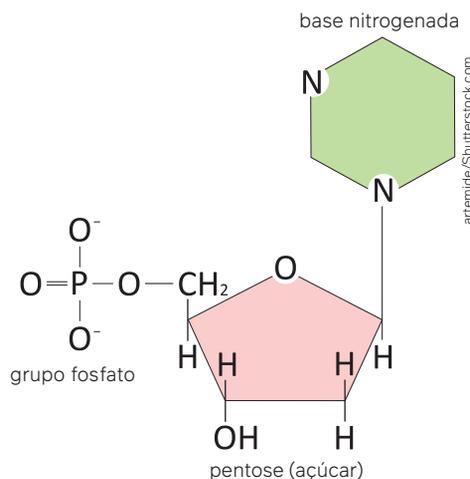
É na molécula de DNA que são encontrados os **genes**, segmentos de sequências nucleotídicas que codificam para um produto gênico, como o RNA e as proteínas. O DNA é, portanto, uma molécula que transporta e transmite informações genéticas de uma geração para outra.

As moléculas de DNA e RNA são compostas de **nucleotídeos**. A estrutura dos nucleotídeos é formada pela combinação de:

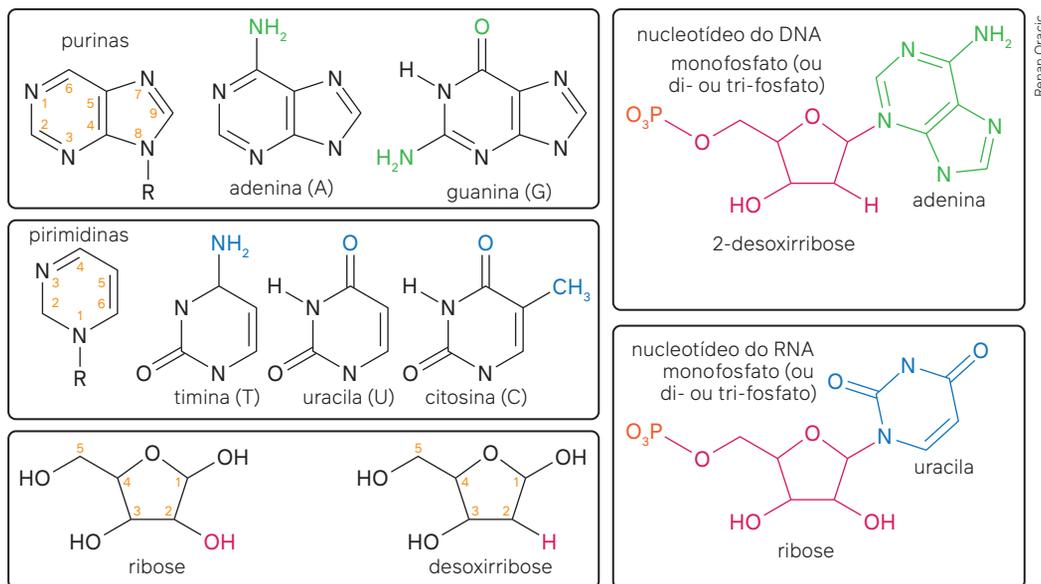
- um grupo fosfato;
- um açúcar (desoxirribose no DNA e ribose no RNA);
- uma base nitrogenada.

As bases nitrogenadas podem ser de dois tipos: **púricas** (adenina e guanina) e **pirimídicas** (citosina, timina e uracila).

As bases adenina (A), guanina (G) e citosina (C) ocorrem tanto no DNA quanto no RNA. Já a base timina (T) ocorre apenas no DNA e a base uracila (U), apenas no RNA.



Estrutura de um nucleotídeo pirimidínico.



Bases nitrogenadas, açúcares e exemplos de nucleotídeos presentes no DNA e RNA.

O **código genético** são as instruções contidas em um gene que determinam como produzir uma proteína específica a partir da correspondência entre os nucleotídeos que compõem as moléculas de ácidos nucleicos e aminoácidos que formam as proteínas.

## DNA

A estrutura do DNA é denominada dupla-hélice: dupla, pois são duas fitas de nucleotídeos cujas bases nitrogenadas são unidas entre si por ligações de hidrogênio, e hélice porque as fitas se arranjam formando uma espiral. Na parte interna da hélice ficam as bases nitrogenadas, e a parte externa é formada pelas moléculas de açúcar e fosfato.

A formação de ligações de hidrogênio entre duas bases nitrogenadas fornece energia eletrostática que mantém as duas fitas de DNA pareadas. Essas ligações são fortes o suficiente para manter a estrutura do DNA, mas ainda permitem que as fitas se separem durante a duplicação, transcrição e síntese proteica. A ligação entre nucleotídeos em uma mesma fita ocorre por meio de ligações químicas covalentes chamadas ligações fosfodiéster.

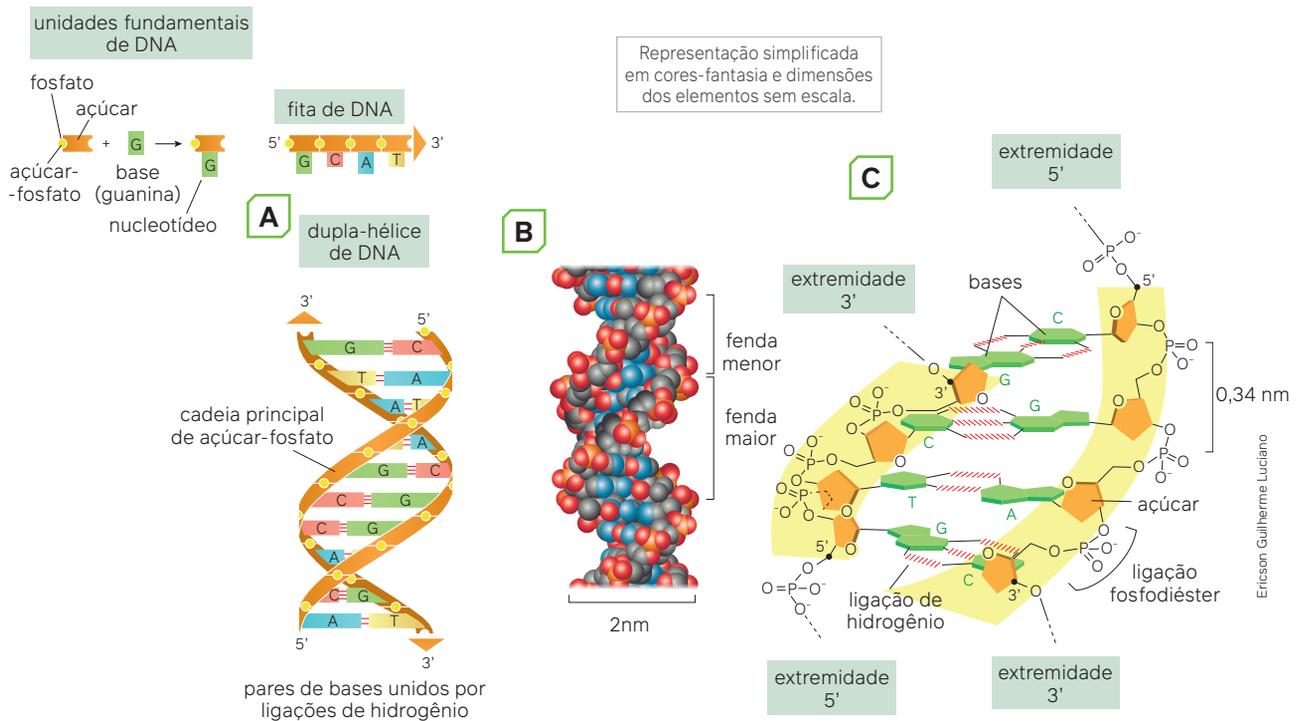
## ► Ciências da Natureza

O estudo sobre os compostos de carbono pode ser aprofundado no **capítulo 17** do volume de **Química** desta coleção.

A base nitrogenada adenina (A) se liga apenas com a timina (T), e a guanina (G) se liga apenas com a citosina (C). Isso quer dizer que, se em uma fita estiver presente uma adenina, na outra fita a base correspondente será uma timina; caso seja a citosina em uma fita, na outra deverá estar presente uma guanina. Dessa forma, as fitas de uma molécula de DNA são complementares, pois a sequência de nucleotídeos de uma fita é exatamente complementar à da outra fita. A adenina se liga à timina por meio de duas ligações de hidrogênio, ao passo que entre a citosina e a guanina se estabelecem três ligações de hidrogênio.

O termo 5' no ácido nucleico indica a extremidade que possui um grupo fosfato ligado a um carbono 5' do açúcar (desoxirribose ou ribose), e o 3', a extremidade que contém uma hidroxila ligada ao carbono 3' do açúcar.

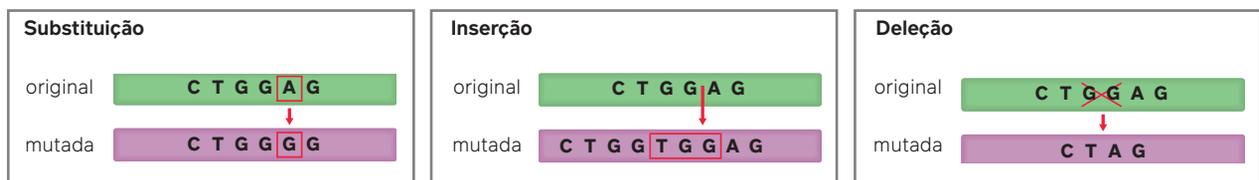
Observe-as na representação esquemática do DNA.



Três representações esquemáticas do DNA. (A) Esquema da dupla-hélice do DNA: duas fitas complementares. (B) Modelo de preenchimento de espaço. (C) Estrutura química de um trecho de uma molécula de DNA.

Fonte: ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 176-177.

Alterações na sequência de nucleotídeos no DNA de um organismo são chamadas de **mutações**, que podem levar à mudança da informação genética codificada. As mutações são eventos aleatórios, que resultam de erros durante a duplicação do DNA ou pela ação de outros agentes, como a exposição à radiação ultravioleta. As mutações nos genes podem não ter efeito algum, ou alterar o produto de um gene ou impedir que o gene funcione adequada ou completamente.



Exemplos de tipos de mutações no DNA.

## #FicaADica

**Gene**, de Catarina Moreira (Casa das Ciências). Artigo que relata como a noção de gene tem evoluído ao longo do tempo, desde Gregor Mendel (1822-1884) até os dias de hoje. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2013/052/>. Acesso em: 3 jul. 2024.

## Saiba mais

### A revelação da dupla-hélice do DNA

A foto 51, obtida por meio de cristalografia de raios X, é considerada o primeiro registro da estrutura de dupla-hélice do DNA. Ela foi obtida pelo grupo de pesquisa de Rosalind Franklin (1920-1958), uma química inglesa. No entanto, a pesquisadora não obteve o devido reconhecimento em vida. A revelação da dupla-hélice ficou atribuída durante muito tempo a um colega de laboratório, Maurice Wilkins, que se associou a James Watson e Francis Crick, rendendo-lhes o prêmio Nobel.

Rosalind Franklin (1920-1958), química inglesa que realizou o primeiro registro da dupla-hélice do DNA.

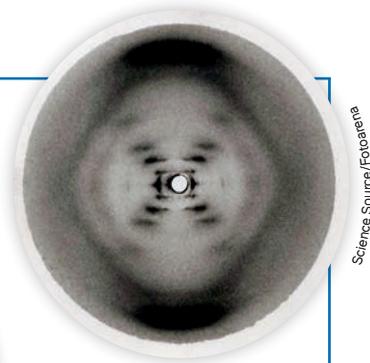
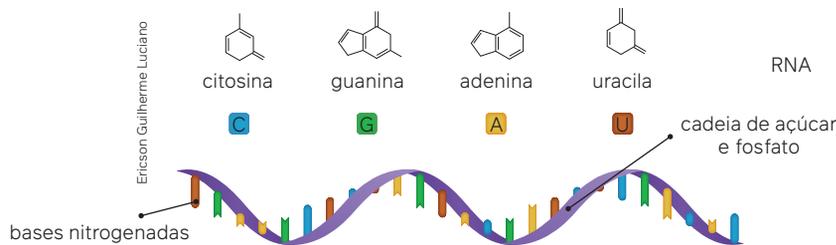


Foto 51, obtida por meio de cristalografia de raios X, é considerada o primeiro registro da estrutura de dupla-hélice do DNA.

## RNA

O RNA, ou ácido ribonucleico, apresenta estrutura de fita simples, sendo formado quatro tipos de nucleotídeos unidos entre si por ligações fosfodiéster. Do ponto de vista químico, há duas diferenças entre o RNA e o DNA: os nucleotídeos no RNA são ribonucleotídeos – ou seja, eles contêm o açúcar ribose em vez de desoxirribose – e contêm a base nitrogenada (U) em vez da timina (T) encontrada no DNA.

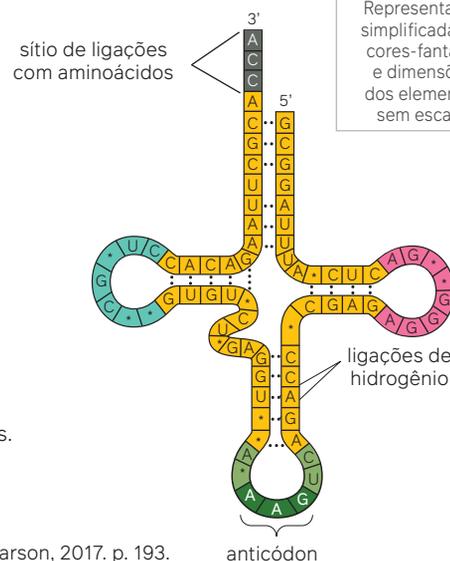
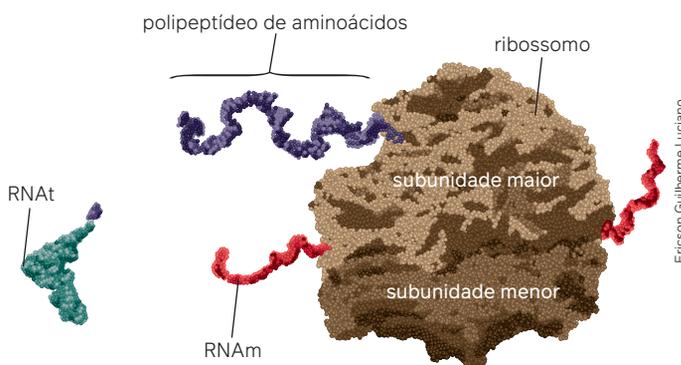


Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Fita simples do RNA. Suas bases nitrogenadas são: adenina, guanina, citosina e uracila. A timina é encontrada apenas no DNA.

Existem os seguintes tipos de RNA:

- RNA mensageiro (RNAm): decodifica informações do DNA para os ribossomos, participando da síntese de proteínas no citoplasma.
- RNA transportador (RNAt): transporta os aminoácidos até os ribossomos para a formação de novas proteínas.
- RNA ribossomal (RNAr): molécula de RNA que faz parte dos ribossomos (organelas responsáveis pela síntese das proteínas). Corresponde a mais de 80% do RNA presente nas células.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Os RNAm, RNAt e RNAr são moléculas essenciais para a síntese de proteínas. À direita, esquema do RNAt demonstrando sua configuração típica com três alças formadas pela complementariedade das bases nitrogenadas.

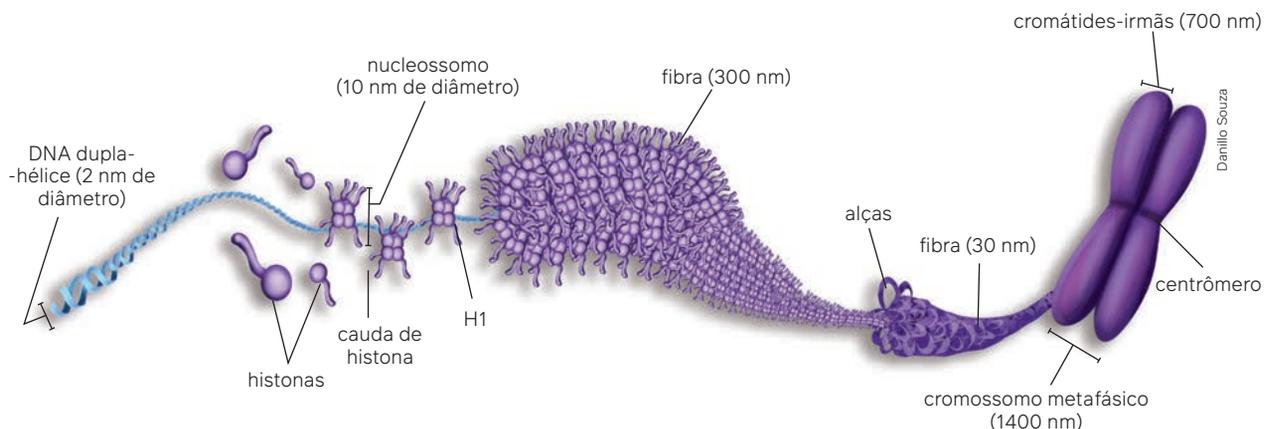
Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 193.

O RNA pode estar dentro do núcleo, disperso no citoplasma ou compondo organelas. Ele é sintetizado no núcleo a partir das informações genéticas contidas no DNA. No citoplasma e nos ribossomos, o RNA atua na síntese de proteínas. Algumas organelas, como mitocôndrias e cloroplastos, têm seus próprios ribossomos e são capazes de produzir proteínas próprias.

## Cromossomos

Dentro do núcleo, localiza-se a **cromatina**, um complexo de moléculas de DNA associadas a proteínas chamadas histonas. Tal associação é o material que forma os **cromossomos**. O primeiro nível de empacotamento do DNA consiste em um octâmero de histonas onde se enovela um segmento da dupla fita de DNA; essa estrutura, semelhante a uma conta de um “colar de contas”, é denominada **nucleossomo**. O nucleossomo, por sua vez, interage com as caudas de histonas para formar fibras e alças, empacotando ainda mais o DNA no núcleo celular.

Quando a célula não está se dividindo, partes da cromatina se mantêm condensadas (heterocromatina), normalmente inativas, e outras partes se mantêm descondensadas ou menos condensadas (eucromatina), o que viabiliza a leitura do DNA e a realização de processos metabólicos, como a transcrição de RNA e a síntese de proteínas.

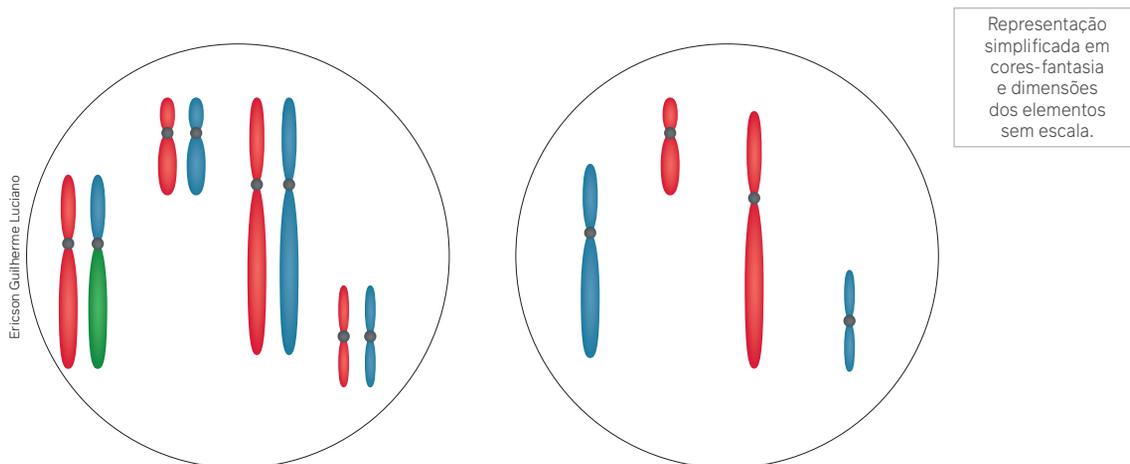


Esquema representativo de etapas da condensação do DNA nuclear.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 380-381.

## Ploidia

De acordo com o número de conjuntos de cromossomos presentes na célula, ela pode ser **haploide** ou **diploide**. Células que possuem apenas um conjunto completo de cromossomos são haploides (e são representadas por  $n$ ), enquanto aquelas que possuem dois conjuntos completos de cromossomos, um de origem materna e outro de origem paterna, são chamadas de diploides (representadas por  $2n$ ). Portanto, em células diploides, cada cromossomo tem um correspondente que carrega informações genéticas semelhantes, mas não necessariamente idênticas, e ambos são denominados cromossomos homólogos.



À esquerda, esquema de uma célula diploide hipotética com 4 pares de cromossomos. À direita, esquema de uma célula haploide hipotética com 4 cromossomos. Apenas os cromossomos foram destacados, sem a preocupação de representar as demais estruturas celulares.

# Síntese de proteínas: transcrição e tradução

A síntese de proteínas tem início no núcleo da célula. Para que ela ocorra, a região específica do DNA onde essa informação está contida precisa ser decodificada.

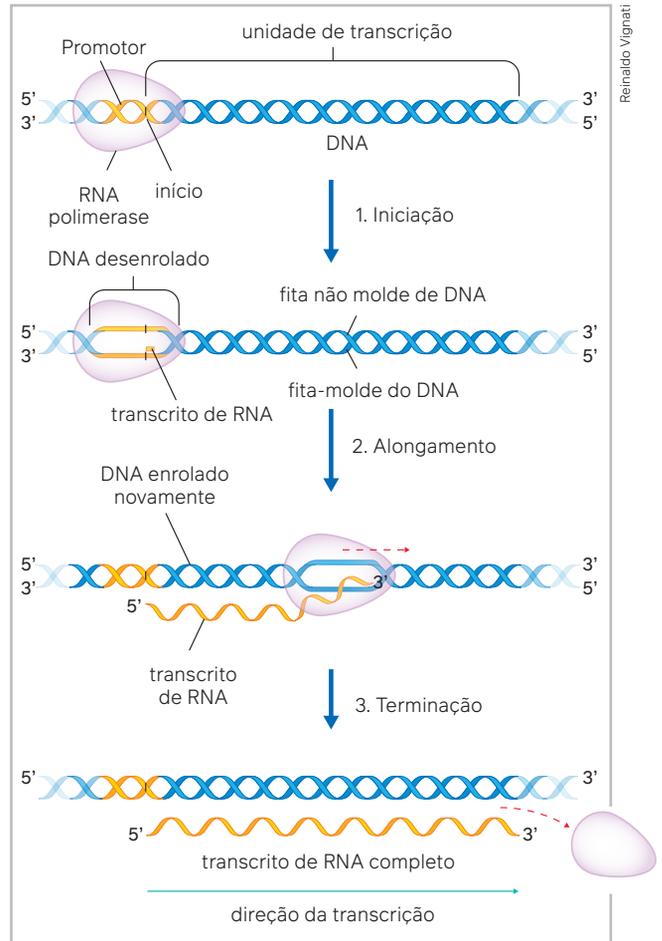
A **transcrição** é um processo que envolve a síntese de uma sequência específica de RNA mensageiro (RNAm).

Esse processo ocorre em 3 etapas:

- **Iniciação:** a enzima RNA polimerase se liga a uma região específica do DNA, chamada de promotora, que marca o início de um gene. A RNA polimerase desenrola temporariamente uma pequena porção do DNA, expondo uma das fitas da cadeia de dupla-hélice (fita-molde do DNA).
- **Alongamento:** a RNA polimerase move-se ao longo do DNA e sintetiza uma molécula de RNA complementar à fita de DNA que está sendo lida (fita-molde), emparelhando bases complementares, por exemplo, adenina (A) no DNA com uracila (U) no RNA. Esse processo produz uma molécula de RNA que apresenta sequência complementar à do gene codificado no DNA.
- **Terminação:** a transcrição continua até que a RNA polimerase alcance uma sequência de terminação na fita-molde de DNA, que sinaliza o fim da transcrição. Nesse ponto, a RNA polimerase e a molécula de RNAm são liberadas do DNA.

Esquema da síntese de RNA durante a transcrição. O RNA é sintetizado no sentido 5'-3', com polaridade inversa à fita-molde de DNA.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 393.



		Segunda base do códon				
		U	C	A	G	
Primeira base do códon	U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	Terceira base do códon
		UUC } Phe	UCC } Ser	UAC } Tyr	UGC } Cys	
		UUA } Leu	UCA } Ser	<b>UAA</b> } Parada	<b>UGA</b> } Parada	
		UUG } Leu	UCG } Ser	<b>UAG</b> } Parada	UGG } Trp	
C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg		
	CUC } Leu	CCC } Pro	CAC } His	CGC } Arg		
	CUA } Leu	CCA } Pro	CAA } Gln	CGA } Arg		
	CUG } Leu	CCG } Pro	CAG } Gln	CGG } Arg		
A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser		
	AUC } Ile	ACC } Thr	AAC } Asn	AGC } Ser		
	AUA } Met	ACA } Thr	AAA } Lys	AGA } Arg		
	<b>AUG</b> } Met	ACG } Thr	AAG } Lys	AGG } Arg		
G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly		
	GUC } Val	GCC } Ala	GAC } Asp	GGC } Gly		
	GUA } Val	GCA } Ala	GAA } Glu	GGA } Gly		
	GUG } Val	GCG } Ala	GAG } Glu	GGG } Gly		

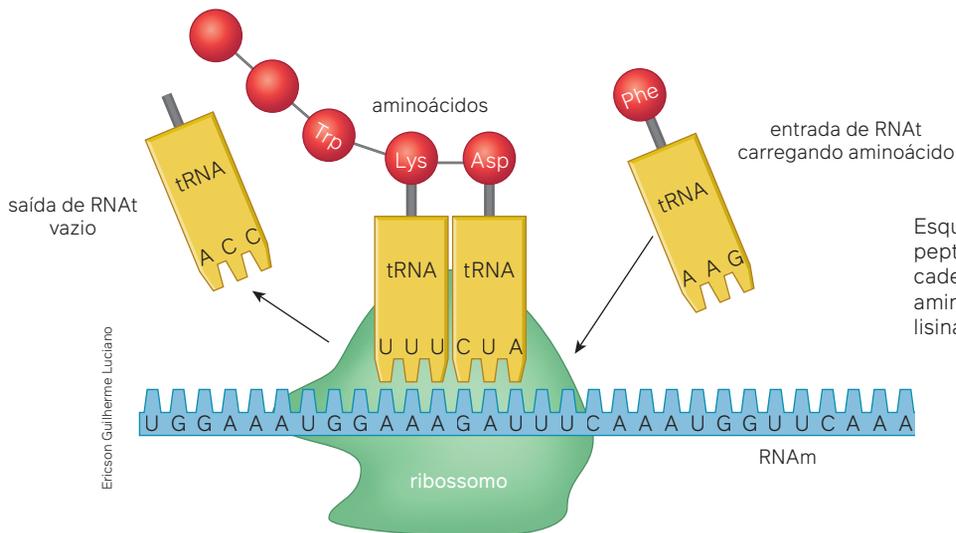
Códons do RNAm e os respectivos aminoácidos que codificam. Os três códons de terminação estão destacados em vermelho e o códon iniciador está destacado em verde.

Chamamos de **códons** as sequências de três bases nitrogenadas contidas no RNAm que especificam aminoácidos a serem incorporados na cadeia peptídica. Observe no quadro ao lado os códons do RNAm e os respectivos aminoácidos que são incluídos no processo de tradução.

Durante a **tradução**, que ocorre nos ribossomos, a informação genética contida no RNAm é usada para sintetizar uma proteína em um processo que envolve a interação com o RNA transportador (RNAt). A tradução ocorre nas etapas a seguir.

- **Iniciação:** o RNAm se liga à subunidade menor do ribossomo, enquanto o RNAt, carregando o primeiro aminoácido, que é geralmente a metionina, se liga ao códon de início do RNAm, conhecido como códon AUG (Adenina-Uracila-Guanina).
- **Alongamento:** nessa etapa, o ribossomo se desloca ao longo do RNAm e, à medida que avança, outros RNAt com aminoácidos se ligam de forma complementar aos códons do RNAm. Os aminoácidos são unidos por ligações peptídicas para formar uma cadeia polipeptídica.
- **Terminação:** a tradução continua até que o ribossomo alcance um códon de parada (UAA, UAG ou UGA) no RNAm.

A sequência de nucleotídeos carregada pelo RNAt é denominada anticódon, uma sequência que é complementar a um códon específico no RNAm. Observe no esquema essa relação códon-anticódon-aminoácido.

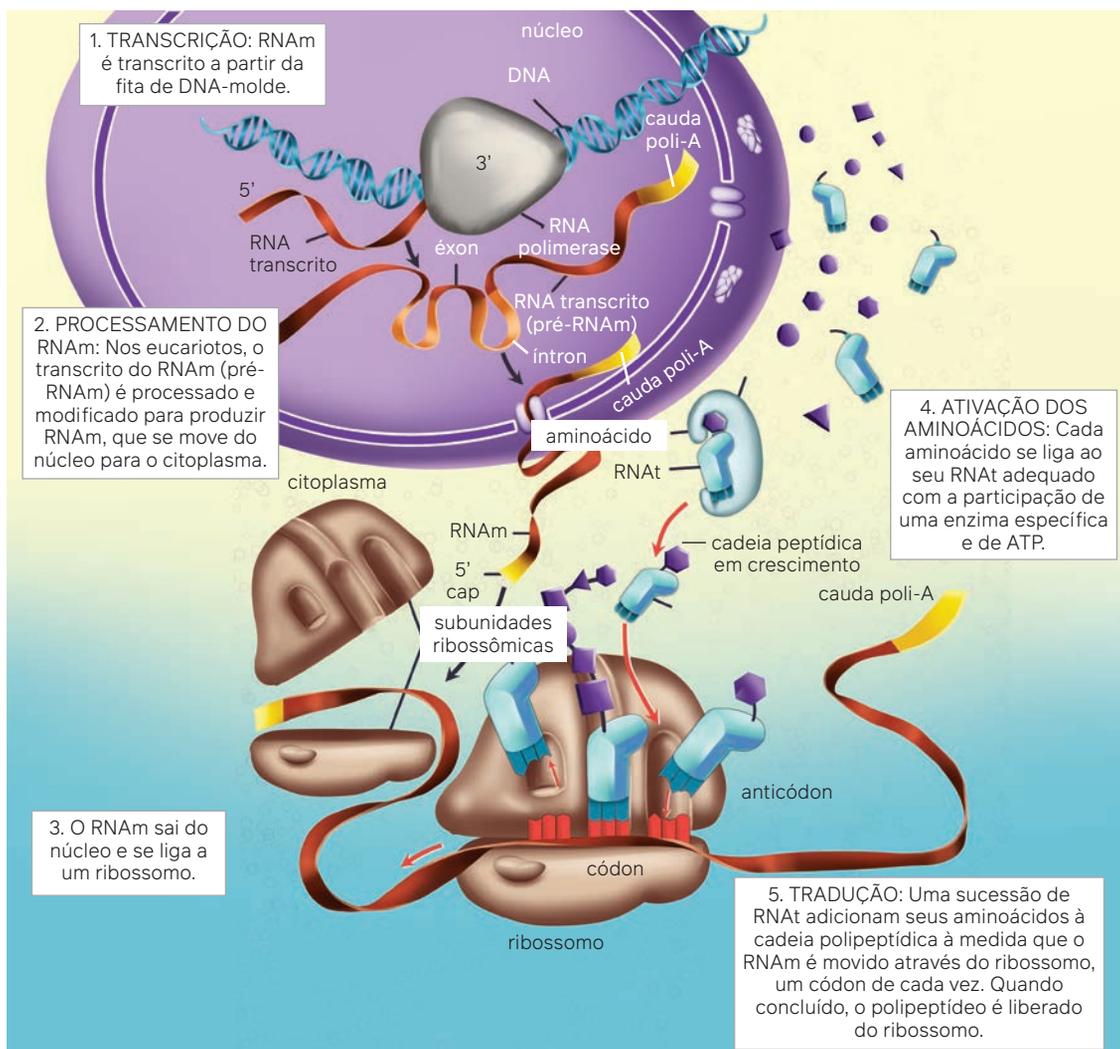


Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema que mostra a síntese peptídica. É possível verificar uma cadeia peptídica contendo os aminoácidos triptofano (Trp), lisina (Lys) e ácido aspártico (Asp).

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 397.

Observe no esquema a seguir o passo a passo da síntese proteica.



Esquema representativo da síntese proteica.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 406.



1. É comum em filmes e séries policiais a busca por vestígios que possam ser utilizados para identificar criminosos, por meio da análise de DNA. Pesquise sobre o assunto e depois responda: em que células de seu corpo as informações genéticas podem ser encontradas?
2. A edição genética é uma tecnologia surgida na década de 1990 com intuito de manipular trechos específicos do DNA, por exemplo, deletar e inserir trechos de DNA em materiais genéticos. Tem como benefícios o aprimoramento de terapias genéticas e celulares em diversas áreas da medicina, como infectologia, oncologia e neurologia. Além disso, a edição genética permite a criação de linhagens de células e animais modificados para pesquisa biomédica. No entanto, há preocupações éticas e de segurança em torno da edição genética, especialmente quando se trata de modificações em células germinativas e em embriões humanos, práticas que poderiam levar a uma era de seleção genética e discriminação. Qual é sua opinião sobre essa tecnologia? Forme um grupo com colegas e pesquise sobre o assunto. Depois discutam e sistematizem as opiniões redigindo um texto com os principais pontos.
3. O código genético permite decodificar a informação contida no DNA em produtos gênicos, como as proteínas. Observe a sequência de RNAm a seguir:

AUG AUA UCA UCG GGA GCU UAA

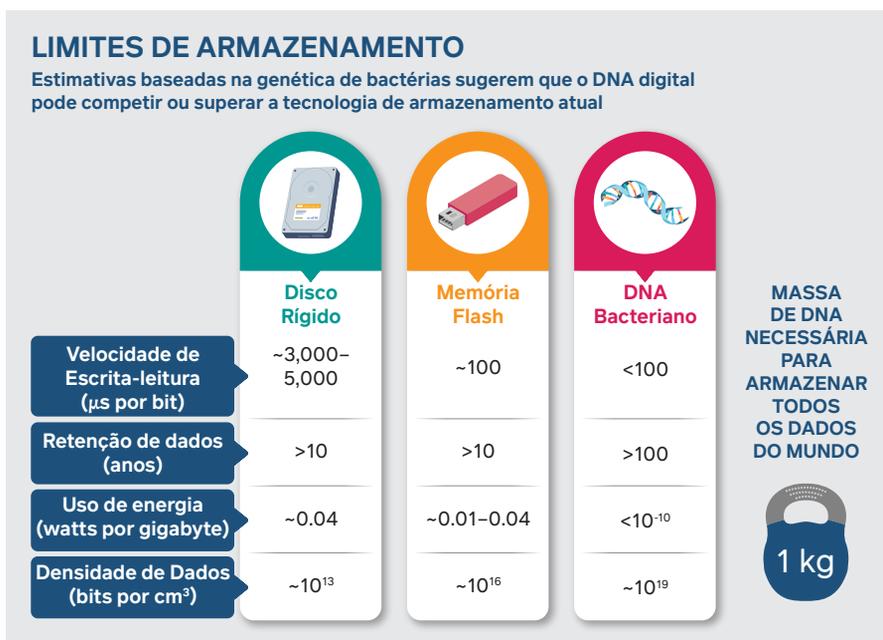
- a) Escreva a sequência de aminoácidos que será traduzida a partir dessa sequência de nucleotídeos do RNAm.
  - b) O que aconteceria com a sequência de aminoácidos traduzida se o oitavo nucleotídeo dessa sequência de RNAm, que é uma citosina, fosse alterado para uma adenina?
  - c) E se o nono nucleotídeo dessa sequência fosse trocado por uma guanina, o que aconteceria?
4. Observe os trechos de sequências de DNA que fazem parte de genes que codificam proteínas humanas e, depois, faça o que se pede.

Sequência de DNA 1: AGCTTTTCTC TTCTGTCAAC CCCACACGCC TTTGGCACAA

Sequência de DNA 2: CTGCCAGCAC TGCCTGTCTG AGGAGCCTGA GATTCGGGCC

- a) Para cada sequência de DNA, escreva a fita de RNAm codificada, indicando os códons correspondentes.
- b) Identifique os aminoácidos correspondentes a cada códon em cada sequência molde de RNAm.

5. A explosão de dados em todo o mundo tem impulsionado pesquisas sobre o uso de DNA sintético como meio de armazenamento de informações digitais. Segundo uma reportagem da *Revista Fapesp*, publicada em abril de 2023, o DNA oferece uma capacidade de armazenamento incomparável, 115 mil vezes maior do que as mídias magnéticas atuais, como as utilizadas nos *data centers*. Nessa avançada tecnologia, os *bits* de dados são convertidos em bases nitrogenadas, que, por sua vez, são sintetizadas e armazenadas em uma sequência de DNA. Essa sequência pode ser lida e, posteriormente, convertida de volta em dados digitais. Analise o comparativo a seguir, entre limites de armazenamento de memórias digitais e do DNA bacteriano. Em seguida responda: Do ponto de vista social, informacional e ambiental, qual é a relevância do armazenamento de dados em DNA sintético?



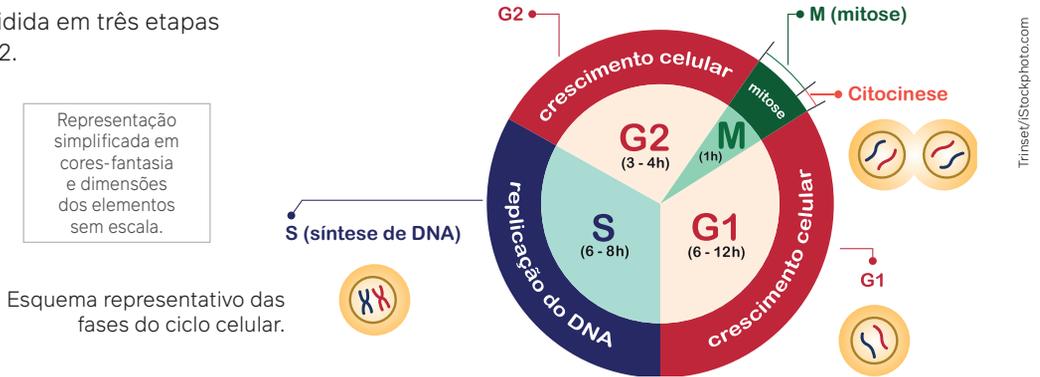
Fonte: EXTANCE, A. How DNA could store all the world's data. *Nature*, v. 537, p. 22–24, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/537022a>. Acesso em: 9 maio 2024.

# Ciclo celular

O **ciclo celular** é o processo sequencial de eventos que garante o crescimento, a replicação do DNA, a reparação do DNA e a divisão celular. O ciclo celular se divide em duas etapas: **interfase**, período em que a célula não está se dividindo, e **divisão celular**, período em que uma célula se divide em duas.

## Interfase

A interfase é dividida em três etapas principais: G1, S e G2.



Na fase G1, a célula cresce e aumenta seu volume. Durante essa etapa, ocorrem atividades metabólicas como a produção de RNA, proteínas (incluindo as enzimas) e lipídios necessários ao funcionamento celular.

Na fase S ocorre a síntese de DNA. O material genético da célula é replicado formando uma cópia idêntica do DNA antes da divisão celular. Enzimas como a DNA helicase desenrolam a dupla-hélice do DNA, quebrando as ligações de hidrogênio entre os pares de bases. Essa reação expõe duas fitas simples de DNA que servem como modelos para a replicação.

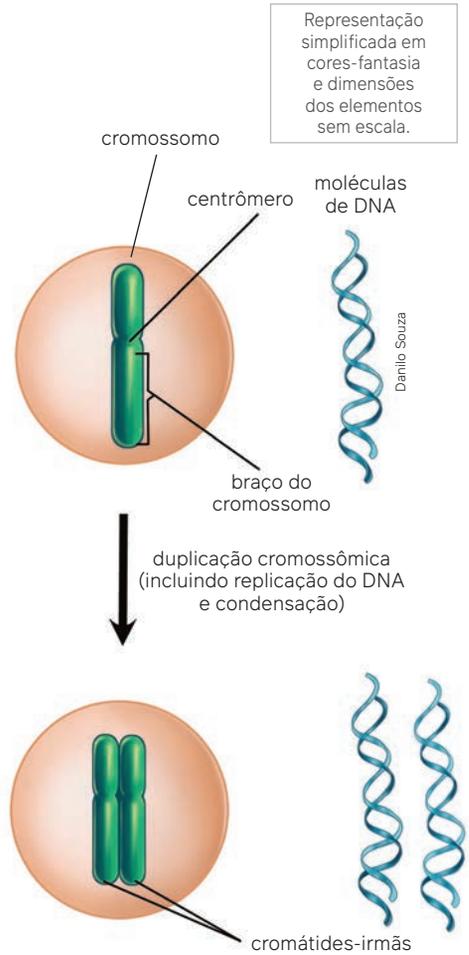
Outra estrutura celular que também se duplica durante a fase S é o **centrossomo**. O centrossomo consiste em dois centríolos, estruturas cilíndricas compostas por microtúbulos proteicos que estão localizados próximos ao núcleo e são estruturas importantes na fase de divisão celular, principalmente de células animais, pois são responsáveis pela ancoragem e formação dos fusos, um conjunto de microtúbulos que organizam e separam os cromossomos durante a divisão celular.

Na fase G2, a célula continua a crescer, sintetiza proteínas necessárias ao processo de divisão e verificações de erros no DNA replicado.

Algumas células podem entrar em uma fase denominada G0, não proliferativa, em que permanecem metabolicamente ativas, mas não se dividem. É o caso dos neurônios e das células musculares, que são altamente especializadas. Outras células podem permanecer um longo período sem se dividir, mas eventualmente entram em divisão.

A manutenção da integridade do DNA e prevenção da proliferação de células danificadas são funções vitais no organismo. Se o dano ao DNA for irreparável, a célula danificada se autodestrói (morte celular programada ou apoptose). Isso evita que a célula danificada se divida ainda mais, reduzindo o risco de propagação de erros genéticos.

Após a duplicação do DNA, um cromossomo consiste em duas cromátides-irmãs, cada uma com uma cópia idêntica da molécula de DNA parental, unidas pelo centrômero.



As cromátides-irmãs, unidas pelo centrômero, resultam da replicação do DNA e condensação cromossômica.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 286.



## Ciclo celular, p53 e câncer

O processo de desenvolvimento do câncer é chamado de carcinogênese ou oncogênese. Leia o texto a seguir, que aborda esse tema, e responda às perguntas.

[...]

Um grupo de 10 pesquisadores brasileiros da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Federal Fluminense (UFF) depositou patente no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), no qual descrevem o desenvolvimento de novo composto sintético para o tratamento de câncer de mama, com alvo direcionado à proteína conhecida como p53, quando apresenta mutação.

Esta proteína, também conhecida como guardião do genoma humano, tem um importante papel na proteção do DNA, suprimindo o aparecimento de tumores. Mas quando está alterada no organismo, perde sua função protetora e permite que as células se reproduzam de forma desordenada.

Mais da metade dos tumores malignos apresenta mutações no gene da p53, e milhões de pessoas morrerão se novas terapias não forem desenvolvidas.

Assim, a busca por novas terapias está na mira de vários grupos internacionais. E esta patente, recém-depositada no Brasil, deriva de uma naftoquinona – uma substância produzida pelo metabolismo de algas, líquens, fungos, plantas, animais e em seres humanos.

Na pesquisa que resultou [na] patente, o composto foi obtido, de forma sintética, a partir da vitamina K3 e possui uma atividade 10 vezes mais potente que outras drogas na redução dos tumores de mama. E, especialmente, para os tumores de mama que possuem a proteína p53 alterada.

[...]

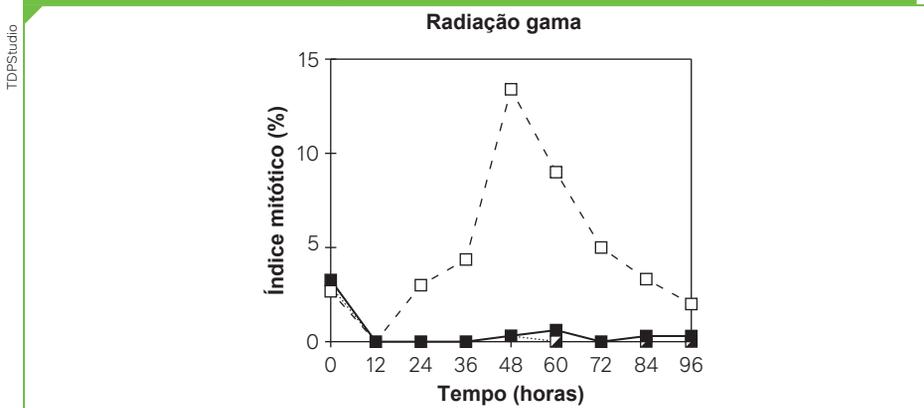
JURBERG, C. Pesquisadores brasileiros depositam patente contra o câncer. *FAPERJ*, Rio de Janeiro, 6 jul. 2023. Disponível em: <https://www.faperj.br/?id=362.7.0>. Acesso em: 11 jan. 2024.

### Trocando ideias



1. De que forma a compreensão da proteína p53 impacta as estratégias de tratamento do câncer?
2. Em um estudo, cientistas modificaram o gene p53 (que sintetiza a proteína p53) de linhagens celulares e, em seguida, expuseram as diferentes linhagens celulares obtidas à radiação gama ( $\gamma$ ), prejudicial ao DNA. O gráfico a seguir mostra o índice mitótico (divisão celular) para cada linhagem celular. Os quadrados sombreados representam células com gene p53 normais. Os quadrados meio sombreados representam células com um alelo normal e um alelo interrompido do gene p53. Os quadrados não sombreados representam células nas quais ambos os alelos do gene p53 foram interrompidos. Descreva as diferenças observadas em cada uma das linhagens e apresente uma hipótese para explicá-las, considerando os efeitos danosos da radiação ao DNA e o papel da p53 no ciclo celular.

#### Índice mitótico de linhagens celulares submetidas à radiação gama



Fonte: ROLE of p53 in the Cell Cycle. *In*: BIOINTERACTIVE. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.biointeractive.org/classroom-resources/role-p53-cell-cycle?playlist=181755>. Acesso em: 28 jul. 2024.

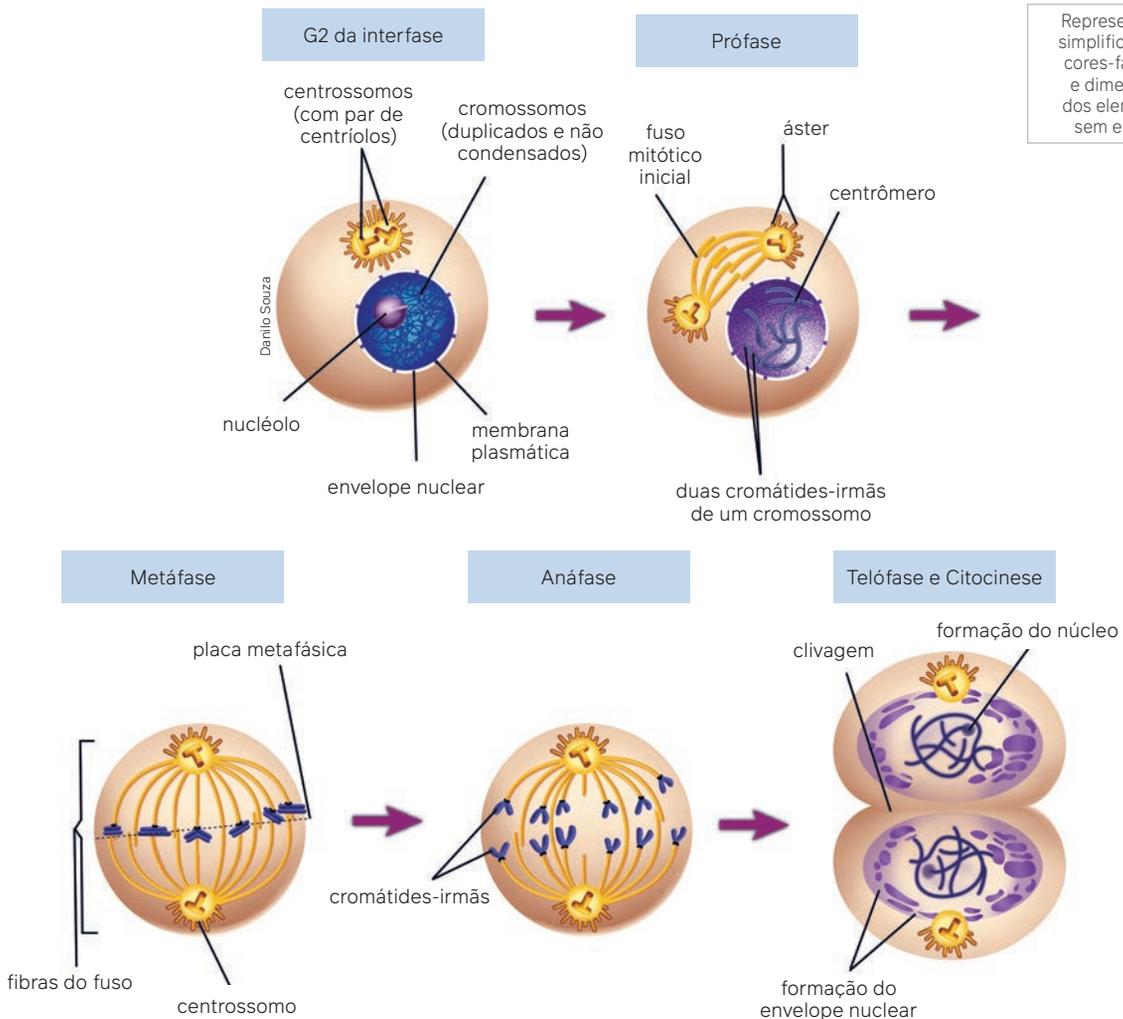
3. Quais são os possíveis benefícios sociais e médicos decorrentes do desenvolvimento desse composto sintético, especialmente para pacientes com câncer de mama com a proteína p53 alterada?

# Divisão celular

Esse momento do ciclo celular é conhecido como **fase M**. É a fase que envolve a divisão celular propriamente dita. Dependendo do tipo de divisão celular, essa fase pode ser denominada mitose ou meiose.

## Mitose

A **mitose** é um processo de divisão celular que resulta na formação de duas células-filhas geneticamente idênticas à célula original, ou seja, cada uma com o mesmo número de cromossomos da célula parental. Assim, durante a mitose, uma célula parental diploide (2n) se divide e origina duas células-filhas idênticas também diploides (2n). Esse processo é essencial para o crescimento do organismo, a reparação de tecidos, a reprodução assexuada, entre outras funções. Ela é dividida nas seguintes fases: prófase, metáfase, anáfase, telófase e citocinese.



Esquema representativo das fases da mitose em células animais.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 288-289.

- **Prófase:** os cromossomos iniciam o processo de condensação. O envoltório nuclear se desintegra e o nucléolo desaparece. O centrosomo, que contém um centríolo, foi duplicado durante a interfase. Esses centrosomos se movem para os polos opostos da célula. O fuso mitótico, formado por microtúbulos, começa a se formar, a partir dos centrosomos. Cada cromossomo duplicado figura como duas cromátides-irmãs unidas pelos centrômeros.
- **Metáfase:** entre a prófase e a metáfase, um cinetocoro, uma estrutura proteica especializada formada no centrômero de cada cromátide, liga-se às fibras do fuso. A tensão nas fibras de polos opostos faz com que os cromossomos se movimentem e se alinhem no equador da célula (placa metafásica ou equatorial). Nessa fase, os cromossomos atingem o ápice da condensação.
- **Anáfase:** as cromátides-irmãs se separam. As fibras do fuso encurtam e as cromátides-irmãs são puxadas para polos opostos da célula.

- **Telófase e citocinese:** os cromossomos chegam aos polos da célula; o envoltório nuclear se forma em torno de cada conjunto de cromossomos e ocorre a citocinese, isto é, a divisão do citoplasma, formando duas células-filhas.

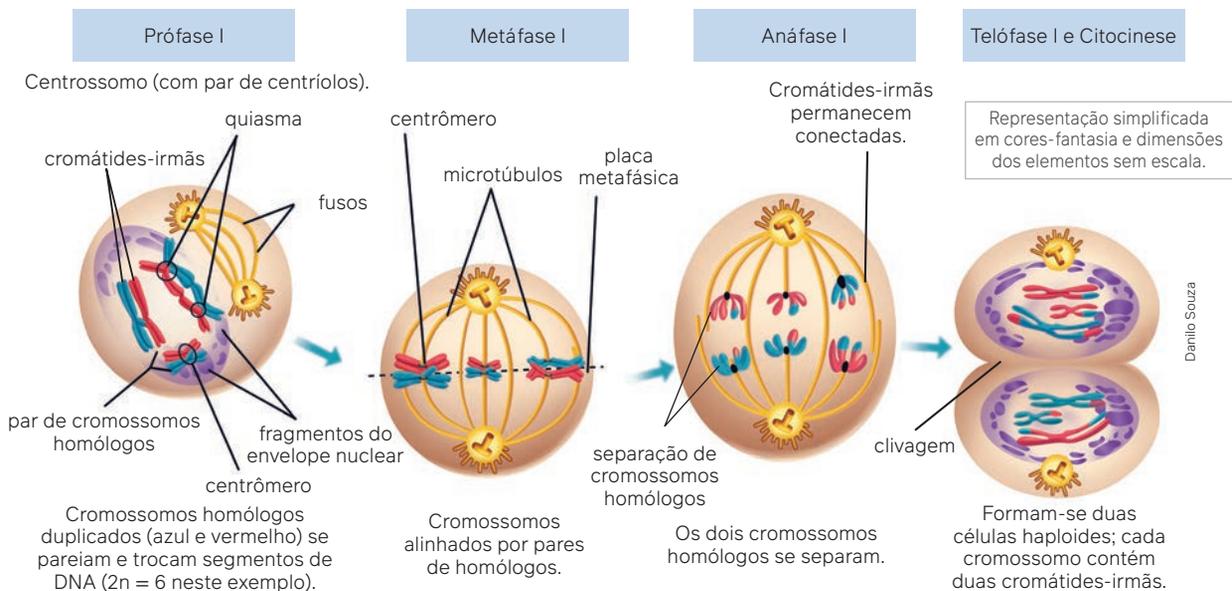
## Meiose

A **meiose** é um processo de divisão celular que ocorre em células especializadas, como as células reprodutivas (por exemplo, as células precursoras de gametas dos animais, chamadas de células germinativas), e contribui para a variabilidade genética. A meiose, assim como a mitose, é precedida pela duplicação do DNA na etapa S da interfase, de modo que cada cromossomo passa a ser constituído por duas cromátides. A meiose envolve duas divisões celulares consecutivas, chamadas de meiose I e meiose II. A meiose resulta na formação de quatro células-filhas com metade do número de cromossomos da célula parental.

As fases da meiose se distribuem na meiose I e na meiose II.

### Meiose I

Na primeira divisão da meiose, ou meiose I, formam-se duas células haplóides ( $n$ ), em que cada cromossomo contém duas cromátides-irmãs.



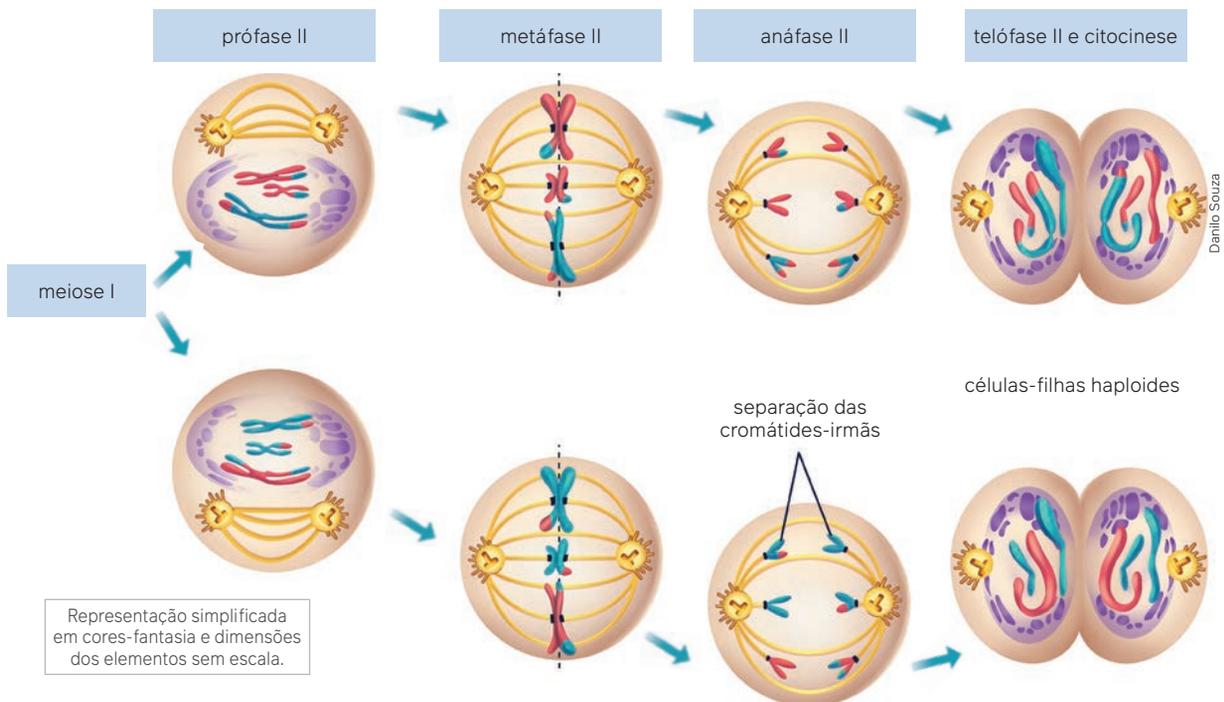
Esquema representativo das fases da meiose I em célula de animal hipotética, destacando três pares de cromossomos.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 311.

- **Prófase I:** Os cromossomos iniciam o processo de condensação e se pareiam, formando bivalentes (também chamados de tétrades ou pares de cromossomos homólogos). O envelope nuclear se desintegra. Nessa fase, ocorre o fenômeno de **crossing-over** (ou permutação). O alinhamento de cromossomos homólogos viabiliza a ação de complexos proteicos que promovem a permutação (troca física) de material genético entre cromátides de cromossomos homólogos. Essa troca resulta em novas combinações cromossômicas. Os pontos onde as cromátides dos cromossomos homólogos se cruzam e trocam material genético são chamados de **quiasmas**, estruturas visíveis ao microscópio óptico. A permutação é um evento que promove variabilidade genética em organismos que se reproduzem sexualmente. O nucléolo desaparece.
- **Metáfase I:** Os bivalentes se alinham na placa metafásica (zona equatorial) da célula de forma aleatória. Esse processo independe da origem do cromossomo parental (se é materno ou paterno) e contribui para a variabilidade genética dos gametas. Fibras do fuso se conectam aos centrômeros dos cromossomos homólogos, com um cromossomo em cada par direcionado para cada polo da célula.
- **Anáfase I:** Os bivalentes (cromossomos homólogos pareados) se separam e são puxados para polos opostos da célula.
- **Telófase I:** Os cromossomos se descondensam e as fibras do fuso se desfazem. O envoltório nuclear reaparece, assim como o nucléolo. A célula apresenta, momentaneamente, dois núcleos, cada um com metade do número inicial de cromossomos da célula parental.
- **Citocinese:** Separação definitiva do citoplasma e formam-se duas novas células. As células-filhas são haplóides ( $n$ ), sendo que cada cromossomo é formado por duas cromátides-irmãs.

## Meiose II

Na segunda divisão da meiose ocorre a separação das cromátides-irmãs, formando 4 células haploides (n).



Esquema representativo das fases da meiose II em células animais hipotéticas.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 310.

- **Prófase II:** Os cromossomos voltam a iniciar a condensação. O nucléolo e o envoltório nuclear (carioteca) desaparecem, os centríolos migram para os polos opostos da célula e o fuso meiótico (acromático) se forma.
- **Metáfase II:** Os cromossomos se posicionam na região equatorial da célula. As fibras do fuso se ligam aos seus centrômeros.
- **Anáfase II:** Nesta etapa nota-se uma das principais diferenças entre a meiose I e a meiose II. Na primeira, os cromossomos homólogos são separados; na segunda, há separação das cromátides-irmãs de cada cromossomo. Ao final, as cromátides-irmãs encontram-se separadas em polos opostos da célula.
- **Telófase II e Citocinese:** O envoltório nuclear e o nucléolo são novamente formados e cromossomos passam a se descondensar. Acontece a citocinese (divisão citoplasmática) e, como resultado, têm-se quatro células-filhas haploides (n).

Portanto, na meiose I, há separação dos cromossomos homólogos, formando duas células-filhas haploides, ao passo que, na meiose II, há separação das cromátides-irmãs, similar ao que acontece na mitose, formando quatro células-filhas haploides geneticamente diferentes entre si.

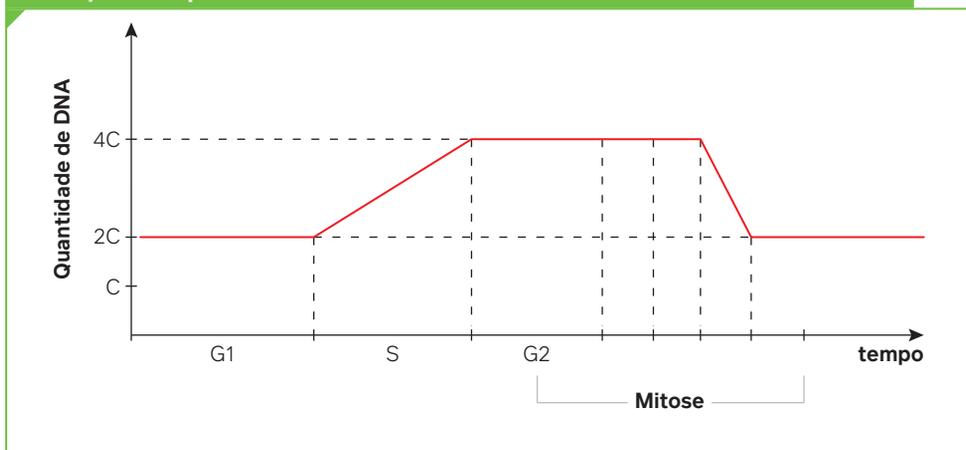
A meiose origina células com um conjunto de cromossomos haploide, como ocorre na formação de esporos e gametas. Quando dois gametas haploides se unem, formam um zigoto  $2n$ . Essa única célula passa, então, a sofrer divisões celulares do tipo mitose até constituir um organismo com trilhões de células. Ao longo da vida de um ser humano, o processo de mitose ocorre em torno de dez quatrilhões de vezes em seu corpo. Essa divisão celular ocorre a todo o momento, por exemplo, na pele, na base das unhas e dos fios de cabelo e na medula óssea que forma as células do sangue.

## A variação da quantidade de DNA nas divisões celulares

A quantidade de DNA por célula (C) varia durante o processo de divisão celular, tanto na mitose como na meiose.

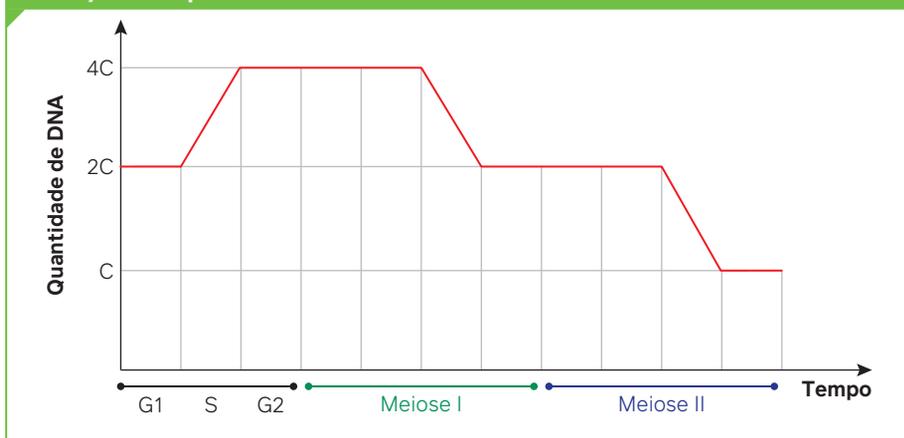
Dizemos que a mitose é um processo de divisão equacional para o número de cromossomos, ou seja, a quantidade de cromossomos da célula parental e das células-filhas é a mesma. Na fase G1 da interfase, a quantidade de DNA da célula parental é  $2C$ . Na fase S, a quantidade de DNA duplica na célula, passando a  $4C$ , ainda que o número de cromossomos seja o mesmo do início ( $2n$ ). A partir da anáfase e culminando na telófase, cada célula-filha terá o mesmo número de cromossomos ( $2n$ ) e a mesma quantidade de DNA ( $2C$ ) da célula parental. Observe no gráfico a variação de quantidade de DNA durante o ciclo celular com divisão mitótica.

### Varição na quantidade de DNA no ciclo celular com divisão mitótica



Dizemos que a meiose é um processo reducional para o número de cromossomos e a quantidade de DNA na célula, pois, ao final do processo, as células-filhas têm metade do número de cromossomos, ou seja, são células haploides ( $n$ ). Observe no gráfico a variação de quantidade de DNA durante esse ciclo. Na fase G1 da interfase, a quantidade de DNA da célula parental é  $2C$ . Durante a fase S, ocorre a duplicação de DNA ( $4C$ ). Com a separação dos cromossomos homólogos na anáfase I e separação das células na telófase I, a quantidade de DNA de cada célula será a metade ( $2C$ ). Essa quantidade de DNA se mantém até a anáfase II, quando reduz pela metade ( $C$ ). Ao final, cada célula-filha terá metade do número de cromossomos ( $n$ ) e da quantidade de DNA ( $C$ ) da célula parental ( $2n$ ).

### Varição na quantidade de DNA no ciclo celular com divisão meiótica



## Ciência por dentro



### Modelo da divisão celular

A elaboração de modelos é uma prática muito utilizada em Ciências. Eles são representações ou interpretações de um fenômeno, conhecimento ou sistema, por exemplo. Os modelos simplificam a realidade, destacando apenas os aspectos mais relevantes, a fim de melhor compreendê-la ou de melhor explicá-la.

Junte-se com outros quatro colegas de turma para elaborar modelos explicativos tridimensionais dos processos de interfase, mitose e meiose.

#### Material:

- Procurem utilizar materiais descartados, tais como papelão, fios, arame de caderno, palitos de fósforo, canudos de refrigerante, barbante, linha, massa de modelar, garrafas PET e suas tampas etc.

## Procedimento

- 1. Conhecer o processo a ser representado:** releiam as informações do capítulo sobre mitose e meiose; anotem os pontos em que há dúvidas e busquem saná-las. Pesquisem sobre o assunto em outras fontes de informações. Leiam artigos, assistam a vídeos. Certifiquem-se de que compreenderam bem os processos.
- 2. Identificar e selecionar as propriedades relevantes a serem representadas:** elaborem esquemas representativos do processo destacando tais propriedades. Reflitam para identificar se algo importante não está sendo considerado.
- 3. Selecionar os materiais:** reflitam sobre que materiais podem ser utilizados para representar as estruturas. Considerem morfologia, aspectos que querem salientar, texturas, tamanhos.
- 4. Elaborar um projeto:** a partir do esquema elaborado, descrevam o que pretendem representar e como; destaquem os materiais a serem utilizados.
- 5. Construir e testar o modelo:** construam o modelo e avaliem se ele consegue representar o que pretendiam. Se necessário, reelaborem até produzir uma descrição satisfatória dos processos. Identifiquem o que não conseguiram representar ou descrever.
- 6. Apresentar os modelos:** apresentem suas construções para os colegas, explicando os processos representados. Assistam à apresentação dos colegas e identifiquem semelhanças e diferenças entre os modelos. Procurem reconhecer aspectos que os modelos não conseguiram explicar.

## Trocando ideias



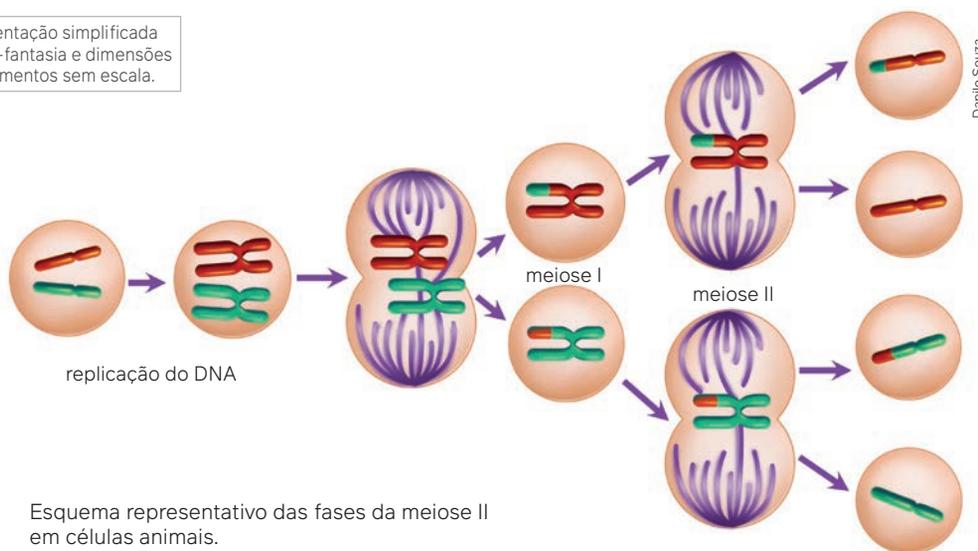
1. Quais são as principais diferenças e semelhanças que vocês encontraram entre os seus modelos e os dos demais grupos?
2. Existe algum aspecto dos processos de interfase, mitose e meiose que seus modelos não conseguiram representar ou descrever? Explique.

## Atividades propostas



1. Observe a ilustração a seguir, de uma célula em divisão meiótica, e, depois, faça o que se pede.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



- a) Qual é a diferença entre a separação de material genético que ocorre na meiose I e a separação que ocorre na meiose II?
- b) Após a divisão meiótica de uma célula diploide  $2n = 54$ , quantas células são geradas? E quantos cromossomos cada uma das células-filhas terá?

2. As frases a seguir descrevem vários eventos que ocorrem durante a mitose. Analise-as e assinale a alternativa que representa corretamente a ordem em que ocorrem esses eventos.
- I. Acoplamento das cromátides-irmãs às fibras de fuso na região do centrômero.
  - II. Separação das cromátides-irmãs em direção às extremidades opostas da célula.
  - III. Desintegração do envoltório nuclear.
  - IV. Formação do envoltório nuclear ao redor de cada conjunto de cromossomos, formando dois núcleos.
  - V. Formação das fibras do fuso.
- a) III - II - I - V - IV  
 b) III - V - I - II - IV  
 c) V - III - II - I - IV  
 d) V - III - I - II - IV  
 e) V - I - III - II - IV
3. As fotografias a seguir foram obtidas no microscópio óptico. Elas registram alguns momentos da mitose de células de raiz de cebola (*Allium cepa*). Identifique em que fase do processo de mitose cada uma delas está descrevendo-a resumidamente.



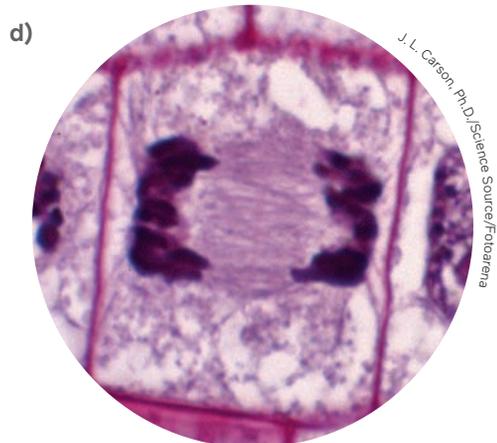
Aumento de 1000 x.



Aumento de 1000 x.



Aumento de 1000 x.



Aumento de 1000 x.

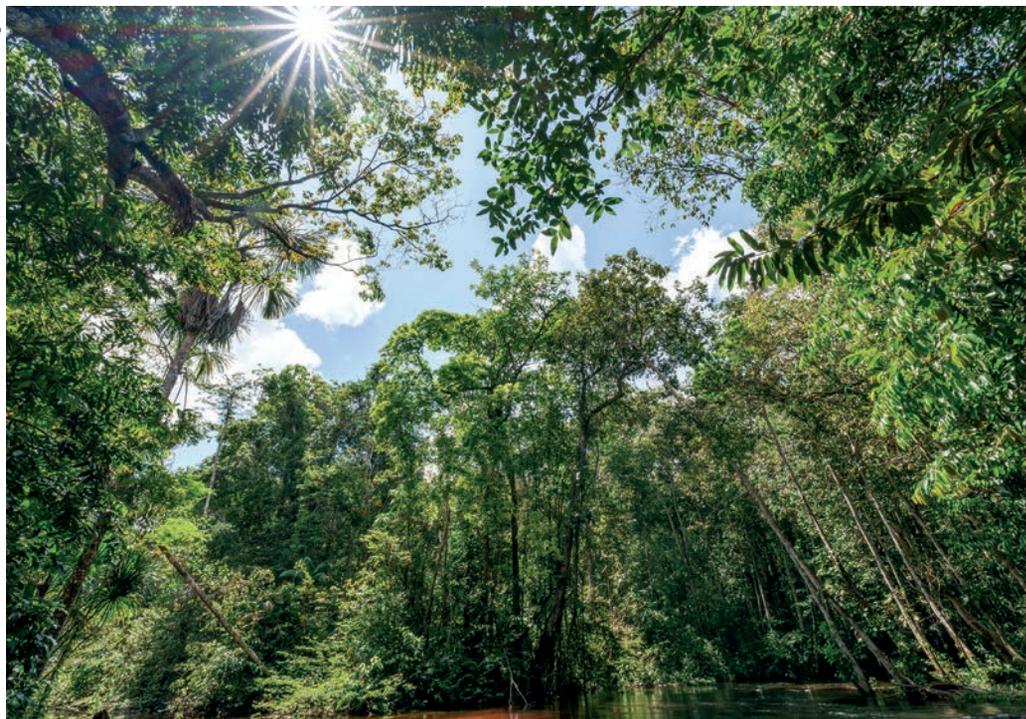
## Recapitule



Suponha que você vai explicar para sua família o que é informação genética, como ela é processada e transmitida para novas células. Para apoiar sua explicação, você percebe que precisa de imagens e pequenos textos e tem a ideia de elaborar um infográfico. Vamos ao trabalho? Lembre-se de usar termos como: material genético, genes, síntese proteica (transcrição e tradução), ciclo celular, síntese de DNA e divisão celular.

# Metabolismo energético celular

Marcos Amend/Pulsar Imagem



A radiação eletromagnética do Sol é convertida em diferentes tipos de energia na atmosfera e pelos seres vivos, todas elas fundamentais para a vida. Floresta na cabeceira do Rio Tarumã-açu. Manaus (AM), 2022.

## ▼ Para refletir

1. Como você explica a importância do Sol para a sobrevivência dos seres vivos? Argumente utilizando o conceito de cadeia alimentar.
2. Por que a ingestão de alimentos é tão importante para a maioria dos seres vivos?
3. Como as células contribuem para a obtenção de energia pelos seres vivos?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Explorar como as vias anabólicas e catabólicas se interconectam por meio de reações de oxirredução para a geração e uso de energia química.
- Reconhecer a Adenosina Trifosfato (ATP) como a principal molécula armazenadora de energia nos processos metabólicos.
- Compreender que a glicólise promove a quebra de açúcar em ácido pirúvico, que será utilizado nas vias fermentativas e respiratórias.
- Comparar a fermentação láctica e a fermentação alcoólica quanto aos reagentes, produtos e aplicações industriais.
- Analisar as etapas da respiração celular, compreendendo o rendimento energético, o local de ocorrência na célula, as organelas e as moléculas envolvidas.
- Analisar os processos de fotossíntese e quimiossíntese quanto aos reagentes, produtos e formas de vida que os realizam.

# O que é metabolismo?

As reações metabólicas são responsáveis por diversas funções essenciais, incluindo a obtenção de energia, o crescimento, a reparação de tecidos, a eliminação de resíduos, a regulação da temperatura corporal, entre outras.

A **obtenção de energia** é um dos pilares da vida e pode ser realizada de diversas formas, garantindo o suprimento energético dos seres vivos. Em relação à forma como obtêm energia e nutrientes, os organismos podem ser classificados em autótrofos e heterótrofos.

Os **autótrofos** são os organismos capazes de produzir seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas. Os principais exemplos desse tipo de organismo são as plantas, as algas, as cianobactérias e determinadas bactérias que realizam a quimiossíntese. Os **heterótrofos** são os organismos que dependem da obtenção de nutrientes orgânicos por meio da ingestão ou absorção. Animais, fungos e diversas bactérias são exemplos de organismos heterótrofos.

**Metabolismo** é o conjunto de reações químicas e de processos bioquímicos que ocorre no interior de uma célula ou de um organismo e que permite a sobrevivência do ser vivo.

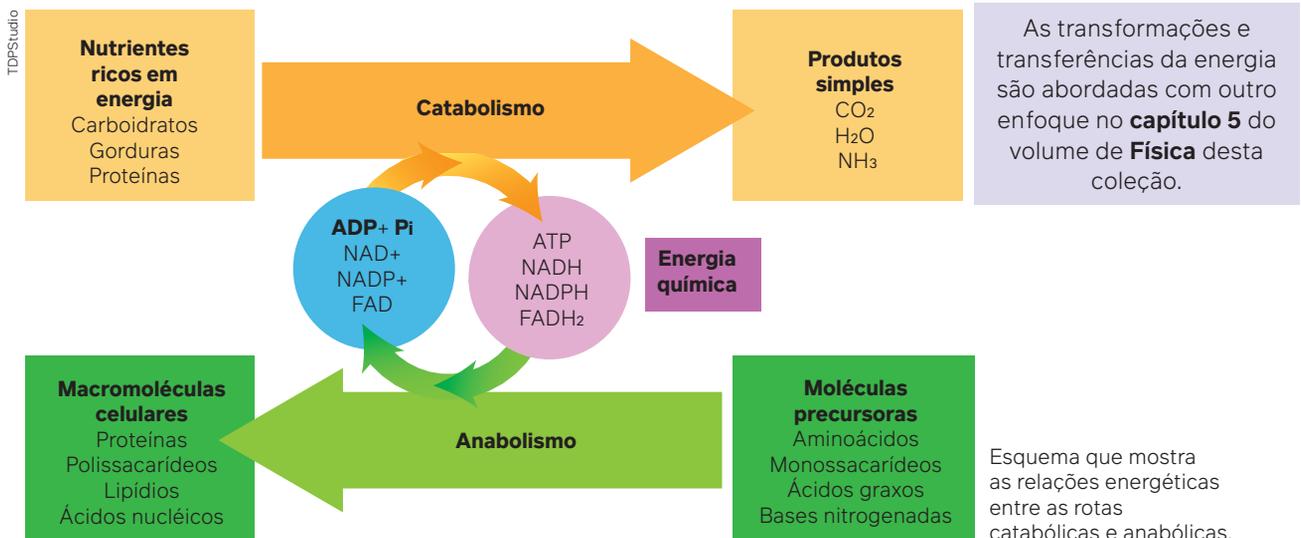
Os **autótrofos** são organismos capazes de realizar a fotossíntese ou a quimiossíntese. A **fotossíntese** é um processo metabólico que capta a luz do sol, a transforma e a usa como energia para produção de compostos orgânicos. Já a **quimiossíntese** utiliza a energia gerada por reações químicas entre substâncias inorgânicas para produção de compostos orgânicos.

Obtido o alimento – seja por meio da fotossíntese, da quimiossíntese, seja por meio da absorção ou ingestão – em ambos os grupos, autótrofos e heterótrofos, os nutrientes são processados e transformados em energia por meio de processos metabólicos, incluindo a respiração celular e a fermentação.

## Reações metabólicas

As **reações metabólicas** são os processos químicos que ocorrem dentro das células para manter a vida e realizar funções essenciais. Elas podem ser classificadas em dois tipos:

- **Reações catabólicas**, ou catabolismo, são aquelas em que ocorre a decomposição de moléculas complexas em moléculas simples, com liberação de energia. Durante essas reações, a energia química liberada é armazenada em moléculas, como a Adenosina Trifosfato (ATP), e coenzimas reduzidas – NADH, NADPH e FADH<sub>2</sub>.
- **Reações anabólicas**, ou anabolismo, usam a energia proveniente da hidrólise do ATP e da oxidação dos transportadores de elétrons para formar macromoléculas a partir de moléculas mais simples, ocorrendo o consumo de energia.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger: princípios de bioquímica*. Tradução de Arnaldo Antonio Simões e Wilson Roberto Navega Lodi. 3. ed. São Paulo: Savier, 2002. p. 381.

As reações anabólicas ocorrem em processos metabólicos de síntese – como a fotossíntese e a quimiossíntese. Na síntese de ácidos nucleicos, ocorre a construção de novas moléculas de DNA e RNA a partir de nucleotídeos; na síntese de proteínas musculares, os aminoácidos são combinados para formar proteínas, contribuindo para o crescimento e para o reparo muscular.

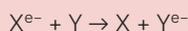
Já as reações catabólicas ocorrem em processos de quebra ou decomposição. A **fermentação** e a **respiração celular** são compostas de reações deste tipo, de maneira que as moléculas de glicose são quebradas em elementos menores, com liberação de energia.

As moléculas de ATP, frequentemente chamadas de “combustível das células”, armazenam e fornecem energia imediatamente utilizável para que aconteçam as reações metabólicas.

## Reações de oxirredução

Uma forma comum de transferência de energia é por meio de **reações de oxirredução**, também conhecidas como reações redox.

Em reações redox, ocorrem simultaneamente os processos de **oxidação** (no qual uma espécie química perde elétrons) e **redução** (no qual uma espécie química recebe esses elétrons).



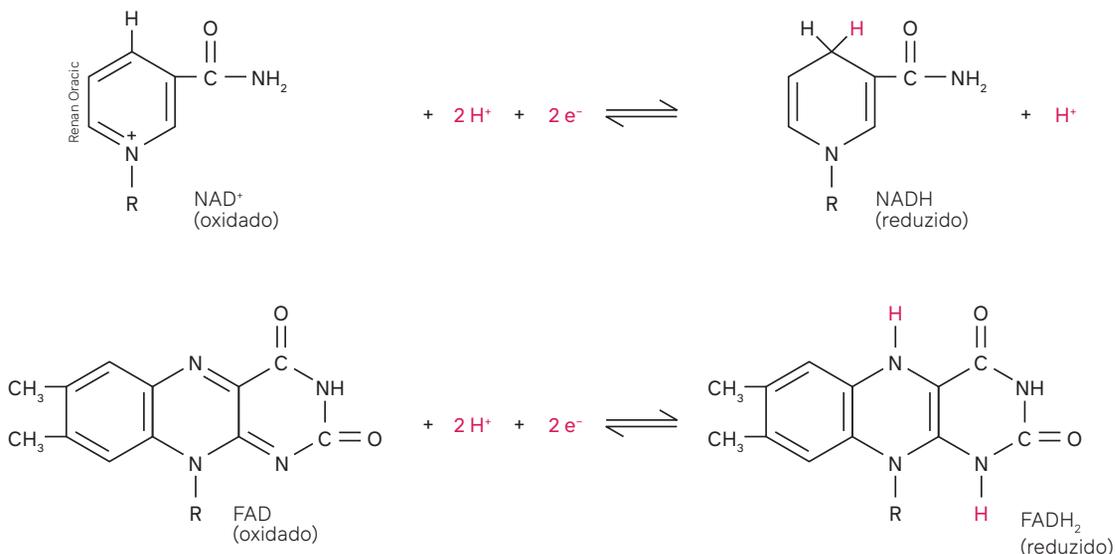
Nessa equação, a espécie química  $X^{e-}$ , doadora de elétrons, é chamada de **agente redutor**. Ela reduz Y, que recebe o elétron doado. A espécie química Y, por sua vez, é o **agente oxidante**, pois oxida  $X^{e-}$ , removendo seu elétron.

Em reações biológicas de oxirredução, a transferência de elétrons é frequentemente acompanhada da transferência de átomos entre as espécies químicas, sendo o átomo de hidrogênio (H) o mais comum. Nessas reações, os elétrons e os átomos de hidrogênio, provenientes da oxidação de espécies químicas diversas, são captados por outras substâncias, como as coenzimas.

A redução e a oxidação dessas coenzimas nos processos catabólicos, como na respiração celular, é um dos principais fenômenos envolvidos na transferência da energia liberada pela oxidação de substâncias. As principais coenzimas do metabolismo oxidativo são o dinucleotídeo de nicotinamida e adenina ( $NAD^+$  em sua forma oxidada), o seu análogo, fosfato de dinucleotídeo de nicotinamida e adenina ( $NADP^+$  em sua forma oxidada) e o dinucleotídeo de flavina e adenina ( $FAD$  em sua forma oxidada).

O  $NAD^+$ , o  $NADP^+$  e o  $FAD$  são coenzimas que sofrem oxidações e reduções reversíveis em muitas das reações metabólicas de transferência de elétrons. Ao receberem elétrons e átomos de hidrogênio,  $NAD^+$ ,  $NADP^+$  e o  $FAD$  ficam reduzidos, convertendo-se em  $NADH$ ,  $NADPH$  e  $FADH_2$ , respectivamente; nessa condição, eles têm mais energia do que suas correspondentes formas oxidadas.

Observe a seguir as reações relacionadas a esses processos.



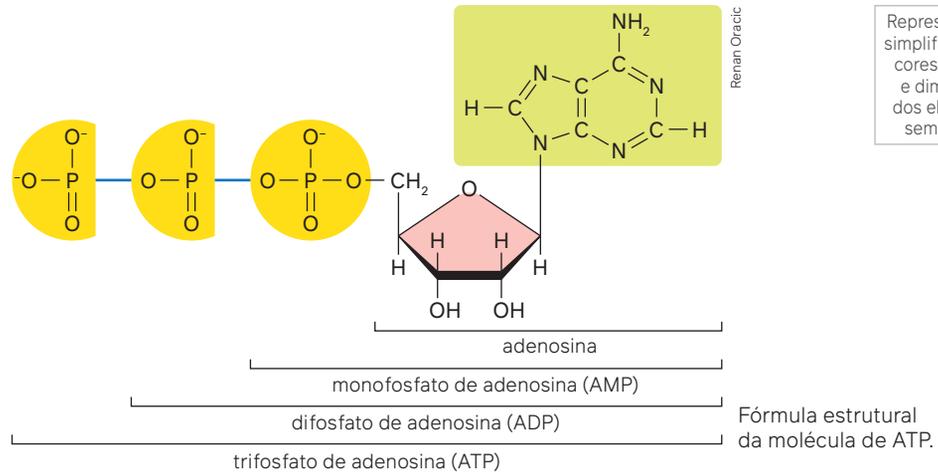
Representação esquemática das reações redox do NAD e do FAD.

### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre as reações de oxirredução é abordado com outro enfoque nos **capítulos 7 e 20** do volume de **Química** desta coleção.

## A adenosina trifosfato

A molécula de **adenosina trifosfato**, ou ATP, é a unidade de armazenamento e fornecimento de energia das células. Essa molécula é formada por uma base nitrogenada (adenina), um açúcar (ribose) e três grupos fosfatos. A presença dos grupos fosfatos é determinante para o potencial energético dessa molécula, pois, quando as ligações entre os fosfatos são quebradas, liberam a energia disponibilizada para que outras reações possam ocorrer.

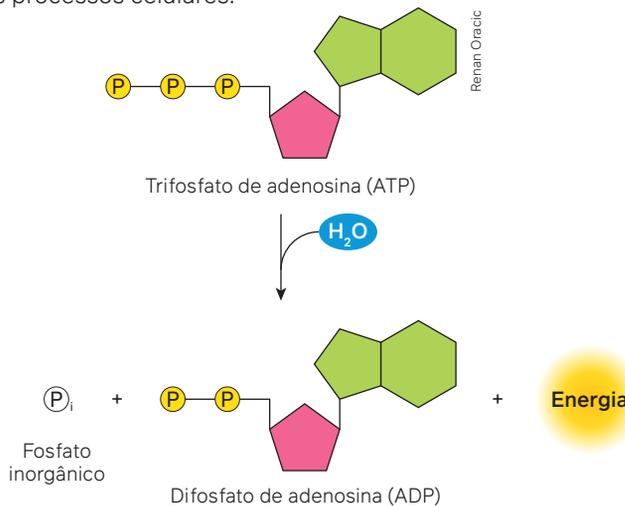


A síntese de ATP ocorre principalmente durante a respiração celular, processo metabólico que, nas células eucarióticas, ocorre nas mitocôndrias, mas também é realizado por bactérias durante a fermentação.

Na respiração celular, os nutrientes, como a glicose, são degradados em etapas, liberando energia. Essa energia é, então, capturada e usada para converter a ADP (adenosina difosfato) e o fosfato inorgânico (Pi) em ATP.

A síntese de ATP é um processo vital que fornece à célula a energia necessária para realizar uma variedade de funções, como movimento, transporte de substâncias, síntese de moléculas complexas, entre outros. Esse é um dos principais processos que mantêm a célula viva e em funcionamento.

As ligações entre os fosfatos da molécula de ATP podem ser rompidas por hidrólise, liberando a energia armazenada para vários processos celulares.



## Atividades propostas

- Imagine que você seja um professor da Educação Básica e queira usar o processo de divisão celular para explicar o que é anabolismo para uma turma do Ensino Médio. Qual etapa da divisão celular você consideraria? Por quê?
- Elabore um esquema que represente o processo de cada tipo de reação apresentada, catabólica e anabólica, considerando como esses processos contribuem para a compreensão da origem e evolução da vida. Utilize imagem e texto. Depois, dialogue com os colegas sobre semelhanças e diferenças nos esquemas.



## O “corpo perfeito” – a que risco?

Percebemos um cenário onde uma série de discursos podem influenciar os comportamentos de homens e mulheres. Essa produção discursiva se funda, também, através da massificação de elementos midiáticos em redes sociais, grande mídia e indústria fitness, na obsessão pela busca do “corpo perfeito”, tido como belo, magro, magro e saudável [...]. Nessa lógica as pessoas são influenciadas a promoverem um estilo de vida ativo, realizando exercícios físicos regulares e dietas, no sentido de alcançarem o tão desejado corpo padrão. Todo aquele que se encontra fora dessa estética é “transgressor”, deixando marcas nos corpos desses indivíduos e reproduzindo elementos normativos discriminatórios [...].

Dentro da escola, na perspectiva adolescente, essa dinâmica se propaga. Com a revolução tecnológica, a padronização do belo sofre influências extremamente rápidas em relação a modificações corporais e, assim sendo, cirurgias plásticas, procedimentos estéticos e uso de esteroides anabolizantes normalizam-se dentro da escola [...]. Esteroides anabolizantes são substâncias sintetizadas normalmente a partir da testosterona. Agindo de forma andrógena e anabólica. Ações andrógenas são: queima maior de gordura e aumento da massa magra no homem e na mulher. Os efeitos anabólicos são: hipertrofia muscular e o aumento da síntese proteica [...].

A falta de conhecimento dos riscos decorrentes do uso de esteroides anabolizantes é algo a ser discutido e problematizado entre e com os/as jovens na escola. [...]. Temos efeitos colaterais como: danos psíquicos e irritabilidade, infecção por HIV por compartilhamento de seringas, alterações endócrinas (acnes, baixa libido, impotência sexual, diminuição de esperma, ginecomastia, irregularidade menstrual, diabetes etc.), alterações cardíacas (aumento do colesterol LDL associando risco de doenças coronarianas, hipertensão arterial, lesões no tecido cardíaco gerando cardiopatias e disfunção ventricular), distúrbios hepáticos (icterícia, peliose hepática, hiperplasia hepatocelular, disfunções em padrões de TGO e TGP) e disfunções musculoesqueléticas (fechamento das epífises ósseas precocemente, retardamento do crescimento ósseo e lesões musculares por exageros nos treinos) [...].

LOPES NETO, E.; SILVA, F. M. C.; SANCHES NETO, L.; VENÂNCIO, L. Reprodução de padrões corporais culturalmente aceitos como ideais dentro do ambiente escolar: apontamentos de um residente em Educação Física. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO ESPORTE, 23., 2023, Fortaleza. *Anais* [...]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023. Disponível em: <https://www.cbce.org.br/evento/upload/1647/VF-1647-114047.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2024.

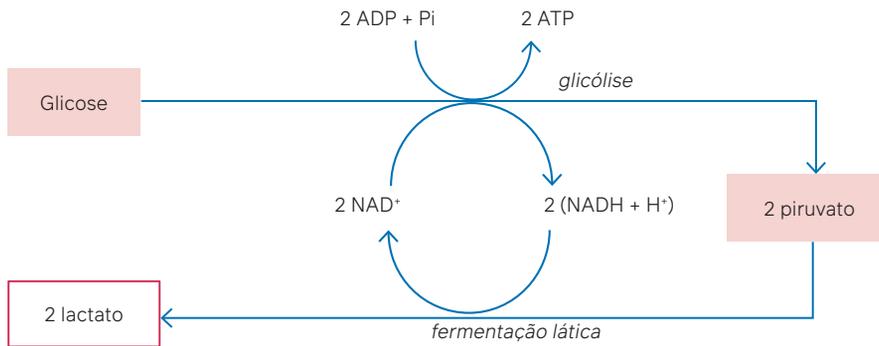
### Trocando ideias



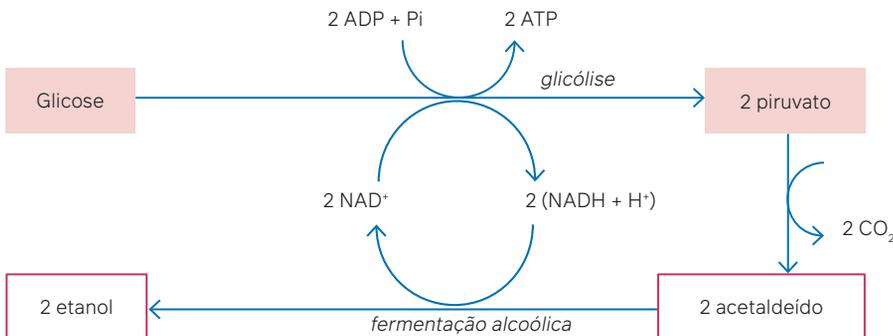
1. Como você interpreta o primeiro e o segundo parágrafo do texto? Que elementos discriminatórios citados no texto você reconhece?
2. Considerando a ação dos esteroides anabolizantes, qual relação você estabelece com o conteúdo sobre reações metabólicas estudadas no capítulo?
3. Conforme a Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia (SBEM), o uso de esteroides anabolizantes vem crescendo entre estudantes do Ensino Médio, sendo que um em cada 16 estudantes deste segmento já fez uso. Em grupos, elaborem uma pesquisa para investigar a relação da comunidade escolar com os esteroides anabolizantes. Pensem em formas de investigar o perfil, as motivações para uso ou não de anabolizantes, o conhecimento dos mecanismos de ação e riscos associados à prática etc. Para esta atividade, sugere-se a utilização de questionários digitais e anônimos. Para trabalhar os dados, utilizem tabelas, cálculos de frequência e pesquisa bibliográfica. As questões a seguir podem ajudar a conduzir a análise dos dados.  
Os resultados da pesquisa se aproximam dos divulgados pela SBEM? Explique.  
Quais são as características de estudantes que fizeram uso de anabolizantes?  
Qual é a porcentagem de estudantes que já fez uso de esteroides anabolizantes?  
A comunidade escolar conhece os riscos do uso destes produtos?
4. Baseados nos resultados da pesquisa, elaborem uma campanha de conscientização.
  - Primeiro, pesquisem mais sobre o uso de esteroides anabolizantes em tratamentos clínicos, por esportistas e pela população em geral, os riscos e como evitá-los.
  - A campanha de conscientização (vídeo, cartaz, panfletos informativos etc.) deve informar os estudantes sobre os riscos do uso de esteroides anabolizantes e sobre o controle de danos. Explore os discursos de “corpos perfeitos” e corpos reais e os resultados da pesquisa.
  - Apresentem os produtos para a turma, ouçam as observações dos colegas e façam as correções necessárias. Em concordância com o professor, divulguem para a comunidade escolar.



Observe esses dois principais tipos de fermentação no esquema abaixo.



Via metabólica da fermentação láctica.



Via metabólica da fermentação alcoólica.

## Atividades propostas



1. Biodigestores são dispositivos utilizados para o tratamento de resíduos orgânicos, de forma que a decomposição da matéria ocorre por meio de fermentação anaeróbica, produzindo biogás e biofertilizante. Como a fermentação pode ser essencial para a sobrevivência de organismos em ambientes anaeróbicos e de que forma ela se difere dos processos metabólicos que ocorrem na presença de oxigênio?
2. Ao longo da história, a humanidade tem utilizado processos de fermentação em diversas atividades cotidianas, como na produção de pão e vinho. Imagine que você precise explicar o processo de fermentação para alguém que não conhece as reações metabólicas envolvidas, mas que utiliza produtos fermentados no dia a dia. Como você descreveria o processo de fermentação de forma simples e didática, considerando sua aplicação na indústria alimentícia? Além disso, mencione os diferentes tipos de fermentação e os organismos envolvidos nesses processos, destacando também as perspectivas culturais e históricas associadas a esse conhecimento.

## Ciência por dentro



### Substrato e temperatura

Você estudou como ocorre o processo de fermentação e quais os principais organismos que o realizam. Vamos, agora, de forma prática, investigar a influência da temperatura e da quantidade de substrato na fermentação. Para isso, forme um grupo com quatro colegas e, juntos, realizem o experimento a seguir.

### Material:

- 8 garrafas PET de 500 mL, transparentes e iguais;
- 8 balões de festa de tamanhos iguais;
- caneta e fita-crepe;
- 2 bandejas;
- 1 funil;

- 1 colher;
- 1 copo medidor;
- água em temperatura ambiente;
- água morna, em torno de 40 °C;
- cubos de gelo;
- açúcar;
- 3 tabletes de fermento biológico;
- termômetro.

## Procedimento

1. Utilizando caneta e fita-crepe, numerem as garrafas PET de 1 a 8.
2. Dissolvam os três tabletes de fermento biológico em 800 mL de água em temperatura ambiente.
3. Adicionem, em cada garrafa, os elementos indicados no quadro a seguir. Utilizem a colher e o funil para adicionar o açúcar, e o copo medidor para adicionar a solução com o fermento.

garrafas	açúcar	solução com o fermento	água
1 e 5	2 colheres de sopa	100 mL	-
2 e 6	1 colher de sopa	100 mL	-
3 e 7	-	100 mL	-
4 e 8	2 colheres de sopa	-	100 mL

4. Após adicionar todos os componentes, agitem as garrafas, misturando e homogeneizando o conteúdo.
5. Acoplem um balão de festa à boca de cada garrafa, vedando firmemente com fita-crepe.
6. Com cuidado, despejem a água morna em uma das bandejas. Com um termômetro, verifiquem se a temperatura está entre 35 °C e 40 °C; se for necessário diminuir a temperatura, acrescentem um pouco de água em temperatura ambiente. Coloquem nessa bandeja as garrafas 1, 2, 3 e 4, de modo que as misturas dentro das garrafas fiquem submersas na água morna.
7. Na outra bandeja, adicionem o gelo e coloquem as garrafas 5, 6, 7 e 8, de modo que o conteúdo delas fique envolvido pelo gelo.
8. Respondam à questão 1.
9. Deixem as preparações em repouso por 40 minutos. Durante e após esse período, observem o experimento e registrem os resultados obtidos.

## Trocando ideias



1. Com base no conhecimento de vocês sobre fermentação, o que esperam que aconteça em cada garrafa?
2. O desenho experimental possibilita o teste de quatro hipóteses. Com base na montagem do experimento, indicada no quadro do item **Procedimento**, escreva quais hipóteses são essas.
3. Organizem os resultados observados em uma tabela que contenha o tipo de tratamento (garrafas de 1 a 8) e os resultados observados em cada uma.
4. Qual é o gás responsável pelo aumento do volume do(s) balão(ões)? Como esse aumento pode ser explicado?
5. Qual é a função do fermento (leveduras) nesse experimento? Qual(is) garrafa(s) corrobora(m) sua conclusão?
6. Qual é a função do açúcar nesse experimento? Qual(is) garrafa(s) corrobora(m) sua conclusão?
7. O que pode explicar a diferença no volume dos balões das garrafas 1 e 2?
8. A temperatura influenciou a taxa de fermentação? Que garrafas possibilitaram chegar a essa conclusão? Explique.

## Respiração celular

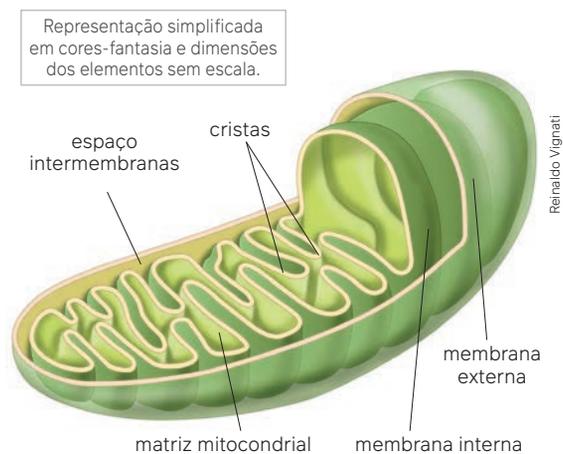
A **respiração celular** é um processo complexo de obtenção de energia que ocorre na presença de gás oxigênio. Ela é realizada pela maioria dos seres vivos, mas não por alguns organismos procariontes, como as bactérias anaeróbicas. O musgo e o ser humano são exemplos de organismos que realizam respiração celular. As principais etapas da respiração celular incluem: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. Como vimos, a glicólise ocorre no citosol. As outras duas etapas ocorrem na mitocôndria.

A membrana externa da mitocôndria é lisa e permite a passagem de moléculas pequenas. Já a membrana interna é mais seletiva à passagem de moléculas e apresenta cristas, que são dobramentos internos que aumentam a área superficial dessa membrana, aumentando, conseqüentemente, a produtividade da respiração celular.

Devido à presença dessas membranas, a mitocôndria apresenta dois compartimentos internos: o espaço intermembranas, localizado entre as membranas externa e interna, e a matriz mitocondrial, espaço envolto pela membrana interna.

As reações de oxidação do piruvato e do ciclo de Krebs ocorrem na matriz mitocondrial. É na membrana interna da mitocôndria que estão organizados o complexo proteico da cadeia de transporte de elétrons e a ATP sintase, requerida na etapa da fosforilação oxidativa.

A respiração celular é mais eficiente do que a fermentação, pois possibilita obter maior quantidade de energia na quebra das moléculas orgânicas. Ela ocorre em várias etapas e envolve a oxidação de moléculas orgânicas, como a glicose, para produzir ATP e outras moléculas necessárias para as funções celulares.



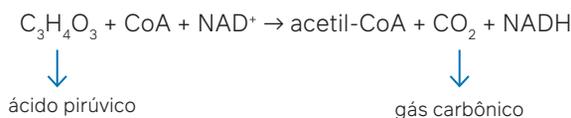
Representação esquemática de uma mitocôndria em corte. É possível observar as membranas e os compartimentos internos.

Fonte: SADAVA, D. *et al. Vida: Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 96.

## Ciclo de Krebs

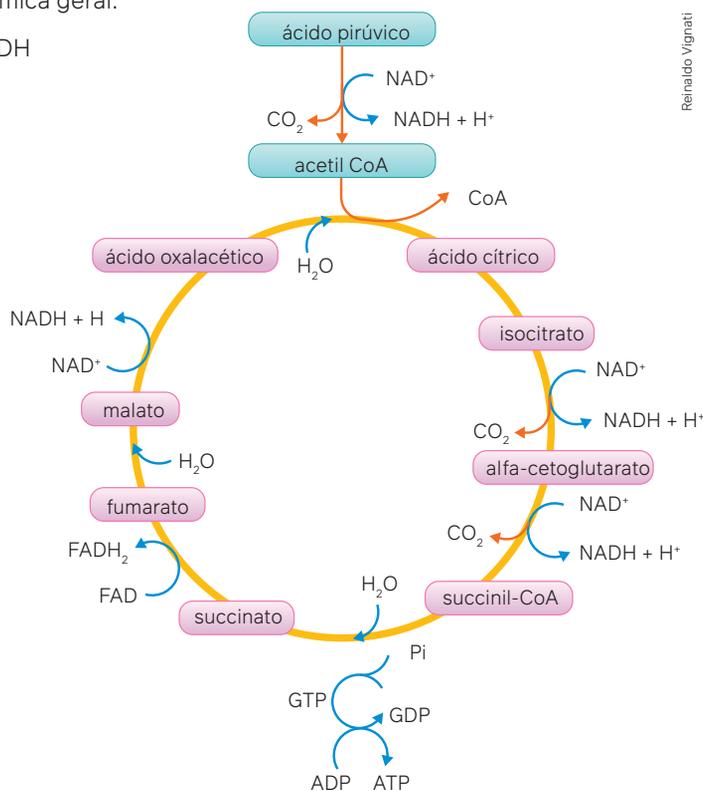
No Ciclo de Krebs (ou ciclo do ácido cítrico), a molécula de piruvato, produzida na glicólise, é degradada, produzindo ATP e outras moléculas energéticas. Esse ciclo pode ser explicado, resumidamente, da seguinte forma:

- Entrada de piruvato na matriz mitocondrial:** quando o piruvato entra na matriz mitocondrial, ele se combina com a coenzima A (CoA) e forma um composto denominado **acetil-CoA**, que é uma molécula mais reativa e carregada de energia. Durante essa conversão, o piruvato libera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e reduz uma molécula de  $\text{NAD}^+$ , gerando NADH. Analise a equação química geral.



- Ciclo de reações químicas:** após a transformação do piruvato em acetil-CoA, esse composto é utilizado para iniciar uma série de reações químicas em ciclo, sendo que cada volta completa resulta em:

- Liberação de duas moléculas de  $\text{CO}_2$  como subproduto da oxidação;
- Produção de NADH e  $\text{FADH}_2$ , coenzimas que transportam elétrons de alta energia. Durante um ciclo, são formados 3 NADH e 1  $\text{FADH}_2$ ;
- Produção de uma pequena quantidade de ATP (GTP, que pode ser convertida em ATP). A molécula de GTP também contém guanina em vez de adenina, e é capaz de fornecer energia a diversos processos celulares;
- No início e no final de cada ciclo, onde há entrada de acetil-CoA, há um composto denominado ácido oxalacético (oxalacetato). A reação química entre esses dois compostos forma uma molécula de ácido cítrico. No final do ciclo, o composto oxaloacetato é regenerado, permitindo que o ciclo continue repetidamente;



Esquema simplificado do Ciclo de Krebs, também conhecido como Ciclo do ácido cítrico.

Fonte: MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. *Bioquímica básica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015. p. 227.

- Os NADH e FADH<sub>2</sub> produzidos durante o ciclo, transferem elétrons para a cadeia de transporte de elétrons, a última etapa da respiração celular. Lá, esses elétrons passam por uma série de reações que conduzem à produção de uma grande quantidade de ATP.

## Fosforilação oxidativa

A **fosforilação oxidativa** é a última etapa da respiração celular, responsável pela geração da maior quantidade de ATP na respiração celular aeróbica. A maioria da ATP produzida nas células é gerada por meio desse processo.

A fosforilação oxidativa ocorre na membrana interna das mitocôndrias. Nessa membrana, encontra-se a **Cadeia Transportadora de Elétrons** (CTE). Essa cadeia é composta de uma série de complexos proteicos localizados na membrana dessa organela que, como diz o nome, transportam elétrons.

O nome dessa última etapa da respiração celular deriva de duas reações principais que ocorrem nesse momento: a **fosforilação**, quando grupos fosfatos são adicionados à ADP para formar ATP a partir da energia liberada na etapa oxidativa; e a **oxidativa**, que é quando ocorre a oxidação de coenzimas carregadas de elétrons, como o NADH e o FADH<sub>2</sub>.

O processo de fosforilação oxidativa pode ser resumido da seguinte maneira:

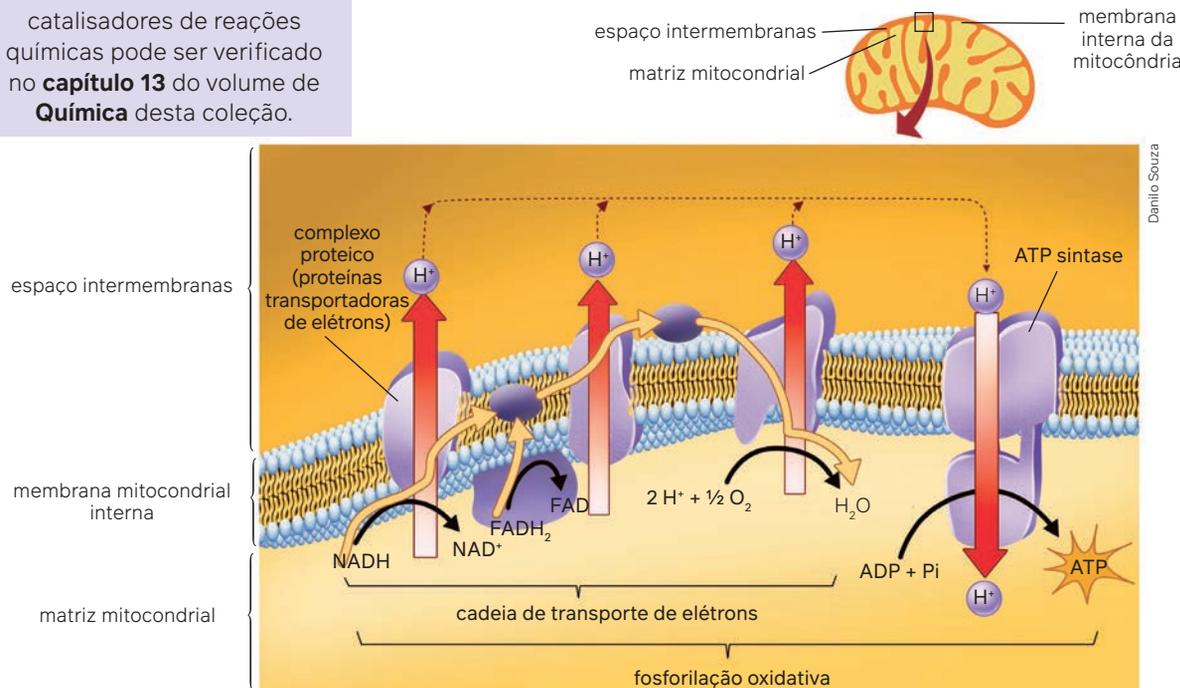
- as coenzimas NADH e FADH<sub>2</sub>, que foram geradas durante o Ciclo de Krebs e outras reações de oxidação, são transportadas até a CTE. Ao chegarem à cadeia, as coenzimas transferem seus elétrons pelos complexos proteicos.
- à medida que os elétrons passam pela CTE, eles liberam energia. Essa energia é usada para bombear prótons (H<sup>+</sup> – íons de hidrogênio) da matriz mitocondrial para o espaço intermembranas, criando um **gradiente de prótons** (ou gradiente protônico).
- o acúmulo de prótons criado no espaço intermembranas, agora maior do que a concentração de prótons na matriz mitocondrial, é uma forma de energia potencial armazenada, semelhante a uma bateria carregada.
- a energia do gradiente de prótons é utilizada para sintetizar ATP. Quem faz esse processo é a enzima transmembrana **ATP sintase**. Como a bicamada lipídica da membrana é impermeável à passagem de prótons, eles só conseguem retornar à matriz passando pela ATP sintase. Assim, essa enzima utiliza a energia gerada pelo fluxo de prótons que retornam para a matriz mitocondrial para catalisar a fosforilação da ADP e formar ATP.

A fosforilação oxidativa é altamente eficiente na geração de ATP, pois aproveita a energia liberada durante a transferência de elétrons. Analise no esquema a seguir:

### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre os catalisadores de reações químicas pode ser verificado no **capítulo 13** do volume de **Química** desta coleção.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

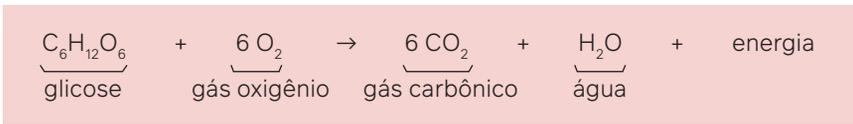


Representação esquemática da cadeia de transporte de elétrons e ATP sintase na mitocôndria.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 248.

O oxigênio (O<sub>2</sub>) atua comoceptor final de elétrons na CTE, formando água, o que é fundamental para manter o fluxo de elétrons. Isso evita a acumulação de prótons na matriz mitocondrial, mantendo o ciclo de prótons fluindo e a produção contínua de ATP.

Veja a seguir a equação química geral da respiração celular.



Ao final de todo o processo da **respiração celular aeróbica**, a glicose é completamente oxidada e tem um alto rendimento energético de 38 ATPs por molécula de glicose. Desses, 34 ATPs têm origem na cadeia respiratória, os demais têm origem na glicólise (saldo positivo de 2 ATPs) e no Ciclo de Krebs (2 ATPs).

## Atividades propostas



1. Durante atividade física de alta intensidade, nosso corpo necessita de mais energia e responde de várias formas. A frequência respiratória aumenta porque necessitamos de mais oxigênio para a respiração celular; aumentam também os batimentos cardíacos, pois é o sangue que transporta oxigênio para as células. Com a maior quantidade de ATP, ocorre a liberação de energia térmica e, conseqüentemente, o aumento da temperatura corporal.
  - a) O processo de respiração celular pode ser dividido em três fases. Elabore um quadro destacando quais são essas fases, a sequência em que ocorrem, em que locais da célula elas ocorrem e qual é o saldo de ATP por molécula de glicose em cada etapa.
  - b) Por que a fosforização oxidativa pode ser considerada um processo fundamental para a produção de ATP nas células? Como ela se relaciona com o Ciclo de Krebs?

## Fotossíntese

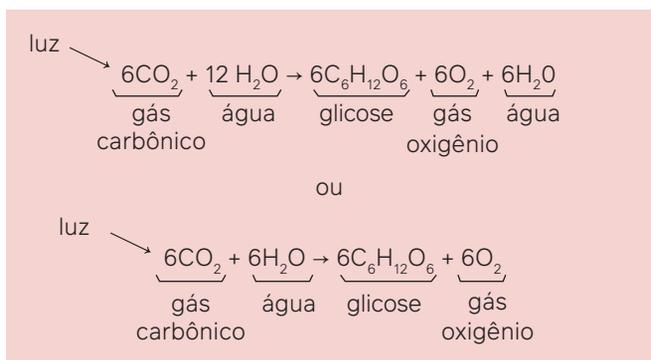
A **fotossíntese** é um processo metabólico realizado por organismos que transformam a energia luminosa do sol em energia química, na forma de ATP, armazenando-a em moléculas orgânicas, como a glicose, e liberando oxigênio como subproduto.

Os principais grupos de organismos que realizam fotossíntese são: a maioria das plantas, as algas (tanto aquáticas quanto terrestres) e as bactérias fotossintetizantes (cianobactérias, bactérias fotossintetizantes púrpuras e verdes). Esses organismos são reconhecidos tanto pelo seu papel fundamental na produção de matéria orgânica, base da cadeia alimentar, como pela liberação de oxigênio, essencial para a vida na Terra.

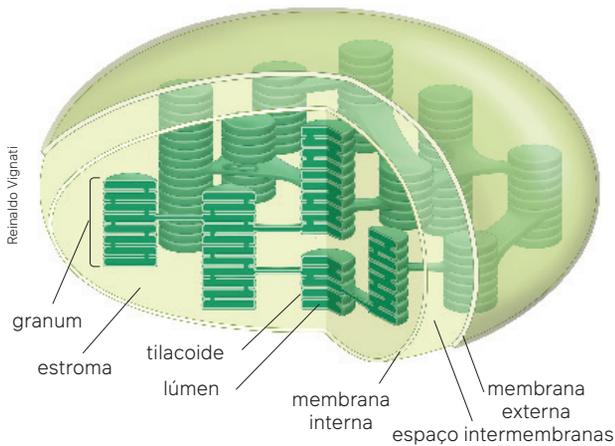
### Se liga

Os organismos autótrofos produzem matéria orgânica (glicose) por meio da fotossíntese, mas também realizam a quebra da glicose para obtenção de energia, podendo esta ser realizada por respiração celular ou por fermentação.

Na fotossíntese, a partir de gás carbônico e água (reagentes) e da presença de luz, formam-se açúcares – como a glicose –, gás oxigênio e água (produtos). Veja a equação geral da fotossíntese:



## Fotossíntese em eucariontes



Representação esquemática de um cloroplasto mostrando sua organização interna.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 111.

A fotossíntese em eucariontes ocorre dentro dos **cloroplastos**, organelas especializadas presentes em algas e plantas.

Os cloroplastos possuem uma membrana externa e uma membrana interna, que envolvem um fluido denso chamado **estroma**. No estroma, um terceiro sistema de membranas forma dobras na forma de sacos, os **tilacoides**. Cada tilacoide é uma estrutura membranosa achatada, composta principalmente de uma membrana lipídica que contém proteínas. O interior do tilacoide é chamado **lúmen**.

Os tilacoides geralmente formam pilhas chamados de **grana**. Essas pilhas de tilacoides fornecem uma grande área de superfície para a realização das reações de fotossíntese.

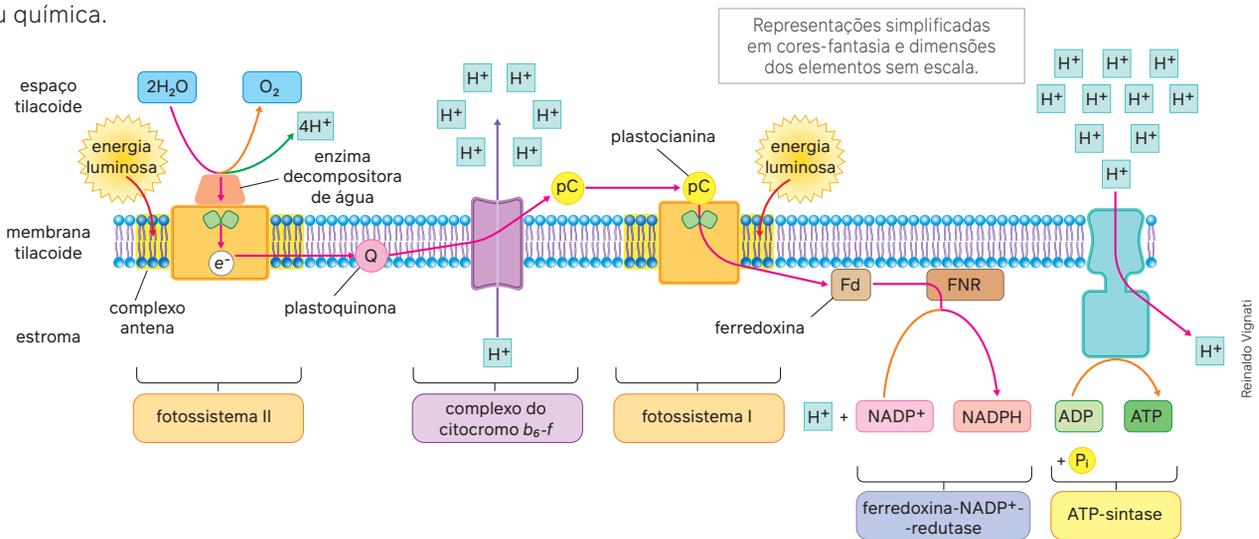
A fotossíntese é um processo complexo que pode ser dividido em duas fases principais: a **fase luminosa** (ou fotoquímica) e a **fase escura** (ou Ciclo de Calvin). A seguir são detalhadas essas etapas.

## Fase luminosa ou fotoquímica

A primeira fase da fotossíntese se inicia pela **captação de luz** pelos pigmentos fotossintéticos situados em complexos multiproteicos conhecidos como fotossistemas e que estão localizados na membrana dos tilacoides. Cada fotossistema é formado por um conjunto de complexos antena, que captam a energia luminosa, e um centro de reação, que transforma a energia luminosa em energia química. Em cada complexo antena, centenas de moléculas de clorofila estão dispostas de forma que a energia luminosa captada por uma molécula de clorofila possa ser transferida para uma molécula de clorofila adjacente até chegar a um par de clorofilas *a* no centro de reação do fotossistema.

A clorofila *a*, principal pigmento na captação da luz, passa do estado básico para o estado excitado e dá início a uma cascata de **fotofosforilações**. Nesse processo, os elétrons de algumas dessas moléculas vão sendo excitados e carregados por proteínas transportadoras de elétrons pela membrana tilacoidal. Durante a passagem de elétrons, os prótons (íons  $H^+$ ) são bombeados do estroma para o interior do tilacoide, o que cria um gradiente de prótons através da membrana tilacoidal.

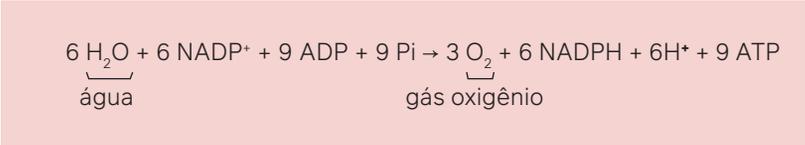
O gradiente de prótons gerado participa da síntese de ATP a partir de adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico ( $P_i$ ), de forma muito similar ao que foi descrito na etapa de fosforilação oxidativa da respiração celular, mas na presença de luz, por isso, aqui é chamado de fotofosforilação. Também são geradas moléculas de NADPH a partir do  $NADP^+$ . Tanto a ATP quanto o NADPH serão utilizados na fase seguinte da fotossíntese, a fase escura, ou química.



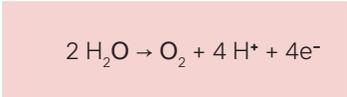
Representação esquemática da cadeia de transporte de elétrons e da ATP sintase no cloroplasto.

Fonte: ALBERTS, B. *et al. Biologia molecular da célula*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 793.

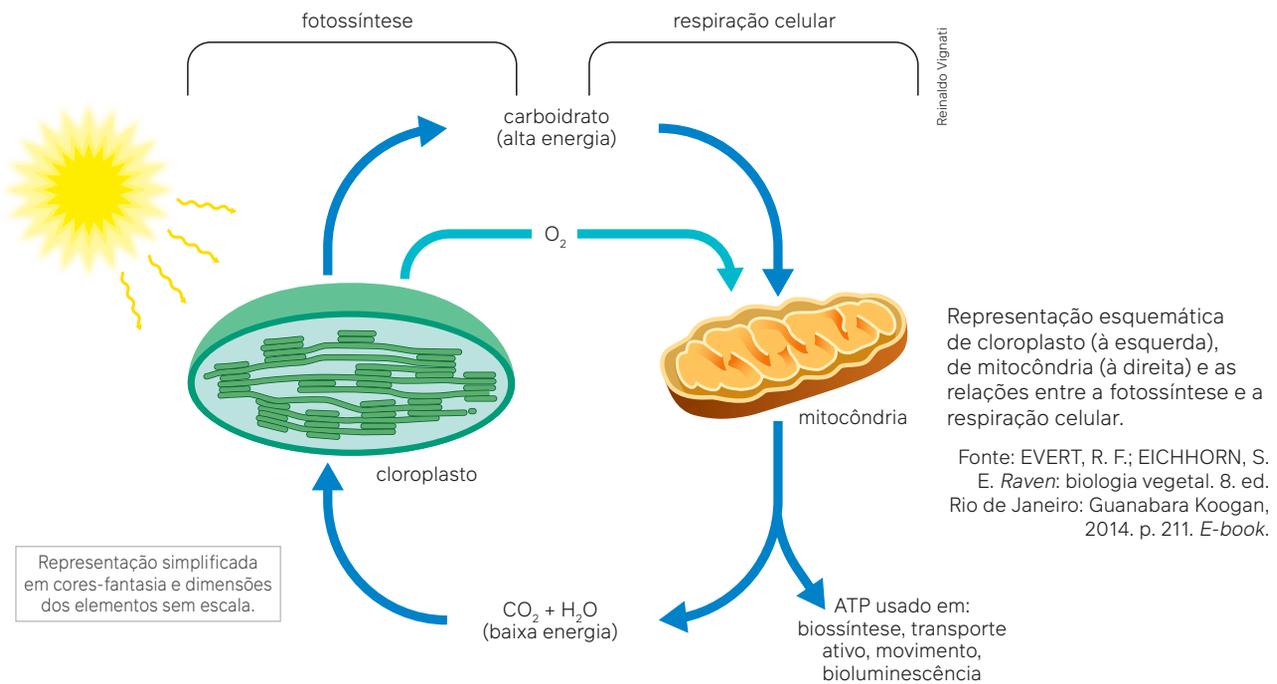
Analise a seguir a equação geral da fase fotoquímica da fotossíntese.



Durante essa etapa, ocorre, ainda, a fotólise da água nos tilacoides, separando o hidrogênio e liberando gás oxigênio (O<sub>2</sub>) como subproduto. Acoplado à fotofosforilação, essa reação quebra moléculas de água em dois prótons (H<sup>+</sup>), um átomo de oxigênio (O) e dois elétrons, recuperados pela clorofila. Veja a equação da fotólise da água:



Esse é um dos processos que fornece gás oxigênio para a atmosfera. O gás oxigênio liberado pela fotossíntese para o ambiente é utilizado no processo de respiração celular. O esquema a seguir ilustra esse processo.



## Fase escura ou ciclo de Calvin

A fase escura da fotossíntese ocorre no **estroma** do cloroplasto, fora das membranas dos tilacoides. É nessa fase que ocorre a fixação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) capturado da atmosfera e a síntese de compostos orgânicos, como a glicose.

A fase escura depende da energia e dos cofatores químicos (ATP e NADPH) produzidos na fase luminosa da fotossíntese.

De forma geral, podemos resumir a fase escura da fotossíntese nas seguintes etapas:

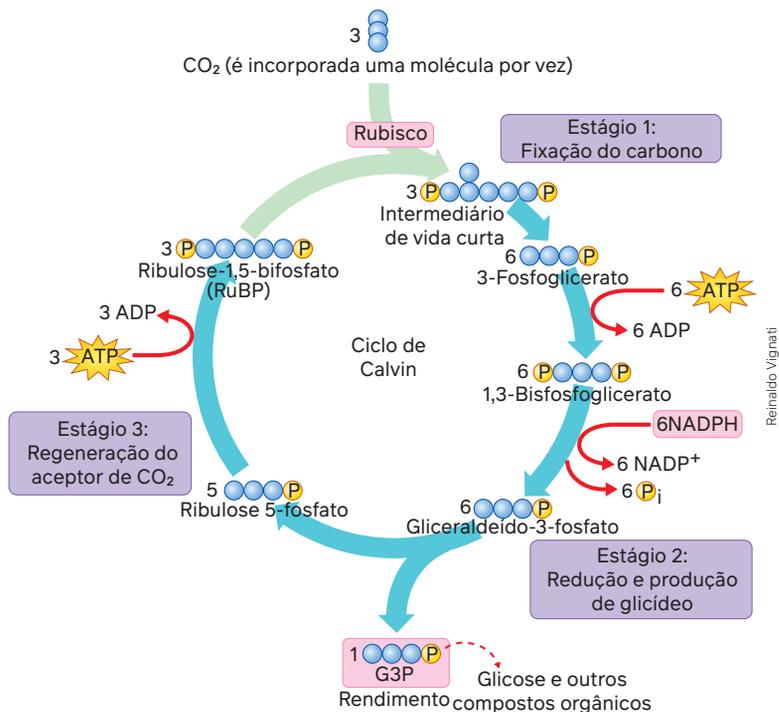
- O CO<sub>2</sub> atmosférico é captado e ligado (fixado) a um composto de cinco carbonos, chamado ribulose 1,5-bisfosfato, para produzir duas moléculas de um composto de três carbonos, o 3-fosfoglicerato (3-PGA). Essa reação de fixação de carbono é catalisada por uma enzima denominada ribulose-bisfosfato-carboxilase ou rubisco.
- A ATP e o NADPH produzidos na fase luminosa são utilizados para reduzir o 3-PGA em uma série de reações químicas e formar o gliceraldeído-3-fosfato (G3P), que é uma molécula de três carbonos. Parte do G3P é usada para regenerar o RuBP, essencial para continuar o Ciclo de Calvin. Isso garante que o ciclo possa continuar a fixação de CO<sub>2</sub> de forma contínua. Outra parte do G3P é utilizada na síntese de compostos orgânicos, como glicose, frutose, sacarose e amido.

Uma parte do G3P é direcionada para a síntese de moléculas de glicose e outros açúcares, que são considerados **carboidratos complexos**. Esses açúcares podem ser utilizados imediatamente como fonte de energia pela planta ou armazenados como amido para uso posterior. Além disso, os carboidratos também podem ser utilizados na síntese de outras moléculas orgânicas, como lipídios e aminoácidos.

## Fotossíntese em bactérias

Há dois tipos principais de fotossíntese bacteriana. Algumas bactérias, como as cianobactérias, realizam a fotossíntese **oxigênica**, semelhante à das plantas, usando pigmentos fotossintéticos para capturar a energia solar e gerar ATP e NADPH, utilizados na produção de moléculas orgânicas.

Outras bactérias, como as bactérias púrpuras e verdes do enxofre, realizam a fotossíntese **anoxigênica**, capturando a energia solar por meio de pigmentos bacterianos específicos, como a bacterioclorofila. Em vez de usar água, como na fotossíntese oxigênica, essas bactérias utilizam moléculas inorgânicas, como o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), como doadores de elétrons na produção de moléculas orgânicas, sem liberar gás oxigênio.



Esquema representando o Ciclo de Calvin.

Fonte: REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 200.

## Ciência por fora

### Fotossíntese artificial

Imagine um frasco de água onde está mergulhada uma placa de metal revestida com um material sintetizado em laboratório, que produz e armazena energia na forma do gás hidrogênio simplesmente por estar ao sol. “Estamos pensando num mundo em que a água seria o combustível”, diz o químico Jackson Megiatto, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Esse aparato ainda não é realidade em grande escala, mas de acordo com o pesquisador já não é ficção científica. “Um corpo de conhecimento vem sendo construído para obter energia a partir do sol e água em um futuro próximo.” O hidrogênio é uma fonte energética importante, porque além de eficiente ele não gera poluentes quando usado como combustível. Produzi-lo, porém, tem sido um grande desafio. [...] a solução do problema: reproduzir em laboratório a reação de quebra de moléculas de água promovida por energia solar.

As plantas, as algas e algumas bactérias têm a capacidade única de produzir energia a partir de água e luz solar, e conseguem isso graças a um mesmo processo: a fotossíntese, que envolve moléculas complexas e reações químicas [...]. Quando ativadas pela luz solar, essas moléculas naturais são capazes de decompor a molécula da água,  $H_2O$ , uma das mais estáveis na natureza, em seus constituintes oxigênio e hidrogênio. [...]

GUIMARÃES, M. Fotossíntese artificial. *Revista Pesquisa FAPESP*, ed. 217, São Paulo, mar. 2014. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/fotossintese-artificial-2/>. Acesso em: 8 fev. 2024.

# USP de São Carlos aposta em fotossíntese artificial para gerar combustível renovável

## Crise energética faz nascer o “Hidrogênio Verde”

Em aproximadamente quarenta a sessenta anos, as reservas naturais conhecidas de combustíveis fósseis poderão ficar inviáveis para extração, uma questão que não é nova, já que ela vem sendo discutida há várias décadas. A procura crescente – mas lenta – por combustíveis alternativos e limpos tornou-se, recentemente, uma pauta quase emergencial.

Em causa está não só a preocupação pela escassez desse combustível, extraído principalmente através dos lençóis petrolíferos, como também a agressão constante ao meio ambiente com sua queima, conforme salienta o docente e pesquisador do Grupo de Nanomateriais e Cerâmicas Avançadas do IFSC/USP, Prof. Renato Vitalino Gonçalves. “De fato, a perspectiva é que as reduções das reservas de petróleo no mundo irão acontecer a cada década, o que abre a porta para a introdução de combustíveis renováveis, uma ação que irá combater e certamente atenuar os desequilíbrios ambientais que estamos sofrendo, por exemplo, com as temperaturas atingirem valores nunca antes vistos devido à emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal ator na emissão de gases que provocam o chamado “efeito estufa”. [...]

[...] Aí, surgiu a hipótese de se desenvolver e utilizar o designado “hidrogênio verde”. “Os carros elétricos vieram para ficar, o que consubstancia o movimento global para substituir os combustíveis fósseis. Depois de se terem observado as limitações resultantes da utilização de baterias nos veículos automóveis, a ideia de se utilizarem células de combustível de hidrogênio ganhou força [...]. Ao invés da bateria, os carros que hoje são movidos a hidrogênio, em lugar dos habituais tanques de combustível apresentam uma célula, existindo complementarmente um tanque de hidrogênio cujo manuseio é altamente seguro. [...]

Contudo, [...] cerca de 95% do hidrogênio gerado vem de fontes fósseis, o que redireciona o problema para o estado inicial, [...].

## “Hidrogênio verde” – Fotossíntese artificial em laboratório

[...]

“Esta metodologia foi descoberta há precisamente quarenta anos [...]. Semicondutores, como óxido de ferro, óxido de titânio e outros, são materiais abundantes, principalmente no Brasil, onde existem grandes reservas. Esses semicondutores absorvem a luz solar e por isso geram elétrons em suas estruturas. Esses elétrons, em contato com a molécula da água, dependendo das condições ideais, podem quebrá-la, dividindo-a em hidrogênio e oxigênio. Resumidamente, tenho apenas água, o semicondutor [...] e a luz solar, que no laboratório é artificial”, explica Renato Gonçalves.

Sucintamente e como mero exemplo, se colocarmos numa garrafa PET esse semicondutor, em pó, mergulhado em água e sob a luz do sol natural, consegue-se gerar “hidrogênio verde”. “Este trabalho que faço no laboratório designa-se de fotossíntese artificial, onde procuramos entender e estudar os materiais baratos que se encontram na Natureza, utilizando-os para quebrar a molécula da água, sem que haja energia externa”, conclui o pesquisador. [...]

SINTRA, R. USP de São Carlos aposta em fotossíntese artificial para gerar combustível renovável.

Portal USP de São Carlos, São Paulo, 6 set. 2022. Disponível em: <http://www.saocarlos.usp.br/usp-de-sao-carlos-aposta-em-fotossintese-artificial-para-gerar-combustivel-renovavel/>. Acesso em: 8 abr. 2024.

## Trocando ideias



Leia os textos com atenção e responda às questões a seguir.

1. De uma forma geral, que paralelos, do ponto de vista bioquímico, podem ser feitos entre a fotossíntese natural e a fotossíntese artificial?
2. Qual é a principal diferença entre os produtos da fotossíntese natural e da fotossíntese artificial?
3. Por que o “hidrogênio verde”, proveniente da fotossíntese artificial, pode ser considerado um combustível “limpo”? Explique.
4. Os textos apontam dois problemas principais enfrentados pela humanidade que poderiam ser mitigados com o uso da fotossíntese artificial. Que problemas são esses? Como essa tecnologia poderia contribuir para atenuar esses problemas?

# Quimiossíntese

Alguns organismos autótrofos, como as bactérias e arqueas, utilizam vias metabólicas específicas para a produção de matéria orgânica – a quimiossíntese. A quimiossíntese é um processo metabólico que utiliza substâncias químicas inorgânicas, como compostos de enxofre ou de ferro, para converter fontes de carbono (como o dióxido de carbono –  $\text{CO}_2$ ) em moléculas orgânicas, como glicose, em vez de usar a luz solar.

A quimiossíntese é uma estratégia de obtenção de energia que permite a sobrevivência de organismos em ambientes onde a luz solar não está disponível, como em ambientes aquáticos profundos. A quimiossíntese pode variar conforme os organismos e os ambientes em que ela ocorre, mas as fases básicas são:

- 1. Obtenção de energia química:** a primeira fase da quimiossíntese envolve a obtenção de energia química de compostos inorgânicos. Os organismos que realizam a quimiossíntese usam reações químicas específicas para oxidar compostos de enxofre ou ferro, liberando energia e doando elétrons para as reações redox subsequentes.
- 2. Produção de ATP:** os elétrons liberados durante as reações químicas são transferidos por meio de uma cadeia transportadora de elétrons na membrana celular, gerando um gradiente de prótons, semelhante ao processo na fotossíntese. Esse gradiente é usado para produzir ATP.
- 3. Fixação de carbono:** com a energia armazenada na ATP, os organismos que realizam a quimiossíntese fixam o carbono inorgânico em compostos orgânicos, como a glicose. A fixação do carbono pode ocorrer por meio de vias metabólicas específicas, que variam conforme o organismo.
- 4. Síntese de compostos orgânicos:** com o carbono fixado e a energia da ATP disponível, os organismos sintetizam compostos orgânicos, como carboidratos e outros nutrientes. Esses compostos orgânicos podem ser usados como fonte de alimento e energia para os próprios organismos que realizam a quimiossíntese, bem como para outros organismos que dependem deles na cadeia alimentar.

Alguns exemplos de organismos quimiossintetizantes são as nitrobactérias, as sulfobactérias, as ferrobactérias e as arqueas metanogênicas.

## Atividades propostas



- 1.** O cipó-chumbo (*Cuscuta racemosa*), nativo do Cerrado e da Mata Atlântica, conhecido também como fios-de-ovos, não possui clorofila, pigmento essencial na fotossíntese. Em duplas, elaborem uma hipótese para explicar como tal planta sobrevive, tendo em vista essas características. Discutam sobre a plausibilidade da hipótese elaborada com outras duplas. Em seguida, pesquisem como é o metabolismo dessa e de outras plantas aclorofiladas.



ISBEL DIAS/Shutterstock.com

*Cuscuta racemosa*, planta aclorofilada de cor amarela, sem folhas.

2. Nos ecossistemas, organismos foto e quimiossintetizantes são chamados de produtores, pois são capazes de produzir compostos orgânicos a partir de substâncias inorgânicas. Elabore um quadro informativo comparativo sobre a fotossíntese e a quimiossíntese, destacando: produtos originais, produtos finais, onde ocorre, organismos que realizam cada processo, as etapas envolvidas, a fonte de energia utilizada e os produtos gerados. Em seguida, em duplas, criem um conteúdo que simule uma batalha de *rap* (duelo de MCs) utilizando os conceitos e as informações-chave sobre fotossíntese e quimiossíntese construídos no quadro. As duplas que se sentirem à vontade podem apresentar para a turma.

## Recapitule



Este capítulo abordou a glicólise como o processo de quebra da glicose em piruvato, essencial tanto para a fermentação quanto para a respiração celular. Explorou diferentes tipos de fermentação e suas aplicações, destacando sua importância em condições de baixo oxigênio. Também foram analisadas as etapas da respiração celular, incluindo glicólise, Ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa, e como elas contribuem para a produção de ATP e liberação de  $\text{CO}_2$ . Os últimos tópicos abordaram a fotossíntese, seu mecanismo, transporte de elétrons e produção de ATP e NADPH e a quimiossíntese em organismos que obtêm energia de compostos inorgânicos na ausência de luz solar.

Que tal elaborar um mapa mental para visualizar e revisar esses conceitos de forma organizada e interconectada? Os termos mínimos para o mapa mental são: metabolismo, glicólise, fermentação, respiração celular, Ciclo de Krebs, fotossíntese e quimiossíntese.

## Planeje e resolva



### Microrganismos: parceiros de vida

Você sabia que o corpo humano é habitado por uma imensa quantidade de microrganismos que vivem em zonas específicas e formam diferentes microbiotas? A mais estudada e conhecida delas é a microbiota intestinal, mas você conhece as outras? Sabe como elas são formadas? Como elas afetam o funcionamento do organismo e podem ser essenciais para a manutenção da sua saúde física e mental?

Iniciamos a vida com uma pequena herança de microrganismos de nossas mães. Com o tempo, por meio da interação com o ambiente e outras pessoas, adquirimos outros microrganismos. Assim, a microbiota de um adulto preserva lembranças dos antepassados, mas também de passeios, das viagens, dos lugares onde costumavam e costumam viver, dos ambientes que frequentamos, do contato com outros seres humanos.

A comunidade científica tem aprofundado os estudos sobre as relações entre seres humanos e microrganismos. Em 2019, dados de uma pesquisa publicados na revista científica *Science* sobre a microbiota das sociedades humanas atuais, apontam que, década após década, em países industrializados, principalmente aqueles onde há uma forte preocupação com a higiene e a industrialização da alimentação, a microbiota das populações também está empobrecendo.

Em contrapartida, a pesquisa conduzida por Jose C. Clemente e colaboradores, e publicada na revista *Science Advances*, em 2015, demonstrou que grupos indígenas isolados Yanomami abrigam um microbioma, isto é, o conjunto de genes presente na microbiota intestinal, com a maior diversidade de bactérias e funções genéticas já relatadas em um grupo humano. Surpreende?

### Agora é com você!

Considerando que o estilo de vida industrializado tem impactado negativamente nas interações entre seres humanos e microrganismos, como você pode melhorar a microbiota que vive no corpo das pessoas de sua comunidade? Como podemos preservar os simbioses benéficos e promover a saúde?

Em grupo, reflitam sobre a situação-problema e planejem uma forma de solucioná-la. Submetam suas ideias à avaliação do professor e dos grupos para coleta de sugestões de melhoria. Em seguida, confeccionem e divulguem a solução de vocês para a comunidade por meio de um vídeo.



1. (UNEMAT – 2023) A definição da vida para a biologia é algo inconcluso até o momento. Porém, é consenso que existem características comuns aos seres vivos.

Analise as afirmativas a seguir, de modo a identificar as verdadeiras e as falsas sobre as características inerentes aos seres vivos.

- I. Todo ser vivo possui célula, sendo elas procariontes ou eucariontes.
- II. O metabolismo compreende as atividades de transformação química que ocorrem no interior celular.
- III. Os vírus, como HIV e Herpes, são considerados seres vivos por possuírem membrana plasmática e ácido nucleico.
- IV. Os seres vivos apresentam semelhança química comum, sendo os principais elementos o carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre.
- V. Todo organismo unicelular é procarionte.

Com base na análise, assinale a alternativa que apresenta apenas afirmações corretas.

- a) I, II e IV estão corretas.
  - b) III, IV e V estão corretas.
  - c) II, III e IV estão corretas.
  - d) I, II e III estão corretas.
  - e) Todas as afirmações estão corretas.
2. (UPF – 2023) Os sais minerais são nutrientes muito importantes para o organismo humano, pois desempenham funções estruturais e fisiológicas. No quadro abaixo, associe corretamente os minerais listados na primeira coluna às suas principais funções, listadas na segunda coluna.

<b>1. Sódio</b>	( ) Formação da hemoglobina, responsável pelo transporte de oxigênio no sangue, e da mioglobina, responsável pelo armazenamento de oxigênio nos músculos.
<b>2. Fósforo</b>	( ) Formação dos ossos e dentes; coagulação sanguínea; controle da permeabilidade da membrana celular.
<b>3. Cálcio</b>	( ) Composição de diversas enzimas; funcionamento do sistema imunológico.
<b>4. Ferro</b>	( ) Composição dos ácidos nucleicos e da principal molécula energética das células, a ATP.
<b>5. Zinco</b>	( ) Regulação do balanço hídrico do organismo; funcionamento normal de nervos e músculos.

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

- a) 2, 3, 1, 4, 5.
- b) 3, 4, 1, 5, 2.
- c) 4, 3, 5, 2, 1.
- d) 5, 2, 4, 1, 3.
- e) 1, 5, 3, 2, 4.

3. (Uece – 2022) No que diz respeito às substâncias da célula, escreva V ou F conforme seja verdadeiro ou falso o que se afirma nos itens abaixo.

- ( ) Os lipídios, conhecidos popularmente como gorduras, são substâncias insolúveis em solventes orgânicos e solúveis em água.
- ( ) Os aminoácidos se combinam de diversas formas para formar as proteínas.
- ( ) Proteínas simples são formadas por cadeias de aminoácidos ligadas a grupos prostéticos.
- ( ) Os carboidratos, também chamados de açúcares, são uma importante fonte de energia para as células.

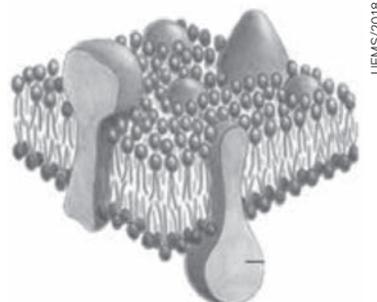
Está correta, de cima para baixo, a seguinte sequência:

- a) F, V, F, V.
  - b) V, V, V, F.
  - c) V, F, V, F.
  - d) F, F, F, V.
4. (UFMS – 2018) Leia o texto a seguir.

“A membrana plasmática é um componente essencial que constitui as células. Desempenha funções importantes, como revestimento e proteção, sendo uma barreira, auxiliando na sinalização celular ao dar suporte físico para a interação entre diversas moléculas que nela se encontram, como hormônios, neurotransmissores e fatores de crescimento provenientes do meio extracelular, além de participar dos processos de endocitose e de exocitose. Ao longo da História, diversos modelos foram criados para representar sua estrutura e composição química. Em 1972, Singer e Nicholson propuseram um modelo de membrana celular, o qual se tornou o modelo mais aceito até os dias de hoje, chamado de modelo do mosaico fluido.”

ALBERTS, Bruce *et al.* Estrutura da Membrana. In: ALBERTS, Bruce. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Figura 1.



Representação gráfica mostrando a visão tridimensional da membrana celular.

A respeito do modelo de mosaico fluido, assinale a alternativa que descreve corretamente as suas características e quais seriam os principais componentes da membrana plasmática.

- a) Estrutura impermeável; distribuição específica de proteínas ao longo de sua extensão, sem contatos moleculares permanentes, que permitem o baixo reconhecimento e adesão entre si e com componentes da matriz extracelular, além de poucos componentes estruturais, conferindo dessa forma baixo dinamismo da membrana, sendo composta por uma bicamada de carboidratos e colesterol.
- b) Permeabilidade seletiva; distribuição aleatória de proteínas ao longo de sua extensão; contatos moleculares quase permanentes que permitem o reconhecimento e adesão entre si e com componentes da matriz extracelular, sendo composta por uma bicamada majoritariamente de fosfolípidios, além de colesterol, glicolípídios, proteínas e glicídios.
- c) É uma estrutura impermeável, possuindo uma distribuição específica de proteínas ao longo de sua extensão, contatos moleculares permanentes que permitem o reconhecimento e forte adesão entre si e com componentes da matriz extracelular, sendo composta por uma bicamada de proteínas.
- d) Possuindo uma distribuição específica de proteínas ao longo de sua extensão, sem contatos moleculares permanentes, que permitem o baixo reconhecimento e adesão entre si e com componentes da matriz extracelular; é composta por uma única camada majoritariamente de fosfolípidios e glicoproteínas.
- e) Estrutura com permeabilidade pouco seletiva; distribuição específica de proteínas ao longo de sua extensão; contatos moleculares permanentes que permitem o reconhecimento e adesão entre si e com componentes da matriz extracelular, sendo composta por uma bicamada fosfolípídica, revestida em sua totalidade por uma camada proteica, havendo poros que permitem a passagem de substâncias através da membrana.

5. (IFCE – 2019) A Biologia é a ciência responsável por estudar a vida. Nesse sentido, a constituição celular surge como característica básica dos seres vivos. Conhecer as células e diferenciar os tipos celulares é importante para entender como os seres vivos se desenvolveram e evoluíram no planeta. As bactérias, por exemplo, são constituídas por células procarióticas, enquanto os fungos são formados por células eucarióticas. São elementos presentes em células procarióticas:

- a) citoesqueleto, DNA, RNA e carioteca.
- b) ribossomos, RNA, mitocôndria e núcleo.

- c) membrana plasmática, citoplasma, DNA e ribossomos.
- d) membrana plasmática, membrana nuclear, DNA e citoplasma.

6. (UFMS – 2024) Observe o quadro a seguir:

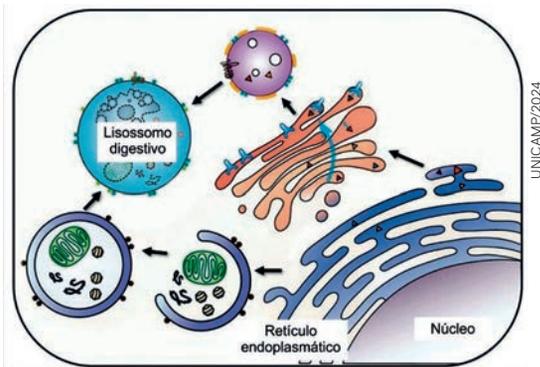
Componente celular	Estrutura	Função
Ribossomo	Duas subunidades feitas de RNA ribossomial e proteínas	I
II	Pilhas de sacos membranosos achatados	Modificação de proteínas, carboidratos nas proteínas e fosfolípidios
III	Sacos membranosos de enzimas hidrolíticas em animais	Quebra de substâncias ingeridas, macromoléculas celulares e danificadas para reciclagem
IV	Estrutura ligada a membrana	Digestão, armazenamento, coleta de detritos, equilíbrio de água, crescimento celular e proteção
Mitocôndria	Ligada por membrana dupla; membrana interna tem dobramentos	V
Cloroplasto	Contém tilacoides membranosos empilhados em grana	Fotossíntese

Com base nas informações do quadro, podemos constatar que em I, II, III, e IV temos, respectivamente:

- a) I – Armazenamento; II – Núcleo; III – Aparelho de Golgi; IV – Vacúolo; V – Troca gasosa.
- b) I – Respiração celular; II – Lisossomo; III – Aparelho de Golgi; IV – Núcleo; V – Digestão.
- c) I – Lise da célula; II – Retículo endoplasmático; III – Núcleo; IV – Lisossomo; V – Respiração celular.
- d) I – Síntese de lipídeos; II – Vacúolo; III – Retículo endoplasmático; IV – Peroxissomo; V – Digestão.
- e) I – Síntese proteica; II – Aparelho de Golgi; III – Lisossomo; IV – Vacúolo; V – Respiração celular.

7. (Unicamp – 2024) Os lisossomos são organelas centrais que desempenham funções importantes para a homeostase celular. Assinale a alternativa que descreve corretamente a função dos lisossomos representada na figura a seguir.

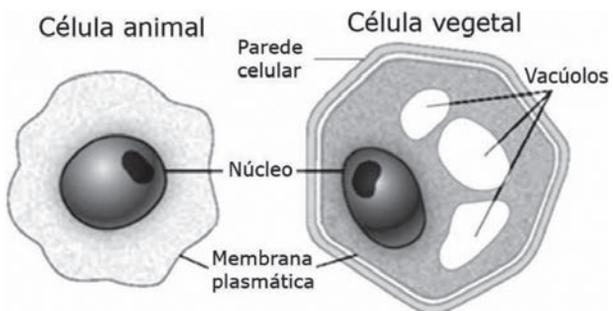
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



YANG, Chonglin; WANG, Xiaochen. Lysosome biogenesis: Regulation and functions. *Journal of Cell Biology*, Nova York, v. 220, n. 6, e202102001, 2021. Adaptado.

- a) Heterofagia por pinocitose, o que permite à célula degradar fragmentos de microrganismos, fragmentos esses importantes na apresentação de antígenos.
- b) Autofagia, que permite à célula empacotar, modificar e exportar proteínas sintetizadas no lúmen das cisternas do retículo endoplasmático.
- c) Autofagia, que permite à célula eliminar porções envelhecidas ou danificadas do citoplasma, incluindo organelas e moléculas.
- d) Heterofagia por fagocitose, o que permite à célula capturar macromoléculas, utilizando-as nas diferentes vias biossintéticas.
8. (UEPG – 2021) Baseando-se na figura abaixo, que mostra esquemas de células animal e vegetal na concepção dos citologistas do século XIX, e no conhecimento celular atual, assinale o que for correto.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



MARTHO, Gilberto Rodrigues; AMABIS, José Mariano. *Biologia Moderna*. São Paulo: Moderna, 2016. Adaptado.

- 01) Ambas as células representadas são eucarióticas, visto que, entre outras características, apresentam núcleo delimitado pela carioteca.
- 02) O DNA presente no interior do núcleo de ambas as células representadas se encontra associado às proteínas histonas.
- 04) As células animal e vegetal têm em comum as seguintes organelas: complexo golgiano, parede celular, vacúolos, mitocôndria e cloroplasto.
- 08) O citoesqueleto é encontrado no citosol das células animal e vegetal formando um complexo estrutural de túbulos e filamentos proteicos

9. (FMC – 2023) Analise as afirmativas abaixo, relativas às células eucarióticas e procarióticas:
- I. Nas células eucarióticas, existem compartimentos específicos para a realização de funções, como digestão e armazenamento de substâncias.
- II. Nas células eucarióticas, as moléculas de DNA linear são encontradas apenas no núcleo.
- III. Nas células procarióticas, o citoesqueleto ajuda a manter a forma da célula e auxilia nos movimentos celulares.
- IV. Em células procarióticas, encontra-se, além do DNA nuclear, o DNA mitocondrial.
- V. As células eucarióticas podem ter ou não o fuso mitótico formado com a presença de pares de centríolos.

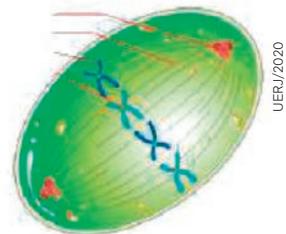
Estão corretas apenas as afirmativas:

- a) I, II e III      c) III, IV e V      e) I, IV e V  
b) II, III e IV      d) I, II e V

10. (UERJ – 2020) Os microtúbulos, produzidos pelos centríolos, costumam ser comparados a trilhos, já que é por meio deles que o material genético se desloca durante a divisão celular. A imagem abaixo ilustra essas estruturas.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

centríolos  
microtúbulos  
material genético  
centrômero



Durante o processo de divisão mitótica, os microtúbulos são responsáveis pelo processo de:

- a) espiralização do DNA.
- b) ecombinação dos alelos.
- c) duplicação das cromátides.
- d) organização dos cromossomos.

11. (ENEM – 2021) Uma informação genética (um fragmento de DNA) pode ser inserida numa outra molécula de DNA diferente, como em vetores de clonagem molecular, que são os responsáveis por transportar o fragmento de DNA para dentro de uma célula hospedeira. Por essa biotecnologia, podemos, por exemplo, produzir insulina humana em bactérias. Nesse caso, o fragmento do DNA (gene da insulina) será transcrito e, posteriormente, traduzido na sequência de aminoácidos da insulina humana dentro da bactéria.

LOPES, Drielle Silva Andrade *et al.* A produção de insulina artificial através da tecnologia do DNA recombinante para o tratamento de diabetes mellitus. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, Três Corações, v. 10, n. 1, p. 234-245, 2012. Adaptado.

De onde podem ser retirados esses fragmentos de DNA?

- a) Núcleo.
  - b) Ribossomo.
  - c) Citoplasma.
  - d) Complexo golgiense.
  - e) Retículo endoplasmático rugoso.
12. (UFT – 2022) Analise as afirmativas a seguir em relação ao mecanismo da síntese de proteínas.
- I. A síntese de proteínas representa, em última instância, a transcrição da informação genética.
  - II. No processo de tradução, participam, dentre outros fatores, os ribossomos, os RNAm, os RNAt, aminoácidos e diversas enzimas.
  - III. À medida que o ribossomo se desloca, os RNAt vão encaixando os aminoácidos na sequência definida pela ordem dos códons do RNAm.
  - IV. O códon AUG de um RNAm é chamado de códon de parada de tradução, pois determina o fim da informação para a cadeia polipeptídica.
  - V. O último estágio da síntese de um polipeptídeo ocorre quando o ribossomo chega a um códon de parada.

Com base nas afirmativas, assinale a alternativa CORRETA.

- a) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
  - b) Apenas as afirmativas II, III e V estão corretas.
  - c) Apenas as afirmativas I, IV e V estão corretas.
  - d) Apenas as afirmativas III e IV estão corretas.
13. (UECE – 2019) No que diz respeito à respiração celular, escreva **V** ou **F** conforme seja verdadeiro ou falso o que se afirma a seguir:
- ( ) Glicólise, Ciclo de Krebs e cadeia respiratória são fases da respiração celular. Dessas fases, a glicólise ocorre no citoplasma da célula e, em termos evolucionários, é a fase mais antiga.
  - ( ) Considerando as fases da respiração celular, é correto dizer que a glicólise é a fase aeróbica; já

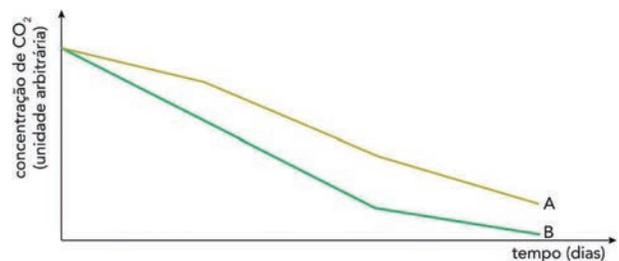
a fase anaeróbica é dividida em Ciclo de Krebs e cadeia respiratória.

- ( ) Nos organismos eucariontes, o Ciclo de Krebs ocorre nas cristas mitocondriais, e a cadeia respiratória ocorre na matriz mitocondrial.
- ( ) O número de mitocôndrias, nos organismos eucariontes, varia muito: é maior nas células que apresentam intensa atividade de liberação de energia, como as células musculares e nervosas.
- ( ) Cianeto, substância que bloqueia a cadeia respiratória, é liberado pela queima de materiais. Durante o incêndio da boate Kiss, em 2013, no Rio Grande do Sul, essa substância foi uma das causas de várias mortes que ocorreram.

Está correta, de cima para baixo, a seguinte sequência:

- a) V, V, F, V, F.
- b) F, F, V, F, V.
- c) F, V, V, F, F.
- d) V, F, F, V, V.

14. (UERJ – 2020) Duas plantas, que pertencem a uma mesma espécie e se encontram no mesmo estágio de desenvolvimento, foram mantidas durante 30 dias em duas câmaras de vidro iguais e hermeticamente fechadas. Ao longo desse período, uma das plantas foi constantemente iluminada, enquanto a outra foi submetida a ciclos contínuos de 12 horas de iluminação e 12 horas de escuro. A variação na concentração de  $\text{CO}_2$ , em cada uma das duas câmaras, foi medida diariamente. Observe no gráfico os resultados dessa análise.



Identifique a curva correspondente à planta que foi mantida sob iluminação constante, justificando sua resposta com base no gráfico.

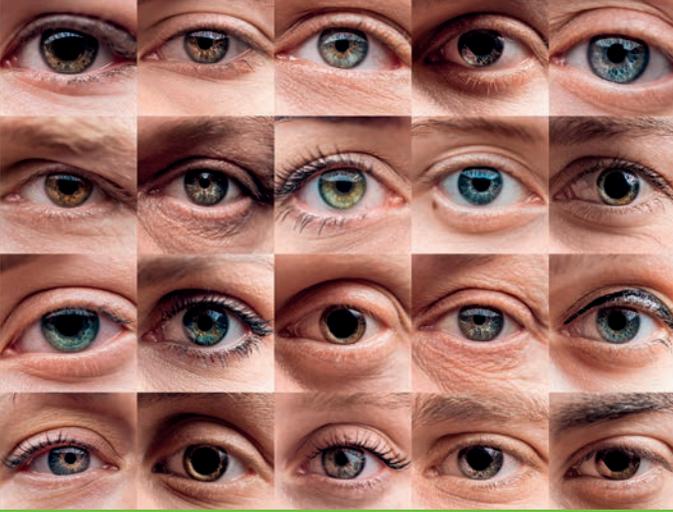
Nomeie, ainda, o carboidrato produzido ao final da fotossíntese, a partir do  $\text{CO}_2$  consumido.

15. (CECIERJ – 2014) As vias catabólicas – a anaeróbica e a aeróbica – são utilizadas pela célula para produção de ATP. A via metabólica utilizada pela célula para sintetizar energia na ausência de oxigênio é a seguinte:
- a) Fosforilação oxidativa.
  - b) Glicólise.
  - c) Cadeia Transportadora de elétrons.
  - d) Ciclo de Krebs.

Giovanni Cancemi/Shutterstock.com; Maple Ferryman/Shutterstock.com; Somyot Mali-ngarm/Shutterstock.com; Hulton Archive/Getty Images; Kuznetsov Alexey/Shutterstock.com; Scientist Pipetting Sample Into A Vial For Dna Testing; ZEPHYR/SPL/Fotoarena; TEK IMAGE/SPL/Fotoarena; Kritchai7752/Shutterstock.com; Universal History Archive/Universal Images Group/Getty Images; LightField Studios/Shutterstock.com; Lyubov Levitskaya/Shutterstock



As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.



Marcas e marcos da hereditariedade.

# Genética e biotecnologia

A **genética** é o ramo da Biologia que estuda a hereditariedade, ou seja, os processos pelos quais características dos organismos são transmitidas através das gerações. A genética envolve a análise dos **genes**, que são as unidades básicas de armazenamento da informação hereditária de um indivíduo, e o estudo de como esses genes influenciam nos processos e padrões dos seres vivos.

Esse campo do conhecimento científico abrange uma gama de investigações, desde o nível molecular, como a análise do DNA e dos genes, até pesquisas em nível populacional, em que padrões de herança e variações genéticas são estudados em grandes grupos de indivíduos.

A integração da genética com a biotecnologia amplia as possibilidades de conhecimento e aplicação da ciência. Atualmente, técnicas moleculares avançadas são usadas para modificar o material genético dos organismos, alterando suas características. Essas tecnologias, avanços e inovações impactam desde a agricultura até a medicina, proporcionando soluções para os desafios contemporâneos, mas também gerando controvérsias e conflitos socioculturais e ambientais.

Nas imagens de abertura desta unidade, estão retratadas estruturas e características relacionadas à genética, além de pessoas, instrumentos e modelos que influenciaram a pesquisa nesse campo do conhecimento. Analise-as e reflita sobre as seguintes questões.

## ▼ Para começar

1. Cite características humanas que você acredita que são hereditárias.
2. A genética faz uso de teorias de probabilidade, pois estuda eventos aleatórios. Como você explica a probabilidade de um determinado evento ocorrer?
3. O que você entende por biotecnologia? Dê exemplo de algum produto dessa área de estudo.



# As leis de Mendel



Gregor Mendel (1822-1884) se debruçou sobre o estudo de características de plantas de ervilha, analisando como elas são transmitidas a cada geração.

## ▼ Para refletir

1. A exemplo do que fez Mendel, olhe ao seu redor e observe a diversidade de características existentes em sua turma. Como você explica essas diferenças?
2. Como ocorre a transmissão de traços ou características de uma geração para a outra?
3. O que são genes e como eles estão relacionados à hereditariedade?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Analisar os experimentos de Gregor Mendel sobre a herança de caracteres, aplicando suas ideias na interpretação de cruzamentos genéticos.
- Aplicar as leis de Mendel para prever a probabilidade de genótipos e fenótipos em cruzamentos entre diferentes indivíduos, utilizando o diagrama de Punnett e heredogramas.
- Explorar como os princípios probabilísticos podem ser utilizados para prever a herança de características genéticas em cruzamentos entre organismos.
- Explicar os conceitos fundamentais da herança genética, incluindo genes, alelos, *locus*, características, fenótipo e genótipo.

# Experimentos de Mendel

O estudo da hereditariedade faz parte de uma história com muitos personagens, mas certamente um deles teve papel muito relevante: o monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884). Esse cientista conduziu muitos experimentos com a reprodução de ervilhas a fim de compreender melhor as relações de transmissão de características entre indivíduos e suas proles.

Mendel realizou inúmeros cruzamentos entre diversas variedades de ervilhas com diferentes características (semente lisa ou rugosa, vagem amarela ou verde etc.). A partir de seus trabalhos, foram estabelecidas **Leis da Hereditariedade**, chamadas de Leis de Mendel, que são um conjunto de princípios que descrevem fatores hereditários, responsáveis por determinada característica e sua transmissão para as próximas gerações, de acordo com padrões específicos.

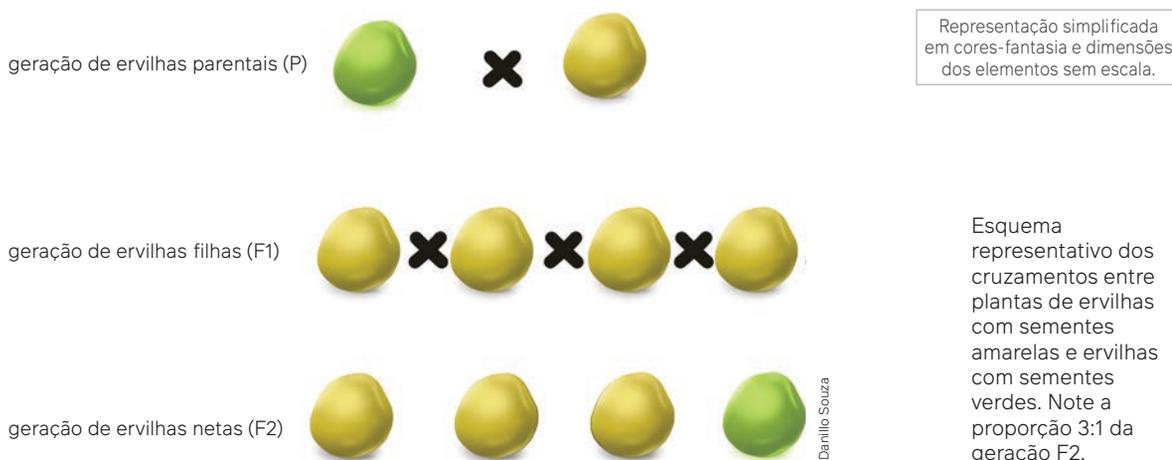
Uma das grandes virtudes do trabalho de Mendel está no registro sistemático das gerações e na quantificação de descendentes obtidos nos cruzamentos que ele realizou. Os primeiros experimentos conduzidos pelo botânico envolveram o cruzamento de ervilhas com características contrastantes, como cor das flores (púrpura × branca), cor das sementes (amarelas × verdes) e textura das sementes (lisa × rugosa). Para isso, Mendel selecionou linhagens puras de ervilhas para cada característica, ou seja, linhagens que geravam descendentes idênticos quando autofecundadas ao longo de várias gerações.

## Se liga

A autofecundação pode ocorrer em plantas que possuem flores hermafroditas, isto é, que possuem órgãos reprodutores femininos e masculinos, quando há a união dos gametas masculino e feminino provenientes do mesmo indivíduo. Esse processo envolve a transferência do pólen das partes masculinas para as partes femininas da mesma planta, podendo ser induzido por ação humana. Em alguns experimentos, para evitar a autofecundação, Mendel removia todas as anteras (partes masculinas) imaturas das flores da planta antes do cruzamento.

## Lei da segregação dos fatores

Mendel realizou cruzamentos controlados entre ervilhas, transferindo o pólen de uma planta de uma linhagem pura para outra também pura com características diferentes (geração parental – P), registrando as características dos descendentes resultantes desses cruzamentos. O que ele percebeu foram padrões consistentes nas proporções das características nas gerações seguintes. Por exemplo, ao cruzar plantas de ervilha originadas de sementes amarelas e plantas de ervilha originadas de sementes verdes, todos os descendentes da primeira geração (F1) apresentaram sementes amarelas; no entanto, nos descendentes da segunda geração (F2), provenientes da autofecundação de indivíduos da primeira geração (F1), a característica verde ressurgia, com uma proporção de aproximadamente 3:1 de sementes amarelas para verdes. Veja o esquema a seguir:



Mendel observou que, sempre que a cor amarela aparecia com a cor verde, o amarelo predominava. Assim, ele chamou o amarelo de **fator dominante**, e o verde, de **fator recessivo**. Esse padrão também se refletia no cruzamento de outras características contrastantes, como a cor das flores, em que o fator para cor púrpura é dominante e, para cor branca, é o fator recessivo; e rugosidade das sementes, em que o fator para textura lisa é dominante e, para textura rugosa, é recessivo.

Os resultados encontrados nos cruzamentos levaram à formulação da Lei da Segregação dos Fatores, também conhecida como a **primeira lei de Mendel**:

Os fatores hereditários para determinada característica são segregados durante a formação de gametas, de modo que cada gameta carrega apenas um fator, e a combinação dos gametas durante a fertilização determina as características observadas na geração descendente.

Mendel desconhecia o que eram e onde estariam localizados os fatores hereditários, e seus estudos passaram despercebidos pela maior parte da comunidade científica até o início do século XX, quando foram reconhecidos.

Uma forma de representar as possibilidades de resultados de cruzamentos é por meio do diagrama de Punnett, também chamado de quadrado de Punnett, uma ferramenta gráfica usada para prever as proporções genéticas resultantes de um cruzamento entre dois indivíduos. Desenvolvido pelo geneticista britânico Reginald Punnett (1875-1967) no início do século XX, esse diagrama é utilizado para prever a herança de características em diferentes organismos.

Considerando o cruzamento entre indivíduos da geração F1 de Mendel, oriundos de linhagens puras de ervilhas verdes e amarelas, teríamos a seguinte disposição:



O geneticista dinamarquês Wilhelm Ludvig Johannsen (1857-1927) utilizou o termo **homozigoto** para descrever organismos que possuem dois fatores idênticos (por exemplo, VV e vv); enquanto o termo **heterozigoto** foi usado para descrever organismos que possuem dois fatores diferentes (por exemplo, Vv). Como convenção, utilizam-se as mesmas letras para representar as variedades de fatores de determinada característica, sendo as letras maiúsculas utilizadas para representar fatores dominantes (como A, B, C), e as letras minúsculas para representar fatores recessivos (como a, b, c). As variações de determinado fator, ou seja, as variações de um mesmo gene, são chamadas de **alelos**. A representação da composição de alelos de um indivíduo é conhecida como **genótipo**. Essa representação pode se referir a um gene específico (Aa) ou a um conjunto de genes (Aabb).

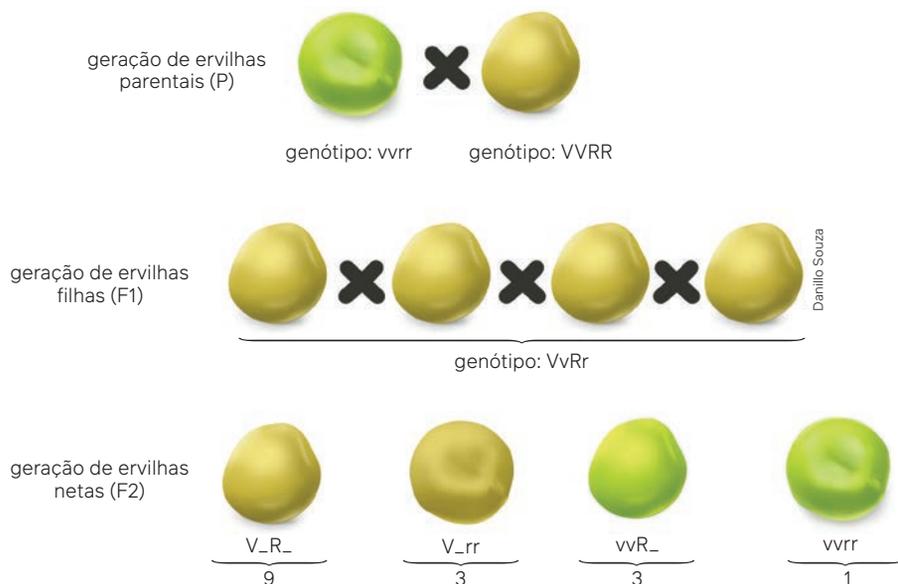
## Atividades propostas



1. Mendel também realizou experimentos cruzando plantas de ervilhas puras de sementes rugosas com plantas de ervilhas puras de sementes lisas, gerando como descendentes (F1) apenas sementes lisas. Represente, por meio do diagrama de Punnett, o cruzamento da geração F1. Utilize as letras R e r para representar os fatores. Depois responda:
  - a) Qual é a proporção de fenótipos esperados na geração F2?
  - b) As plantas F1 são homozigotas ou heterozigotas? E as plantas F2? Como você explica isso?

## Lei da segregação independente

Mendel conduziu experimentos com ervilhas, explorando como duas características eram herdadas de forma conjunta, por exemplo, cruzando linhagens puras de ervilhas verdes e rugosas (vvrr) com ervilhas amarelas e lisas (VVRR). Note que os fatores dominantes são expressos nas ervilhas amarelas e lisas, representados pelas letras maiúsculas V e R. Mendel observou que todos os descendentes (F1) resultantes desse cruzamento apresentavam sementes amarelas e lisas. Nenhuma combinação de características parentais foi observada. Na geração F2, Mendel obteve como resultado uma proporção de aproximadamente 9:3:3:1 para as diferentes características das sementes. A maioria das plantas tinha sementes amarelas e lisas (n = 9), algumas tinham sementes amarelas e rugosas (n = 3) ou verdes e lisas (n = 3), e a minoria tinha sementes verdes e rugosas (n = 1).



Esquema representativo dos cruzamentos entre plantas de ervilhas, observando as características de cor e textura das sementes.

Esses resultados indicavam que as diferentes características que foram analisadas eram transmitidas de forma independente uma da outra. Por exemplo, a cor das sementes (fator V ou v) e a textura das sementes (fator R ou r) em ervilhas são controladas por fatores diferentes.

Os experimentos que testavam simultaneamente duas características são a base para a definição da Lei da Distribuição Independente de Mendel, também conhecida como a **segunda lei de Mendel**.

A segregação de um fator (por exemplo, cor da semente) ocorre de forma independente de outros fatores (por exemplo, textura da semente) durante a formação dos gametas dos organismos. Dessa forma, a herança de um fator não influencia na herança de outro fator.

### #FicaADica

**Que ervilha sou eu?**, de Genética na Escola. Jogo que trabalha com as relações de dominância e recessividade, genótipos e fenótipos das ervilhas, a exemplo dos trabalhos de Mendel. A partir de cartas com dicas, é preciso identificar os genótipos e fenótipos de ervilhas. Um jogo divertido para ser jogado em grupos; basta imprimir e recortar as cartas. Disponível em: <https://geneticanaescola.emnuvens.com.br/revista/article/view/259/233>. Acesso em: 10 maio 2024.





1. Entre as características das ervilhas estudadas por Mendel, além da cor e da textura da semente, podem ser destacadas a cor das flores (púrpura ou branca), a altura das plantas (alta ou baixa) e a cor da vagem (verde ou amarela). Considerando que a cor púrpura da flor (P), a textura lisa da semente (R), a planta alta (T) e a cor verde da vagem (Z) são consideradas características dominantes, apresente os genótipos de ervilhas com as seguintes características:
  - a) Planta alta, com flores púrpuras e vagem amarela.
  - b) Planta baixa, com flores brancas e vagens amarelas.
  - c) Planta baixa, com flores púrpuras e vagens verdes.
2. Considerando a primeira e a segunda lei de Mendel, é correto afirmar que:
  - I. Os fatores hereditários para determinada característica se separam durante a formação de gametas, e cada gameta carrega apenas um fator para tal característica.
  - II. Os fatores para uma característica se segregam independente das variantes de outros fatores durante a formação dos gametas.
  - III. Durante a fecundação, os fatores hereditários se combinam de forma aleatória, resultando em diferentes combinações de fatores nos descendentes.
    - a) Apenas I e II estão corretas.
    - b) Apenas II e III estão corretas.
    - c) Apenas I e III estão corretas.
    - d) Todas as afirmações estão corretas.
3. Considerando os experimentos que levaram à estipulação da segunda lei de Mendel, elabore um desenho experimental para chegar às mesmas conclusões. Utilize, para isso, as seguintes características: a cor da vagem, que pode ser verde (dominante) ou amarela (recessiva), e o formato da vagem, que pode ser inflada (dominante) ou comprimida (recessiva).

## Leis de probabilidade e hereditariedade

O trabalho de Mendel estava fundamentado na observação de fenômenos e análises probabilísticas, já que ele lidava com fenômenos aleatórios, como a probabilidade de, a partir do cruzamento de uma planta pura com ervilhas verdes com outra planta pura com ervilhas amarelas, serem gerados descendentes com ervilhas verdes.

As **leis de probabilidade** são um conjunto de regras matemáticas que descrevem como calcular as possibilidades de eventos ocorrerem; são fundamentais para entender os princípios de incerteza e de aleatoriedade em vários campos, como estatística, ciências naturais, economia, entre outros.

Alguns conceitos importantes:

- **Espaço amostral:** É o conjunto de todos os resultados possíveis de um experimento aleatório. Por exemplo, um dado comum tem seis resultados possíveis; uma moeda tem dois.
- **Evento:** É qualquer conjunto de resultados possíveis dentro do espaço amostral. Usando os mesmos exemplos anteriores, o lançamento de um dado pode ter como resultado os números 1, 2, 3, 4, 5 ou 6. O lançamento de uma moeda pode ter como resultado a face cara ou a face coroa.
- **Probabilidade:** É um número real entre 0 e 1 que representa a chance de um evento ocorrer, em que 0 representa a impossibilidade de o evento ocorrer e 1 representa a certeza de que o evento ocorrerá.

A probabilidade (P) de um evento ocorrer é definida pela divisão do número de eventos (ou resultados) desejados pelo número total de resultados possíveis que constitui o espaço amostral:

$P = \frac{\text{número de resultados desejados}}{\text{número total de resultados possíveis}}$

Veja um exemplo de como calcular a probabilidade de, em um lançamento de dado, ter como resultado o número 3:

Resultado desejado: face 3  
 Resultados possíveis: faces 1, 2, 3, 4, 5, 6  

$$P = \frac{1}{6} = 0,16$$

A probabilidade de um lançamento de dado ter como resultado qualquer um dos seis números possíveis é de  $\frac{1}{6}$  ou 0,16. No caso do lançamento de moedas, a probabilidade de um evento ter como resultado qualquer uma das faces é de  $\frac{1}{2}$  ou 0,5.

## Probabilidades em cruzamentos mendelianos

Considere que a cor das flores de plantas de ervilha seja uma característica derivada da expressão de um gene cujo alelo dominante (B) gera flores púrpuras e o alelo recessivo (b), em homozigose, gera flores brancas. Suponha, ainda, que o formato do fruto seja derivado de outro gene, cuja expressão do alelo dominante (C) gera frutos inflados e do alelo recessivo (c), em homozigose, gera frutos comprimidos. Considere que esses genes se segregam independentemente.

Calcule as probabilidades de manifestação dos diferentes fenótipos em descendentes do seguinte cruzamento:

**flores brancas e frutos inflados** × **flores púrpuras e frutos inflados**  
(genótipo bbCc) (genótipo BbCc)

Para ambas as características, o espaço amostral são duas possibilidades, flores púrpuras ou brancas, frutos inflados ou comprimidos. Com o uso do diagrama de Punnett, temos:

	bC	bc
BC	BbCC	BbCc

Para a cor das flores, as probabilidades dos genótipos BB, Bb e bb são  $0$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{2}$ , respectivamente. Para o formato do fruto, as probabilidades dos genótipos CC, Cc e cc são  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{4}$ , respectivamente.

Considerando esses genótipos possíveis, podemos deduzir que, para a cor das flores, há uma probabilidade de 50% ( $\frac{1}{2}$ ) dos descendentes terem flores brancas e 50% ( $\frac{1}{2}$ ) terem flores púrpuras. Para o formato do fruto, há uma probabilidade de 75% ( $\frac{3}{4}$ ) terem frutos inflados e 25% ( $\frac{1}{4}$ ) terem frutos comprimidos.

## Probabilidade de um OU outro evento acontecer

No exemplo anterior, podemos perguntar: Quais são as probabilidades de uma OU outra característica genética se manifestar? Por exemplo, da prole ter flores púrpuras OU frutos inflados?

Para calcular a probabilidade de que ocorra pelo menos um dos eventos, devemos usar a regra da adição, dada pela seguinte equação:

$$P(B \cup C) = P(B) + P(C) - P(B \cap C)$$

Em que P é a probabilidade, B e C representam as condições esperadas, e  $\cap$  é a interseção de eventos.

Como só existem dois eventos possíveis para cada gene (não há intermediários), a probabilidade de uma OU outra característica genética se manifestar é:

$$P(B \cup C) = \frac{1}{2} + \frac{3}{4} - \frac{3}{8} = \frac{7}{8} \text{ ou } 87,5\%$$

Repare que  $\frac{3}{8}$  são os indivíduos que podem vir a apresentar as duas condições: flores púrpuras e frutos inflados. A soma das probabilidades para cada uma das características é igual a 1 ou 100%:  $P(\text{flores púrpuras}) + P(\text{flores brancas}) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$  (100%). O mesmo vale para o formato do fruto.

## Probabilidade de um E outro evento acontecer

E quais são as probabilidades de uma E outra característica genética se manifestar? Por exemplo, um descendente ter flores brancas E frutos comprimidos?

Nesse caso, devemos usar a regra da multiplicação, ou regra do produto, que se aplica para calcular a probabilidade de dois ou mais eventos independentes ocorrerem em sequência. Ela é dada pela seguinte equação:

$$P = P(bb) \times P(cc)$$

Como a probabilidade de ter flores brancas nesse cruzamento é de  $\frac{1}{2}$  e a probabilidade de ter frutos comprimidos é  $\frac{1}{4}$ , a probabilidade de um indivíduo manifestar ambas as características será de:

$$P = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8} \text{ (12,5\%).}$$



1. Na tabela a seguir, estão descritos os resultados obtidos para a geração F2 das duas características cruzadas por Mendel (cor e textura das sementes). Faça os cálculos e verifique se os valores condizem com a proporção 3:1. Havendo diferença, explique o motivo.

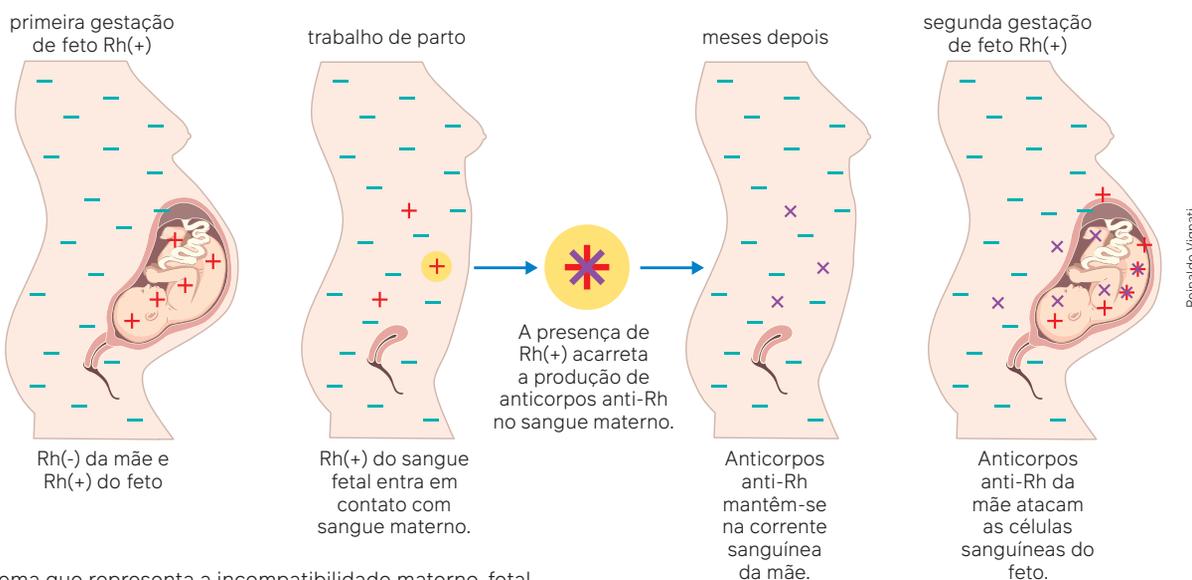
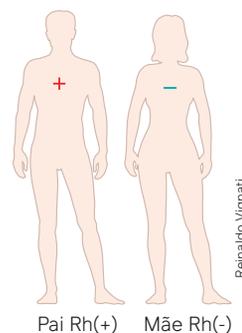
Característica: cor da semente			
Réplicas	Total	Ervilhas amarelas	Ervilhas verdes
1ª tentativa	929	705	224
2ª tentativa	639	473	166
3ª tentativa	166	85	81

Característica: textura da semente			
Réplicas	Total	Ervilhas lisas	Ervilhas rugosas
1ª tentativa	7324	5474	1850
2ª tentativa	556	423	133
3ª tentativa	639	480	159

Fonte: WEEDEN, N. F. Are Mendel's Data Reliable? The Perspective of a Pea Geneticist. *Journal of Heredity*, Oxford, v. 107, n. 7, p. 635-646, 2016.

2. O fator Rh é uma proteína que pode ser encontrada na superfície das células sanguíneas que se apresenta em duas condições: Rh positivo (Rh<sup>+</sup>), quando a proteína é expressa, ou Rh negativo (Rh<sup>-</sup>), quando a proteína está ausente. O alelo que condiciona a expressão da proteína é dominante (R), enquanto o alelo que condiciona a não expressão da proteína é recessivo (r). O fator Rh explica a doença hemolítica do recém-nascido ou a incompatibilidade sanguínea materno-fetal, uma condição que surge quando uma mulher Rh<sup>-</sup> dá à luz um segundo indivíduo Rh<sup>+</sup>. Durante os trabalhos de parto, pode ocorrer uma pequena troca de sangue entre o bebê e a mãe. Se o bebê for Rh<sup>+</sup> e a mãe Rh<sup>-</sup>, ela poderá desenvolver anticorpos anti-Rh em resposta. Esses anticorpos, então, poderão atacar qualquer feto subsequente que tenha Rh<sup>+</sup>. Observe no esquema a seguir:

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são as reais.



Esquema que representa a incompatibilidade materno-fetal.

A probabilidade de que um segundo filho de um casal, sendo o pai Rh<sup>+</sup> e heterozigoto e a mãe Rh<sup>-</sup>, esteja suscetível a manifestar a doença é de:

- a)  $\frac{3}{4}$       b)  $\frac{1}{8}$       c)  $\frac{1}{4}$       d)  $\frac{1}{2}$       e)  $\frac{3}{8}$

# Tradução do trabalho de Mendel e seu modelo

Os padrões de herança que Mendel revelou, ainda que não expliquem a herança de todas as características, são atualmente relevantes e aplicáveis para várias características dos organismos. Todavia, com o avanço do conhecimento sobre genética e hereditariedade, a compreensão das leis e princípios desenvolvidos por Mendel foi aprofundada e enriquecida, e alguns termos são atualmente descritos com outras nomenclaturas e definições.

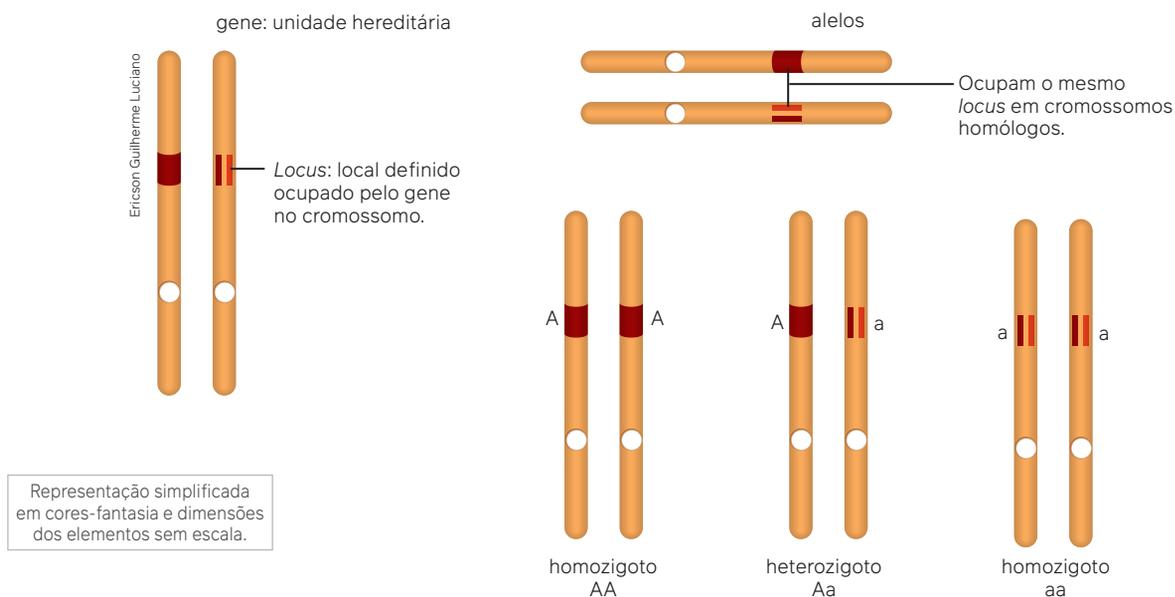
O que Mendel chamou de fatores, atualmente chamamos de genes, segmentos de DNA, portanto, compostos de bases nitrogenadas (adenina, timina, citosina ou guanina), açúcar (desoxirribose) e grupos fosfatos.

Os **genes** são as unidades básicas da hereditariedade envolvidos na transmissão das características de uma geração para a próxima, localizados no núcleo das células eucarióticas e no citoplasma das células procarióticas. Desde a sua primeira definição, o conceito de gene ganhou novos significados. No passado, acreditava-se que um gene seria a informação necessária para gerar apenas uma proteína. Atualmente, sabe-se que os produtos gênicos não são exclusivamente proteínas e que um único gene pode gerar mais de um produto, a depender de outros mecanismos, como a regulação gênica e as interferências do ambiente (epigenética). Em outras palavras, genes são sequências genômicas que, ao serem expressas, geram produtos funcionais, por exemplo, proteínas e RNA.

Organelas como mitocôndrias e cloroplastos contêm DNA próprio. No curso da evolução, parte dos genes originalmente presentes nessas organelas foram transferidos para o núcleo das células eucarióticas.

Nos eucariotos, os genes estão contidos nos **cromossomos**, estruturas altamente organizadas e condensadas, compostas de DNA e proteínas histonas. Cada gene ocupa um local específico no cromossomo, chamado *locus*.

As variantes dos genes são denominadas alelos. O gene que determina a cor das sementes de ervilhas tem dois alelos (um para a cor verde e outro para a cor amarela). Assim, os alelos influenciam nas características observáveis, ou fenótipos, de um organismo.



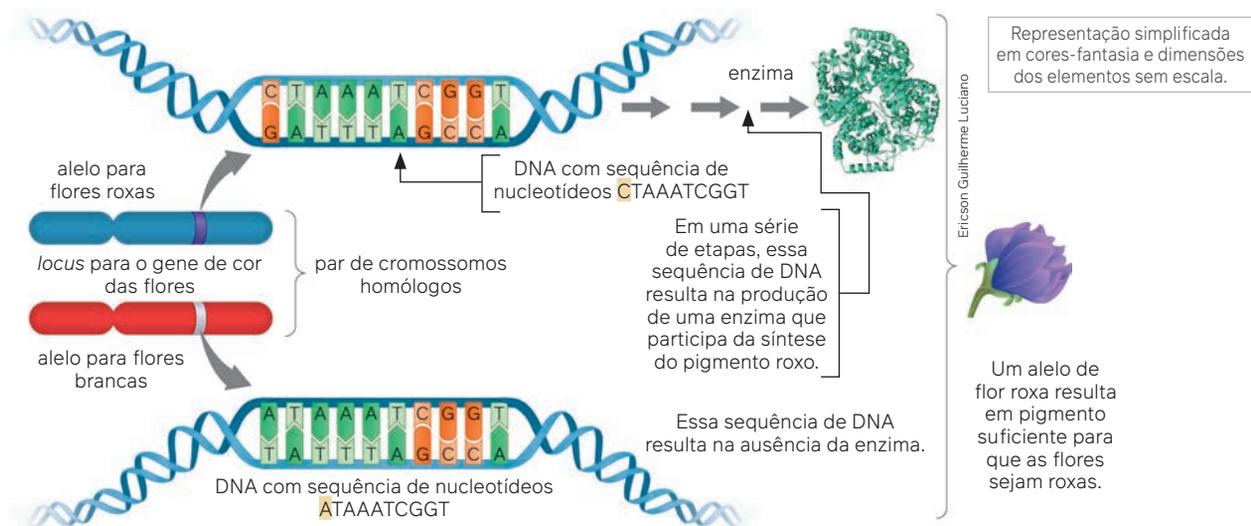
Esquema representativo de pares de cromossomos indicando *locus* e genes alelos (homocigoto e heterocigoto).

O que Mendel chamava de organismos híbridos, por exemplo, eram organismos heterocigotos, ou seja, quando os alelos que compõem um par não são idênticos (Aa); e o que ele chamava de puros eram os indivíduos homocigóticos para determinada característica, ou seja, quando os alelos são idênticos (aa e AA).

## Saiba mais

As características que Mendel estudou eram resultados de alterações em um único gene com dominância quase completa. Um caso extremamente raro na natureza, ou seja, poucas características seguem esse padrão. Na maioria das vezes, os genes interagem entre si, com relações de regulação e controle complexas. Assim, as características resultam de genes expressos ao longo da vida, enquanto o organismo vive, se alimenta e interage em um ambiente repleto de outros seres vivos, recursos naturais, alimentos, espécies diferentes e várias outras influências.

O que distingue os alelos são as diferenças na sequência de nucleotídeos – em um ou mais locais específicos. A variação no conteúdo da informação (sequência de nucleotídeos) pode afetar a função da proteína que será codificada e, portanto, alterar o caráter herdado do organismo. Por exemplo, o gene responsável pela cor nas flores das plantas de ervilha ocorre em dois alelos, um que determina a cor branca (pp), e outro, a cor púrpura (PP ou Pp). O alelo P, dominante, está associado à produção de antocianina, um pigmento que confere cor púrpura às flores. O alelo p não produz antocianina, resultando em flores de cor branca. Esse, portanto, é o alelo recessivo.



Esquema representativo dos alelos responsáveis pelas cores das flores de ervilhas, com indicação da sequência de nucleotídeos. Em amarelo, a variação na sequência de nucleotídeos.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 271.

Os alelos são de especial importância quando observamos a distribuição das características variantes na população de uma espécie por meio da **genética populacional**. Além disso, organismos eucarióticos diploides herdam dois alelos de cada gene, ou seja, seus *locus* são representados duas vezes em células diploides, sendo uma vez em cada homólogo de um par específico de cromossomos.

## Herança com dominância completa

Os padrões de herança observados nos experimentos de Mendel são conhecidos como herança com dominância completa, em que um alelo dominante (A, B ou C) é expresso em um organismo mesmo que esteja presente em apenas uma cópia (AA ou Aa), enquanto um alelo recessivo (a, b ou c) é expresso apenas quando presente em duas cópias (aa, bb ou cc).

Por exemplo, em organismos pigmentados, um dos genes responsáveis pela produção de melanina (pigmento envolvido na coloração da pele, cabelo e olhos) pode conter apenas um alelo que expressa a produção de melanina (dominante: A) e outro que não leva à produção adequada dessa proteína. O indivíduo que porta ao menos uma variante alélica dominante (AA ou Aa) terá produção de melanina, enquanto o indivíduo que porta as duas variantes alélicas recessivas (aa) não terá melanina ou terá pouca produção desse pigmento e, conseqüentemente, terá características como pele pálida, cabelos claros e falta de pigmentação nos olhos, que, em conjunto, caracterizam o albinismo do tipo I. Vale ressaltar que a pigmentação da pele é uma característica **poligênica**, ou seja, derivada da expressão e regulação de vários genes.

A cor das flores nas plantas de ervilha, explicada anteriormente, também é um padrão de herança com dominância completa.



Danita Delimont/Alamy/Fotoarena



Blick/ROB/Ullstein bild/Getty Images

Variações alélicas em genes podem acarretar fenótipos muito diferentes, como o albinismo. Os gorilas têm em média 1,70 m de altura.

## Se liga

A expressão gênica refere-se ao processo pelo qual as informações contidas em um gene são convertidas em uma proteína funcional, cuja regulação é crucial para o desenvolvimento, crescimento e resposta aos estímulos ambientais. Os genes não estão sempre ativos ou expressos.

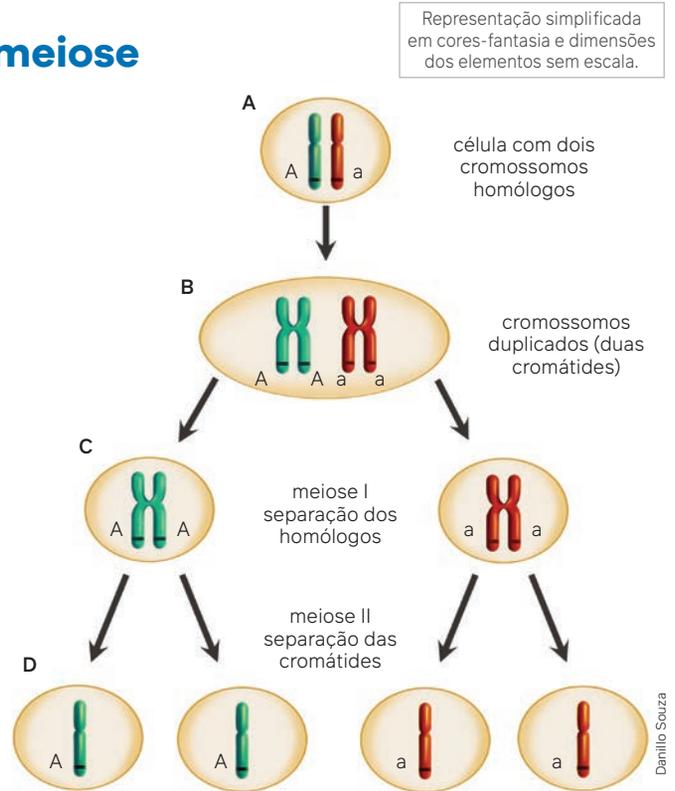
## A primeira lei de Mendel e a meiose

O modelo de Mendel prediz que os dois alelos para um determinado caráter hereditário (por exemplo, Aa) se segregam – independentemente (por exemplo, A e a) – durante a formação dos gametas. Assim, cada gameta de um indivíduo recebe apenas um dos dois alelos (A ou a) que estão presentes nas células diploides ( $2n$ ) desse organismo.

Em termos cromossômicos, a segregação corresponde à distribuição dos pares de cromossomos homólogos durante a meiose I. Na meiose II, cada gameta receberá uma das cromátides-irmãs.

Esquema simplificado de meiose em célula hipotética com um par de cromossomos homólogos. (A) Célula com um par de cromossomos homólogos e um par de alelos (A e a). (B) Na interfase, os cromossomos se duplicam. (C) Ao final da meiose I, os cromossomos homólogos se separam. (D) Na meiose II, ocorre a separação das cromátides-irmãs e a formação dos gametas, que podem conter cromossomo com o alelo A ou com o alelo a.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 1, p. 245.

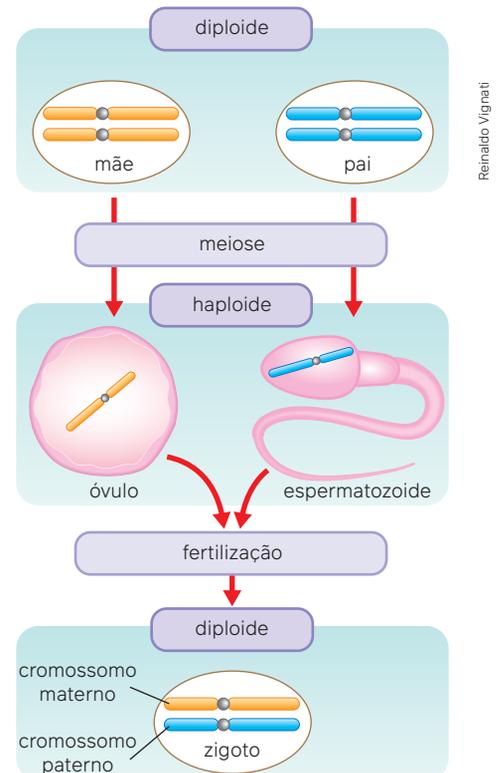


Assim, na reprodução sexuada, o novo indivíduo formado pela união dos gametas receberá um alelo de cada genitor. Alguns alelos parentais são transmitidos para a geração descendente, determinando suas características hereditárias. A meiose é uma das etapas do ciclo haploide-diploide da reprodução sexual.

O número de conjuntos de cromossomos presentes em uma célula ou organismo é denominado **ploidia**. Usa-se a letra “n” para se referir ao número haploide de cromossomos, ou seja, organismos haploides (n) possuem apenas um conjunto completo de cromossomos – sem cópias. Organismos diploides ( $2n$ ) possuem dois conjuntos completos de cromossomos: um conjunto de origem paterna e outro de origem materna.

Esquema representativo do ciclo haploide-diploide da reprodução sexual.

Fonte: ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 486-487.



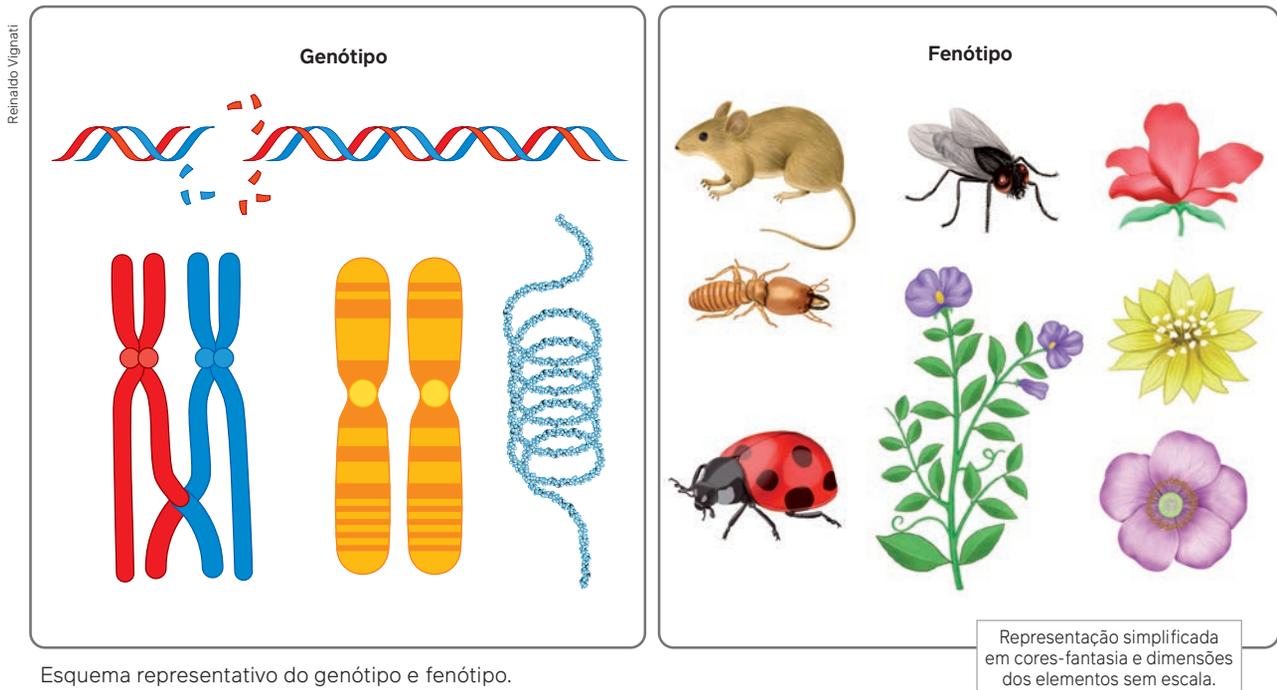
## Se liga

Existem outros níveis de ploidia que ocorrem naturalmente em diferentes organismos, como triploidia ( $3n$ ), tetraploidia ( $4n$ ), e assim por diante, mas que também podem ser derivados de erros durante a divisão celular ou devido à fusão de gametas não reduzidos.

## Genótipo e fenótipo

Como vimos, o **genótipo** de um organismo é o conjunto de alelos que ele herdou de seus genitores e também pode fazer referência à informação genética que um organismo apresenta para determinada característica ou traço, ou seja, para um par de alelos.

A forma como o genótipo se manifesta nos indivíduos é chamada de **fenótipo**. São as características expressas nos indivíduos, que vão desde aparência física a processos metabólicos. Algumas dessas características são visíveis, como cor dos olhos e cor dos cabelos, já outras não, como o tipo sanguíneo, em que é necessário um teste específico para identificação.



Esquema representativo do genótipo e fenótipo.

Em alguns casos, o ambiente pode interferir na expressão de genes em um determinado organismo: temperatura, umidade, luminosidade, alimentação e medicamentos são exemplos de fatores ambientais que podem interferir na expressão gênica e, portanto, no fenótipo dos indivíduos.



A coloração do lambari roxo (*Tradescantia zebrina*) está relacionada à quantidade de luz que ele recebe. Se cultivados à sombra ou meia-sombra, ficam esverdeados com aspecto manchado. Se cultivados em Sol pleno, suas folhas podem ficar roxas.

### Se liga

O genótipo, herdado dos genitores, é responsável pela expressão de um fenótipo, no entanto, um mesmo genótipo pode expressar diferentes fenótipos por interferência do meio.

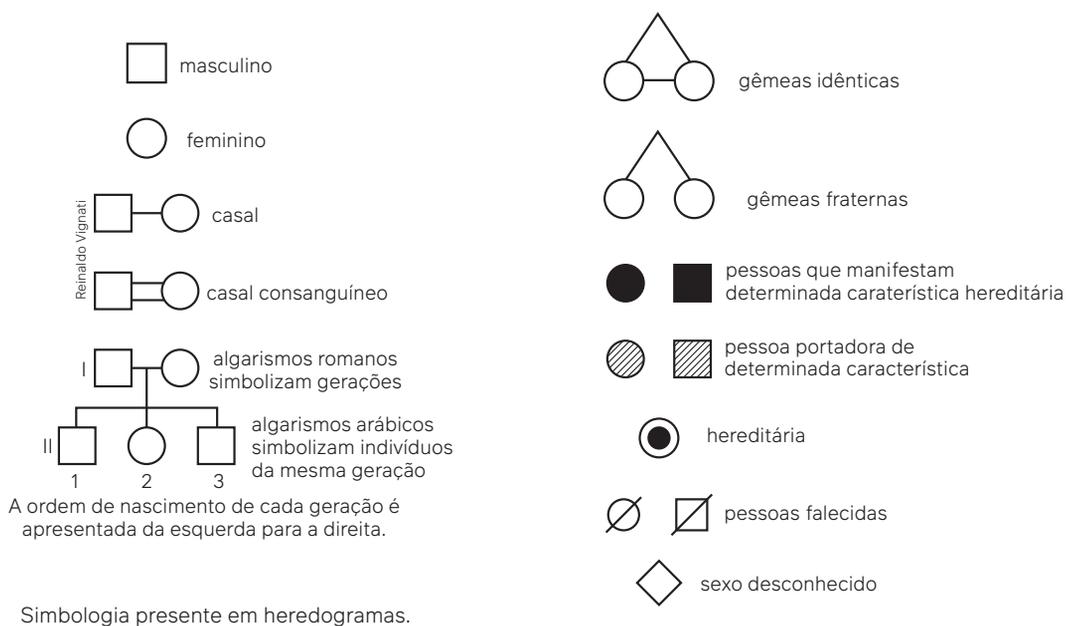


1. Em seus experimentos, Mendel observou os resultados fenotípicos em descendentes resultantes de cruzamentos entre ervilhas da espécie *Pisum sativum* e elaborou a lei da segregação independente. Em duplas, elaborem uma tirinha representando um cruzamento qualquer entre dois indivíduos, a formação dos gametas dos genitores e a prole (destacando o resultado genotípico e fenotípico de tal cruzamento).

## Heredogramas

O heredograma é um diagrama em que são representadas relações de parentesco e características específicas, como doenças ou traços hereditários. Tais padrões são usados para identificar se essas características são transmitidas de forma autossômica ou ligada ao sexo, dominante ou recessiva.

No heredograma, os indivíduos são representados por símbolos, e linhas são traçadas para conectar os membros da família de acordo com suas relações de parentesco. Os símbolos têm significados específicos: quadrados representam pessoas do sexo masculino, círculos representam pessoas do sexo feminino, e linhas verticais conectam genitores e descendentes.



Heredogramas podem ser usados para avaliar riscos de ocorrência de doenças hereditárias e fornecer aconselhamento genético. Além disso, os heredogramas são usados em estudos genealógicos e de história familiar.

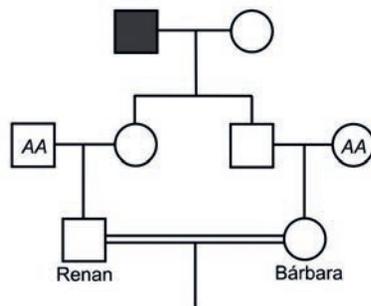


1. Para esta atividade, você construirá um heredograma que representa a sua família. Comece escolhendo uma característica genética que você deseja representar. Em seguida, colete informações sobre essa característica de todos os membros da sua família, identificando quem a possui ou não. Desenhe o heredograma utilizando as representações apresentadas no capítulo. Marque de maneira diferente (pintando ou usando um símbolo específico) os indivíduos que possuem a característica escolhida. Por fim, coloque os nomes ou iniciais de cada indivíduo abaixo dos respectivos círculos e quadrados. Após completar o heredograma, analise o padrão de herança observado e escreva uma breve conclusão sobre como a característica se manifesta em sua família, indicando se ela parece ser dominante ou recessiva.

2. (Albert Einstein-SP – 2019) Acromatopsia é uma doença autossômica recessiva rara determinada por um par de alelos. Pessoas com essa doença pouco distinguem cores ou não as distinguem, podendo enxergar uma só cor. No heredograma, o avô de Renan e Bárbara apresenta a acromatopsia.

A probabilidade de Renan e Bárbara gerarem um menino com a acromatopsia será de:

- a)  $\frac{1}{16}$ .    b)  $\frac{1}{8}$ .    c)  $\frac{1}{32}$ .    d)  $\frac{1}{64}$ .    e)  $\frac{1}{4}$ .

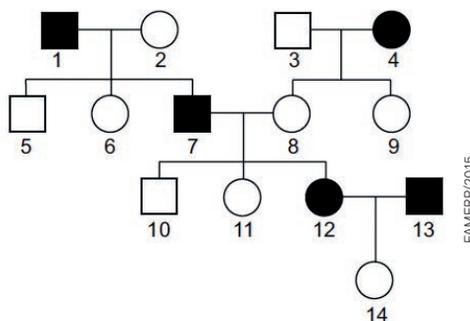


Albert Einstein/2019

## Atividades comentadas



1. (FAMERP-SP – 2015) Analise o heredograma, no qual os indivíduos afetados por uma característica genética estão indicados pelos símbolos escuros.



FAMERP/2015

Considerando que tal característica é condicionada por apenas um par de alelos autossômicos, é correto afirmar que

- a) os indivíduos 2, 3 e 8 apresentam genótipo dominante.  
 b) os indivíduos 1, 4, 7, 12 e 13 apresentam genótipo recessivo.  
 c) nenhum dos indivíduos do heredograma apresenta genótipo recessivo.  
 d) nenhum dos indivíduos do heredograma apresenta genótipo homocigoto dominante.  
 e) trata-se de uma característica homocigota e dominante.

### Resolução

Note que a questão explicita que se trata de uma característica condicionada por “apenas um par de alelos autossômicos”, ou seja, está relacionada a um único gene que se localiza em um cromossomo autossômico, como ocorre na herança mendeliana. Note também a existência de cinco indivíduos que apresentam a característica (1, 4, 7, 12 e 13). É possível deduzir que os indivíduos 12 e 13 são heterocigotos (Aa), pois, de sua união, nasceu uma pessoa sem a característica (14). Se a condição fosse recessiva, todos os descendentes desse casal deveriam manifestar a característica, portanto, todos os indivíduos não pintados (2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14) têm genótipo homocigoto recessivo (aa). Além disso, nenhum dos indivíduos pintados apresenta genótipo homocigoto dominante (AA), pois parte dos descendentes dos cruzamentos em que esses indivíduos estão não apresentam a característica. Assim, trata-se de uma herança autossômica dominante, portanto, a resposta correta para essa questão é a alternativa **d**.

## Conceito de raça

Kabengele Munanga (1940-), nascido na aldeia de Bakwa-Kalonji, no Congo Belga, antropólogo e professor emérito da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (USP), tem como foco de estudo a população afro-brasileira e o racismo na sociedade brasileira. Leia um artigo em que ele trata do conceito de raça e depois responda às questões.

[...]

O cruzamento de todos os critérios possíveis (o critério da cor da pele, os critérios morfológicos e químicos) deu origem a dezenas de raças, sub-raças e sub-sub-raças. As pesquisas comparativas levaram também à conclusão de que os patrimônios genéticos de dois indivíduos pertencentes [a] uma mesma raça podem ser mais distantes que os pertencentes [a] raças diferentes; um marcador genético característico de uma raça, pode, embora com menos incidência ser encontrado em outra raça. Assim, um senegalês pode, geneticamente, ser mais próximo de um norueguês e mais distante de um congolês, da mesma maneira que raros casos de anemia falciforme podem ser encontrados na Europa, etc. Combinando todos esses desencontros com os progressos realizados na própria ciência biológica (genética humana, biologia molecular, bioquímica), os estudiosos desse campo de conhecimento chegaram [à] conclusão de que a raça não é uma realidade biológica, mas, sim, apenas um conceito, [...] inoperante para explicar a diversidade humana e para dividi-la em raças estancas. Ou seja, biológica e cientificamente, as raças não existem.

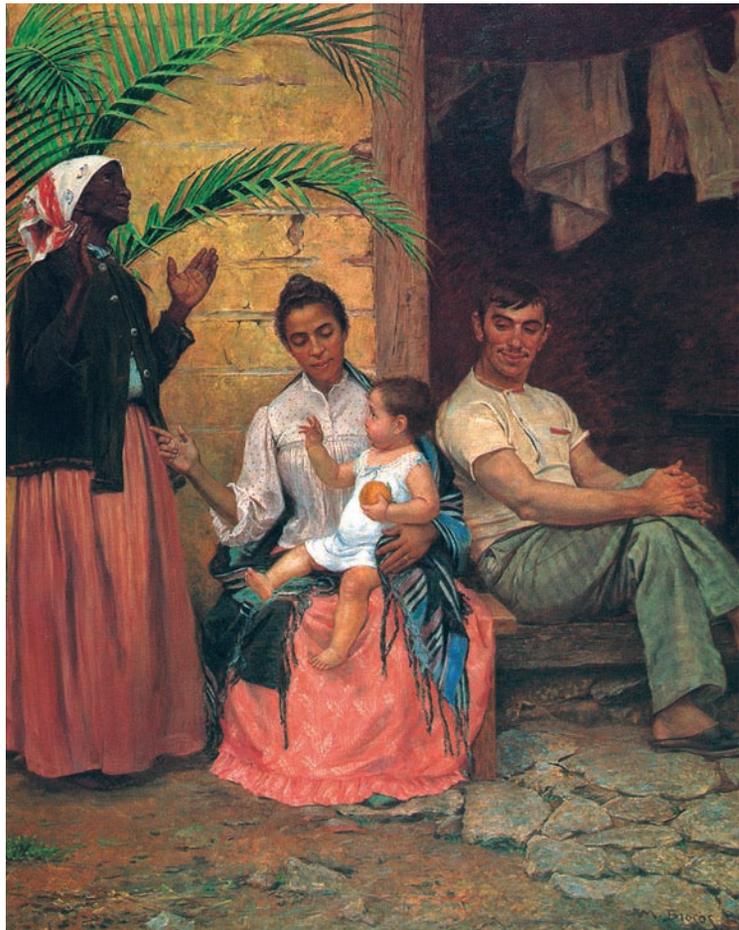
A invalidação científica do conceito de raça não significa que todos os indivíduos ou todas as populações sejam geneticamente semelhantes. Os patrimônios genéticos são diferentes, mas essas diferenças não são suficientes para classificá-las em raças. O maior problema não está nem na classificação como tal, nem na inoperacionalidade científica do conceito de raça. Se os naturalistas dos séculos XVIII-XIX tivessem limitado seus trabalhos somente à classificação dos grupos humanos em função das características físicas, eles não teriam certamente causado nenhum problema à humanidade. [...] Infelizmente, desde o início, eles se deram o direito de hierarquizar, isto é, de estabelecer uma escala de valores entre as chamadas raças. O fizeram erigindo uma relação intrínseca entre o biológico (cor da pele, traços morfológicos) e as qualidades psicológicas, morais, intelectuais e culturais. Assim, os indivíduos da raça “branca” foram decretados coletivamente superiores aos da raça “negra” e “amarela”, em função de suas características físicas hereditárias, tais como a cor clara da pele, o formato do crânio (dolicocefalia), a forma dos lábios, do nariz, do queixo etc. que[,] segundo pensavam, os tornam mais bonitos, mais inteligentes, mais honestos, mais inventivos, etc. e conseqüentemente mais aptos para dirigir e dominar as outras raças, principalmente a negra mais escura de todas e conseqüentemente a classificação da humanidade em raças hierarquizadas desembocou numa teoria pseudocientífica, a raciologia, que ganhou muito espaço no início do século XX. Na realidade, apesar da máscara científica, a raciologia tinha um conteúdo mais doutrinário do que científico, pois seu discurso serviu mais para justificar e legitimar os sistemas de dominação racial do que como explicação da variabilidade humana. Gradativamente, os conteúdos dessa doutrina chamada ciência, começaram a sair dos círculos intelectuais e acadêmicos para se difundir no tecido social das populações ocidentais dominantes. Depois foram recuperados pelos nacionalismos nascentes como o nazismo para legitimar as exterminações que causaram à humanidade durante a Segunda Guerra Mundial. Podemos observar que o conceito de raça tal como o empregamos hoje, nada tem de biológico. É um conceito carregado de ideologia, pois como todas as ideologias, ele esconde uma coisa não proclamada: a relação de poder e de dominação. A raça, sempre apresentada como categoria biológica, isto é natural, é de fato uma categoria etnossemântica. De outro modo, o campo semântico do conceito de raça é determinado pela estrutura global da sociedade e pelas relações de poder que a governam. Os conceitos de negro, branco e mestiço não significam a mesma coisa nos Estados Unidos, no Brasil, na África do Sul, na Inglaterra etc. Por isso que o conteúdo dessas palavras é etnossemântico, político-ideológico e não biológico. Se na cabeça de um geneticista contemporâneo ou de um biólogo molecular a raça não existe, no imaginário e na representação coletivos de diversas populações contemporâneas existem ainda raças fictícias e outras construídas a partir das diferenças fenotípicas como a cor da pele e outros critérios morfológicos. É a partir dessas raças fictícias ou “raças sociais” que se reproduzem e se mantêm os racismos populares. [...]

MUNANGA, K. Uma abordagem conceitual das noções de raça, racismo, identidade e etnia. *Inclusão social: um debate necessário?*, [s. l.], [202-?]. Disponível em: <https://www.ufmg.br/inclusaosocial/?p=59g.br>. Acesso em: 24 jan. 2024.

## Trocando ideias



1. Kabengele Munanga faz, em seu artigo, algumas críticas aos naturalistas dos séculos XVIII e XIX. Explique com suas palavras que críticas são essas.
2. Analise a pintura "A Redenção de Cam", do espanhol Modesto Brocos (1852-1936), depois faça o que se pede. Você concorda que essa pintura representa uma forma de hierarquizar, isto é, de estabelecer uma escala de valores entre as chamadas raças? Discuta com colegas.
3. A etnossemântica relaciona o termo "etno", que se refere à etnia ou cultura, e "semântico", que diz respeito ao significado das palavras. Uma possível definição para esse conceito é o estudo dos significados das palavras e/ou expressões dentro de contextos culturais específicos. Por que Kabengele Munanga se refere à raça como uma categoria etnossemântica e não biológica?
4. A partir da classificação da humanidade em raças surgiu, de parte da comunidade científica do final do século XIX, uma ideia que se apoiava no conhecimento sobre a genética para propor supostas melhorias na espécie humana: a eugenia. O termo foi cunhado pelo cientista britânico Francis Galton, em 1883, e deriva das palavras gregas *eu* (bom) e *genos* (raça ou descendência). Pesquise mais sobre o assunto e depois responda:
  - a) Quais foram as duas principais vertentes da eugenia?
  - b) Cite exemplos de políticas eugenistas adotadas em algumas nações.
  - c) Quais foram os principais defensores e os principais críticos da eugenia ao longo da história?
  - d) Quais foram as implicações éticas e morais associadas à eugenia?



Museu Nacional de Belas Artes, Rio de Janeiro

Modesto Brocos. *A Redenção de Cam*, 1895. Óleo sobre tela, 199 cm x 166 cm.

## Recapitule

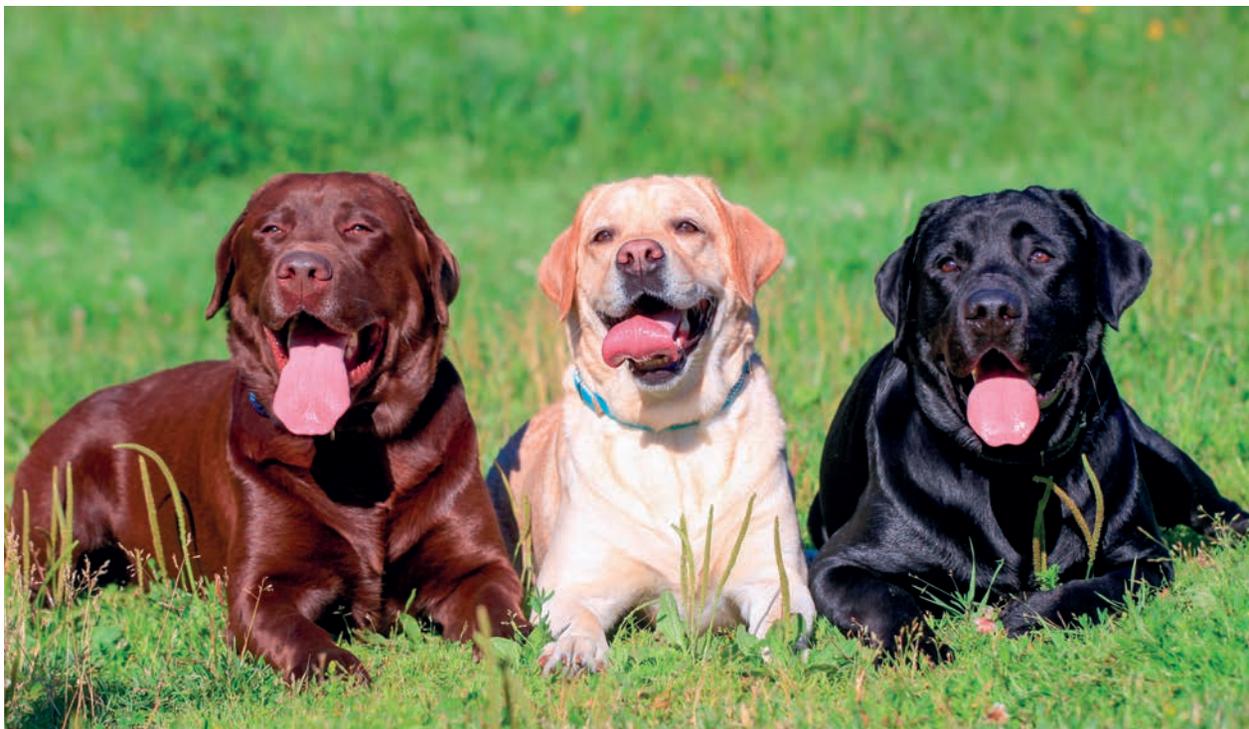


Para sistematizar os conhecimentos deste capítulo, sugerimos que você elabore um glossário, seguindo as etapas:

- Individualmente, defina os seguintes termos: alelo, fenótipo, gene, genótipo, híbrido.
- Realize uma pesquisa sobre esses termos em livros, artigos de divulgação científica, revistas ou jornais para se certificar do conceito e também para ampliar o seu poder de definição do termo.
- Junte-se com três colegas e compare as definições elaboradas. Finalizem propondo uma definição de consenso para cada termo.

No decorrer desta unidade, desafiem-se a conceituar outros termos relevantes para o estudo da Genética e da biotecnologia!

# Heranças monogênicas e poligênicas



Rosa Jay/Shutterstock.com

Labradores exibem três tipos de coloração: marrom, amarela e preta.

## ▼ Para refletir

Analise a imagem acima e responda às questões a seguir.

1. Elabore uma explicação genética para a coloração observada nos labradores. Comente com os colegas.
2. Retome os conceitos de segregação independente e dominância trabalhados no Capítulo 5 e verifique se algum deles se aplica à coloração dos labradores.
3. As leis de Mendel se aplicam a uma minoria dos casos de herança genética. A maioria dos traços hereditários segue padrões mais complexos. Você conhece pessoas com algum traço ou condição genética particular? Comente com a turma.

## Objetivos do capítulo

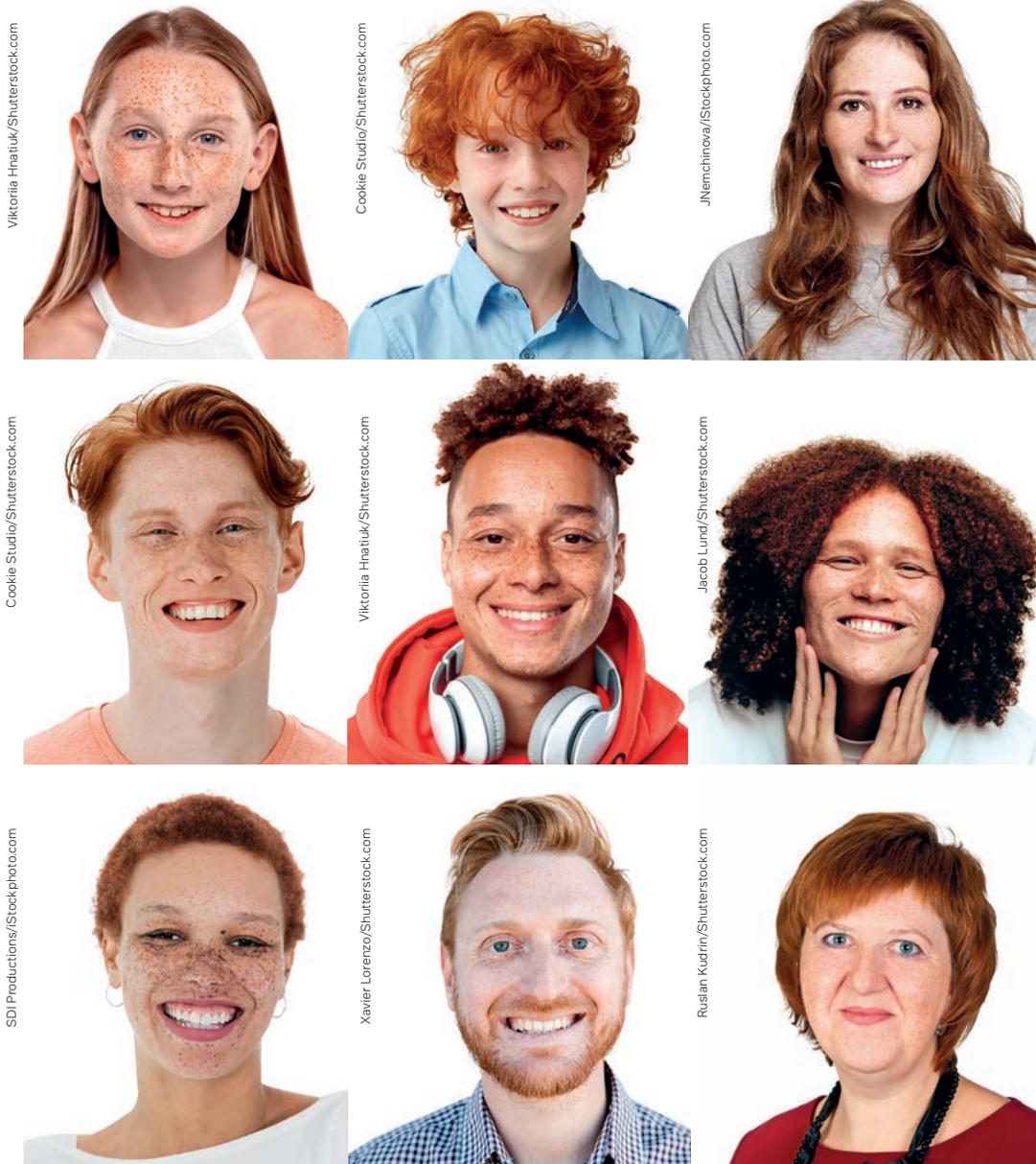
Consulte, no Manual do Professor, as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Explorar exemplos de características humanas e de outros organismos que seguem padrões não mendelianos de herança.
- Comparar os diferentes padrões de herança monogênica e sua relevância na transmissão de características genéticas em diferentes organismos.
- Investigar a diversidade de grupos sanguíneos na comunidade escolar.
- Reconhecer que a interação de múltiplos genes, junto a outros fatores, pode influenciar na expressão de características fenotípicas.
- Pesquisar e discutir a medicina personalizada e seu impacto ético e político nas práticas médicas.
- Reconhecer a importância dos heredogramas na identificação de padrões genéticos e na avaliação de riscos de doenças hereditárias.

## Heranças monogênicas

As Leis de Mendel explicam características derivadas de apenas um gene (**herança monogênica**), com pares de alelos dominantes e recessivos. Os exemplos clássicos desse tipo de herança são a cor e textura das sementes de ervilhas estudadas por Mendel. Cada uma dessas características é condicionada por apenas um gene com somente duas opções de alelos.

Algumas características humanas também podem ser explicadas dessa forma, como a predisposição para expressar os traços de cabelos ruivos e sardas. O MC1R (receptor de melanocortina 1) é um gene cuja ativação promove resistência aos raios UV e sinalização anti-inflamatória. Se uma pessoa herdar dois alelos mutados (homozigoto recessivo) do gene MC1R – um alelo do pai e outro da mãe –, ela será mais propensa a ter cabelos ruivos e sardas. No entanto, essa condição também é influenciada por outros fatores genéticos e ambientais, como a coloração da pele e a exposição ao Sol.



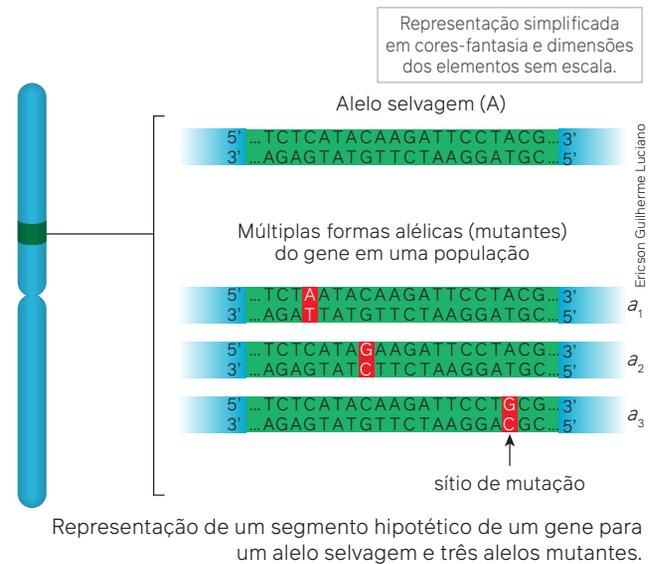
As variantes do gene MC1R influenciam na presença de sardas e cabelos ruivos.

No entanto, nem todas as heranças monogênicas são explicadas com base nas leis de Mendel. Há genes que não apresentam o padrão de dominância observado por Mendel e, em alguns casos, as características observadas podem ser provenientes da expressão de genes com mais de dois alelos.

## Alelos múltiplos

William Bateson (1861-1926) foi um geneticista britânico que popularizou as ideias mendelianas na comunidade científica e descreveu um tipo de herança, o qual chamou de **alelos múltiplos** ou **polialelia** para explicar a ocorrência de três ou mais formas diferentes de um mesmo gene em uma população.

Alelos múltiplos podem ser derivados de mutações ocorridas em diversos sítios de determinado gene selvagem. A ilustração mostra um pequeno segmento hipotético de um gene para o alelo A do tipo selvagem, e três alelos mutantes em uma população:  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ . Cada um dos alelos mutantes tem uma mudança de uma base em comparação com o alelo do tipo selvagem.



### Se liga

Os alelos múltiplos se referem à presença de mais de dois alelos diferentes para um mesmo *locus* gênico em uma população, cada um determinando uma forma específica da característica. Em organismos diploides, cada indivíduo terá apenas dois alelos para uma característica, mas podem existir mais de dois alelos para tal característica no nível populacional.

A principal especificidade dos alelos múltiplos na concepção de Bateson é a hierarquia de características, sendo alguns alelos dominantes em relação a outros, os quais determinam a expressão fenotípica, enquanto outros são recessivos e expressos apenas quando não estão em combinação com alelos dominantes.

Junto a Reginald Punnett (1875-1967), Bateson estudou a coloração da pelagem em coelhos, determinando quatro padrões associados à presença de alelos múltiplos, como mostrado a seguir.

- **Alelo C:** é dominante e sua presença resulta em uma pelagem *aguti* ou *selvagem*, que ocorre na maioria dos coelhos em ambientes selvagens.
- **Alelo  $c^{ch}$ :** produz um padrão de pelagem *chinchila*, que é cinza. Esse alelo é dominante em relação ao **alelo  $c^h$**  e ao **alelo c**.
- **Alelo  $c^h$ :** determina uma pelagem clara com extremidades mais escuras, conhecida como pelagem *himalaio*. É dominante em relação ao **alelo c**.
- **Alelo c:** em dupla recessividade, origina indivíduos *albinos*.

A relação de dominância dos alelos para as cores dos coelhos pode ser expressa como:  $C > c^{ch} > c^h > c$ .



A cor da pelagem em coelhos é determinada por alelos múltiplos: C (aguti),  $c^{ch}$  (chinchila),  $c^h$  (himalaio) e c (albino). Indivíduos albinos são totalmente desprovidos de pigmentação.

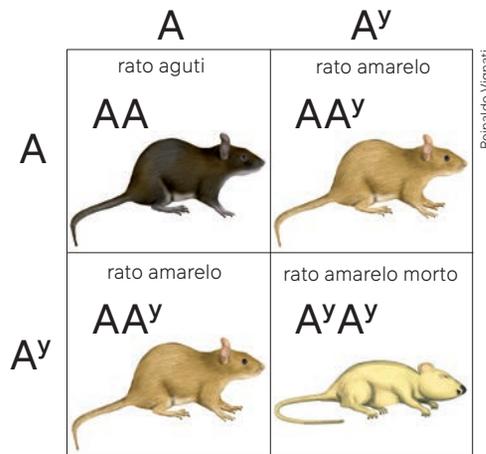
### Se liga

As populações de *Plasmodium falciparum*, um dos agentes causadores da malária, apresentam múltiplos alelos mutantes do gene DHPS associados à resistência a medicamentos antimaláricos, como cloroquina, mefloquina e sulfadoxina-pirimetamina. Essa diversidade alélica dificulta o tratamento da doença, pois vários graus de resistência estão relacionados à presença desses alelos nos parasitas que não são sensíveis a esses medicamentos, tornando o combate à malária um desafio constante.

## Alelos letais

**Alelos letais** são variações ou mutações de genes que, quando expressos, resultam em uma condição que leva à morte precoce ou à inviabilidade do organismo.

Um exemplo clássico é o alelo que confere coloração amarela em ratos ( $A^y$ ). Quando em homozigose, esse alelo causa uma série de alterações fisiológicas e metabólicas. Ratos com genótipo ( $A^yA^y$ ) exibem uma coloração amarela no pelo e não chegam a nascer, morrendo na fase embrionária.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Resultados esperados para o cruzamento entre dois ratos heterozigotos amarelos. Alelos letais inviabilizam a vida de ratos homozigotos para o gene  $A^y$ .

Há casos em que os indivíduos que possuem alelos letais em dose dupla podem sobreviver até a idade reprodutiva; ou, ainda, terem diminuída sua eficiência fisiológica de maneira temporária ou permanente. Algumas condições humanas, como a acondroplasia, são casos de heranças de alelos letais.

Em populações naturais, alelos letais geralmente ocorrem com baixa frequência, já que sua presença reduz ou inviabiliza a sobrevivência dos indivíduos que os carregam. Quando esses alelos são herdados em combinações letais, podem ser eliminados da população por meio da seleção natural. No entanto, em algumas condições, como em heterozigotos, esses alelos podem conferir vantagens seletivas e serem mantidos em equilíbrio na população.

## Atividades propostas



1. A pelagem de coelhos é um caso clássico de herança decorrente de alelos múltiplos.

Alelo	Fenótipo	Relação de dominância
C	aguti ou selvagem	$C > c^{ch} > c^h > c$
$c^{ch}$	chinchila	$c^{ch} > c^h > c$
$c^h$	himalaio	$c^h > c$
c	albino	recessivo

Considerando essas informações, responda:

- a) Qual é a probabilidade de o cruzamento de um coelho albino com um coelho selvagem portador do alelo himalaio gerar descendentes chinchila?
- b) Qual é a probabilidade do cruzamento de um coelho selvagem portador do alelo chinchila com um coelho homozigoto para chinchila gerar descendentes chinchilas?
- c) Quantos genótipos são possíveis para o fenótipo selvagem?
- d) Suponha que você seja especialista em criação de coelhos. Como poderia se beneficiar desse conhecimento comercialmente, considerando, inclusive, as questões éticas relacionadas à criação animal?

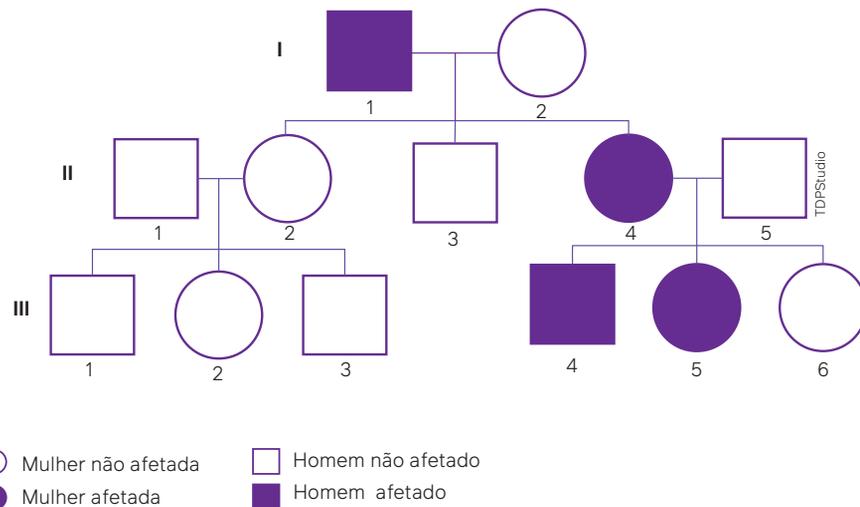
2. Leia o texto a seguir. Depois, faça o que se pede.

A acondroplasia é uma síndrome genética e a forma mais comum de nanismo. É provocada por mutações [...] no gene codificante do receptor de crescimento dos fibroblastos 3, o FGFR3 (em inglês *Fibroblast Growth Factor Receptor 3*). As pessoas que a possuem apresentam, na maioria dos casos, baixa estatura, tronco e membros desproporcionais, deformidades na coluna, atraso no desenvolvimento motor, dificuldades respiratórias, entre outros efeitos fenotípicos sem haver, no entanto, comprometimentos nas funções cognitivas – um exemplo de uma pessoa que possui acondroplasia é o ator famoso Peter Dinklage, que atua na série *Game of Thrones*.

CHAMILETE, C. *et al.* Acondroplasia. *Genética na prática* – (UFSCar), São Carlos, [20--?]. Disponível em: <https://www.geneticanapratica.ufscar.br/temas/acondroplasia>. Acesso em: 16 jul. 2024.

A acondroplasia é um distúrbio genético com um padrão de herança autossômica dominante. Em homozigose, o gene da acondroplasia é letal, ou seja, um embrião com ambos os alelos mutados morre. Com base nessas informações, responda às questões a seguir.

- Quantos alelos dominantes um indivíduo precisa herdar para apresentar acondroplasia?
- Caso apenas um dos genitores tenha acondroplasia, qual é a probabilidade de seus descendentes também apresentarem?
- Observe o heredograma a seguir, que representa a genealogia de uma família com alguns membros com acondroplasia. Como você explica a herança dessa condição na família?



- Suponha que você seja um geneticista e receba em seu laboratório um casal de pessoas com acondroplasia buscando aconselhamento sobre a eventualidade de terem filhos com a síndrome. O que você aconselharia a esse casal?

## Ciência por fora



### Testes genéticos e a medicina personalizada

A evolução dos conhecimentos genéticos e moleculares impacta significativamente nossa compreensão sobre herança de características. O conhecimento sobre os genomas abriu caminho para personalizar a medicina, permitindo, por meio do perfil genético único de cada pessoa, adequar tratamentos e intervenções médicas. Embora a prática seja uma grande promessa para melhorar os resultados da saúde, ela também levanta importantes considerações e desafios éticos.

Em 2013, a atriz estadunidense Angelina Jolie tomou uma decisão após passar por testes genéticos: ela optou por se submeter a uma mastectomia dupla bilateral devido à identificação de uma mutação genética no gene BRCA1, que aumenta significativamente o risco de câncer de mama e ovário. Estudos vêm demonstrando que, em homozigose, o gene BRCA1 mutado é embrionário letal, ou seja, um feto portador de dois alelos mutados não chega a nascer. Sua escolha provocou um debate importante sobre os testes genéticos e as cirurgias preventivas.

Leia a seguir trechos de duas entrevistas concedidas ao portal da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, da Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/Fiocruz), em que os doutores Sergio Koifman (1950-2014) e Afrânio Coelho de Oliveira abordam esse tema. Em seguida, responda às questões propostas.

## Câncer de mama: prevenção é o melhor remédio

Em maio de 2013 o mundo ficou chocado quando a atriz americana Angelina Jolie anunciou a realização da dupla mastectomia (retirada das mamas) preventiva para reduzir o risco elevado de câncer. Mas o que é verdade e o que é mito na necessidade de tal procedimento cirúrgico? Todas as mulheres, quando diagnosticadas com a doença ou com a possibilidade de vir a tê-la, são indicadas para realizar a cirurgia? [...] Abaixo, a entrevista com Koifman.

**[ENSP]/Fiocruz:** A partir do “caso Angelina Jolie”, o objetivo é esclarecer mitos e verdades sobre o procedimento que ela realizou. A principal questão é: todas as mulheres são indicadas para a retirada das mamas?

**Sergio Koifman:** A primeira coisa importante que precisamos esclarecer é que existe um grupo pequeno, em torno de 5% a 7% dos casos de câncer de mama em mulheres, que está nesse grupo do qual a Angelina Jolie faz parte. É um grupo pequeno de famílias com alto risco de casos de câncer em parentes de primeiro grau, como o caso dela em que a mãe e tia tiveram a doença. São casos de câncer que acontecem em gerações sucessivas. Pelo menos 93% dos casos de câncer não se enquadram nessa situação.

**[ENSP]/Fiocruz:** E como é conhecido esse fenômeno?

**Koifman:** Esse fenômeno se chama agregação familiar. São mulheres que têm parentes de primeiro grau, mães, irmãs ou filhos diagnosticados com câncer de mama em duas ou mais gerações e câncer de próstata em homens, em ambos os casos em pessoas com menos de 50 anos. Essas são algumas condições que configuram alto risco de desenvolvimento, não só de câncer de mama, mas de ovários. Hoje, sabe-se que a doença pode ocorrer também no pâncreas ou estômago. E têm se identificado as mutações em genes (BRCA1 e BRCA2) associados a essa ocorrência familiar. Ou seja, dado que existe a mutação, o risco para desenvolver a doença é aumentado.

**[ENSP]/Fiocruz:** Então, podemos afirmar que o caso dela é limitado a um determinado grupo de mulheres.

**Koifman:** Exatamente. A grande maioria dos casos do câncer de mama não é com esses genes. São genes com pouca expressão e baixa penetrância. Existem síndromes que agrupam esses casos em que mãe/irmã desenvolveram câncer de mama e/ou ovário, e de parentes do sexo masculino com câncer de mama e/ou próstata. Analisando uma história familiar, você já sabe que aquela pessoa é de alto risco e nem precisaria fazer um teste mais caro. Por exemplo, se uma pessoa revela que sua mãe teve câncer de mama, a irmã teve câncer de ovário e o irmão teve câncer de próstata, não preciso fazer um teste genético. Sei que essa pessoa, suas filhas e filhos precisam ser acompanhados mais de perto, porque possuem um risco muito elevado para desenvolver a doença.

[...]

**[ENSP]/Fiocruz:** No caso de Angelina Jolie, a retirada da mama é 100% eficaz para evitar a doença?

**Koifman:** Não. Ela fez uma mastectomia bilateral (nome da cirurgia de remoção completa das mamas). Houve uma redução importante do risco, mas ela continua com ele. Mesmo com essa redução, alguma parte do tecido mamário é preservada, e o câncer surge de uma única célula. Ela precisa ser acompanhada, pois não está 100% curada. Não é isso o que ocorre. Ela apenas tem um risco bem reduzido para vir a desenvolver a doença. Numa cirurgia desse tipo, não se tira tudo. Não é como uma amputação de alguma parte do corpo.

[...]

FUCHS, A.; DAMAS, V. Câncer de mama: prevenção é o melhor remédio. *Agência Fiocruz de Notícias*, Rio de Janeiro, 1 jul. 2013. Disponível em: <https://agencia.fiocruz.br/c%C3%A2ncercancer-de-mama-preven%C3%A7%C3%A3o-o-melhor-rem%C3%A9dio>. Acesso em: 24 jul. 2024.

## Retirada das mamas não é solução contra o câncer

A retirada da mama não é a indicação precisa e correta para se combater esse tipo de câncer e muito menos é 100% eficaz, informa o médico do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, da UFRJ, e presidente da Sociedade de Mastologia do Rio de Janeiro, Afrânio Coelho de Oliveira, em entrevista sobre o “caso Angelina Jolie”. [...] Confira, abaixo, a íntegra da entrevista com Oliveira.

**[ENSP]/Fiocruz:** Em entrevista realizada com o pesquisador Sergio Koifman, ele explicou que o caso da atriz Angelina Jolie ocorre em uma população muito reduzida, por conta dos genes BRCA 1 e 2, o que a levou à realização da mastectomia preventiva. Essa foi uma decisão exclusiva dela, correto?

**Oliveira:** Tem um artigo no jornal *O Estado de S. Paulo*, da antropóloga da USP Debora Diniz, chamado “Mercado do medo”, no qual a autora ressalta que o resultado positivo para alta probabilidade de câncer de mama transformou Angelina Jolie em cliente da mercadoria de risco. Ela faz uma reflexão sobre situações

muito peculiares, de uma gama de interesses envolvidos, inclusive da própria mulher. Temos que entender que isso é uma atitude individualizada e contextualizar isso como tal. Cada mulher, cada situação clínica, cada situação de risco vai ter de ser individualizada. E isso que eu chamo de medicina individualizada passa por uma questão básica, que é o aconselhamento genético. E esse aconselhamento genético resulta na testagem, para que se possa chegar a uma situação de tomada de atitude, por exemplo.

[...]

**[ENSP]/Fiocruz:** O senhor é favorável ao procedimento?

**Oliveira:** Eu sou favorável. Eu faço essa cirurgia seis vezes ao ano. É muito raro, difícil e apenas com uma indicação extremamente precisa. É importante ressaltar que essa cirurgia não é indicada pelo médico. Normalmente, é a paciente que decide o momento exato. A gente só corrobora a indicação, a oportunidade, o aconselhamento genético, a testagem genética. Não é imperativo. Mas existem mulheres que chegam demandando a cirurgia porque têm uma prima jovem com câncer de mama, uma irmã falecida com câncer de mama, têm uma mãe com a doença. Elas ficam com muito medo de ser o próximo caso e acabam optando por fazer a testagem genética, o aconselhamento genético e terminam na cirurgia, o que é super válido. Pode ser a diferença entre salvar uma vida ou não. É inadmissível fazer essa cirurgia sem cumprir todas essas etapas que já citei aqui.

[...]

**[ENSP]/Fiocruz:** No nosso país, e também lá fora, essa testagem genética é muito cara. Nós estamos limitados a um grupo muito pequeno da população que pode chegar a fazer esse tipo de exame, porque o SUS não cobre.

**Oliveira:** No SUS, isso é muito restrito. Só se faz em altos estudos e pesquisas com famílias de alto risco, do contrário não se faz e nem tem que fazer. A anamnese é fundamental nesse processo todo. Por meio da anamnese, você sabe se sua mãe teve câncer de mama, a sua história familiar e pessoal. Quando, às vezes, a mulher tem uma forte história de câncer na família, ela já tem, epidemiologicamente falando, uma história familiar de risco para câncer. Não significa que ela seja de alto risco, porque aí é um subgrupo específico. Essa mulher pode ser candidata, inicialmente, a um aconselhamento genético, pelo mastologista, pelo oncogeneticista clínico. Se você identifica que ela tem chances de ser portadora da mutação, você vai indicar a testagem genética.

[...]

FUCHS, A.; DAMAS, V. Retirada das mamas não é solução contra o câncer. *Agência Fiocruz de Notícias*, Rio de Janeiro, 21 jun. 2013. Disponível em: <https://agencia.fiocruz.br/retirada-das-mamas-n%C3%A3o-%C3%A9-solu%C3%A7%C3%A3o-contr-o-c%C3%A2ncer>. Acesso em: 24 jul. 2024.

Embora especialistas acreditem que a decisão de Jolie foi razoável, lembre-se de que cada paciente enfrenta escolhas únicas, levando em consideração diversos fatores, como a genética, o estilo de vida e as influências ambientais relacionadas às doenças. Além disso, questões como cobertura de seguro, diretrizes de políticas e a ética dos testes, especialmente quando os pacientes podem não ter acesso a tratamentos de acompanhamento, tornam esse tema ainda mais complexo.

A decisão da atriz Angelina Jolie de realizar mastectomia bilateral causou o chamado "efeito Angelina", caracterizado pelo aumento da procura de mulheres pelo teste genético que identifica mutação que eleva as chances de se desenvolver câncer de mama.



Adrian Dennis/PA Wire/AP Photo/Imageplus

## Trocando ideias



1. Segundo os dois entrevistados, quais parâmetros devem ser levados em consideração para a tomada de decisão sobre a realização desse procedimento cirúrgico?
2. Embora ambos os especialistas acreditem que a decisão de Jolie foi razoável, cada paciente enfrenta escolhas únicas, levando em consideração diversos fatores, como a genética, o estilo de vida, os recursos financeiros e as influências ambientais relacionadas às doenças. O que você pensa sobre essas escolhas? Comente com os colegas.
3. Quais parâmetros devem ser considerados para a tomada de decisões relacionadas às éticas médica e política relativas a esse tipo de tratamento preventivo, especialmente para garantir o acesso a todas as classes sociais? Comente, o que você pensa sobre o uso desses testes na medicina.

- Em agosto de 2023, apenas os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Amazonas e o Distrito Federal detinham legislação para a realização de exames de detecção de mutação genética dos genes BRCA1 e BRCA2 em mulheres com histórico familiar de diagnóstico de câncer de mama ou de ovário no Sistema Único de Saúde (SUS). Em tramitação federal, o Projeto de Lei n. 265/2020 propõe a realização de testes genéticos para prevenção, diagnóstico e tratamento dos cânceres de mama e ovário no âmbito do SUS em todo o país. O que você pensa sobre as desigualdades no acesso aos serviços de saúde, tendo como exemplo os testes genéticos? Converse com os colegas.
- Durante mais de 30 anos, o tabloide britânico *The Sun* publicou imagens de modelos de *topless* em sua terceira página, gerando controvérsia e levando a petições judiciais para interromper essa prática. Em resposta à pressão pública e à campanha *on-line No More Page 3 (Chega da página 3)*, lançada em 2012, o tabloide finalmente deixou de publicar tais imagens em 2015. Em 2023, o lançamento da campanha *One More Page 3 (Mais uma página 3)* buscou normalizar as mastectomias duplas, como as realizadas por Jolie, e celebrar a diversidade corporal e a sexualidade feminina. A modelo seminua e sem seios, escolhida para representar a campanha, contrastava diretamente com o tipo usual de imagem publicada na página 3. No entanto, a modelo foi alvo de agressões na internet, sendo frequentemente comparada a um menino. A que você atribui esse tipo de comentário sobre o corpo da modelo? Como essa exposição na mídia pode afetar a conscientização sobre o câncer e as opções de tratamento disponíveis para as mulheres? Compartilhe suas reflexões com os colegas.

## Dominância incompleta

A **dominância incompleta** ocorre quando nenhum dos alelos é completamente dominante sobre o outro, resultando em uma expressão fenotípica intermediária nos indivíduos heterozigotos.

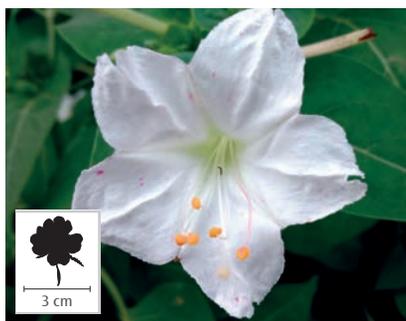
A cor das flores da planta maravilha (*Mirabilis jalapa*) é um exemplo, cujas características são determinadas por dois alelos:

- **Alelo  $C^R$** : codifica a produção de pigmentos vermelhos nas flores.
- **Alelo  $C^W$** : não codifica pigmentos, resultando em flores brancas.

Indivíduos que possuem ambos os alelos terão coloração rosa, pois a expressão desses alelos contribui para a produção de pigmentos vermelhos em menor intensidade, resultando em um fenótipo intermediário.



Indivíduos homocigotos  $C^R C^R$  apresentam flores vermelhas.



Indivíduos homocigotos  $C^W C^W$  apresentam flores brancas.



Indivíduos heterocigotos  $C^R C^W$  apresentam flores de cor rosa.

## Codominância

A **codominância** se refere à expressão dos dois fenótipos simultaneamente no indivíduo heterozigoto.

Esse tipo de herança foi descrito pela primeira vez pelo imunologista e patologista austríaco Karl Landsteiner (1868-1943). Investigando o sistema sanguíneo, Landsteiner observou um padrão de reações – aglomeração – que ocorria quando combinava soro sanguíneo de certos indivíduos, o que poderia obstruir pequenos vasos sanguíneos e levar, em alguns casos, à morte dos indivíduos.

Ele explicou esses aglomerados como uma reação entre antígenos diferentes presentes na superfície das células vermelhas do sangue doador e anticorpos do plasma do receptor. Hoje sabemos que os antígenos são responsáveis pela determinação dos grupos sanguíneos, e a interação entre os antígenos de diferentes indivíduos pode levar a respostas imunológicas adversas a partir de uma reação antígeno-anticorpo, que pode resultar na coagulação e na obstrução dos vasos sanguíneos.

## Se liga

Antígeno é o nome genérico para qualquer substância estranha ao organismo – geralmente proteínas ou carboidratos encontrados na superfície de células, bactérias, vírus, além de outras partículas – que pode desencadear uma resposta do sistema imunológico, que, por sua vez, resulta na produção de anticorpos específicos para neutralizar os antígenos. Doenças autoimunes ocorrem quando antígenos provenientes do próprio corpo são atacados pelo sistema imunológico.

## Sistema ABO

O sistema ABO é um exemplo de codominância. Esse sistema é composto de três alelos principais que determinam os diferentes tipos sanguíneos (A, B, AB e O), como mostrado a seguir.

**Alelo I<sup>A</sup>:** codifica a produção de antígeno A.

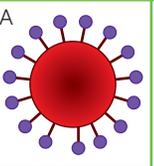
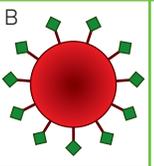
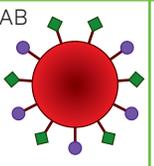
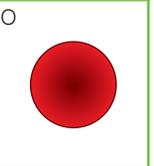
**Alelo I<sup>B</sup>:** codifica a produção de antígeno B.

**Alelo i:** não codifica a produção de antígeno.

A combinação desses alelos determina o tipo sanguíneo. Indivíduos com genótipo I<sup>A</sup>I<sup>A</sup> ou I<sup>A</sup>i terão tipo sanguíneo A. Indivíduos com genótipo I<sup>B</sup>I<sup>B</sup> ou I<sup>B</sup>i terão tipo sanguíneo B. Indivíduos com genótipo ii terão tipo sanguíneo O. Landsteiner descreveu ainda um quarto tipo sanguíneo ao observar que indivíduos heterozigotos com os alelos I<sup>A</sup> e I<sup>B</sup> apresentavam simultaneamente os antígenos A e B em suas hemácias, ou seja, manifestavam simultaneamente os fenótipos dos dois alelos, sendo um caso de codominância.

O sistema ABO é também um exemplo de alelos múltiplos, pois apresenta três alelos diferentes de um único gene (I<sup>A</sup>, I<sup>B</sup> e i).

Se um indivíduo possui antígeno A em suas células vermelhas (tipo sanguíneo A), ele produzirá anticorpos anti-B em resposta ao antígeno B. Se tiver antígeno B (tipo sanguíneo B), produzirá anticorpos anti-A em resposta ao antígeno A. Já as pessoas com tipo sanguíneo AB não produzem anticorpos anti-A nem anti-B, enquanto as com tipo sanguíneo O produzem anticorpos anti-A e anti-B. Observe o quadro que resume tais características.

Sistema ABO, anticorpos e antígenos				
	Grupo A	Grupo B	Grupo AB	Grupo O
Tipos de células vermelhas				
Anticorpos no plasma	 Anti-B	 Anti-A	Nenhum	 Anti-A e Anti-B
Antígenos em células vermelhas	 Antígeno A	 Antígeno B	 Antígeno A e B	Nenhum

Reinaldo Vignati

## Se liga

O fator Rh é determinado geneticamente por um único gene com dois alelos e se tornou parte do sistema de tipagem sanguínea, indicado por um qualificador positivo ou negativo após o grupo sanguíneo; por exemplo, O<sup>+</sup> ou AB<sup>-</sup>.



## Tipagem sanguínea da comunidade escolar

Conhecer a tipagem sanguínea da comunidade escolar pode ser importante para garantir a segurança em emergências, promover a doação de sangue e melhorar a conscientização da população do entorno escolar sobre a saúde coletiva. No Brasil, os grupos sanguíneos mais comuns são os tipos O<sup>+</sup> e A<sup>+</sup>. Juntos, eles abrangem 70% da população.

Nesta atividade, vocês investigarão os grupos sanguíneos da comunidade escolar. Para isso, farão uma pesquisa sobre a tipagem sanguínea das pessoas do entorno escolar por meio de um questionário ou entrevista.

### Material:

- caderno de campo;
- equipamentos eletrônicos para gravação, caso optem pela entrevista;
- computador, impressora e acesso à internet (se forem fazer questionário *on-line*).

### Procedimento

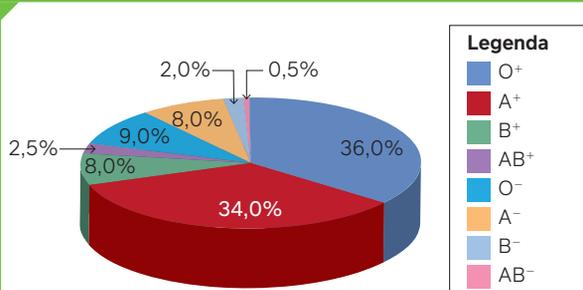
1. Elaborem uma questão de pesquisa, considerando a importância e a necessidade da divulgação desses dados para a comunidade. Estabeleçam um objetivo para a pesquisa.
2. Especifiquem o público-alvo e decidam qual será o instrumento de coleta de dados: entrevista ou questionário. Elaborem as questões, que podem relacionar o nome, a idade, o sexo e a tipagem sanguínea (sistema ABO e do fator Rh), além de outros dados que julgarem relevantes para os objetivos da pesquisa.
3. Estabeleçam como os instrumentos de coleta de dados serão aplicados. Em caso de questionário, podem ser utilizados formulários *on-line* ou impressos.
4. Coletados os dados, façam a análise:
  - Organizem os dados coletados.
  - Elaborem tabelas e gráficos e estabeleçam comparações, de forma coletiva, avaliando quais tipos sanguíneos são mais frequentes e se os dados coletados estão em conformidade com as estatísticas encontradas para a população brasileira.
5. Estruturem as conclusões da pesquisa.
6. Produzam um material de divulgação dos resultados para a comunidade escolar e, em parceria com o banco de sangue da cidade ou região, elaborem uma campanha de conscientização para a doação de sangue.

### Trocando ideias



1. Qual é a melhor forma de organizar e analisar as informações sobre os grupos sanguíneos da comunidade escolar?
2. Qual é a distribuição dos grupos sanguíneos (A, B, AB, O) na comunidade escolar e qual é a frequência de cada tipo sanguíneo?
3. Qual é a prevalência do fator Rh positivo e negativo na comunidade escolar? Existe diferença entre os dois grupos?
4. Considerando os grupos sanguíneos mais frequentes na comunidade escolar, há alguma tendência relacionada à idade ou ao sexo?
5. Comparem os dados da comunidade com as estatísticas esperadas para a população brasileira. Expliquem as diferenças e semelhanças encontradas.
6. Quais fatores podem influenciar a diversidade genética dos grupos sanguíneos da comunidade escolar?

### Percentual de ocorrência dos tipos sanguíneos na população brasileira



Fonte: AMAZONAS. Fundação Hospitalar de Hematologia e Hemoterapia do Amazonas. *Sobre o sangue*. Manaus: HEMOAM/AM, [20--?]. Disponível em: [https://www.hemoam.am.gov.br/?secao=sobre\\_sangue](https://www.hemoam.am.gov.br/?secao=sobre_sangue). Acesso em: 16 jul. 2024.

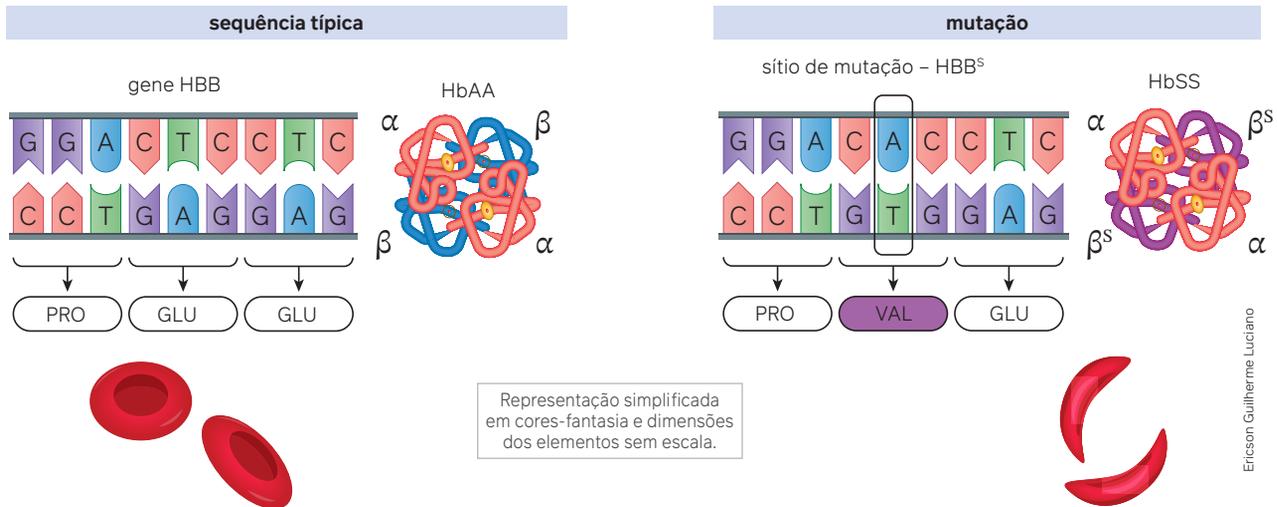
# Pleiotropia

A **pleiotropia** é um fenômeno genético no qual um único gene determina múltiplos traços fenotípicos ou características em um organismo; por exemplo, um gene que controla a produção de um hormônio de crescimento em plantas pode também influenciar a coloração das flores e a resistência a pragas.

A pleiotropia ocorre em diversas espécies, podendo estar associada a efeitos abrangentes, como genes reguladores do desenvolvimento embrionário e expressão de hormônios e proteínas; também pode estar associada a características complexas, como doenças multifatoriais ou traços comportamentais.



A anemia falciforme é uma doença pleiotrópica, porque a expressão de um único gene (HBB) mutado gera múltiplas consequências para todo o corpo. O gene HBB guarda informações para a síntese da betaglobina, uma subunidade da hemoglobina, uma proteína contendo ferro que facilita o transporte de oxigênio nos glóbulos vermelhos. Quando mutado, as hemácias assumem a forma de foice, o que impede o funcionamento adequado no transporte de gases. Como resultado, as células não conseguem fluir facilmente pelos vasos sanguíneos, aumentando o risco de coágulos sanguíneos e, possivelmente, privando órgãos vitais de oxigênio.



Na anemia falciforme, a substituição de adenina por timina altera o sexto códon da proteína madura de glutamina para valina, alterando, assim, a configuração da hemoglobina e, conseqüentemente, das hemácias.

Fonte: NIRUPAMA, R.; SPARKENBAUGH, E. M. The APC-EPCR-PAR1 axis in sickle cell disease. *Frontiers in Medicine*, [s. l.], 11 jul. 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2023.1141020/full>. Acesso em: 16 jul. 2024.

## #FicaADica

**O que é Anemia Falciforme? – Papo de Ciência #12**, Papo de Ciência. *Podcast* com a participação de Jonathan Milhomens, doutorando da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Jonathan, além de falar de sua trajetória na carreira científica, explica a anemia falciforme: características, efeitos no organismo, sintomas, métodos de diagnóstico e as opções de tratamento disponíveis. Além disso, são apresentadas informações sobre a importância da conscientização e do suporte para indivíduos que vivem com essa condição. Disponível em: <https://youtu.be/fwbA2T5ZInY>. Acesso em: 15 jul. 2024.



1. Leia o texto a seguir e depois responda à questão.

[...]

A Fenilcetonúria é um dos erros inatos do metabolismo, com padrão de herança autossômico recessivo. O defeito metabólico, gerado geralmente da enzima hepática Fenilalanina Hidroxilase, leva ao acúmulo do aminoácido Fenilalanina (FAL) no sangue e ao aumento da Fenilalanina e da excreção urinária de Ácido Fenilpirúvico. Foi a primeira doença genética a ter tratamento estabelecido com terapêutica dietética específica.

Sem a instituição, por meio de programas de Triagem Neonatal, do diagnóstico precoce e do tratamento antes dos 3 meses de vida, a criança afetada pela Fenilcetonúria apresenta um quadro clínico clássico, caracterizado por atraso global do desenvolvimento neuropsicomotor (DNPM), deficiência mental, comportamento agitado ou padrão autista, convulsões, alterações eletroencefalográficas e odor característico na urina.

[...]

BRASIL. Ministério da Saúde. Programa Nacional da Triagem Neonatal. *Fenilcetonúria* (PKU). Brasília, DF: MS, 16 nov. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saes/sangue/pntn/fenilcetonuria-pku>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Além do quadro clínico apresentado no texto, o gene que causa a fenilcetonúria pode levar ao albinismo. Com base nessas informações, é correto afirmar que a fenilcetonúria é um caso de:

- pleiotropia, pois um par de alelos é responsável por diferentes características no indivíduo.
  - codominância, em que os dois alelos recessivos se expressam determinando diferentes características.
  - dominância incompleta, uma vez que ocorre a formação de diferentes fenótipos devido à ausência de dominância do gene recessivo.
  - alelos múltiplos, pois diferentes alelos interagem para definir as diferentes características dos sujeitos.
2. Leia o texto a seguir. Depois, faça o que se pede.

[...] Os sistemas de grupos sanguíneos consistem em um ou mais antígenos controlados por um único *locus* no gene ou por um grupo de genes homólogos relacionados entre si. De acordo com a Sociedade Internacional de Transfusão de Sangue (*International Society of Blood Transfusion* – ISBT), atualmente foram reconhecidos 36 sistemas de grupos sanguíneos, cujos genes foram identificados e sequenciados e todos os polimorfismos são conhecidos.

[...]

GUIMARÃES, H. C. T. Os sistemas de grupos sanguíneos kell, kidd e duffy. *Ciencianews*, [s. l.], [20--?]. Disponível em: [https://www.ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/Artigos\\_cientificos/3-Os\\_sistemas\\_de\\_grupos\\_sanguineos.pdf](https://www.ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/Artigos_cientificos/3-Os_sistemas_de_grupos_sanguineos.pdf). Acesso em: 16 jul. 2024.

Os sistemas de grupos sanguíneos mais conhecidos são o sistema ABO, visto neste capítulo, e o sistema MN. Pesquise o sistema sanguíneo MN, indique os genótipos possíveis, os grupos sanguíneos determinados por eles e os fenótipos e explique o tipo de herança.

3. O teste do pezinho é um exame obrigatório que permite identificar doenças genéticas graves como a fibrose cística, a anemia falciforme e a fenilcetonúria. Pesquise sobre o teste: o que é, como e onde é realizado e que outras doenças podem ser identificadas por ele. Depois, responda: Quais são os benefícios desse teste para a saúde?

## Heranças poligênicas

Na **herança poligênica** ou **herança quantitativa**, as características são reguladas por mais de um gene. A interação gênica, associada às influências de fatores ambientais, gera variação fenotípica, mesmo entre indivíduos com genótipos semelhantes. Em humanos, o pigmento melanina é o principal determinante da cor da pele, também presente no cabelo e na íris. Entretanto, já foram identificados mais de 150 genes tendo um efeito direto ou indireto na cor da pele. A cor da pele humana é, portanto, uma característica poligênica, em que estão envolvidos múltiplos *loci* (plural de *locus*) gênicos em sua expressão.

## Herança poligênica aditiva

Ocorre quando vários genes, expressos independentemente, contribuem de forma aditiva para a manifestação fenotípica de uma característica. Isso resulta em um intervalo contínuo de fenótipos na população, ou seja, quanto mais alelos para uma determinada característica estiverem presentes, mais pronunciado será o fenótipo. Um exemplo desse tipo de interação gênica é a determinação da altura em seres humanos e plantas.

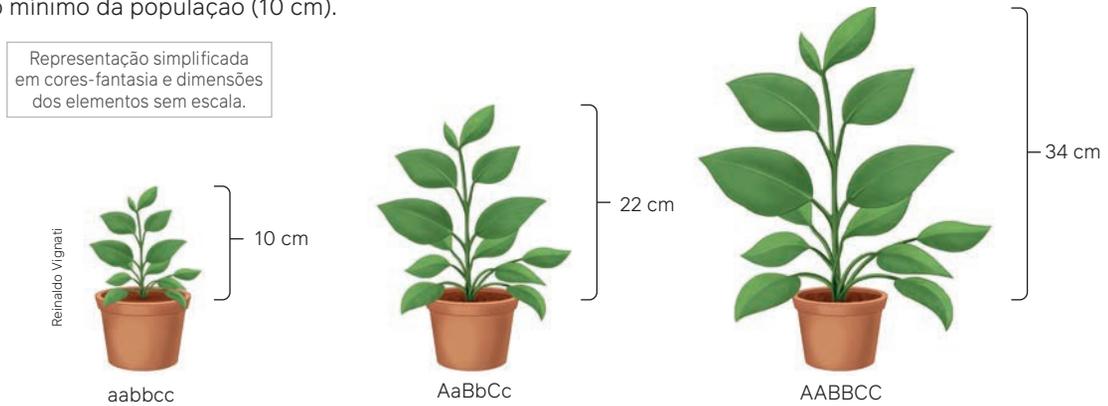


Vídeo

Cor da pele: gene MC1R, fatores ambientais e história evolutiva

Veja um exemplo hipotético de herança poligênica aditiva.

Suponha que uma planta tenha a altura determinada por três genes diferentes, com dois alelos em cada gene. Imagine também que a população dessa espécie hipotética varie entre 10 e 34 cm de altura, sendo que a expressão de cada alelo aditivo dominante (A, B e C) contribui com 4 cm para a altura total da planta. Se a planta apresentar o genótipo AABBCc, é esperado que sua altura final seja de 34 cm ( $10 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 34$ ). Se a planta apresentar o genótipo AaBbCc, sua altura final será de 22 cm ( $10 + 4 + 0 + 4 + 0 + 4 + 0 = 22$ ), considerando o tamanho mínimo da população (10 cm).



Exemplo hipotético de planta que tem a altura determinada por herança poligênica aditiva.

É importante destacar que a herança quantitativa é mais complexa do que o exemplo hipotético propõe, envolvendo fatores genéticos e ambientais que afetam a expressão das características fenotípicas. Por exemplo, a exposição limitada à luz pode ser um fator que influencia na altura esperada das plantas.

## Atividades comentadas



Analise um exemplo de herança poligênica aditiva na questão de vestibular a seguir.

- (Fameca-SP – 2019) Em uma variedade de milho diploide, o comprimento da espiga é determinado por dois genes, A e B, com efeito aditivo e segregação independente. Plantas que apresentam apenas genes dominantes produzem espigas de 20 cm de comprimento. Plantas que apresentam apenas genes recessivos produzem espigas de 12 cm de comprimento. O cruzamento entre uma planta AAbb e outra Aabb resultará, após o plantio das sementes, em um milharal que produzirá espigas de:
  - 14 cm e 16 cm em quantidades equivalentes.
  - 16 cm e 18 cm em quantidades equivalentes.
  - 20 cm em menor quantidade.
  - 12 cm em maior quantidade.
  - 18 cm em maior quantidade.

### Resolução

De acordo com o enunciado, sabemos que a altura do milho é influenciada pela soma de efeitos aditivos de dois genes que se segregam independentemente. Sabemos também que indivíduos AAbb têm 20 cm de altura, e indivíduos aabb têm 12 cm de altura. Podemos inferir que cada alelo aditivo dominante incorpora 2 cm de altura, partindo de um mínimo de 12 cm. Portanto, vamos recorrer ao diagrama de Punnett para prever os possíveis descendentes desse cruzamento.

	<b>Ab</b>
<b>Ab</b>	AAbb
<b>ab</b>	Aabb

Metade dos indivíduos terá dois alelos aditivos dominantes, ou seja, 16 cm. A outra metade terá apenas um alelo aditivo dominante, ou seja, 14 cm. Portanto, a única alternativa correta é a letra **a**.

## Herança poligênica não aditiva

A herança poligênica não aditiva refere-se àquelas características que são controladas por mais de um gene, mas não seguem um padrão aditivo na determinação do fenótipo. A interação entre esses genes pode levar a uma gama de resultados, incluindo a expressão de fenótipos intermediários ou novos que não são observados nos estados homocigóticos individuais.

A **epistasia** é um exemplo de herança poligênica em que a expressão de um gene (gene epistático) inibe ou modifica a expressão de outro gene (gene hipostático). Por exemplo, a cor da pelagem em cães da raça labrador pode variar entre amarela, preta e marrom. Cada cor é controlada por diferentes genes em *locus* específicos, sendo os principais:

- **Gene B (black ou brown)**: gene que controla a cor de pigmento melanina. Cães com pelo preto têm ao menos um alelo dominante (B), enquanto cães com pelo marrom devem possuir dois alelos recessivos (bb).
- **Gene E (extension)**: gene que controla a deposição de pigmento melanina no pelo. O alelo dominante (E) determina a deposição das cores preta ou marrom, dependendo do genótipo no *locus* do gene preto/marrom, enquanto o alelo recessivo em homocigose (ee) determina a cor amarela, independentemente do genótipo no *locus* preto/marrom.

Nesse caso, diz-se que o gene para deposição de pigmento (E/e) é epistático ao gene que codifica a cor do pigmento preto ou marrom (B/b).

Os genótipos das três cores podem ser sintetizados conforme mostrado no quadro a seguir.

Preto	Marrom	Amarelo
B _ E _	b b E _	_ _ e e

Explore o diagrama de Punnett de um cruzamento de cães labradores duplo heterocigotos que ilustra essa herança epistática.



Genótipos e fenótipos previstos para a descendência de cruzamentos entre dois labradores pretos de genótipo duplo heterocigotos.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 331.



- Um caso clássico de epistasia dominante é a cor das galinhas. O alelo C determina que as galinhas sejam coloridas, e o alelo c determina que sejam brancas. O alelo I é epistático e impede a pigmentação; o alelo i não apresenta interferência. Dê os fenótipos das galinhas com base nos seguintes genótipos:
  - iiCC
  - liCc
  - iicc
  - liCC
  - licc

- Ferramentas computacionais têm sido cada vez mais presentes na pesquisa genética. Alguns programas conseguem analisar redes de genes que interagem e influenciam determinadas condições, como doenças que se manifestam com múltiplos fenótipos. Segundo a Revista Fapesp, em reportagem que aborda um desses softwares produzido por um pesquisador brasileiro, os algoritmos podem ser projetados para integrar informações de banco de dados, verificando "se o gene ligado à doença tende a interagir com outros genes e a formar uma rede com potencial para afetar alguma via de sinalização". 

AGUIAR, R. Programas para uma biologia integrada. *Revista Fapesp*, São Paulo, ed. 248, out. 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/programas-para-uma-biologia-integrada/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

Considerando a tecnologia descrita, elabore hipóteses e discuta com a turma como programas computacionais e algoritmos podem contribuir para a melhoria da medicina de doenças poligênicas.

- Um *locus* de característica quantitativa (sigla em inglês, QTL) é uma região do DNA que está associada a uma característica fenotípica particular, que varia em grau e que pode ser atribuída a efeitos poligênicos, ou seja, ao produto de dois ou mais genes e seu ambiente. O mapeamento de QTLs é uma técnica importante na agricultura para identificar regiões do genoma associadas a características desejáveis, como resistência a pragas e doenças. Leia a seguir informações extraídas de um estudo genético realizado com variantes do tomateiro. Em seguida, responda à questão.

Descendentes de retrocruzamentos realizados com tomates de duas variedades – *Lycopersicon esculentum* cultivado × *Lycopersicon hirsutum* selvagem – revelaram a presença de QTLs de resistência à *Phytophthora infestans*, o fungo causador da requeima, oriundos de alelos da matriz selvagem. A superfície inferior das folhas dos tomateiros, isoladas em ambientes estéreis, foram inoculadas com uma gotícula repleta de esporos desse fungo e acompanhadas ao longo de um período, verificando a proliferação do fungo. Como parte dos resultados obtidos, o grupo de pesquisa sugeriu que a rápida dispersão das gotículas, em parte desses descendentes, pode reduzir a umidade da superfície das folhas, condições essenciais para o crescimento de *P. infestans*, ou que a dispersão pode reduzir a exposição de *P. infestans* a compostos foliares que promovem a infecção. Os QTLs de resistência mapeados coincidem com os QTLs relacionados à dispersão de gotículas do inóculo nas folhas, uma característica presente nas plantas selvagens que pode contribuir para a resistência.

BROUWER, D. J.; JONES, E. S.; ST. CLAIR, D. A. QTL analysis of quantitative resistance to *Phytophthora infestans* (late blight) in tomato and comparisons with potato. *Genome*, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 475-492, jun. 2004.

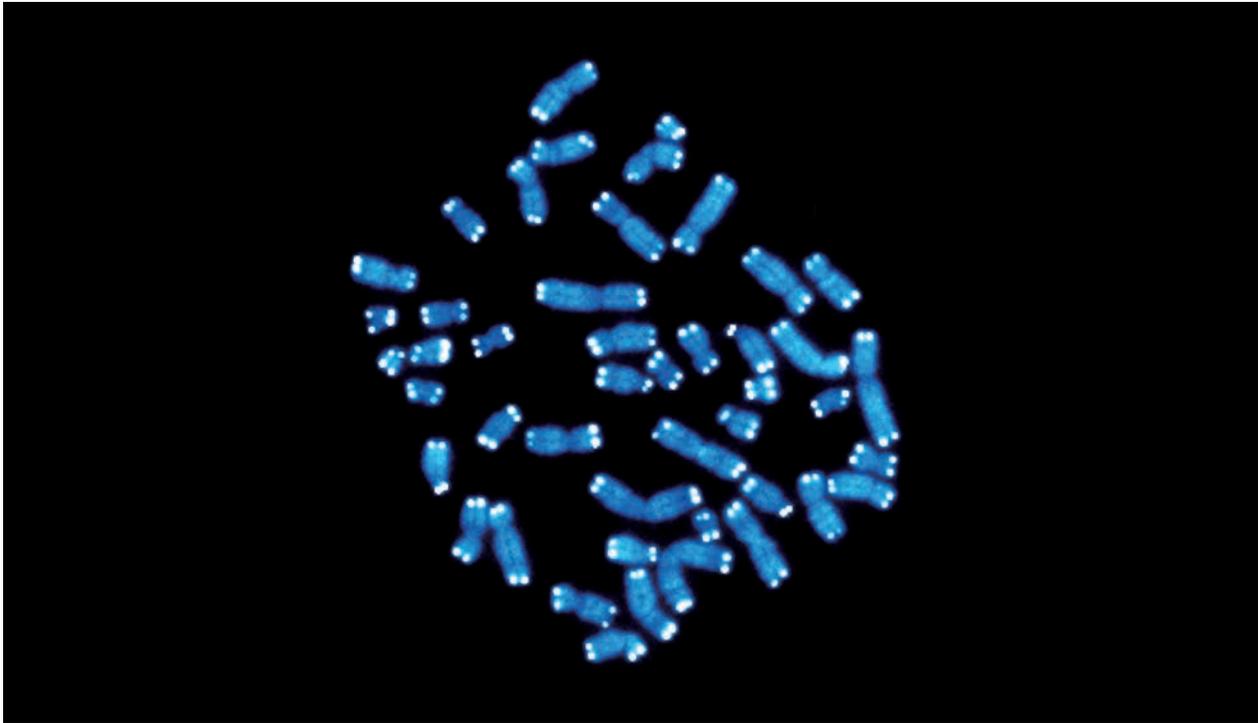
Explique como o mapeamento de QTLs pode ser utilizado para desenvolver plantas de tomate mais resistentes à *Phytophthora infestans*. Em sua resposta, mencione como os QTLs e a dispersão de gotículas do inóculo estão relacionados à resistência foliar.

## Recapitule



Neste capítulo, vimos que nem todas as características hereditárias são explicadas pela genética mendeliana. Para sintetizar os conteúdos do capítulo, que tal elaborar um jogo da memória sobre os termos e conceitos aprendidos? Lembre-se de que cada par de cartas do jogo deve conter um termo ou conceito relacionado à herança e sua definição ou explicação correspondente. Aqui vão algumas sugestões: alelos múltiplos, alelos letais, genes, herança monogênica, herança poligênica, dominância completa, dominância incompleta, codominância, grupos sanguíneos, anticorpos, antígenos, pleiotropia, *locus*, epistasia, mutações, genótipos, fenótipos. Quais mais?

# Cromossomos e genética de populações



Hesed Padilla-Nash and Thomas Ried, National Cancer Institute, National Institutes of Health/SPL/Photoarena

Micrografia de luz fluorescente de cromossomos humanos, usando FISH (hibridização fluorescente *in situ*) para mostrar telômeros (branco) nos cromossomos (azul). Ampliação aproximada de 1400 vezes.

## ▼ Para refletir

1. O que são cromossomos e qual é o papel dessas estruturas na hereditariedade? Elabore uma hipótese para explicar por que as técnicas de pintura cromossômica, demonstradas na imagem de abertura, podem ser elucidativas quanto à estrutura e à evolução dos genomas.
2. Você conhece o fenômeno da recombinação genética? Em que situações ele pode ocorrer? Qual é a relação desse fenômeno com a variabilidade genética?
3. O que significa dizer que uma população atingiu o equilíbrio genético? Quais fatores ou condições você acredita que são importantes para manter o equilíbrio ao longo das gerações?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

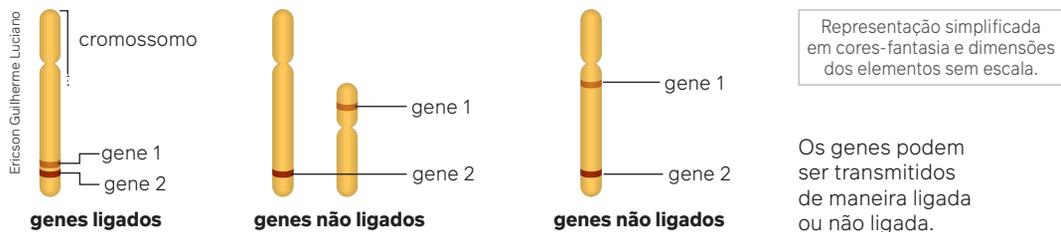
- Relacionar a estrutura e a função dos cromossomos com a herança de caracteres.
- Explicar o processo de recombinação genética, calcular a frequência de recombinação em cruzamentos e discutir a importância desse fenômeno para a variabilidade genética.
- Avaliar como a herança relacionada aos cromossomos sexuais acarreta diferenças na expressão de características entre indivíduos do sexo masculino e feminino.
- Explicar os conceitos de expressividade e penetrância gênica, além de como esses fatores podem influenciar a manifestação de características genéticas em diferentes indivíduos.
- Associar as premissas e aplicações do princípio de Hardy-Weinberg com a estabilidade das frequências alélicas em uma população em equilíbrio.

# Cromossomos e herança

Os **cromossomos** são estruturas relacionadas à transmissão de informações genéticas ao longo de gerações de uma mesma espécie. Quando os organismos se reproduzem, os cromossomos são transmitidos aos descendentes.

Em organismos diploides, os cromossomos ocorrem aos pares, sendo um herdado de um genitor e o outro herdado do outro genitor. São nomeados de cromossomos homólogos, que têm tamanho e forma semelhantes, além de mesma sequência de genes. Os genes herdados no mesmo cromossomo e próximos um do outro estão menos sujeitos a eventos de **recombinação genética**, ou seja, quando segmentos inteiros de DNA trocam de lugar entre os cromossomos homólogos. Esses genes são chamados de **genes ligados**, e tendem a ser transmitidos como uma unidade. Já quando os genes estão no mesmo cromossomo, mas distantes um do outro, ou quando os genes estão em cromossomos diferentes, são chamados de genes **não ligados**. Em genes não ligados, aumentam as chances de um evento de recombinação.

Por esse motivo, a lei da segregação independente de Mendel não se aplica a todos os casos, sendo válida apenas para as heranças monogênicas de genes não ligados.



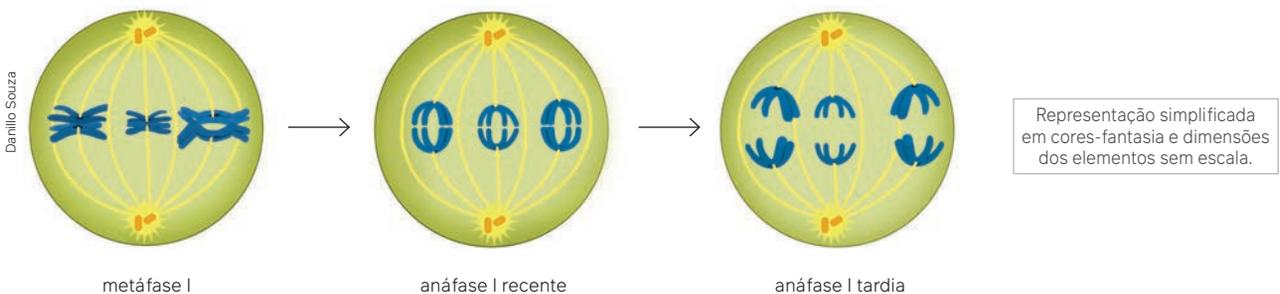
## Saiba mais

### Quantidade de genes e cromossomos de uma espécie

Os organismos têm muito mais genes do que cromossomos, e a quantidade de genes não está relacionada ao tamanho do organismo, tampouco à sua complexidade. Os seres humanos, por exemplo, apresentam 46 cromossomos e aproximadamente 23 mil genes. As moscas-das-frutas do gênero *Drosophila* têm quatro cromossomos e aproximadamente 13.600 genes. A planta de ervilha, estudada por Mendel, tem 14 cromossomos e aproximadamente 30 mil genes.

## Recombinação genética e variabilidade

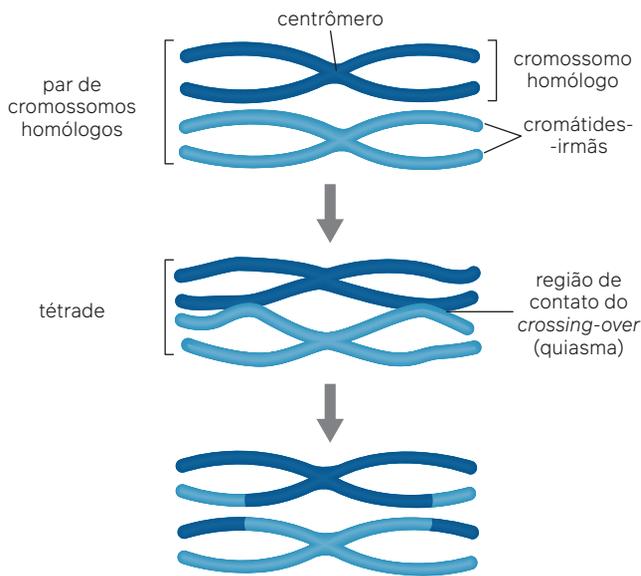
Durante a formação dos gametas na meiose, ocorrem diferentes etapas, e as células reprodutivas são formadas com metade do número usual de cromossomos da espécie.



Na metáfase I, os pares de cromossomos homólogos se encontram dispostos na placa metafásica (equatorial), com um cromossomo de cada par voltado para cada polo da célula. Na anáfase I, os cromossomos homólogos migram em direção a polos opostos, guiados pelos microtúbulos das fibras do fuso.

Fonte: GRIFFITH, A. J. F. et al. *Introduction to Genetic Analysis*. 7. ed. Nova York: WH Freeman and Co., 1999. p. 71.

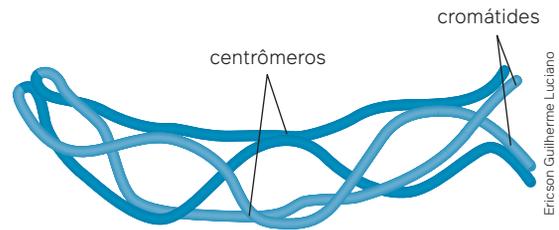
Nos estágios iniciais da meiose, quando os cromossomos homólogos se alinham em pares, pode ocorrer um evento de **recombinação genética**, também denominado de *crossing-over*. Durante o pareamento de cromossomos, ocorrem quebras específicas mediadas por enzimas presentes na região das cromátides (tétrades), o que possibilita a troca de material genético entre os cromossomos homólogos. A região de contato ou ponto de sobreposição entre os cromossomos homólogos é denominada **quiasma**, e pode ser visualizada por meio de microscopia óptica.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



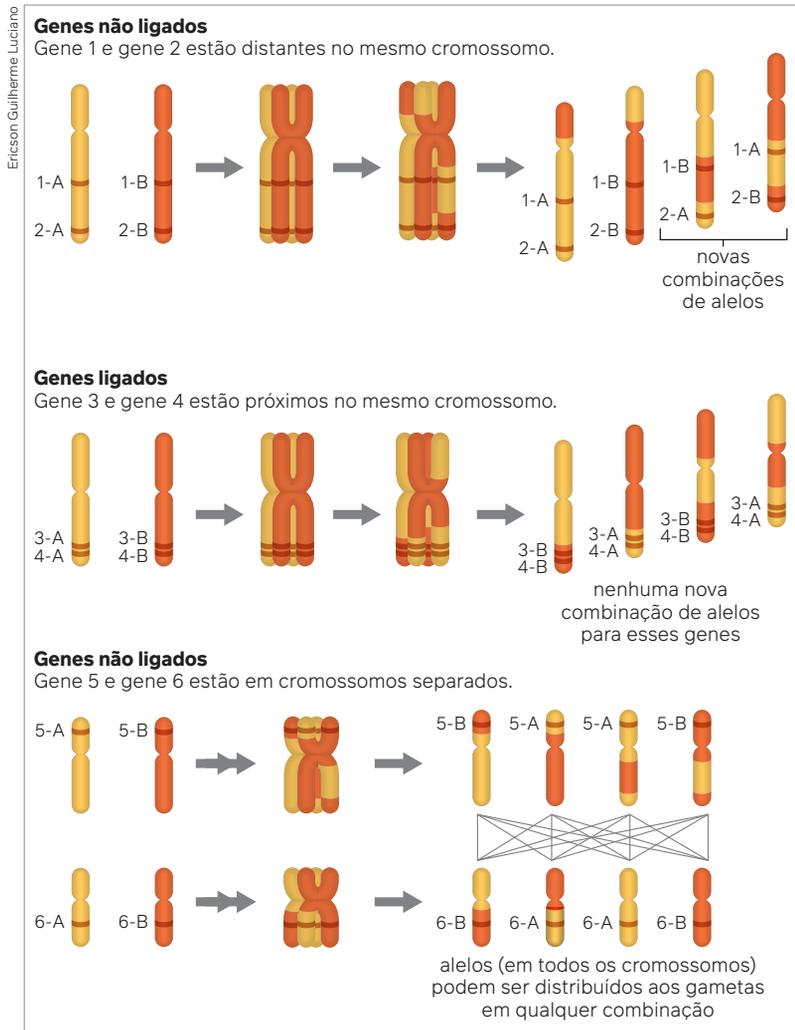
Science VU/B. John/Visuals Unlimited, Inc./Imageplus



Ericson Guilherme Luciano

Pareamento de cromossomos homólogos e *crossing-over* na meiose. Esquema e imagem de microscopia. Ampliação aproximada de 4400 vezes.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 316.



A recombinação genética aumenta a variabilidade genética, pois gera novas combinações de alelos nos gametas e, conseqüentemente, nos descendentes.

As pesquisas que desvendaram os mecanismos da recombinação genética envolveram a reprodução em drosófilas – moscas de tamanho pequeno da espécie *Drosophila melanogaster*. As análises de como ocorrem as trocas de material genético entre cromossomos homólogos durante a formação dos gametas dessa espécie resultaram em novas formas de explicar a diversidade genética observada nesse grupo de organismos.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema da formação de gametas em casos de genes ligados e não ligados. Os gametas formados após a meiose e o *crossing-over* carregam uma mistura única de genes dos cromossomos parentais. Isso gera variação genética entre os gametas, aumentando a diversidade genética dos descendentes.

Fonte: UNIVERSITY OF UTAH. Genetic Linkage. *Learn.Genetics*, Utah, [20--?]. Disponível em: <https://learn.genetics.utah.edu/content/pigeons/geneticlinkage/>. Acesso em: 16 maio 2024.

# Frequência de recombinação em genes ligados

Os experimentos com drosófilas demonstraram também que existe uma relação entre a frequência de recombinação e a distância entre os genes. Considerando que o *crossing-over* é um evento aleatório, com mesmas chances de ocorrência em qualquer parte dos cromossomos, foi possível constatar que:

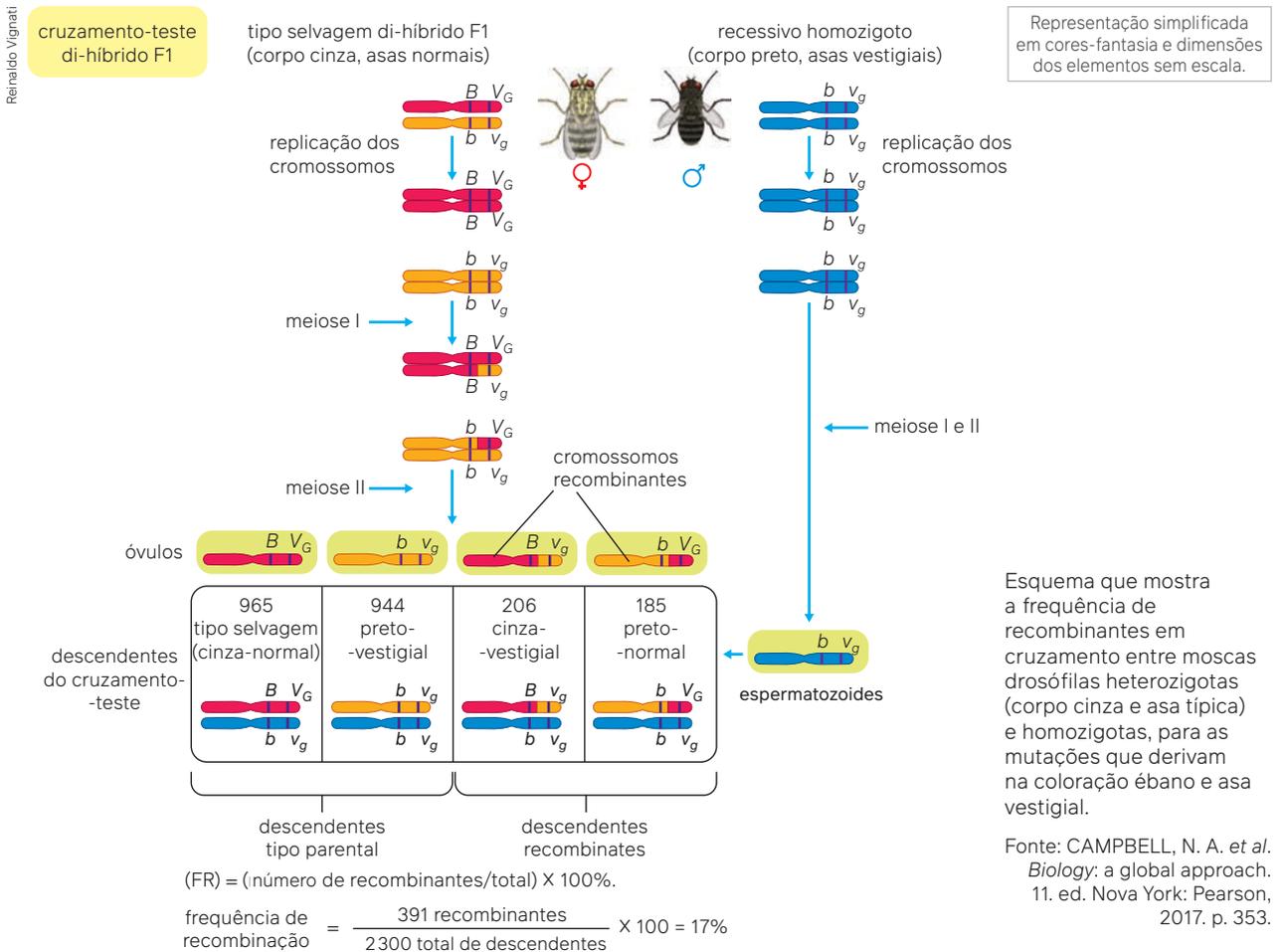
Quanto maior a distância física entre dois genes localizados em um mesmo cromossomo, maior a probabilidade de ocorrer um evento de recombinação entre eles durante a meiose, resultando em uma maior frequência de descendentes recombinantes.

Para calcular as frequências de recombinação entre dois genes ligados, usaremos como exemplo os genes que determinam a cor do corpo (*b*) e o tamanho das asas (*v<sub>g</sub>*) em drosófilas.

Considere que:

- a cor do corpo é selvagem (cinza) quando aparece um alelo dominante (*B*), e ébano (preta) quando em homozigose recessiva (*bb*);
- o tamanho das asas é típico quando aparece um alelo dominante (*V<sub>G</sub>*), e vestigial quando em homozigose recessiva (*v<sub>g</sub>v<sub>g</sub>*).

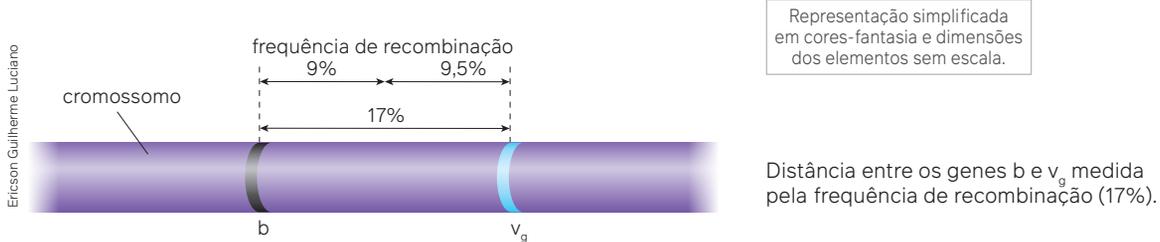
Vejamos o que ocorre quando cruzamos fêmeas heterozigotas (*BbV<sub>G</sub>v<sub>g</sub>*) e machos homozigotos recessivos (*bbv<sub>g</sub>v<sub>g</sub>*) para ambos os genes de interesse.



Um cruzamento entre um heterozigoto e um homozigoto recessivo para dois genes, com segregação independente, geraria descendentes com quatro fenótipos distintos e na mesma proporção cada um. Note que, no caso apresentado para as drosófilas, os quatro fenótipos descendentes não ocorrem em frequências iguais, o que nos leva a afirmar que houve recombinação genética.

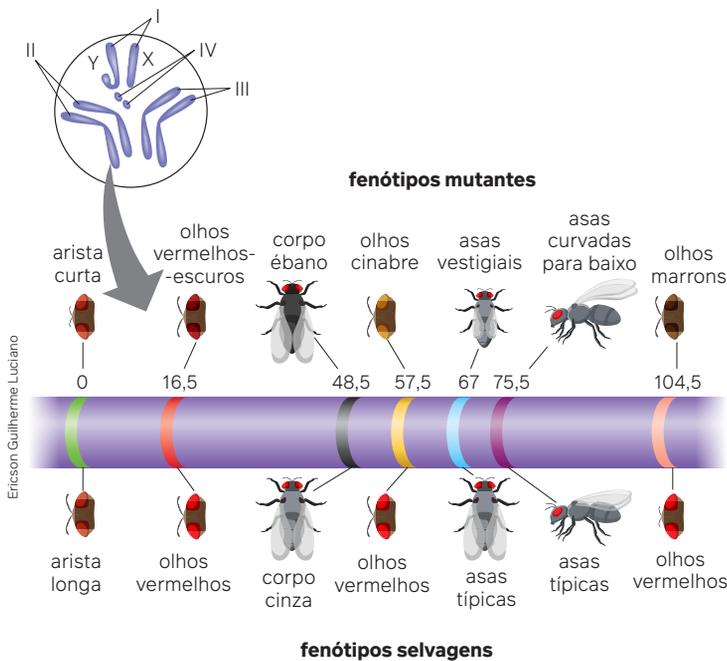
## Mapas cromossômicos

Ao estudar a frequência de recombinação para determinar a proximidade dos genes no cromossomo, o geneticista Alfred Henry Sturtevant (1891-1970) desenvolveu um método para construir mapas genéticos dos cromossomos. As distâncias entre os genes são medidas em unidades de mapa, ou centimorgans (cM), uma homenagem a Thomas Hunt Morgan (1866-1945), cientista pioneiro nos estudos com cruzamentos de drosófilas. Morgan foi laureado com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina, em 1933, pelo seu estudo a respeito dos mecanismos de transmissão hereditária em *Drosophila*, que confirmaram que os genes estão localizados nos cromossomos. Um centimorgan é uma unidade equivalente a 1% de frequência de recombinação. No caso dos estudos com as drosófilas, os genes que determinam a cor do corpo (b) e o formato da asa ( $v_g$ ) estão separados por uma distância de 17 cM.



Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 355.

Quanto maior a distância entre os genes, maior a frequência de recombinação. O estudo de diferentes tipos de cruzamento e de vários tipos de mutação possibilitou a análise minuciosa dos padrões de herança, permitindo construir o primeiro mapa genético de um cromossomo.



Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 356.

## Herança e cromossomos sexuais

Os cromossomos podem ser definidos em duas categorias.

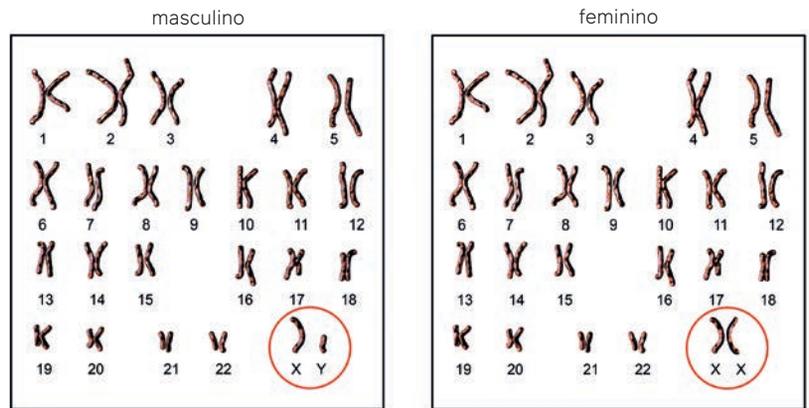
- **Cromossomos autossômicos:** não diferem em relação aos dois sexos biológicos, estando presentes aos pares. Esses pares são os cromossomos homólogos que apresentam estrutura semelhante, isto é, mesmo comprimento e localização do centrômero e o mesmo conjunto de genes.
- **Cromossomos sexuais:** diferem entre os sexos e são relacionados a expressão do sexo masculino e feminino.

Em seres humanos, existem 22 pares de cromossomos autossômicos, numerados de 1 a 22, e dois cromossomos sexuais, X e Y. Genótipos XX determinam pessoas do sexo feminino, enquanto genótipos XY determinam pessoas do sexo masculino.

**Cariótipo** é o nome dado ao conjunto de cromossomos de uma espécie, que descreve a quantidade de cromossomos, suas formas e tamanhos. O cariótipo humano pode ser representado das seguintes maneiras:

- sexo feminino: 44 + XX ou 46, XX;
- sexo masculino: 44 + XY ou 46, XY.

A análise do cariótipo de um indivíduo é realizada quando há suspeita de alguma síndrome cromossômica ou alteração no conjunto de cromossomos.



Kateryna Kon/ISPL/Fotorema

Modelos de cariótipo da espécie humana com os cromossomos autossômicos e sexuais.

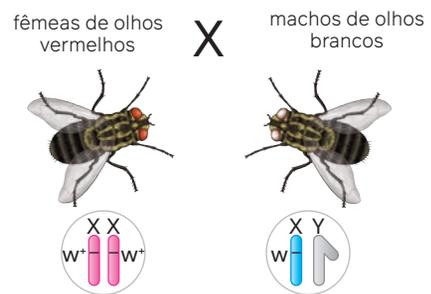
## Sistema XY

Os cromossomos sexuais X e Y estão presentes em vários grupos de seres vivos, como humanos e demais mamíferos. Esses cromossomos apresentam diferenças significativas em relação ao tamanho e à quantidade de material genético que carregam. Enquanto o cromossomo X contém muitos genes, incluindo os relacionados a características do desenvolvimento e funções celulares, o cromossomo Y carrega uma quantidade relativamente menor, contendo o gene determinante do sexo masculino e outros. Apesar dessas diferenças, existem algumas regiões nos cromossomos X e Y que compartilham sequências e, portanto, podem passar por emparelhamento durante a meiose. No entanto, a maior parte dos cromossomos sexuais X e Y não é homóloga da maneira tradicional, como os pares de cromossomos autossômicos.

Essa diferenciação cromossômica faz com que algumas características sejam mais presentes ou exclusivas de algum dos sexos, como é o caso da mutação do olho branco, uma característica tipicamente observada em machos de *Drosophila melanogaster*.

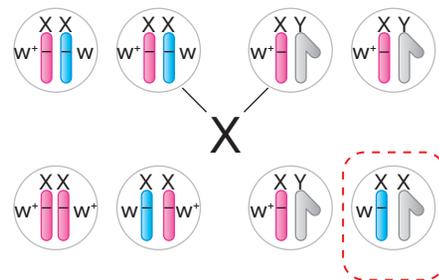
A mutação do olho branco é uma característica recessiva decorrente de um gene localizado no cromossomo X. Mesmo que as fêmeas herdem um cromossomo com a mutação do olho branco (w), o outro cromossomo geralmente carrega a versão selvagem (w<sup>+</sup>) do gene da cor dos olhos, mascarando o efeito da mutação. Nos machos, entretanto, há apenas um cromossomo X e, se ele carrega a mutação do olho branco (w), não há um segundo cromossomo X para neutralizar seus efeitos. Como resultado, a mutação do olho branco é expressa com maior frequência em machos.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.



Ericson Guilherme Luciano

Geram apenas moscas com olhos vermelhos, independentemente do sexo.



Esquema de cruzamento entre drosófilas. Estudos com as drosófilas de olhos brancos possibilitaram entender a herança cromossômica ligada ao sexo.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 347.

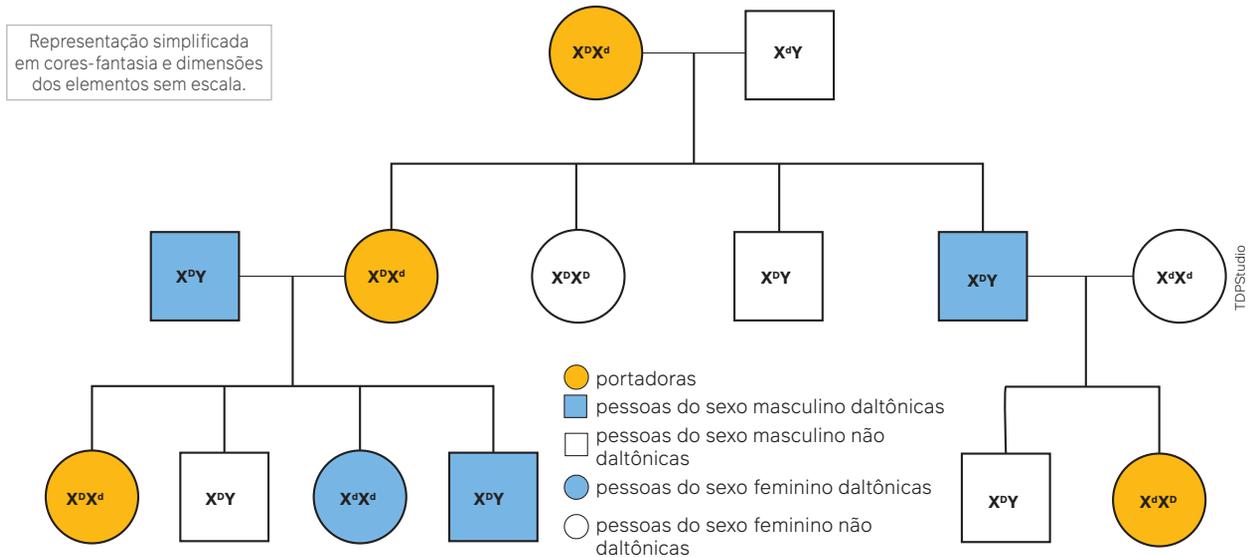
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

### Saiba mais

Alguns insetos, como gafanhotos, apresentam um sistema de determinação sexual XO, no qual as fêmeas têm dois cromossomos X (XX), semelhante ao sistema XY, mas os machos têm apenas um cromossomo X (XO). Aves, algumas espécies de peixes, anfíbios, répteis e alguns insetos, como borboletas e mariposas, apresentam a determinação do sexo por meio do sistema ZW. Nesse sistema, o gameta feminino traz o cromossomo determinante para o sexo. As fêmeas têm genótipo ZW e os machos ZZ. O cromossomo W carrega poucos genes e apenas a presença de um cromossomo Z torna o zigoto viável.

## Herança ligada ao cromossomo X

O **daltonismo** é uma condição em que o indivíduo tem dificuldade de distinguir certas cores ou não consegue realizar essa diferenciação. A forma mais comum é na percepção de cores vermelho e verde, mas existem outros tipos variantes de daltonismo. Pessoas do sexo masculino são mais suscetíveis à condição, uma vez que o gene que condiciona o daltonismo está localizado no cromossomo X. Isso quer dizer que uma pessoa do sexo feminino portadora de apenas um alelo para o daltonismo não é daltônica, mas tem 50% de chances de ter um filho do sexo masculino com daltonismo.



Heredograma hipotético apresentando três gerações e ilustrando várias ocorrências de daltonismo. Importante observar que, no caso das pessoas do sexo feminino, a condição daltônica se manifesta quando portam dois alelos mutados ( $X^d$ ), enquanto, no sexo masculino, apenas um alelo mutado é necessário para a expressão do daltonismo.

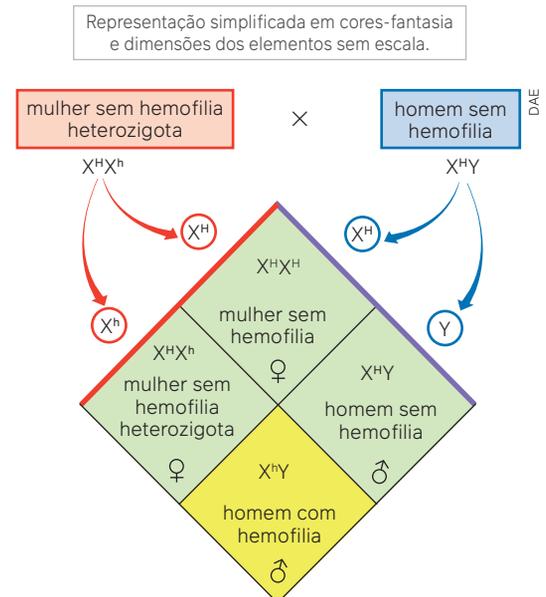
A **hemofilia** é outra condição em que o gene está localizado no cromossomo X. Pessoas com hemofilia apresentam um distúrbio na coagulação sanguínea relacionado a uma deficiência ou ausência de fatores de coagulação no sangue. Da mesma forma que o daltonismo e os olhos brancos em moscas-das-frutas, a hemofilia é mais comum em pessoas do sexo masculino. As mulheres podem ser portadoras assintomáticas.

## Herança ligada ao cromossomo Y

As heranças ligadas ao cromossomo Y estão associadas aos **genes holândricos**, principalmente relacionados a características do desenvolvimento e determinação do sexo masculino. Por exemplo, o gene *Sex-determining Region Y* (SRY), que atua na diferenciação dos testículos e na produção de hormônios masculinos.

As alterações no cromossomo Y podem acarretar distúrbios de desenvolvimento sexual em indivíduos do sexo masculino, como modificações nos órgãos genitais ou na produção de hormônios sexuais. Além disso, mutações ou deleções no cromossomo Y podem estar relacionadas a problemas de fertilidade masculina. Essas alterações genéticas podem afetar a produção e a qualidade dos espermatozoides.

Como o cromossomo Y sofre pouco ou nenhuma recombinação durante a meiose, as características genéticas ligadas a ele são usadas como marcadores genéticos para traçar a linhagem paterna ao longo das várias gerações.



Representação dos fatores que determinam a presença de hemofilia, uma doença genética ligada ao cromossomo X.

### GLOSSÁRIO

**Genes holândricos:** genes presentes exclusivamente no cromossomo Y, ou seja, que não apresentam homologia com o cromossomo X.



- Julgue se as seguintes afirmações são verdadeiras ou falsas, justificando cada caso.
  - As células somáticas contêm um tipo de cada cromossomo.
  - Durante o *crossing-over*, ocorre uma troca física de segmentos entre cromátides dos cromossomos homólogos, promovendo a recombinação genética.
  - Na meiose, os cromossomos homólogos emparelhados se separam, de modo que cada gameta recebe apenas um dos pares de alelos para cada característica.
  - Filhos e filhas dos mesmos pais frequentemente têm exatamente a mesma combinação de cromossomos.
- (Unesp-SP – 2023) Rio Claro, Araraquara e São José do Rio Preto, cidades paulistas às margens da rodovia Washington Luiz, possuem câmpus da Unesp. O mesmo acontece em relação às cidades de Botucatu, Bauru e Araçatuba, localizadas às margens da rodovia Marechal Rondon. O mapa apresenta a localização dessas cidades no estado de São Paulo.



(www.google.com.br. Adaptado.)

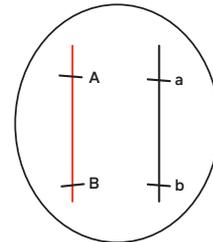
Considere que a rodovia Washington Luiz e a rodovia Marechal Rondon representam dois cromossomos não homólogos nas células da linhagem germinativa de um organismo diploide, que as cidades citadas ocupam *loci* gênicos ao longo desses cromossomos e que a distância entre essas cidades seja proporcional à distância em unidades de recombinação (UR), ou centimorgans. Os cromossomos homólogos àqueles representados por cada uma dessas rodovias seriam os acostamentos que correm ao lado de cada uma delas.

Nessa analogia,

- Botucatu, Bauru e Araçatuba são alelos de um mesmo gene, assim como Rio Claro, Araraquara e São José do Rio Preto são alelos de outro gene.

- a distância, em UR, entre Rio Claro e Botucatu é menor que a distância, em UR, entre Bauru e São José do Rio Preto.
- a probabilidade de permutação cromossômica entre os alelos de Botucatu e Araçatuba é maior que a probabilidade de permutação cromossômica entre os alelos de Rio Claro e Araraquara.
- Araraquara e Bauru são alelos de um mesmo gene, e esse gene está localizado entre aqueles cujos alelos são Botucatu e Rio Claro e outro cujos alelos são Araçatuba e São José do Rio Preto.
- os genes Botucatu, Bauru e Araçatuba apresentam a mesma sequência de nucleotídeos, que é diferente daquela compartilhada pelos genes Rio Claro, Araraquara e São José do Rio Preto.

- Observe a célula hipotética a seguir.



Elabore um esquema representativo da meiose dessa célula sem ocorrência de permutação e com ocorrência de permutação. Depois compare-os e responda: quantos tipos diferentes de gametas cada processo obteve?

- Considere a seguinte situação: os genes A e B têm dois alelos possíveis – um alelo dominante e um recessivo. Primeiro, um indivíduo com genótipo AABB é cruzado com um indivíduo com genótipo aabb, produzindo descendentes diíbridos com o genótipo AaBb. Em seguida, um dos indivíduos diíbridos é cruzado com um indivíduo de genótipo aabb, produzindo a seguinte descendência:

$$\begin{array}{ll} \text{AaBb} = 205 & \text{aaBb} = 54 \\ \text{Aabb} = 49 & \text{aabb} = 186 \end{array}$$

- Qual é a porcentagem de descendentes que herdaram cromossomos recombinantes e parentais?
  - Esses dois genes estão ligados? Justifique.
  - Se os genes estão ligados, quantas unidades de mapa os separam?
- Suponha que se saiba que um *locus* de um gene que condiciona o formato do cabelo está intimamente ligado a um *locus* de um gene que afeta a suscetibilidade humana a doenças cardiovasculares. Em quais situações clínicas essa informação hipotética poderia ser aplicada?

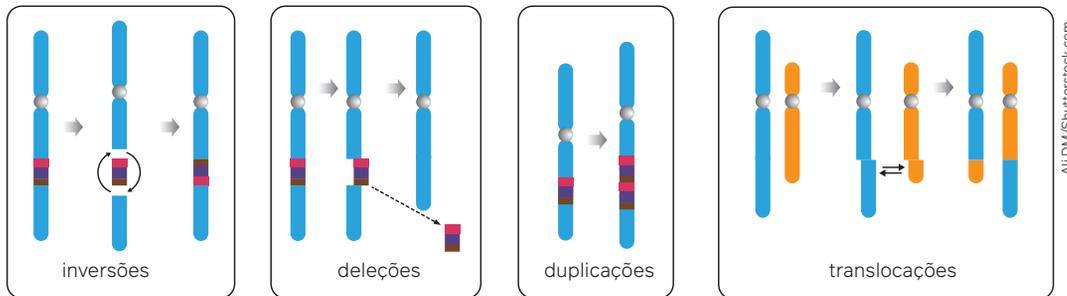
# Síndromes cromossômicas

As síndromes cromossômicas são condições genéticas que resultam de uma alteração no número ou na estrutura dos cromossomos e podem afetar qualquer aspecto do desenvolvimento e da função do corpo. Os sintomas variam entre leves a graves e podem incluir deficiência intelectual, retardo do crescimento e desenvolvimento, malformações físicas e problemas de saúde mental. As síndromes cromossômicas têm origem em diversos fatores, incluindo erros na divisão celular e mutações genéticas.

As alterações cromossômicas são consideradas estruturais quando alteram a estrutura do cromossomo, interferindo na quantidade ou na organização dos genes. Elas podem ocorrer de diferentes formas:

- **inversões:** inversão da direção de partes de um cromossomo;
- **deleções:** perda de parte ou todo o cromossomo;
- **duplicações:** produção de uma cópia extra de parte ou todo o cromossomo;
- **translocações:** parte de um cromossomo se rompe, sendo transferida para outro.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

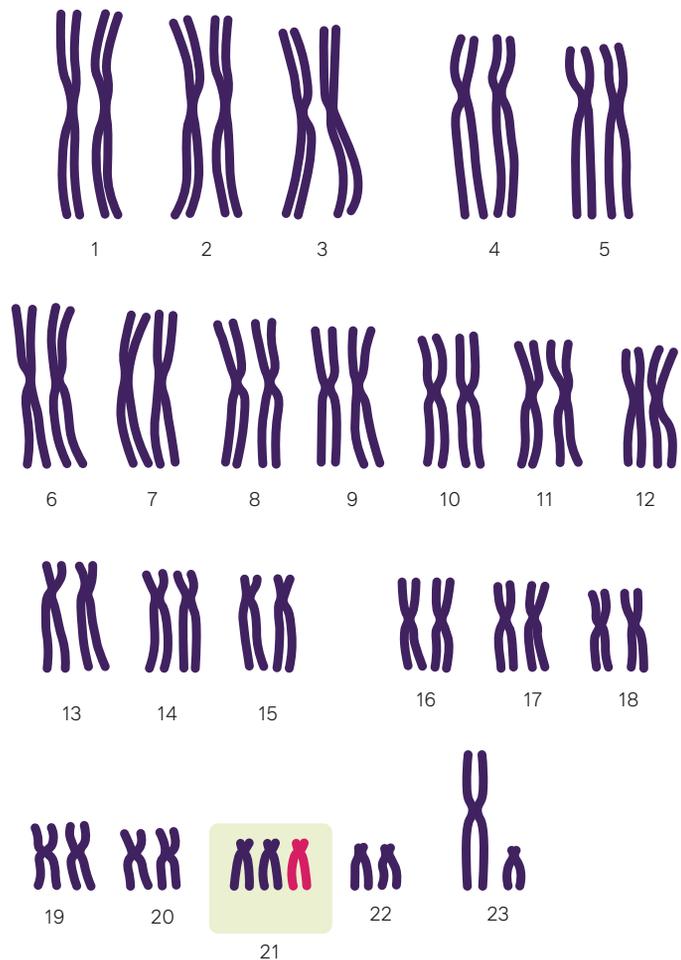


Esquema representativo dos tipos de mutação estrutural que podem ser encontrados nos cromossomos.

As mutações cromossômicas também podem ser numéricas quando envolvem alterações no número dos cromossomos.

A **aneuploidia** ocorre quando um ou mais cromossomos estão presentes no cariótipo em número alterado. As trissomias são um tipo comum de aneuploidia onde há uma cópia extra de um cromossomo específico. Exemplos conhecidos incluem:

**Síndrome de Down:** Síndrome cromossômica mais comum, ocorre em aproximadamente 1 em cada 700 nascidos vivos. É causada pela trissomia do cromossomo 21, ou seja, a presença de um cromossomo extra nessa posição. Essa condição leva a uma variedade de manifestações, como deficiência intelectual, atraso no crescimento, características físicas distintas, como rosto achatado e olhos amendoados, e maior predisposição a problemas de saúde, incluindo cardiopatias congênitas e disfunções imunológicas. Além disso, a síndrome de Down está associada a desafios no desenvolvimento motor e cognitivo e a um maior risco de doenças mentais ao longo da vida.



Cariótipo representativo de pessoa com síndrome de Down. Em destaque, a trissomia do cromossomo 21.

**Síndrome de Klinefelter:** Condição genética que afeta apenas os homens, acometendo 1 em cada 650 nascimentos de meninos. É causada pela presença de um cromossomo X extra. A síndrome de Klinefelter pode causar uma variedade de sintomas, incluindo deficiência intelectual, atraso do crescimento, infertilidade e problemas de saúde reprodutiva.

**Síndrome de Edwards:** A prevalência desta síndrome é de 1 em cada 8000 nascidos vivos. Essa condição genética é causada pela presença de uma cópia extra do cromossomo 18, o que provoca uma série de malformações congênitas graves e comprometimentos no desenvolvimento. Cerca de 95% dos casos de trissomia 18 resultam em abortos espontâneos, refletindo a gravidade da condição. Dos que chegam a nascer, 90% não alcançam o primeiro ano de vida. Bebês com síndrome de Edwards apresentam problemas cardíacos, má formação do tubo neural, problemas renais e gastrointestinais, retardo mental, problemas de alimentação e deficiência de crescimento.

Existem também as monossomias, como a **síndrome de Turner**, que é uma condição genética causada pela falta de um cromossomo X, que acomete cerca de 1 em cada 2500 meninas nascidas. A síndrome de Turner pode causar uma variedade de sintomas, incluindo deficiência intelectual, atraso do crescimento, infertilidade e problemas de saúde reprodutiva.

### Saiba mais

Denominamos **poliploidia** as alterações no número de cromossomos em que um indivíduo tem mais de dois conjuntos completos de cromossomos; por exemplo, certas espécies de batata são poliploides, uma vez que têm três conjuntos completos de cromossomos. Algumas espécies de peixes de água doce, como o bagre e a truta, também são poliploides.

## Ciência por fora



### Gravidez tardia

A chamada gravidez tardia, ou seja, a gravidez de uma mulher após os 35 anos, está associada a um aumento no risco de uma série de problemas de saúde para a mãe e o bebê. Leia o texto a seguir, em que especialistas do Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz) discorrem a respeito.

#### Especialistas falam sobre chances e riscos da gravidez tardia

[...]

Comparando dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DataSUS), a maternidade em mulheres mais velhas tem crescido no Brasil nos últimos 20 anos. Enquanto em 2000 o número de bebês nascidos de mulheres a partir dos 35 anos foi apenas de 9,1%, em 2020 o número de mulheres que engravidaram com 35 anos ou mais foi de 16,5%, do total de mães que tiveram filhos nesse ano. No ano 2000, a fecundidade concentrava-se em mulheres mais jovens, entre 20 e 34 anos, que respondia por 67,4% da fecundidade total. Após 20 anos, a redução da gravidez em mulheres dessa faixa etária diminuiu para 57,8%, representando uma redução de quase 10%, o que confirma que a fecundidade no país está se tornando mais tardia.

[...]

“Quando falamos da gravidez nesse momento da vida que a mulher tem ou está acima de 35 anos, ela implica alguns riscos adicionais, principalmente ao que se refere às aneuploidias [alterações no número de cromossomos nas células do feto, para mais ou para menos]; à medida [...] que a mulher vai envelhecendo, ela vai aumentando as chances de produzir fetos com essas condições. Os riscos também implicam em abortamento, e nas mulheres que tiveram gestações anteriores, como pacientes que passaram por múltiplas cesáreas, elas têm mais chances de ter uma placentação anormal, como placenta prévia, condições que determinam riscos para a gravidez, principalmente no que se refere a hemorragias”, aponta Fernando Maia [obstetra e especialista em Medicina Fetal do IFF/Fiocruz].

Sobre a questão de doenças relacionadas à gestação, Fernando Maia informa que a gravidez tardia aumenta um pouco as chances de pré-eclâmpsia (hipertensão arterial durante a gestação que pode afetar os rins e até outros órgãos da mulher, assim como o fornecimento de sangue à placenta, o que pode levar [à] falta de oxigênio e nutrientes necessários para o desenvolvimento do feto) e de diabete gestacional. “As pacientes que engravidam a partir dos 35 anos têm mais chances de apresentar essas condições. A partir dessa idade, as mulheres também têm mais probabilidades de já estar acometidas por doenças crônicas, como a hipertensão e diabete prévia à gestação. Então, nesses casos, quando as mulheres optam por engravidar é importante que elas tenham controle dessas doenças”.

## Anomalias cromossômicas

No que diz respeito [às] implicações genéticas, a geneticista e coordenadora clínica do Centro de Genética Médica do IFF/Fiocruz, Dafne Horovitz, explica que “cada óvulo é uma célula que tem 23 cromossomos; antes da ovulação há uma divisão biológica (cada célula não reprodutiva do organismo tem 46 cromossomos, ou 23 pares) fazendo com que apenas metade da carga genética seja passada para o óvulo; ao chegar na trompa, esse irá se juntar com a metade do homem (o espermatozoide, que também terá 23 cromossomos: um de cada par) para ser fecundado. Nesse processo de separação, em especial do óvulo, podem ocorrer os erros, cromossomos podem não se separar. Por exemplo, se o par de cromossomos 21 não se separa adequadamente, o óvulo terá 24 cromossomos, e ao se juntar com o espermatozoide do homem serão 47 (e não 46 cromossomos), com 3 cópias do cromossomo 21, provocando a Síndrome de Down. Esse fenômeno pode acontecer em qualquer idade, mas no decorrer dos anos aumenta essa probabilidade. Uma mulher de 40 anos, por exemplo, terá devido a essa maior predisposição de erros na formação dos óvulos, uma diminuição na sua capacidade de engravidar, correndo também um risco maior de ter concebido um feto com algum tipo de alteração cromossômica, como a Síndrome de Down”.

[...]

## Recomendações e cuidados

Toda mulher que decide engravidar, indistintamente da idade, deve procurar um profissional de saúde para fazer uma avaliação clínica e assim receber as orientações sobre o que ela deve fazer nesse período, “isso é uma consulta periconcepcional”, detalha o obstetra do IFF/Fiocruz, Fernando Maia. “Nesse momento, o profissional de saúde vai avaliar quais os riscos que ela tem prévios à gestação (hipertensão, diabetes, alguma doença reumatológica, alguma condição que precise de cuidados específicos). No caso dos hábitos de saúde, em geral a mulher precisa ajustar as medicações que ela use para medicações que possam ser usadas durante a gestação, parar de fumar, de consumir álcool ou drogas, caso seja usuária delas. Essa consulta é fundamental porque permite à mulher ajustar hábitos, medicações e condições clínicas para o início da gestação”.

No caso específico da mulher que opta por engravidar a partir dos 35 anos, é importante que ela, “assim como as outras mulheres, consulte o especialista para acionar bons hábitos de saúde e, sobretudo, para que entenda os riscos em relação às aneuploidias, aos abortamentos e outros, já que nessa faixa etária essas complicações são mais comuns, então ela precisa entender e avaliar os riscos precocemente”, destaca Fernando Maia.

Para o especialista em reprodução assistida, Luiz Fernando Dale, “as mulheres têm que prestar muita atenção na idade, se aquelas que são jovens ainda não estão prontas para engravidar, é bom analisar a opção de congelamento de óvulos, porque estariam congelando naquele momento de trinta e poucos anos, podendo usar esse óvulo para uma fecundação assistida quando o risco de engravidar fosse muito maior. Esse é um conselho que merece ser discutido entre a paciente e seu ginecologista para antecipar qual é o melhor momento de abordar, pois quanto maior a idade, menor a qualidade do óvulo”, conclui o especialista.

IFF/FIOCRUZ. Especialistas falam sobre chances e riscos da gravidez tardia. *Fiocruz*, Rio de Janeiro, 20 out. 2022. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/especialistas-falam-sobre-chances-e-riscos-da-gravidez-tardia>.

Acesso em: 21 maio 2024.

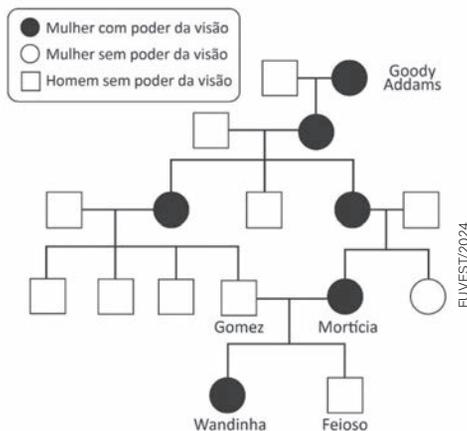
## Trocando ideias



1. A taxa de fecundidade se refere à realização do potencial de procriar, parâmetro que pode ser alterado por escolhas pessoais, esterilidade ou uso de métodos anticoncepcionais. Por que é importante realizar estudos sobre a fecundidade no decorrer do tempo?
2. Quais são os riscos físicos e sociais que as mulheres enfrentam ao decidir por uma gravidez tardia? Comente com colegas.
3. O texto explica o mecanismo genético pelo qual podem ser gerados indivíduos com a síndrome de Down. Elabore um esquema para representar esse mecanismo.
4. O texto afirma que “toda mulher que decide engravidar, indistintamente da idade, deve procurar um profissional de saúde para fazer uma avaliação clínica”. Por que essa avaliação é importante?
5. A prática de congelamento de óvulos visa armazenar gametas de melhor qualidade para uma gravidez tardia. Nesses casos, é necessário realizar uma fertilização *in vitro*, técnica de fertilização de gametas extracorpórea com posterior implantação de embrião no útero, realizada por meio de uma pequena intervenção cirúrgica. Antes de realizar a implantação, o casal pode optar por realizar nos embriões exames que detectam aneuploidias (PGT-A) e mutações (PGT-M). Debata com colegas a importância da realização desses exames para tomada de decisão pela implantação.



1. (Fuvest-SP – 2024) Na série ficcional *Wandinha*, o poder da visão é transmitido entre as bruxas, conforme o modelo genealógico hipotético a seguir:



Considerando a genealogia apresentada, o poder da visão tem herança

- autossômica dominante, porque se apresenta somente em mulheres.
  - autossômica recessiva, sendo todos os homens homocigóticos dominantes.
  - ligada ao X recessiva, e os filhos homens inativam esse cromossomo.
  - ligada ao X recessiva, porque aparece em todas as gerações.
  - ligada ao X dominante, sendo letal para fetos masculinos com o alelo dominante.
2. Pesquise sobre o caso da atleta María José Martínez-Patiño e elabore, com base no caso, um texto sucinto sobre a complexidade da diferenciação sexual e da diversidade de corpos. Depois, coletivamente, discutam a seguinte questão: como argumentos biológicos podem servir para sustentar preconceitos de gênero?
3. Estudos realizados na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) compararam o padrão de alterações genéticas compartilhadas por pessoas africanas e brasileiras, revelando que, embora o volume do tráfico de homens escravizados tenha sido maior, a população preta brasileira guarda hoje em seu material genético uma contribuição maior das mulheres do que dos homens africanos. Segundo uma reportagem da *Revista Fapesp*, que apurou os dados da investigação:

Essa desigualdade, que os geneticistas chamam de assimetria sexual, torna-se evidente quando se comparam dois tipos de material genético. O primeiro é o DNA encontrado nas mitocôndrias, usinas de energia situadas na periferia das células. Transmitido pelas mães aos filhos de ambos os sexos, o chamado DNA mitocondrial permite conhecer a origem geográfica da linhagem materna de uma pessoa. O segundo tipo de material genético estudado é o cromossomo Y, que os pais passam apenas para seus filhos homens e serve como indicador da linhagem paterna. A equipe de Pena constatou que 85% dos pretos de São Paulo tinham DNA mitocondrial africano, enquanto apenas 48% apresentavam cromossomo Y característico da África. De modo semelhante, o grupo coordenado por Maria Cátira viu que, em 90% dos pretos do Rio e em 79% dos de Porto Alegre, o material genético africano era de origem materna. Do lado paterno, só 56% do Rio e 36% de Porto Alegre tinham material genético paterno típico da África.

ZORZETTO, R. A África nos genes do povo brasileiro. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, ed. 134, abr. 2007. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-africa-nos-genes-do-povo-brasileiro/>. Acesso em: 23 maio. 2024.

- Do ponto de vista da biologia celular e hereditariedade, como os dados obtidos pelas duas equipes de pesquisa permitiram concluir que a população negra brasileira guarda maior contribuição de material genético advindo de mulheres africanas? Como explicar, do ponto de vista histórico e social, a predominância materna no genótipo da população negra atual?
- Ao analisarem outros 40 trechos de DNA autossômico, os pesquisadores observaram altos níveis de miscigenação, tanto em pessoas com o fenótipo branco quanto em pessoas com o fenótipo preto, que apresentavam características genéticas de europeus e de africanos. Segundo a reportagem, Pena e Maria Cátira “não têm dúvida em afirmar que, ao menos no caso brasileiro, não faz o menor sentido falar em raças, uma vez que a cor da pele, determinada por apenas 6 dos quase 30 mil genes humanos, não permite saber quem foram os ancestrais de uma pessoa”. Você concorda com a afirmação dos pesquisadores? Argumente com colegas.

## Expressividade e penetrância gênicas

A **expressividade gênica variável** é um conceito fundamental quando estudamos cruzamentos e analisamos os resultados em nível populacional. Ela se refere à variação na intensidade ou na extensão em que um determinado traço genético se manifesta no fenótipo dos indivíduos. Mesmo que os indivíduos tenham o mesmo genótipo, a expressão do traço pode ser diferente entre eles devido a fatores genéticos ou ambientais.

Por exemplo, quando um gene apresenta 50% de expressividade, apenas metade das características do traço está presente. Uma característica que varia devido à expressividade é a coloração da íris, que é determinada pela interação de múltiplos genes, principalmente dois deles, localizados no cromossomo 15. O gene OCA2 codifica uma proteína que ajuda a produzir e regular a quantidade de melanina na íris. Pessoas com certas variações do gene OCA2 tendem a ter olhos de cores mais claras, como azuis ou verdes, pois produzem menos melanina. O gene HERC2 influencia a expressividade do gene OCA2, regulando a quantidade de melanina produzida, impactando a variação na cor da íris.

Se um indivíduo tem o genótipo para olhos azuis, a expressividade desse gene pode ser alta, resultando em olhos de um azul intenso, no entanto, em outro indivíduo com o mesmo genótipo para olhos azuis, a expressividade pode ser baixa, levando a uma tonalidade de azul mais clara ou com outros tons misturados.

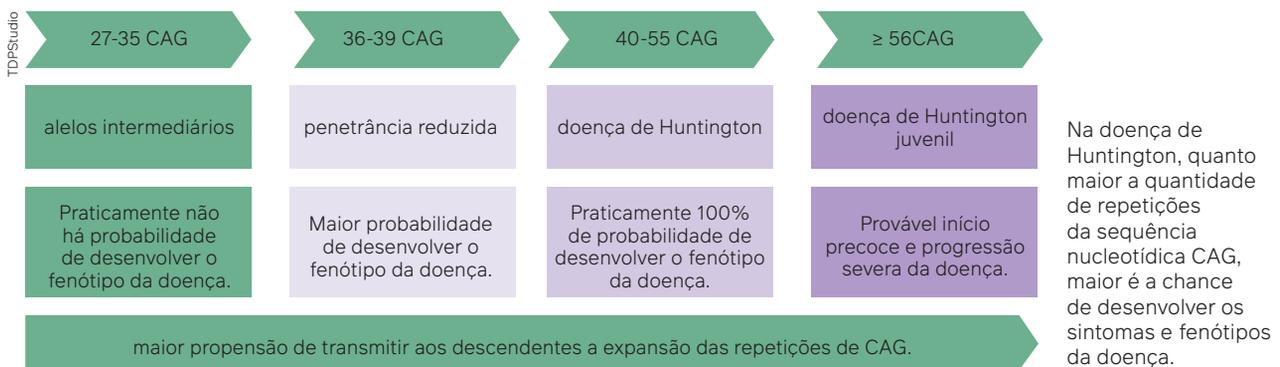
Outro conceito fundamental para compreender a variação fenotípica observada em nível populacional é o de **penetrância gênica**, que é a probabilidade de um gene manifestar ou não determinada característica fenotípica em indivíduos que têm o mesmo genótipo para essa característica. A penetrância pode ser completa, quando todos os indivíduos com o genótipo manifestam o fenótipo correspondente, ou incompleta, quando apenas uma parte dos indivíduos com o genótipo expressa o fenótipo, enquanto outros podem ser portadores assintomáticos.

Um exemplo é a **doença de Huntington**, uma patologia neurodegenerativa causada por um alelo dominante (gene HTT), que não tem efeito fenotípico aparente até o indivíduo ter entre 35 e 45 anos de idade. Uma vez iniciada a deterioração do sistema nervoso, ela é irreversível e, apesar de medicações e fisioterapia ajudarem com os sintomas, não há cura.

O gene HTT fornece instruções para a produção de uma proteína chamada huntingtina. Esse gene contém um segmento de DNA que corresponde a repetições de trinucleotídeos CAG (citosina, adenina e guanina) que, em pessoas não acometidas pela doença de Huntington, estão repetidas de 10 a 35 vezes. Em pessoas com manifestações da doença, o segmento CAG é repetido de 36 até mais de 120 vezes. Pessoas com penetrância reduzida ou incompleta (de 36 a 39 repetições CAG) podem ou não desenvolver os sinais e sintomas, enquanto pessoas com penetrância completa (com 40 ou mais repetições) sempre desenvolvem a doença.



A coloração da íris varia de acordo com a expressividade genética.



Fonte: TABRIZI, S. J. *et al.* A biological classification of Huntington's disease: the Integrated Staging System. *The Lancet Neurology*, Amsterdam, v. 21, n. 7, p. 632-644, 2022.

Além da constituição genética, outros fatores podem interferir na expressividade e penetrância de um ou mais genes, como a exposição a substâncias tóxicas, dieta, estilo de vida, ambiente em que a pessoa vive, idade e outros.

## Saiba mais

### Fibrose cística

A fibrose cística é uma doença autossômica recessiva causada por uma mutação no gene CFTR. A penetrância da fibrose cística é de cerca de 90%, o que significa que 90% dos indivíduos com a mutação desenvolverão a doença, enquanto os outros 10% serão assintomáticos.

## Inativação do cromossomo X

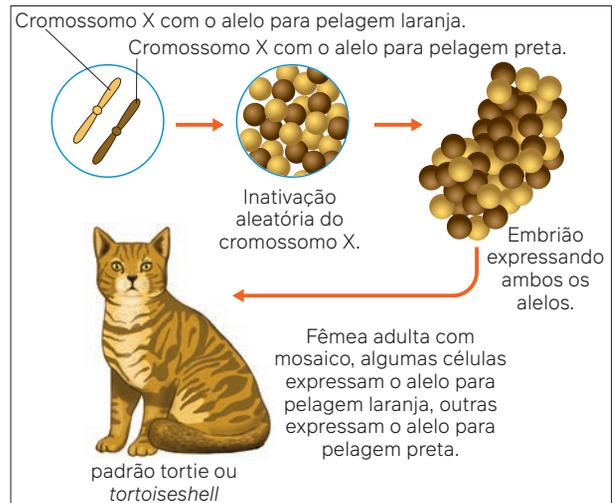
A inativação do cromossomo X é um mecanismo que ocorre nas células de mamíferos fêmeas, processo também chamado de lyonização, em homenagem à cientista Mary Lyon (1925-2014), que formulou a hipótese em 1961.

Em células somáticas de fêmeas, um dos cromossomos X é inativado de forma aleatória durante o desenvolvimento embrionário. Uma vez que a inativação dos cromossomos X ocorre em células embrionárias, todas as células descendentes manterão a inativação desse mesmo cromossomo X, seja ele de origem paterna, seja de origem materna.

A inativação não significa que todos os genes no cromossomo X inativo estejam desativados, pois ainda é exibida expressividade em parte deles, no entanto, esse mecanismo garante que machos e fêmeas expressem níveis equivalentes de genes do cromossomo X.

Por se tratar de um mecanismo aleatório, ele acaba por gerar, nas fêmeas, um mosaico de conjuntos genéticos diferentes, resultando em diversos tipos de célula dentro do mesmo organismo. Esse fenômeno é chamado de **mosaicismo genético**.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



A inativação aleatória do cromossomo X gera o padrão tortie ou tortoiseshell em gatas heterozigotas ( $X^O X^o$ ). As gatas homozigotas para esse gene apresentarão pelagem de coloração homogênea, seja laranja ( $X^O X^O$ ) ou preta ( $X^o X^o$ ).

Fonte: PAZZA, R.; KAVALCO, K. F. *Uma pequena introdução à genética de felinos*. Belo Horizonte: Araucária Comunicação e Editora, 2015. p. 11.

## Atividades comentadas

1. (Fuvest-SP – 2017) Uma determinada malformação óssea de mãos e pés tem herança autossômica dominante. Entretanto, o alelo mutante que causa essa alteração óssea não se manifesta em 30% das pessoas heterozigóticas, que, portanto, não apresentam os defeitos de mãos e pés. Considere um casal em que a mulher é heterozigótica e apresenta essa alteração óssea, e o homem é homozigótico quanto ao alelo normal.

- Que genótipos podem ter as crianças clinicamente normais desse casal? Justifique sua resposta.
- Qual é a probabilidade de que uma criança que esse casal venha a ter não apresente as alterações de mãos e pés? Justifique sua resposta

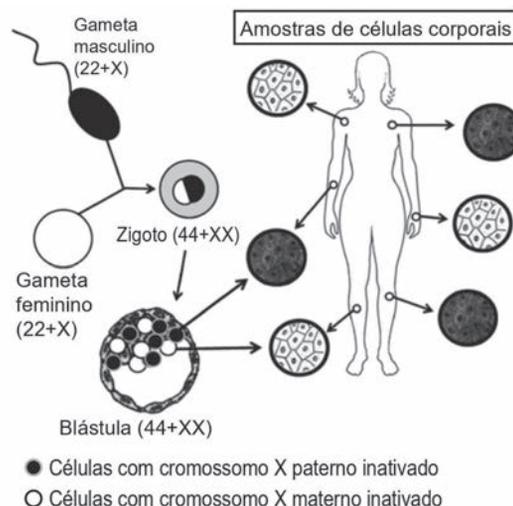
### Resolução

a) Tratando-se de uma malformação autossômica dominante, o cruzamento de uma mulher heterozigótica ( $Aa$ ) com um homem recessivo ( $aa$ ) somente pode gerar os seguintes genótipos:  $Aa$  ou  $aa$ . Considerando apenas os conceitos mendelianos, poderíamos afirmar que os descendentes típicos teriam o genótipo  $aa$ , no entanto, por se tratar de um caso de penetrância incompleta, ou seja, que a malformação não se manifesta em 30% dos heterozigotos, os descendentes com genótipo  $Aa$  também podem não apresentar a malformação. Assim, descendentes clinicamente típicos podem apresentar os genótipos  $Aa$  ou  $aa$ .

b) Do cruzamento, podem ser gerados os seguintes genótipos com a sua respectiva probabilidade:  $Aa$  (50%) e  $aa$  (50%). Caso a criança tenha o genótipo  $Aa$ , ela teria 30% de chances de não manifestar a malformação. Sendo assim, a probabilidade dessa criança portar o alelo  $A$  (50%) e não manifestar a malformação (30%) é de  $50\% \times 30\%$ , ou 15%. Somando essa probabilidade (15%) com a de nascerem crianças com genótipo  $aa$  (50%), a probabilidade do nascimento de uma criança sem a malformação será de  $50\% + 15\% = 65\%$ .



1. (Enem – 2022) Na figura está representado o mosaicismismo em função da inativação aleatória de um dos cromossomos X, que ocorre em todas as mulheres sem alterações patológicas. Entre mulheres heterozigotas para doenças determinadas por genes recessivos ligados ao sexo, essa inativação tem como consequência a ocorrência de:
- pleiotropia.
  - mutação gênica.
  - interação gênica.
  - penetrância incompleta.
  - expressividade variável.



ENEM/2022

## Genética de populações

A **genética de populações** é o ramo da Biologia que estuda as variações genéticas para traços ou características específicas presentes nos indivíduos em nível populacional. Ao investigar essas variações, pode-se entender melhor como genes são expressos em diferentes contextos genéticos e ambientais, permitindo obter uma visão mais completa da hereditariedade e da diversidade genética no âmbito das populações.

Quando pensamos em população, o conceito de genótipo deve ser relacionado à ideia de conjunto de indivíduos. O conjunto de todos os genes e de seus alelos em uma população é denominado **pool genético**, que representa a diversidade genética total dentro dessa população.

Dependendo da população estudada, o *pool* genético pode ser pouco ou muito variável, tendo em vista a diversidade e a frequência de alelos presentes. Quanto maior a variabilidade em um *pool* genético, maior o potencial de adaptação às mudanças nas condições ambientais ao longo do tempo.

A **variabilidade genética** pode ser influenciada por vários fatores, incluindo mutações, recombinação genética, fluxo de genes e mudanças aleatórias na frequência de alelos nas populações, além da seleção natural.

## Princípio de Hardy-Weinberg

A base para a genética de populações foi pensada, independentemente, por dois cientistas no início do século XX. O matemático Godfrey Hardy (1877-1947) e o médico Wilhelm Weinberg (1862-1937) publicaram trabalhos em que descreviam previsões simples de como as populações mudam ao longo do tempo. Essas previsões receberam a alcunha de **princípio de Hardy-Weinberg**, ou equilíbrio de Hardy-Weinberg, e descrevem a relação matemática entre frequências alélicas e frequências genotípicas em uma população idealizada em equilíbrio genético. O equilíbrio genético é um estado hipotético em que as frequências dos alelos e genótipos não mudam ao longo das gerações.

Para que o princípio de Hardy-Weinberg seja aplicado, certas premissas devem ser atendidas.

- Tamanho da população:** a população deve ser grande o suficiente para que a deriva genética seja insignificante, ou seja, eventos aleatórios não influenciam as frequências alélicas.
- Cruzamento aleatório:** os cruzamentos ocorrem aleatoriamente dentro da população, sem qualquer preferência por genótipos específicos.
- Ausência de mutação:** não ocorrem novas mutações, ou seja, não há alteração do *pool* genético.
- Ausência de migração:** não ocorre migração de indivíduos para dentro ou fora da população.
- Ausência de seleção natural:** não ocorre sobrevivência diferencial ou vantagem reprodutiva associada a genótipos específicos.

O princípio de Hardy-Weinberg usa equações matemáticas simples para descrever a relação entre frequências alélicas e frequências genotípicas em uma população. Para discuti-las, vamos considerar um único *locus* gênico com dois alelos, em que  $p$  é a frequência de alelos dominantes e  $q$  é a frequência de alelos recessivos.

Como são apenas dois alelos, a soma deles será igual a 1.

$$p + q = 1$$

As frequências genotípicas podem ser representadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} AA &= p^2 \text{ (frequência de indivíduos homocigotos para A)} \\ aa &= q^2 \text{ (frequência de indivíduos homocigotos para a)} \\ Aa &= 2pq \text{ (frequência de heterocigotos)} \end{aligned}$$

Considerando que a soma das frequências genotípicas é sempre igual a 1, a relação entre frequências de alelos e genótipos pode ser representada pela seguinte equação:

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Essa equação propõe que a soma das frequências de ambos os alelos ( $p + q$ ) elevada ao quadrado será sempre igual a 1, representando a frequência total dos alelos na população. A equação serve de **modelo nulo** para comparar frequências de populações reais com as frequências genotípicas esperadas na ausência de forças evolutivas.

## Se liga

O **modelo nulo** é uma hipótese que representa a situação em que não há nenhum efeito ou relação entre duas ou mais variáveis estudadas. Por exemplo, em um estudo sobre a eficácia de um novo medicamento, o modelo nulo diria que o medicamento não tem nenhum efeito sobre a condição que está sendo tratada. Nesse caso, as variáveis são medicamento e o seu efeito. O modelo nulo é usado como uma referência para comparação de uma hipótese com os dados observados.

Exemplificando: sabemos que a cor castanha dos olhos em humanos é derivada, em parte, de um gene cujo alelo dominante ( $C$ ), expressa maior pigmentação, e alelo recessivo ( $c$ ), expressa menor pigmentação, gerando olhos azuis. Em populações humanas, a frequência do alelo  $C$  é geralmente de cerca de 0,6, e a frequência do alelo  $c$  é de cerca de 0,4. Considerando que a espécie humana atende às premissas do princípio de Hardy-Weinberg, podemos dizer que, a cada 100 humanos nascidos, espera-se uma proporção de 60% que expressem olhos castanhos e 40% que apresentem olhos azuis.

Essa proporção pode não ser válida em populações pequenas, como na população de Sami, na Lapônia, onde a frequência do alelo  $C$  é de cerca de 80%. Essa variação pode ter sido objeto da seleção natural, se considerarmos que indivíduos com olhos castanhos tiveram, historicamente, uma vantagem adaptativa em condições de neve e gelo, ou pode ser derivada de uma alta taxa de migração de indivíduos com olhos de coloração castanha para aquela região. Além disso, a população Sami é relativamente pequena, e as frequências dos alelos podem flutuar aleatoriamente (deriva genética) ao longo do tempo.

Outro exemplo real de como as frequências genotípicas podem diferir dos valores de equilíbrio é a resistência das bactérias aos antibióticos. Alguns antibióticos comuns, como a penicilina, a azitromicina, a cefalexina e a amoxicilina, mantêm a população de bactérias em uma condição de estabilidade, no entanto, o aparecimento de novas mutações e fluxos gênicos entre bactérias pode conferir resistência a alguns indivíduos e populações. Nesse sentido, a frequência do alelo que confere resistência aos antibióticos pode vir a aumentar ao longo do tempo.

## Se liga

As frequências genotípicas que diferem significativamente do previsto pela equação de Hardy-Weinberg sugerem que forças evolutivas (como seleção, mutação, migração ou cruzamento não aleatório) estão agindo na população, levando a mudanças nas frequências alélicas ao longo do tempo.



1. Leia o texto a seguir e responda.

Em 2017, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) classificou a onça-pintada na categoria “quase ameaçada de extinção” por causa de uma redução de 20% a 25% em sua população global em 21 anos. Em uma avaliação de 2013, Morato e colaboradores haviam estimado que em 27 anos o número de onças no Brasil teria encolhido 30% e redução semelhante é projetada para as próximas três décadas. A principal ameaça à espécie, indicam vários estudos, é a perda e a fragmentação de áreas de vegetação nativa, em geral decorrente de atividades humanas como expansão agrícola, mineração, construção de hidrelétricas e abertura de estradas.

ZORZETTO, R. Refúgio ameaçado. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, ago. 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/refugio-ameacado/>. Acesso em: 23 maio 2024.

Como essa situação pode afetar a variabilidade genética das onças-pintadas?

2. (UVA-CE – 2022) Analisando-se um determinado locus gênico em uma população de moscas-das-frutas, verificou-se a existência de dois alelos, A e a. Testes revelaram que 70% dos gametas dessa população possuem o alelo A. Se a população estiver em equilíbrio de Hardy-Weinberg, a proporção de moscas que carrega os alelos A e a é:
- 0,7
  - 0,49
  - 0,42
  - 0,21

3. Leia o texto a seguir e faça o que se pede.

A Fibrose Cística é uma doença genética rara e ainda sem cura. Também chamada de Doença do Beijo Salgado ou Mucoviscidose devido ao fato de que o muco é viscoso, ou seja, as secreções do organismo são mais espessas do que o normal, dificultando a sua eliminação. Trata-se de uma doença de origem genética, transmitida de pais portadores para seus filhos. Não é uma doença contagiosa. No Brasil, a Fibrose Cística é uma das doenças raras mais comuns, atingindo 1 a cada 10 mil nascidos vivos no país.

BRASIL. Ministério da Educação. *Fibrose cística atinge 1 a cada 10 mil nascidos vivos no Brasil*. Brasília, DF: MEC, 21 nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/comunicacao/noticias/fibrose-cistica-atinge-1-a-cada-10-mil-nascidos-vivos-no-brasil>. Acesso em: 23 maio 2024.

Sabendo que a fibrose cística é uma doença autossômica recessiva e considerando que a população brasileira esteja em equilíbrio de Hardy-Weinberg para essa condição, responda:

- qual é a frequência do alelo que causa a fibrose cística?
- qual é a frequência de heterozigotos?
- qual é a probabilidade dos dois indivíduos de um casal serem heterozigotos?

## Recapitule



Com base nos temas do capítulo, sugerimos que você e seus colegas elaborem uma campanha para discutir inclusão e acolhimento de pessoas com síndromes cromossômicas e outras alterações genéticas. Organizem-se em grupos de quatro pessoas e façam uma pesquisa sobre alterações genéticas que acometem os seres humanos. Vocês podem abordar as alterações genéticas mencionadas no capítulo, como daltonismo, hemofilia, fibrose cística, doença de Huntington, síndrome de Down, síndrome de Turner, síndrome de Klinefelter, entre outras. Investiguem os fatores genéticos e sociais a elas associados. Descrevam as doenças, incluindo informações sobre a alteração genética envolvida, indicando a qual tipo de herança ela se relaciona, ligada ao cromossomo X ou ao Y, ou síndrome cromossômica, as características clínicas, a prevalência na população, além de como a síndrome pode afetar a vida das pessoas e de seus familiares ou responsáveis. Destaquem a importância de valorizar a diversidade, o acolhimento e o respeito. Divulguem as informações levantadas para a comunidade escolar.

# Inovações e aplicações genéticas

TEK IMAGE/SPL/Fotorena



A Engenharia Genética pesquisa a manipulação do material genético e suas aplicações diretas. Na imagem, uma cientista manipula amostras de DNA em um teste clínico. Na tela ao fundo são mostrados perfis de DNA em análise.

## ▼ Para refletir

1. Considerando a imagem de abertura do capítulo, o que você entende por Biotecnologia? Quais são suas aplicações?
2. Muito se fala em organismos transgênicos. O que você sabe sobre esse tema? Como você explicaria o que é um organismo transgênico para alguém que nunca ouviu falar sobre esse assunto?
3. Caso já tenha ouvido falar de terapia gênica na Medicina, explique o que compreende sobre o assunto.
4. O que é clonagem? Como ela é realizada?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Compreender os princípios fundamentais da Engenharia Genética, bem como identificar e descrever os principais conceitos e as técnicas utilizados nessa área.
- Identificar e descrever os principais conceitos e técnicas utilizados na Biotecnologia aplicada à genética.
- Reconhecer a importância da manipulação e da utilização de organismos vivos na criação de soluções inovadoras para problemas contemporâneos e explorar as aplicações da Biotecnologia em diferentes áreas, como na produção de alimentos e na Medicina.
- Compreender como a Engenharia Genética e suas diferentes técnicas, como PCR e CRISPR/Cas9, são utilizadas para desenvolver produtos e processos relacionados aos componentes genéticos dos seres vivos.
- Analisar e refletir sobre situações controversas, dilemas éticos-sociais da Biotecnologia e seus impactos na sociedade.

# Engenharia Genética

A **Biotecnologia** é um campo multidisciplinar que envolve a integração das ciências naturais e das ciências da engenharia, que utiliza organismos vivos ou suas partes, como células, genes, proteínas e sistemas biológicos para desenvolver produtos e tecnologias com aplicações variadas. Pode-se utilizar métodos biotecnológicos em diversos campos, como na produção de alimentos, medicamentos, tratamentos médicos e até mesmo na resolução de questões ambientais.

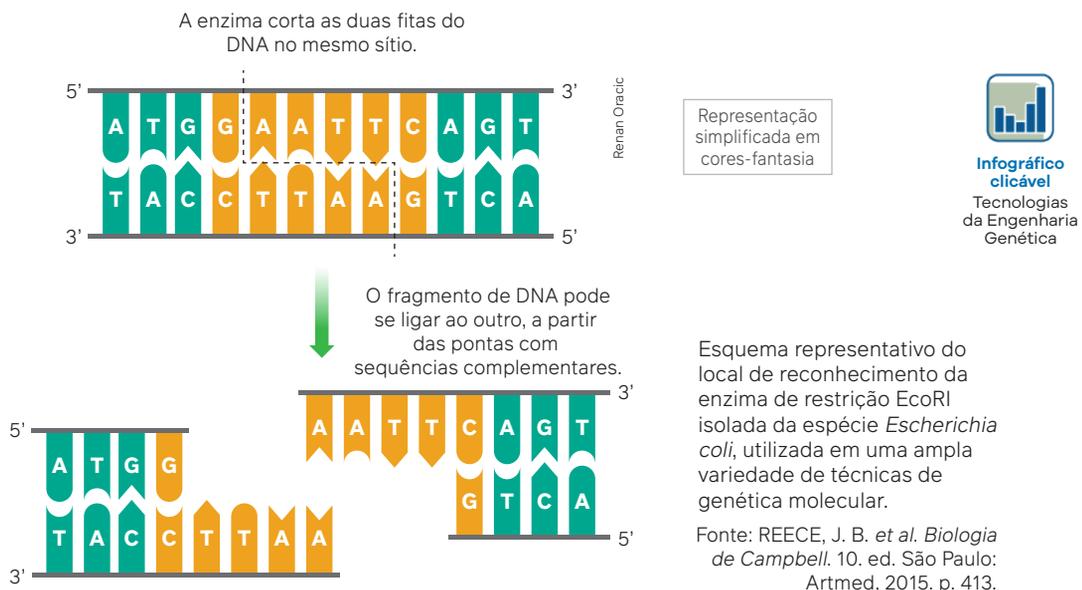
O uso do termo Biotecnologia é recente, contudo, sua aplicação prática vem desde a Antiguidade. Há mais de 4000 anos, já se utilizava técnicas de manipulação de seres vivos para obter resultados que fogem do natural, como a produção de pão e vinho, produtos que usam a fermentação de microrganismos, e a manipulação de espécies vegetais a partir da seleção de indivíduos para cruzamentos controlados, que visam à obtenção de características específicas de interesse para a agricultura.

A **Engenharia Genética** é a área da Genética que envolve a manipulação do material genético para propósitos práticos, sendo atualmente muito importante na Biotecnologia.

## Ferramentas e técnicas

A Engenharia Genética utiliza uma variedade de ferramentas e técnicas especializadas na manipulação e no estudo do DNA. As **enzimas de restrição** são proteínas que atuam como “tesouras moleculares”, sendo capazes de cortar o DNA em locais específicos, resultando em fragmentos que podem ser manipulados. Essas enzimas identificam sequências específicas de DNA e realizam cortes precisos, possibilitando a remoção, a adição ou a modificação de genes.

A enzima de restrição EcoRI reconhece uma sequência específica de DNA, conhecida como **sítio de restrição**. Essa sequência é palindrômica, o que significa que é idêntica quando lida da extremidade 3' para a 5' ou da extremidade 5' para a 3'. No caso do EcoRI, a sequência palindrômica é GAATTC. Quando a enzima EcoRI encontra essa sequência específica em uma molécula de DNA, liga-se a esse local preciso. Após a ligação, a enzima EcoRI age como “tesoura molecular” e corta as ligações fosfodiéster nas posições específicas dentro dessa sequência, resultando em fragmentos de DNA específicos e em cortes precisos. O reconhecimento e o corte são essenciais para manipulações genéticas.



Os **vetores** são partículas usadas para transportar fragmentos de DNA de um organismo para outro. Um dos vetores mais comuns é o **plasmídeo**, fragmento circular de DNA extracromossômico encontrado em bactérias. Os plasmídeos podem ser modificados para transportar genes específicos e são utilizados para inserir esses genes em organismos-alvo. Uma vez que o plasmídeo com o gene desejado é inserido em um organismo, esse fragmento de DNA poderá ser replicado e/ou expressado.

A **PCR** (Reação em Cadeia da Polimerase) é uma técnica que permite amplificar uma sequência específica de DNA em abundância. Ela é realizada em um equipamento chamado termociclador, que aquece e resfria a amostra de DNA em ciclos. A cada ciclo, a PCR duplica a quantidade de DNA, resultando em um aumento exponencial da quantidade de cópias da sequência desejada.

A **eletroforese em gel** é uma técnica utilizada para separar fragmentos de DNA com base em seu tamanho. Esses fragmentos de DNA são depositados em um gel e submetidos a uma corrente elétrica. O campo elétrico gerado possibilita que os fragmentos de DNA se movam por meio do gel em diferentes velocidades, dependendo de seu tamanho. Isso permite visualizar e analisar o tamanho dos fragmentos. Essa técnica é utilizada para a comparação de DNA em testes de paternidade, de amostras encontradas em cenas de crime e na diferenciação de espécies ou linhagens, por exemplo.

A imagem simula os resultados de um teste de DNA para determinação de paternidade de uma criança, em que cinco voluntários, incluindo o pai biológico, forneceram amostras biológicas. Como a criança herdou material genético tanto da mãe quanto do pai, para leitura do teste, são desprezadas as bandas que coincidem com a da mãe (1, 4, 5), e as bandas que coincidem com mais de um voluntário (6). Assim, restam as bandas 2 e 3, que coincidem com o indivíduo 4. Portanto, conclui-se que o voluntário número 4 é o pai biológico da criança. Essa conclusão é baseada na comparação das bandas de DNA compartilhadas entre a criança e o voluntário número 4, indicando uma relação genética direta.

criança	mãe	1º	2º	3º	4º	5º
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—

Renan Oratic

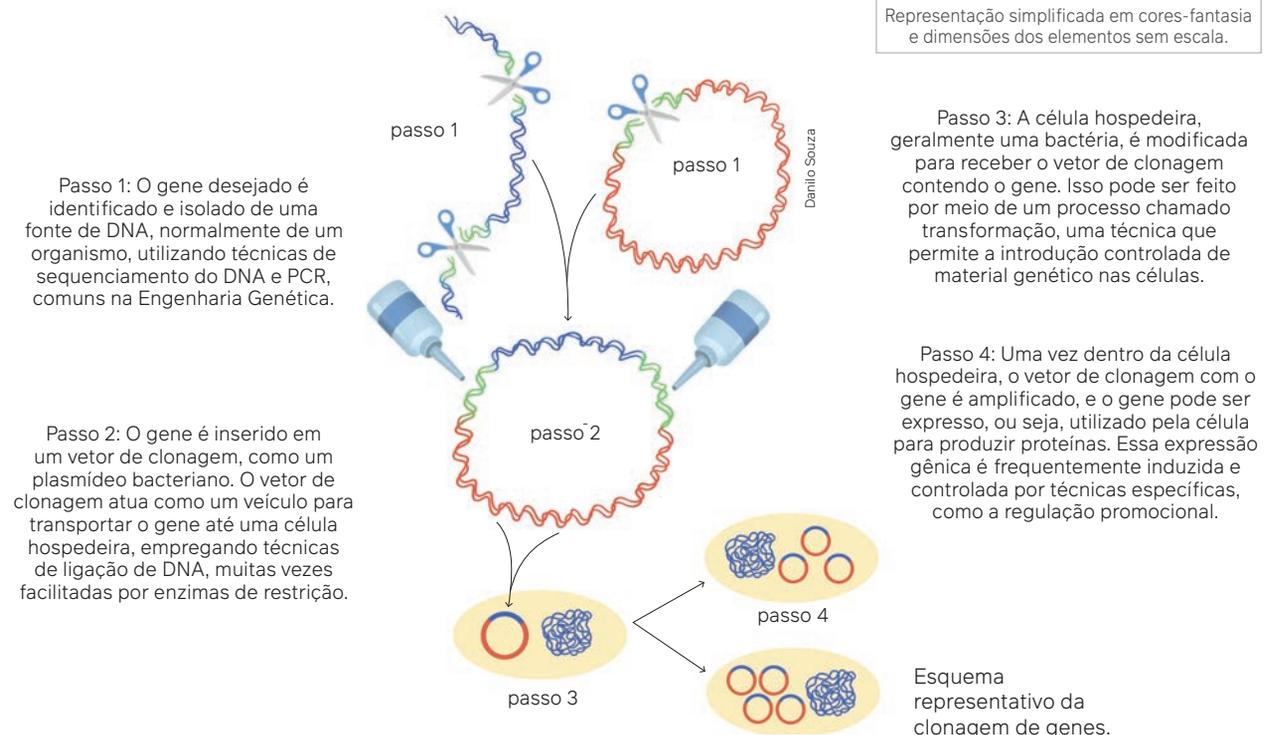
Imagem fictícia do resultado de uma eletroforese com sete amostras de DNA, para um teste de paternidade.

A **CRISPR/Cas9** é uma técnica baseada em uma sequência de DNA encontrada em bactérias, que atua como um sistema de defesa contra vírus invasores. A técnica permite cortar o DNA em locais específicos, adicionando, removendo ou modificando genes. Esse avanço é significativo na capacidade de editar o DNA, e esse uso de DNA bacteriano é considerado uma das tecnologias mais promissoras na área da biotecnologia, devido à alta precisão e eficácia.

A **clonagem molecular** refere-se ao processo de multiplicação de um vetor recombinante contendo o gene de interesse, permitindo estudar suas características e funcionalidades em detalhes. Na clonagem de genes, o gene de interesse é inserido em um vetor, geralmente um plasmídeo bacteriano. Esse vetor é, então, introduzido em uma bactéria, onde o gene de interesse é replicado à medida que a bactéria se reproduz. A expressão do gene, uma consequência da clonagem, pode resultar na síntese da proteína correspondente.

As bactérias modificadas, após esse processo, conseguem produzir a proteína desejada em grande escala. Esse processo é crucial na produção de proteínas terapêuticas, como a insulina recombinante, utilizada por pessoas com diabetes, e na pesquisa científica, para entender e explorar as funções de diferentes genes.

Confira o passo a passo desse processo:





- A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) é um tratado da Organização das Nações Unidas estabelecido durante a notória ECO-92 – a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992, e um dos mais importantes instrumentos internacionais relacionados ao meio ambiente. A CDB entrou em vigor em dezembro de 1993. Até maio de 2023, 168 países assinaram e ratificaram a Convenção, entre eles, o Brasil.

Leia o texto da CDB, disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/convencao-sobre-diversidade-biologica> (acesso em: 21 maio 2024), e responda: Por que o texto que tem como temas principais a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável da biodiversidade e a repartição justa e equitativa dos benefícios provenientes da utilização dos recursos genéticos, se preocupa, entre outras coisas, com a Biotecnologia? Neste contexto, no que consiste a repartição dos benefícios provenientes do uso de recursos genéticos, incluindo conhecimentos tradicionais? Pesquise estratégias para a garantia destes benefícios.
- Imagine que você é um(a) cientista que deseja introduzir um gene específico em células humanas para tratar uma condição médica. Explique como a escolha do vetor adequado contribui para o sucesso dessa intervenção genética. Considere características importantes dos vetores, como sua capacidade de transporte, integração ao genoma hospedeiro e segurança.
- Um grupo de pesquisadores está estudando uma doença genética causada pela mutação de um gene específico. Eles planejam desenvolver um tratamento genético para corrigir essa mutação no gene defeituoso. Considerando as diferentes técnicas de edição genética disponíveis, qual seria a mais indicada para realizar alterações precisas no local exato do gene afetado, corrigindo a mutação?

  - Eletroforese em gel
  - PCR (Reação em Cadeia da Polimerase)
  - CRISPR/Cas9
  - Terapia com células-tronco
- Tendo em vista uma denúncia de troca de crianças na maternidade devido a um possível erro, uma investigação foi iniciada. Testes de DNA foram realizados em 5 casais e 5 crianças nascidas no mesmo dia para esclarecer a situação. Após a análise dos resultados dos testes, responda às seguintes questões.

  - Associe cada criança aos seus respectivos genitores.
  - Foi possível reconhecer todos os genitores das crianças? Explique.

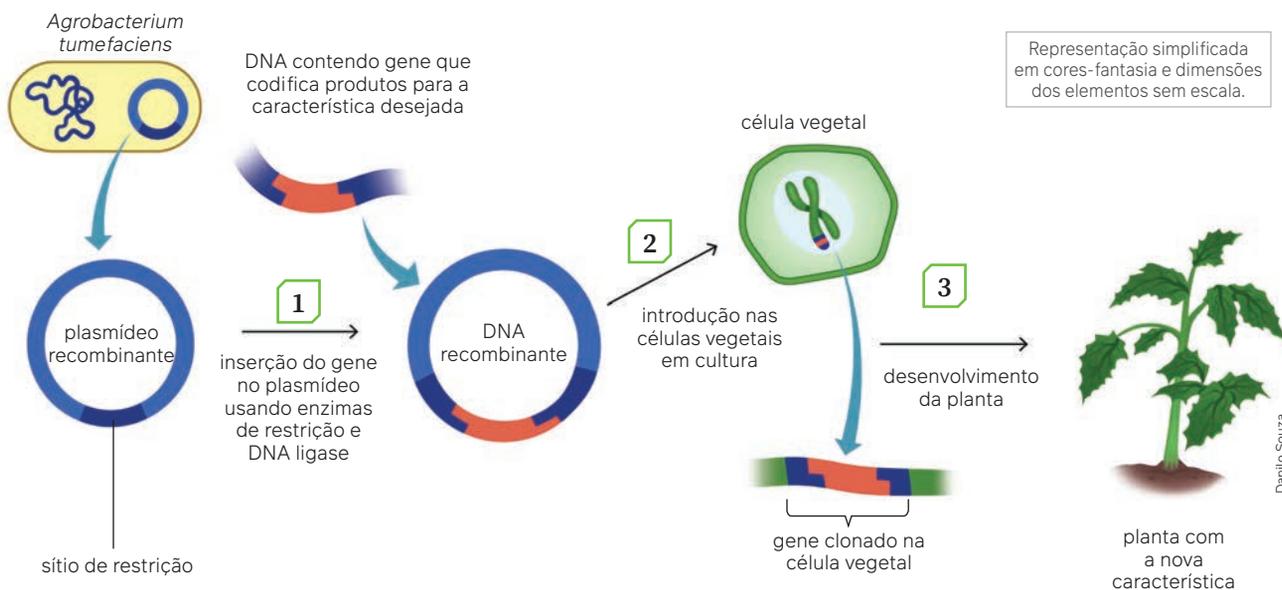
Casal 1		Casal 2		Casal 3		Casal 4		Casal 5		Crianças				
P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	A	B	C	D	E
—		—		—	—	—	—		—			—		—
—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Renan Oracic

## Modificação de organismos

**Organismos Geneticamente Modificados (OGMs)** são seres vivos cujo material genético foi alterado em laboratório. Essas modificações podem envolver a **inserção**, a **remoção** ou a **alteração** de genes específicos e têm como finalidade conferir características desejáveis, como resistência a pragas, aumento na produtividade agrícola, tolerância a condições ambientais adversas e produção de substâncias benéficas.

Um **transgênico** é um organismo que contém genes de outra espécie inseridos em seu DNA. Os transgênicos são o exemplo mais comum de OGM. Uma forma de produzir um OGM pode ser observada no esquema a seguir, que representa o desenvolvimento de uma planta transgênica. Um gene desejado, que codifica para a característica-alvo, é inserido em um plasmídeo, geralmente por meio de enzimas de restrição e DNA ligase. Esse plasmídeo recombinante é, então, introduzido nas células vegetais em cultura. Durante o desenvolvimento da planta, essas células modificadas geneticamente dão origem a uma planta que herda a nova característica.



Esquema representativo do processo de desenvolvimento de uma planta transgênica.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 412.

Ao serem modificadas geneticamente, essas plantas adquirem novas propriedades que não são encontradas naturalmente em suas variedades convencionais. Por exemplo, é possível desenvolver uma cultura de milho que produza uma toxina naturalmente encontrada em uma bactéria específica, tornando-a resistente a insetos que atacariam as lavouras de milho.

Plantas transgênicas podem resistir a pragas e doenças e resultar em colheitas mais abundantes, contribuindo para suprir a demanda crescente por alimentos. Além disso, a resistência incorporada nas culturas transgênicas pode reduzir a necessidade de aplicação de pesticidas e herbicidas, o que preserva o meio ambiente e diminui a exposição a substâncias químicas nocivas para agricultores e consumidores.

As plantas modificadas podem ser capazes de sobreviver a condições adversas, como seca e variações climáticas, garantindo a produção contínua mesmo em ambientes desafiadores.

Por meio da transgenia, é possível também aumentar a concentração de nutrientes em alimentos básicos, como o arroz, contribuindo para melhorar a qualidade nutricional e combater deficiências específicas em populações vulneráveis.



A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é uma companhia brasileira, subordinada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) que, entre outras coisas, desenvolve pesquisas com transgênicos de produtos, como feijão, algodão, soja, milho e cana-de-açúcar. Na imagem, uma cultura de milho transgênico. Guarani (MG), 2018.

Ronaldo Almeida/Shutterstock.com



1. Em 2023, o governo brasileiro, a partir do parecer favorável da CTNBio, autorizou a comercialização de *Aedes aegypti* transgênico da linhagem OX513A em todo o território nacional. Pesquise a biotecnologia associada à produção da linhagem transgênica e como ela foi recebida pela sociedade científica e civil. Com base nessas informações, posicione-se favorável ou desfavoravelmente à tecnologia, utilizando os argumentos a seguir.
  - a) O uso de *Aedes aegypti* transgênico é a melhor opção de controle do mosquito e, conseqüentemente, da dengue, *chikungunya* e do zika vírus.
  - b) O uso de *Aedes aegypti* transgênico pode levar à extinção da espécie, uma vez que a população de insetos diminuirá gradativamente.
  - c) Ainda não se tem clareza sobre o impacto que o uso de *Aedes aegypti* transgênico pode causar ao ecossistema como um todo.
  - d) O uso de *Aedes aegypti* transgênico não afetará o meio ambiente, pois foram feitos diversos estudos e houve a aprovação de órgãos competentes acerca de sua utilização.

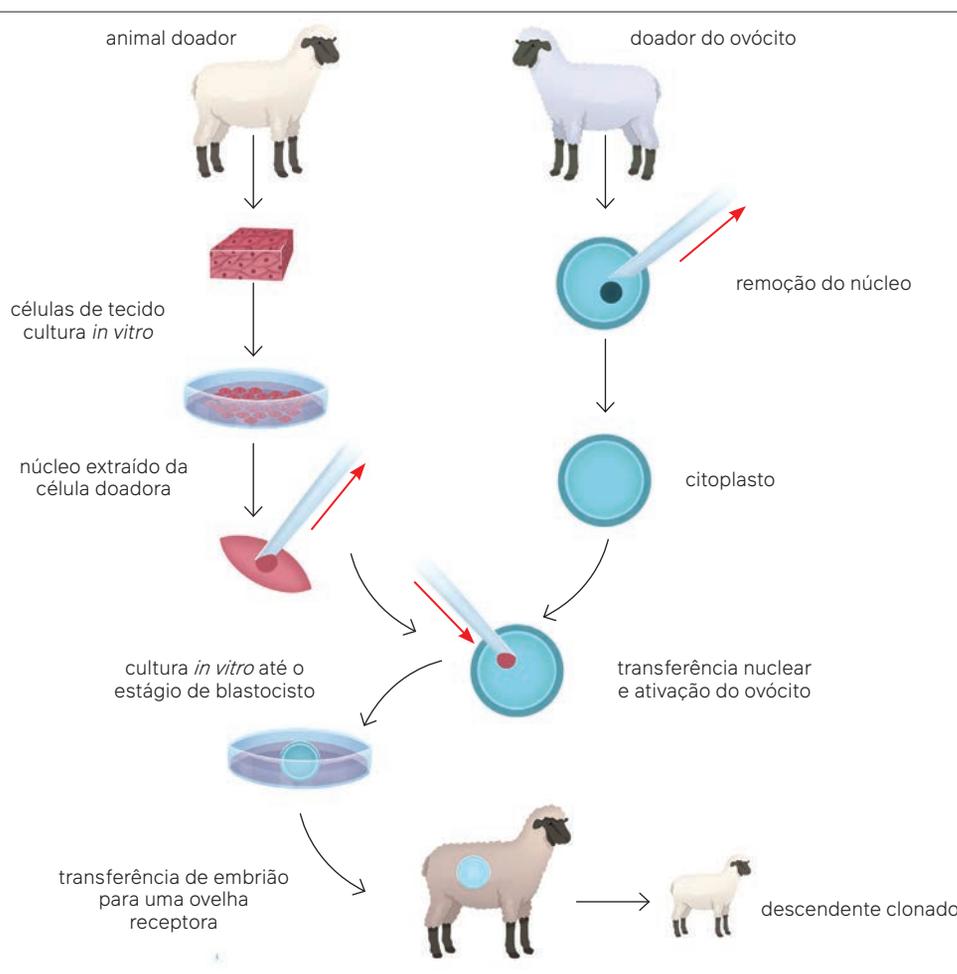
## Clonagem

A **clonagem** é realizada por meio da manipulação de células e genes, visando reproduzir um organismo com características específicas desejadas. Dois tipos de clonagem se destacam: a reprodutiva e a terapêutica.

A **clonagem reprodutiva** envolve técnicas avançadas, como a **transferência nuclear**, que é um procedimento de remoção do núcleo de uma célula somática (célula do corpo) do organismo doador e a insere em um óvulo sem núcleo. Esse óvulo é, então, estimulado a se desenvolver, resultando em um organismo com o mesmo material genético do organismo doador. Ela é chamada de clonagem reprodutiva pelo fato de seu objetivo final ser desenvolver um organismo completo geneticamente idêntico ao do doador do núcleo.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

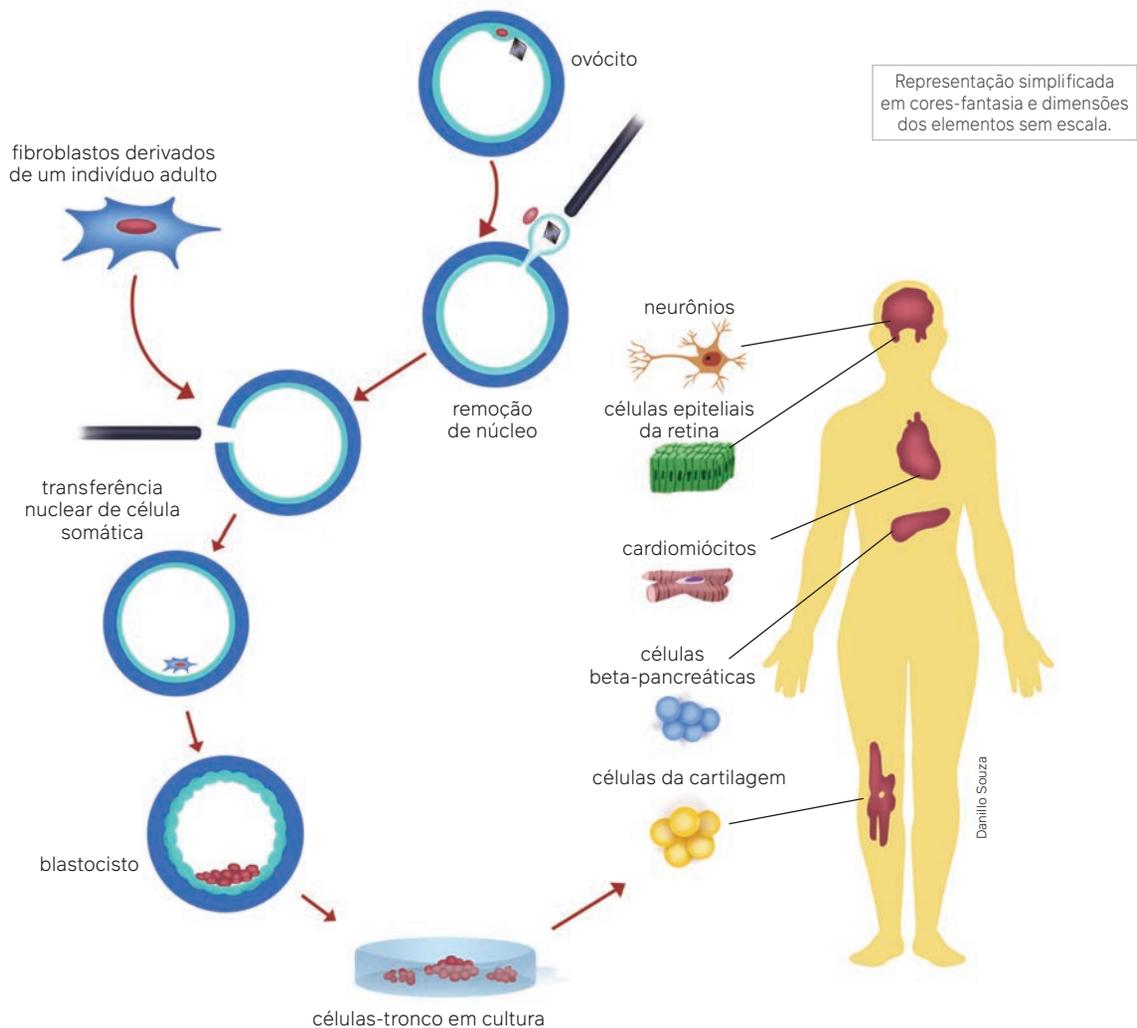
Denillo Souza



Esquema representativo de clonagem reprodutiva.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 424.

Já a **clonagem terapêutica** se dá com o uso de **células-tronco**, as quais possuem capacidade de se dividir e se diferenciar em um ou mais tipos específicos de células. Esse tipo de clonagem se inicia com a retirada do núcleo de uma célula somática, que é então inserido em um ovócito em que o núcleo original foi removido. Esse embrião é usado para obter células-tronco embrionárias, que podem ser estimuladas a se diferenciar em diversos tipos celulares para uso em tratamentos, sem produzir um organismo completo.



Esquema representativo de clonagem terapêutica.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 426.

## Células-tronco

As células-tronco podem ser classificadas em dois tipos principais: células-tronco embrionárias e células-tronco adultas.

As **células-tronco embrionárias** são extraídas de embriões em estágios iniciais de desenvolvimento, geralmente provenientes de fertilizações *in vitro* ou de clonagem terapêutica. Essas células possuem um potencial maior de diferenciação, ou seja, podem se especializar em uma ampla variedade de tipos celulares.

Por outro lado, as **células-tronco adultas** são encontradas em tecidos e órgãos já desenvolvidos no organismo. Elas têm um potencial de diferenciação mais limitado em relação às células-tronco embrionárias, podendo se especializar apenas em tipos celulares relacionados ao tecido de origem, à exceção das células-tronco do sistema hematopoietico, que têm capacidade de autorrenovação e pluripotencialidade, ou seja, que têm a capacidade de se diferenciar em quase todos os tipos de células do organismo.

As pesquisas com células-tronco têm despertado grande interesse científico, pois essas células possuem um potencial significativo para aplicações terapêuticas, regeneração de tecidos danificados e tratamento de diversas doenças.

## Saiba mais

Vários países ao redor do mundo permitem o uso de células-tronco em pesquisas e aplicações médicas, embora as regulamentações possam variar de um país para outro. Estados Unidos, por exemplo, é um dos países com políticas favoráveis ao uso de células-tronco, mas existem restrições e regulamentações específicas dependendo da fonte das células-tronco, seja de embriões e tecidos adultos, seja de células pluripotentes induzidas. Já o Reino Unido possui uma legislação que permite a pesquisa e o uso de células-tronco embrionárias, desde que elas sejam obtidas de embriões doados de forma voluntária e com consentimento informado. No Brasil, o uso de células-tronco é regulamentado pela Lei de Biossegurança (Lei n. 11.105/2005). A legislação brasileira permite a utilização de células-tronco para pesquisa e terapia, desde que sejam obedecidas certas diretrizes e restrições.

## Atividades propostas



- Desde o nascimento da ovelha Dolly, em 1996, primeiro mamífero clonado de uma célula adulta somática, o processo de clonagem evoluiu bastante. No caso dos bovinos, a prática gera melhorias para o rebanho com a multiplicação de animais de interesse genético. No passado, a taxa de produção de embriões a partir de clones era muito baixa, enquanto hoje a taxa já é compatível com a da fertilização *in vitro*. A taxa de gestação também é satisfatória, no entanto, ainda é grande a perda gestacional. Além disso, há hábitos de consumo e preferência de compra dos consumidores, que podem ser determinantes para a utilização de tal tecnologia.
  - Neste contexto, quais são as vantagens da clonagem bovina?
  - Por que a clonagem animal ainda não é utilizada em escala comercial?
- Em grupo com três colegas, vocês deverão desenvolver, hipoteticamente, um bife clonado. Entre as técnicas estudadas no capítulo, selecionem a que melhor se adapta a essa finalidade. Descrevam o processo laboratorial e, com o produto pronto, elaborem uma arte para a embalagem do produto e um *jingle* para as propagandas nas diferentes mídias. Ao final, apresentem a produção aos colegas. Você consumiria essa carne? Justifique sua resposta.
- Na novela “O Clone”, exibida pela primeira vez em 2001, o enredo envolve a clonagem humana. Nessa trama, um cientista chamado Albieri realiza a clonagem de um homem chamado Lucas, sem o seu consentimento, resultando na criação de um clone chamado Léo. O processo de clonagem na novela é apresentado dessa forma: o cientista retira o núcleo de uma célula somática de Lucas, insere-o em um óvulo e, em seguida, implanta o embrião resultante em uma “barriga de aluguel”. Esse procedimento resulta no nascimento de Léo, um indivíduo geneticamente idêntico a Lucas, mas nascido em uma época diferente. Inspirado por essa trama, reflita: Qual é a sua opinião sobre a clonagem humana? Você acredita que ela deve ser permitida ou proibida? Em que circunstâncias? Por que clonar um humano? Quem deve ser clonado? Compartilhe suas ideias com os colegas e justifique seu posicionamento.
- Leia o trecho a seguir e responda às questões propostas.

Recentemente, o uso de células-tronco para tratar a degeneração macular, uma condição em que a parte central da retina (mácula) se deteriora, causando perda progressiva da visão central, tem mostrado resultados promissores. O tratamento envolve a injeção de células-tronco na retina para regenerar as células danificadas.

  - Por que o tratamento com células-tronco foi bem-sucedido no caso da degeneração macular?
  - Quais são os principais riscos associados a essa abordagem?
- Sobre a clonagem, é correto afirmar que:
  - A clonagem de genes é um processo em que um gene específico é inserido em um organismo diferente.
  - A clonagem de organismos envolve a reprodução de um organismo inteiro, gerando organismos geneticamente idênticos.
  - A clonagem com células-tronco é muito utilizada em pesquisas médicas e na regeneração de tecidos.
  - A clonagem por transferência nuclear utiliza a transferência do núcleo de uma célula somática para um óvulo.
  - I, II e III estão corretos.
  - II, III e IV estão corretos.
  - Apenas I e II estão corretos.
  - Todas as alternativas estão corretas.

6. O relatório “O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo (SOFI)”, publicado em julho de 2023 pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), indica que a fome e a insegurança alimentar no Brasil aumentaram. Por que em um país como o Brasil, com grande capacidade de produção agrícola, ainda existem pessoas em estado de insegurança alimentar? Pesquise sobre o assunto, compartilhe suas conclusões com os colegas e, juntos, destaquem possíveis mecanismos para que os conhecimentos biotecnológicos relacionados à produção de alimentos possam contribuir para melhorar a segurança alimentar de todos, especialmente das classes menos favorecidas.

## Preocupações e regulamentações

Embora as culturas geneticamente modificadas ofereçam benefícios, também surgem preocupações que devem ser consideradas, como possíveis impactos na saúde humana e no meio ambiente. Embora as culturas transgênicas passem por testes de segurança antes da comercialização, há debates contínuos sobre seus efeitos.

Para lidar com essas questões, muitos países implementam regulamentações específicas para a pesquisa, o cultivo, a comercialização e consumo de culturas geneticamente modificadas, além de exigirem rotulagem adequada para que os consumidores possam fazer escolhas informadas.



João Prudente/Pulsar Imagens

Culturas como a da soja são predominantemente cultivadas com Organismos Geneticamente Modificados (OGMs). No entanto, são necessários estudos para compreender completamente os impactos desses OGMs no meio ambiente e na saúde humana. Na imagem aparece uma plantação de soja transgênica em Holambra (SP), 2021.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

No Brasil, a Lei de Biossegurança n. 11.105/2005 estabelece normas de segurança que vão desde a pesquisa, o cultivo, até o descarte. O Decreto n. 4.680/2003 determina a obrigatoriedade da rotulagem de alimentos destinados ao consumo humano e animal. A rotulagem especial é para produtos que contenham ou sejam produzidos a partir de variedades transgênicas em níveis superiores a 1% do total. Assim, se um produto, o fubá, por exemplo, tiver em sua composição menos de 1% de milho transgênico, não há necessidade de rotulagem.



Daniel Cymbalista/Pulsar Imagens

Alimentos transgênicos rotulados. A identidade visual e gráfica deste símbolo (“T” em maiúsculo, no centro de um triângulo amarelo) foi definida pela Portaria n. 2.658/2003.



## Ameaças às sementes crioulas

No ano em que se completam 18 anos da aprovação dos transgênicos no Brasil, uma pesquisa inédita alerta para o avanço da contaminação do milho crioulo do Semiárido nordestino com genes transgênicos.

O levantamento aponta que, de um total de 1.097 amostras analisadas, provenientes de 138 municípios nordestinos, mais de um terço continha genes transgênicos. Em alguns casos, revela o estudo, foram encontrados até sete tipos de genes transgênicos diferentes em uma mesma semente.

Trocando em miúdos, o avanço na contaminação das espécies crioulas com transgênicos reduz a agrobiodiversidade. Isso torna o país mais vulnerável às mudanças climáticas, às pragas e às demais adversidades que possam atingir as colheitas.

Se as espécies forem perdendo suas características individuais, a tendência é que haja redução ou extinção das variedades adaptadas naturalmente, com resiliência a determinados tipos de pragas ou condições climáticas.

O resultado reflete um impacto relevante, considerando que um dos potenciais brasileiros é a diversidade deste tipo de grão. O Brasil possui 23 raças de milho e centenas de outras variedades do alimento — “raça” é um conjunto de variedades de milho que possui parentesco entre si. No entanto, segundo dados da Embrapa, 90% de toda a cultura de milho no Brasil é transgênica.

Além disso, a região onde a pesquisa foi desenvolvida, o Semiárido, possui espécies de milho endêmicas, ou seja, exclusivas da região. Isso faz diferença porque aqui as chuvas se concentram em apenas quatro ou cinco meses do ano — um padrão que tem sido alterado pelas mudanças climáticas. Portanto, contar com espécies adaptadas à região aumenta as chances de garantir a colheita.

De cara, os dados sinalizam um cenário de insegurança alimentar decorrente da perda da biodiversidade combinada com o avanço das mudanças climáticas.

De acordo com o coordenador executivo do Centro de Tecnologia Alternativa da Zona da Mata (CTA) e um dos autores do estudo, Gabriel Fernandes, a contaminação cruzada entre genes, que acontece no campo, é uma das questões mais graves.

[...]

Ainda segundo o pesquisador, os dados evidenciam uma injustiça em relação às pequenas famílias agricultoras, que fazem seleção, armazenamento e troca de sementes crioulas. “As famílias agricultoras assumem 100% do ônus para evitar essa contaminação. Elas têm que lidar com os riscos e prejuízos dessa contaminação descontrolada. Há grande incentivo ao agronegócio, que se utiliza das sementes transgênicas, mas não há uma política que impeça a contaminação [...]”, reforça Gabriel.

[...]

### Como acontece a contaminação

Até 2020, a agricultora Suzana Silva, moradora do Sítio Furnas, município de Montadas, também na Paraíba, recebia o resultado negativo dos testes de transgenia. Os resultados eram uma conquista, levando em conta que a agricultora vive cercada por um latifúndio, com áreas de cultivo muito próximas das suas e onde não há fiscalização. Em 2022, ela descobriu que o seu milho estava contaminado. Para a agricultora, a contaminação se deu por meio de grãos de pólen do milho de um latifúndio localizado muito próximo do seu cultivo.

“Tem um empresário aqui, um latifundiário que planta muito [milho]. Não sei se o milho dele está contaminado, mas é possível, ele planta muito. Assim fica difícil. O agricultor planta semente crioula, mas os outros não plantam e aí fica contaminado. A gente pensa também nas consequências depois para a saúde”, reclama.

Segundo Suzana, desde que ela recebeu resultado positivo para transgenia, nunca mais colheu milho como antes. “O milho não tem mais aquela produtividade. No ano que deu resultado transgênico, [a colheita] só deu para ração animal. Antes eram grandes, agora as espigas são irregulares. Eu não sei se é por causa das chuvas irregulares ou dos transgênicos”, explica.

[...]

Quando os transgênicos foram regulamentados no Brasil, em 2005, já havia evidências do risco de contaminação cruzada. De acordo com o geneticista, pesquisador e professor do Departamento de Fitotecnia do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rubens Nodari, já havia comprovações de que o pólen da espécie transgênica poderia contaminar lavouras a alguns quilômetros de distância.

“Os estudos comprovam que 0,2% de pólen de transgênico pode viajar por quilômetros. De fato, isso é pouco. No entanto, se levarmos em conta que o milho pode produzir cerca de 20 milhões de grãos de pólen, aí, sim, temos uma quantidade suficiente para contaminar outras plantas até 3 km de distância”, explica o cientista.

## O trabalho para evitar a contaminação

Todos os anos, o agricultor Paulo Alexandre da Silva, morador da comunidade Lagoa do Jogo, no Assentamento Oziel Pereira, município de Remígio, na Paraíba, submete seu milho ao teste e se orgulha de, até hoje, estar livre de contaminação. Segundo ele, o caminho para alcançar esse resultado não é simples.

Para concentrar as espécies crioulas livres de contaminação, ele criou um Banco Comunitário de Sementes, que reúne espécies resgatadas, catalogadas e armazenadas. A ideia é que os agricultores locais usem apenas as sementes do banco, garantindo que o cultivo seja feito apenas com espécies locais e crioulas.

O assentamento possui 50 famílias, mas apenas 32 fazem parte do banco de sementes. A necessidade imediata de plantar, além da falta de recursos, muitas vezes leva as famílias a usarem sementes distribuídas pelo poder público ou adquirir sementes em armazéns, sem saber a procedência. Paulo garante que essas são as principais portas de entrada dos transgênicos na comunidade.

“Eu faço reunião com os agricultores para sensibilizar sobre a contaminação com transgênicos. Faço troca, venda e até doo as sementes do nosso banco para evitar que eles usem sementes contaminadas. Eu faço cerca viva [para reter os grãos de pólen transgênicos] plantando gliricídia, mandacaru, sabiá. Eu vim pra cá em 2002 já com a minha semente e nunca deu contaminação”, explica.

De acordo com o agricultor, quanto maior a variedade, mais chances de garantir a colheita, mesmo em ano de chuvas mais escassas ou tardias.

## Cuidado coletivo com as sementes crioulas

Os bancos de sementes dos quais os agricultores Paulo e Suzana fazem parte integram um trabalho coletivo, que reúne 65 bancos comunitários e um banco regional, em 13 municípios da região do Polo da Borborema, no interior paraibano. O que mantém esse trabalho é a prática de troca de sementes desenvolvida pelos agricultores há séculos.

Esses bancos dão suporte às famílias para disporem de sementes adequadas às mudanças climáticas, que já atingem o Semiárido, assim como garantir que elas não precisem buscar sementes de fontes desconhecidas, elevando o risco de plantar uma espécie contaminada com transgênico.

Essa é parte de uma série de atividades adotadas com o objetivo de evitar a contaminação com os transgênicos na região. Dentre as demais ações, há também uma Comissão Territorial de Bancos de Sementes, que se reúne com frequência para discutir temas de interesses dos guardiões de sementes, nome dado a quem protege as sementes crioulas.

Outra ação é a campanha Não Planto Transgênicos Para Não Apagar Minha História, que divulga informações didáticas, sensibilizando pequenos produtores sobre o que é a transgenia e de que forma ela compromete as sementes crioulas. A campanha passou a testar as sementes crioulas e emitir um certificado, comprovando a ausência de contaminação.

Os agricultores do Polo da Borborema também criaram sua própria marca de derivados de milho, produzidos apenas com sementes crioulas e comercializados através da Cooperativa Borborema. Eles trabalham em parceria com a AS-PTA – Agricultura Familiar e Agroecologia, associação de direito civil que auxilia os agricultores na preservação das sementes crioulas.

AMÂNCIO, A. Um terço do milho crioulo do Semiárido está contaminado por transgênicos. *Mongabay*, [s. l.], 24 ago. 2023. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2023/08/um-terco-do-milho-crioulo-do-semiarido-esta-contaminado-por-transgenicos/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

## Trocando ideias



1. De acordo com o que você leu no texto, o que são sementes crioulas?
2. O texto expõe o resultado de uma pesquisa sobre a contaminação do milho crioulo do semiárido nordestino com genes transgênicos. Qual é o resultado da pesquisa?
3. Quais são as implicações da contaminação do milho crioulo para os produtores e para toda a sociedade?
4. Com os seus colegas de turma, reflita sobre produtores de milho que usam variedades de milho transgênico e agricultores que utilizam sementes crioulas. Considere os benefícios específicos do milho transgênico, como a redução no uso de agrotóxicos, e as características valorizadas nas sementes crioulas, como a diversidade genética e a adaptação local. Em seguida, promova uma discussão com seus colegas sobre a coexistência dessas duas linhagens na agricultura.



### 1. Debate simulado:

Uma notícia recente agita o cenário político e social brasileiro no final do ano de 2023:

O projeto que retira do rótulo dos alimentos o símbolo que indica o uso de transgênicos voltará à pauta do Senado. O plenário aprovou [...] o desarquivamento da proposta. [...] Aprovada na Câmara, a proposta passou por cinco comissões no Senado, sendo rejeitada em três delas. O projeto acabou sendo arquivado no fim do ano passado, após sete anos de debate.

PINCER, P. Senado volta a analisar projeto que flexibiliza rotulagem de produtos transgênicos. *Rádio Senado*, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/12/08/senado-volta-a-analisar-projeto-que-flexibiliza-rotulagem-de-produtos-transgenicos>. Acesso em: 28 jul. 2024.

Pesquise sobre a legislação brasileira de biossegurança e rotulagem de transgênicos e mais informações sobre transgênicos, a fim de conhecer os posicionamentos de diferentes segmentos sobre o assunto. Vocês devem se dividir de modo que cada estudante represente um destes atores sociais:

- Representantes do agronegócio, produtores de milho e soja;
- Representantes do agronegócio que controlam o mercado de sementes;
- Consumidores preocupados com segurança alimentar;
- Parlamentares que defendem a segurança alimentar e a sustentabilidade;
- Parlamentares que defendem o agronegócio e a indústria alimentícia;
- Cientistas de diferentes áreas: Segurança Alimentar, Biotecnologia, Ecologia;
- Produtores que utilizam sementes crioulas ou variedades selvagens.

Definidos os papéis, preparem argumentos, pois vocês simularão uma participação em uma audiência pública para discutir a tramitação do Projeto de Lei da Câmara (PLC) 34/2015 e seu impacto na segurança alimentar e nas escolhas do consumidor. Cada setor terá 3 minutos para fazer a defesa de seu ponto de vista no que se refere à aprovação do Projeto de Lei ou, ainda, à aprovação do texto com alterações.

Ao final do debate, respondam:

- a) Como você se sentiu representando o papel que lhe coube? A opinião que você deu estava em consonância com suas concepções? Explique.
- b) Considerando as falas dos personagens no debate, o grupo é favorável ou contrário ao projeto de Lei da Câmara (PLC) 34/2015? Explique.

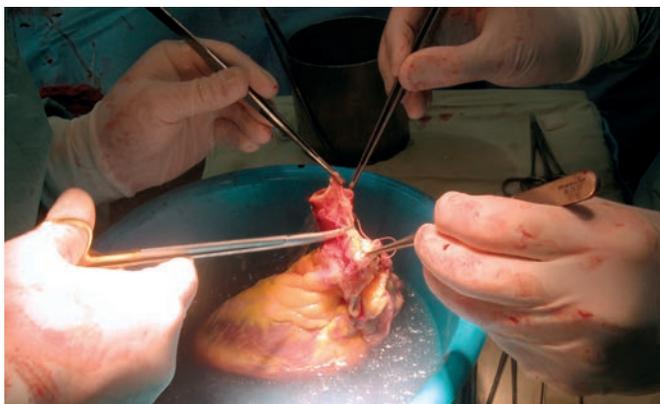
## Biotecnologia na Medicina

A Biotecnologia tem desempenhado um papel cada vez mais importante no avanço da Medicina, melhorando diagnósticos, tratamentos e qualidade de vida de pacientes.

### Transplante de órgãos e tecidos

O **transplante de órgãos e tecidos** é uma das áreas mais importantes da Biotecnologia aplicada à Medicina. Essa técnica consiste em substituir um órgão ou tecido danificado por um saudável, proveniente de um doador compatível, ou por um sintético.

Além do desenvolvimento e da aplicação de tecnologias que permitem a obtenção, o armazenamento, o transporte de órgãos e tecidos, bem como a redução da rejeição por parte do sistema imunológico do receptor, a Biotecnologia tem contribuído para a evolução de técnicas que permitem a produção de órgãos artificiais ou o crescimento de tecidos em laboratório, conhecido como **Engenharia de Tecidos**, que envolve a utilização de células-tronco e biomateriais para desenvolver órgãos ou tecidos que possam ser transplantados.



Coração humano em preparação para transplante.

kalewa/Shutterstock.com

## Medicina regenerativa

A **Medicina regenerativa** tem como objetivo utilizar os próprios mecanismos de regeneração do corpo humano para tratar e curar doenças, lesões e disfunções. Essa abordagem visa restaurar a função de tecidos e órgãos danificados, estimulando o crescimento de novas células e tecidos saudáveis.

Algumas das abordagens mais comuns da medicina regenerativa incluem o uso de células-tronco, terapia gênica, biomateriais e engenharia de tecidos.

Os **biomateriais** utilizados na Medicina regenerativa são estruturas sintéticas ou naturais que podem fornecer um suporte físico para as células se ancorarem e crescerem, além de liberar substâncias que estimulam a regeneração e o crescimento de novos tecidos.

Os tecidos biofabricados podem ser usados para substituir órgãos danificados ou fornecer suporte temporário até que o órgão original seja regenerado.



Um médico trabalhando em um protótipo de joelho humano, incorporando tecnologias inovadoras para regeneração e reparo de tecidos.

## Ciência por fora



## Transplante de órgãos geneticamente modificados

O transplante de órgãos e tecidos tem salvado milhares de vidas em todo o mundo e continua sendo uma área de grande importância na Medicina. O avanço das técnicas biotecnológicas nessa área tem o potencial de ampliar ainda mais as possibilidades de transplante e melhorar a qualidade de vida dos pacientes que necessitam dessa intervenção.

Em 16 de agosto, foi divulgado que um homem de 57 anos, com morte cerebral, recebeu rim geneticamente modificado de um suíno e que, 32 dias após o procedimento, o órgão funcionava bem e sem sinal de rejeição. O transplante foi realizado pelo médico Robert Montgomery em 14 de julho de 2023, com autorização da família, que optou por doar o corpo dele à ciência.

De acordo com a reportagem, os cientistas inativaram um único gene no suíno doador (o gene que codifica uma biomolécula denominada alfa-gal, um tipo de açúcar). Além disso, eles bloquearam a glândula do timo do animal, que contribui para a resposta imune. “A combinação dessas duas estratégias foi suficiente para prevenir a rejeição do órgão, preservando a sua função”, relata Mayana Zatz, diretora do Centro de Estudo sobre o Genoma Humano e Células-Tronco (CEGH-CEL) da USP.

Estudos anteriores já mostraram que os órgãos dos suínos são os mais semelhantes aos seres humanos, mas, em caso de transplantes, corre-se o risco de haver rejeição hiperaguda, que ocorre naturalmente alguns minutos depois que o órgão do animal é conectado ao ser humano. Com o avanço das pesquisas em genomas, foi possível identificar, nos suínos, quais eram os genes responsáveis por essa rejeição.

Em seguida, a técnica de CRISPR/Cas9, de editar genes, permitiu que esses genes fossem silenciados ou inativados. “Hoje, há debates entre os diferentes grupos de pesquisa sobre quantos genes de suíno precisam realmente ser inativados (que chamamos de *knock-out*) e também quantos genes humanos precisam ser introduzidos (*knock-in*) para garantir um animal geneticamente compatível com o receptor”, detalha Mayana.

Ainda de acordo com a geneticista, “o experimento mostra que estamos cada vez mais próximos de levar o xenotransplante para a clínica médica com o potencial de salvar inúmeras vidas”.

ZATZ, M. Rim de porco transplantado para homem com morte cerebral funciona bem após 32 dias da cirurgia. *Jornal da USP*, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/rim-de-porco-transplantado-para-homem-com-morte-cerebral-funciona-bem-apos-32-dias-da-cirurgia/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

## Trocando ideias

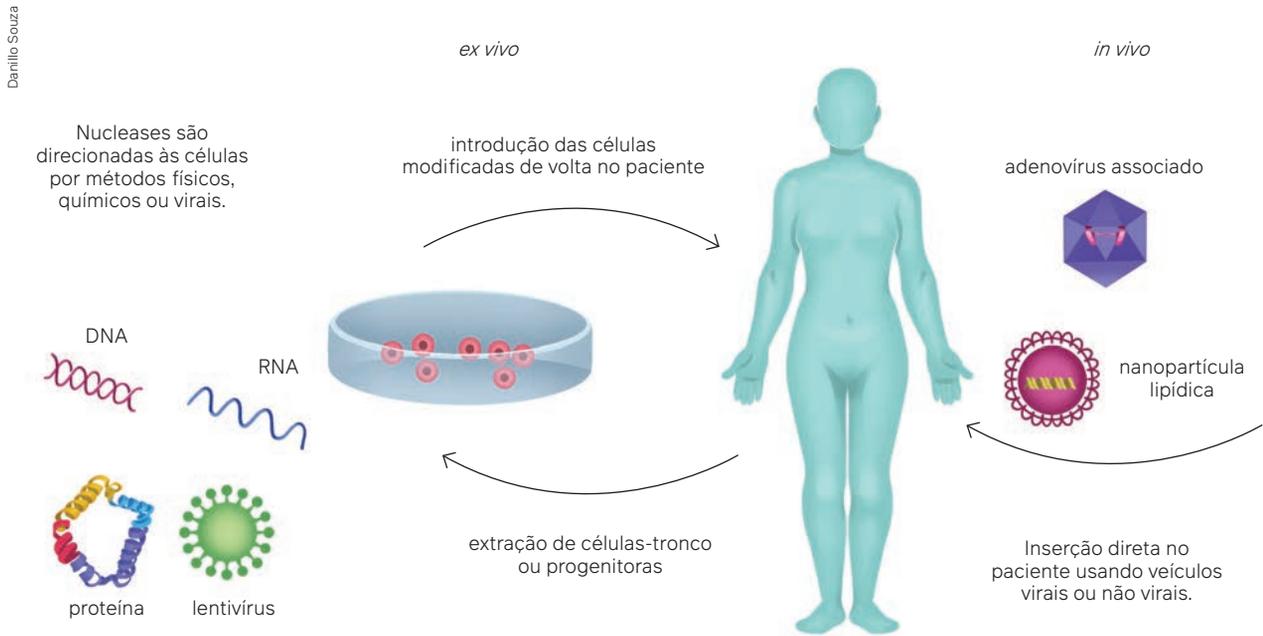


1. Conforme o texto, quais foram as estratégias utilizadas pelos cientistas para evitar a rejeição do rim transplantado?
2. Explique por que os órgãos de suínos são considerados adequados para transplantes em seres humanos e qual foi o desafio mencionado no texto.
3. Segundo o texto, como a técnica de CRISPR/Cas9 contribuiu para o avanço no campo dos xenotransplantes?
4. Qual é a perspectiva da geneticista Mayana Zatz sobre o experimento? Qual é a importância desse avanço na área médica?
5. “[...] estamos cada vez mais próximos de levar o xenotransplante para a clínica médica com o potencial de salvar inúmeras vidas”. Em um debate coletivo, exponha para os colegas o que você pensa sobre a opinião pública em relação ao xenotransplante: Você acredita que a população aderirá a essa estratégia tranquilamente? Haverá oposição à estratégia? Você estaria disposto a viver com um coração de porco? Explique.

## Terapia gênica

A **terapia gênica** trata doenças por meio da alteração ou correção de genes alterados. Ela oferece a esperança de desenvolver tratamentos inovadores para uma gama de condições genéticas, desde doenças hereditárias até certos tipos de câncer.

Nesse processo, utilizam-se técnicas para introduzir o gene sem alteração em células do paciente.



Esquema representativo da terapia gênica.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 429.

A proporção entre as dimensões das estruturas representadas não é a real.

## Epigenética

A **Epigenética** é o estudo de como as células controlam a atividade genética sem alterar a sequência de DNA. Parte desse estudo investiga como as influências do ambiente (alimentação, experiências pessoais, toxinas ambientais) podem afetar a expressão dos genes.

Um exemplo desse mecanismo é o desenvolvimento da abelha-rainha em colônias de *Apis mellifera*: as fêmeas operárias da colmeia (inférteis), apesar de se desenvolverem a partir de larvas geneticamente idênticas, podem sofrer um processo de diferenciação se sua dieta for exclusiva com geleia real, transformando-se em uma rainha fértil. A geleia real tem a capacidade de silenciar um gene.

Essas mudanças são fundamentais para a diferenciação celular e para fornecer respostas a estímulos ambientais. Conhecido o processo, cientistas passaram a estudar mecanismos de alteração na expressão gênica, como a adição de compostos químicos em genes, que não os alteram, mas podem silenciá-los ou ativá-los. Essas técnicas são utilizadas para conseguir melhorias genéticas sem alterar geneticamente os organismos, assim como no tratamento de doenças genéticas.

Os mecanismos epigenéticos envolvem: metilação do DNA, modificações nas histonas e o papel de RNA não codificante.

A **metilação do DNA** é um processo no qual grupos metila ( $\text{CH}_3$ ) são adicionados às bases do DNA, alterando a atividade dos genes sem mudar sua sequência.

As **modificações nas histonas** se referem a alterações nessas proteínas que atuam na condensação do DNA. Se a maneira como o DNA é empacotado em torno das histonas muda, a expressão gênica também pode mudar.

Os **RNAs não codificantes**, ou microRNAs, agem como reguladores da expressão gênica, embora não codifiquem proteínas.

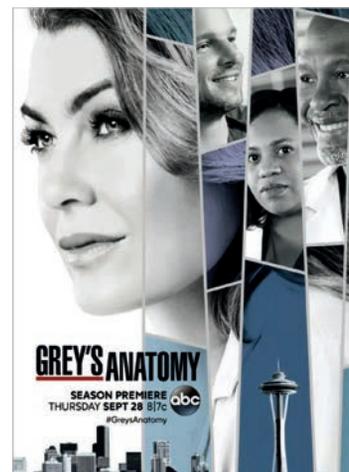
Os mecanismos epigenéticos podem afetar profundamente a expressão genética. A crescente compreensão destes mecanismos nas doenças abriu novos caminhos para o desenvolvimento de terapias epigenéticas direcionadas, por exemplo, na produção de medicamentos que inibem as enzimas DNA metiltransferase e histona desacetilase, revertendo potencialmente padrões de expressão genética. Esses tratamentos mostraram-se promissores em estudos pré-clínicos e estão atualmente sendo testados em ensaios clínicos para várias doenças, incluindo câncer e distúrbios neurológicos.



1. Conhecimentos biológicos estão por toda parte em nossa vida, influenciando nossa visão de mundo, muitas vezes, sem que percebamos, como na ficção, por exemplo. Vamos analisar uma cena da famosa série *Grey's Anatomy*, que aborda questões relacionadas à Medicina e à Biotecnologia. A série retrata a vida de médicos residentes e cirurgiões do *Grey Sloan Memorial Hospital*.

Temporada 11, Episódio 9 – “Para onde vamos daqui”.

Contexto: Nessa cena, a Dra. Meredith Grey e o Dr. Derek Shepherd estão envolvidos em uma cirurgia complexa para tratar uma paciente com uma síndrome rara chamada doença de Von Hippel-Lindau. Essa condição é caracterizada pelo desenvolvimento de tumores em vários órgãos, incluindo o cérebro. A paciente apresenta um tumor no córtex adrenal. Embora *Grey's Anatomy* seja uma série de ficção, a utilização da terapia gênica na cena apresentada é baseada em conceitos reais de biotecnologia, além de avanços científicos na área da Medicina. Na cena relatada, os médicos inserem um vetor viral contendo um gene terapêutico no tumor. A partir desse contexto, responda:



Cartaz da série *Grey's Anatomy*.

- a) Qual é o objetivo da terapia gênica e como ela pode contribuir para o tratamento de doenças genéticas?
- b) Qual é o propósito da terapia gênica utilizada pelos médicos na cena descrita?
- c) Pesquise o assunto e descreva esquematicamente como a técnica de terapia gênica utilizada no episódio age no organismo para tratar a paciente portadora da doença de Von Hippel-Lindau.

2. Na era digital, a Inteligência Artificial (IA) desempenha um papel cada vez mais significativo em nossas vidas, influenciando desde as recomendações de filmes e músicas até as decisões médicas. Por meio de algoritmos complexos, a IA tem o poder de analisar grandes quantidades de dados e fornecer sugestões personalizadas. Imagine que exista um aplicativo desenvolvido por um cientista que utiliza IA para auxiliar na escolha da melhor terapia genética para diversas doenças. A partir das questões abaixo, escreva um texto argumentativo e compartilhe com os colegas seus posicionamentos.



- Como os algoritmos de recomendação presentes em plataformas de *streaming* podem influenciar o comportamento dos usuários? Existe o risco de criar bolhas de filtro que limitam a exposição a novas ideias e perspectivas?
- Quais são os possíveis impactos positivos e negativos da utilização de sistemas de IA na área da saúde, especialmente quando se trata da escolha de terapias genéticas?
- Ao desenvolver um sistema de recomendação para o aplicativo de terapia genética, quais critérios você consideraria para garantir a imparcialidade, transparência e confiabilidade do sistema?
- Como os algoritmos de IA podem ser projetados para levar em conta as necessidades individuais dos pacientes e oferecer recomendações personalizadas de tratamento?

## Considerações éticas e sociais

No desenvolvimento e avanço da Biotecnologia, surgem questões éticas e sociais que precisam ser consideradas.

Alguns desses dilemas éticos estão relacionados à autonomia do indivíduo em relação ao benefício coletivo. Por um lado, a autonomia defende o direito individual de tomar decisões sobre seu próprio corpo e material genético. Por outro, o benefício coletivo busca impulsionar o avanço científico e o tratamento de doenças genéticas, frequentemente demandando intervenções que impactam o patrimônio genético de um indivíduo e, por conseguinte, de suas gerações futuras.

Uma das principais preocupações é: até que ponto é ético modificar geneticamente os organismos? Devemos considerar, cuidadosamente, os possíveis impactos dessas modificações em relação ao meio ambiente e à saúde humana, bem como os riscos e benefícios associados. Para garantir a segurança na pesquisa e na utilização da biotecnologia, há regulamentação específica quando o tema envolve seres humanos no Brasil. O Conselho Nacional de Saúde (CNS) estabelece diretrizes éticas e padrões para pesquisas envolvendo intervenções biotecnológicas em humanos. Há, ainda, a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), responsável pela avaliação ética de pesquisas envolvendo seres humanos. A aprovação da CONEP geralmente é necessária antes do início de estudos que utilizam Biotecnologia.

Outro aspecto importante a ser discutido é o acesso e a desigualdade relacionados à Biotecnologia. Nem todos os países e comunidades têm o mesmo acesso a avanços biotecnológicos, o que pode acentuar as desigualdades sociais e de saúde.

## #FicaADica

**Gattaca**, direção de Andrew Niccol (Sony Pictures Motion Picture Group, 1997, 106 min). Filme de ficção científica, cujo título faz referência às bases nitrogenadas: Guanina (G), Adenina (A), Timina (T) e Citosina (C). O longa-metragem aborda aspectos relacionados ao aprimoramento humano e à discriminação em virtude de características genéticas como predisposição a doenças.

## Atividades propostas



1. Pesquise, na internet, argumentos científicos e de outras naturezas para temas como aprimoramento humano, manipulação genética, clonagem e terapia gênica. Anote as fontes em que foram encontrados os argumentos, separando-as de acordo com cada corrente de pensamento. Depois, em discussão com os colegas, respondam às questões a seguir, apresentando os argumentos que encontrou, suas fontes e seu posicionamento sobre eles.
  - a) Quais podem ser as consequências sociais do aprimoramento genético humano?
  - b) Qual a sua opinião a respeito da possibilidade de seleção de embriões humanos com características compatíveis com algum irmão afetado por uma doença?
  - c) Em que aspectos as críticas de outras naturezas se aproximam e se distanciam das críticas de cientistas?
  - d) Suponha que foram selecionadas, para um embrião, características genéticas que lhe conferem vantagens para disputar uma maratona. Seria ético ele, quando adulto, participar de competições com outros corredores, cujas características não sofreram alterações genéticas?
  - e) No mundo dos esportes, é proibido o uso de drogas que melhorem o desempenho do esportista em relação aos demais. No entanto, há outras tecnologias, como treinos inovadores e dietas específicas, roupas e sapatos, que também oferecem vantagem sobre quem não tem acesso a esses recursos. Do ponto de vista ético, qual é a diferença entre este tipo de tecnologia e a tecnologia genética?
  - f) Você é a favor ou contra a seleção de características genéticas no embrião? Procure se posicionar identificando de qual ponto de vista suas ideias mais se aproximam (o religioso, o senso comum ou o científico).
2. Vamos explorar a tomada de decisão relacionada a um procedimento ético da pesquisa científica. Imagine que você tenha desenvolvido uma nova técnica de edição genética que permite corrigir um gene responsável por uma doença hereditária rara. Essa técnica tem o potencial de salvar a vida de muitas pessoas que sofrem com essa doença, proporcionando a cura efetiva. No entanto, continua em fase experimental e não possui aprovação regulatória para uso em humanos. Você recebe o pedido desesperado de uma família cujo filho recém-nascido possui essa doença e está em estado crítico. A família implora para que você realize o procedimento em seu filho, acreditando que essa seja a única esperança de salvá-lo.  
Nesse contexto, você se depara com o seguinte dilema: Realizar o procedimento arriscado e ter a possibilidade de salvar a vida do bebê, mas infringindo as regulamentações éticas e legais, ou aguardar a aprovação regulatória e não oferecer a chance de cura ao paciente no momento que ele mais precisa? Reflita sobre esse dilema e tome uma decisão. Analise os prós e contras de cada opção e considere os aspectos éticos, legais e sociais envolvidos na tomada de decisão. Anote qual foi a sua decisão e justifique o raciocínio que deu base a ela.

## Recapitule



Esse capítulo explora as inovações e aplicações genéticas sob a ótica da Engenharia Genética, terapia gênica e diversas tecnologias que transformam nosso modo de vida. As aplicações envolvem técnicas para modificar e manipular o DNA e gerar organismos transgênicos para atender às necessidades humanas. As aplicações na Medicina problematizam a terapia gênica a fim de tratar doenças genéticas. Contudo, é essencial ponderar sobre dilemas éticos e sociais relacionados à Biotecnologia, considerando segurança, justiça e responsabilidade. Convidamos você a refletir sobre esses temas e a elaborar um mapa conceitual envolvendo os termos: Engenharia Genética; Biotecnologia; terapia gênica; ferramentas e técnicas; organismos transgênicos; clonagem; agricultura; Medicina; células-tronco; dilemas éticos; segurança.



## Uma história boa pra cachorro!

Sequenciar genomas possibilitou ampliar o conhecimento sobre a história evolutiva das espécies. Essa tecnologia fornece informações valiosas não apenas sobre os indivíduos sequenciados, que podem ser usadas para traçar a história familiar, recente e distante, mas também para identificar características comuns a outras espécies. Isso acontece porque, à medida que o tempo passa, parte dos processos de adaptação aos recursos disponíveis e ao ambiente podem ser inferidos em análises de genomas sequenciados.

Pense nos cães domésticos. Ao longo de mais de 10 mil anos, a espécie humana realizou inúmeros cruzamentos visando produzir distintas raças caninas, adaptadas a diversas funções, como caça, companhia, transporte etc. Infelizmente, parte dessa seleção veio acompanhada de outras características indesejadas, por exemplo, a maior susceptibilidade a doenças em algumas raças.

Um estudo recente com dados genômicos de 161 raças caninas evidenciou que uma mutação no gene MDR1, que causa reações potencialmente fatais a múltiplos medicamentos em muitas das raças rurais do Reino Unido, foi encontrada em 10% dos cães pastor-alemão, mostrando uma ligação entre essas raças. Essa mesma mutação foi identificada na raça chinook, uma raça recentemente criada com múltiplos ancestrais de raças diferentes, com uma frequência de 15%.

Estudos como esse ajudam a recapitular e aprimorar a história escrita das mais de 350 raças caninas que existem atualmente, trazendo novas evidências e resolvendo questões sobre a origem, relações com a espécie humana e suas migrações.

A proporção entre os tamanhos dos seres vivos não é a real.

### Agora é com você!

Planeje e elabore um relatório que permita contar a história de uma raça canina de seu interesse, representada por um cão que você conhece.

Utilize todas as informações que puder recuperar sobre o seu sujeito de pesquisa: aparência, comportamento, árvore genealógica, histórico de nascimento etc. Busque também informações sobre as características de cada raça, inclusive genéticas, e o histórico da presença delas no Brasil, a adaptação delas e a expectativa de vida que oferecem. Seus resultados devem demonstrar coerência com todas essas informações, ainda que não possam ser comprovados sem uma análise completa do genoma do animal.



Sue Thatcher/Shutterstock.com

Cachorro da raça Shih Tzu.



Lenkadan/Shutterstock.com

Cachorro da raça Puli-Húngaro.



otspphoto/Shutterstock.com

Cachorro da raça Terrier Irlandês.



Subert/Shutterstock.com

Cachorro da raça Saluki.



Ricantimages/Shutterstock.com

Cachorro da raça Pastor de Brie.



Ideas\_Studio/Stockphoto.com

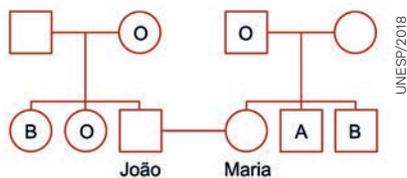
Cachorro da raça Rottweiler.



1. (UEA-AM – 2023) Durante seus experimentos de hibridação de plantas de ervilha, *Pisum sativum*, Gregor Mendel identificou características condicionadas por um par de “fatores” que podiam permanecer “escondidas” por algumas gerações e, repentinamente, “reaparecer” em função de determinados cruzamentos. Atualmente, os “fatores” notados por Mendel são denominados \_\_\_\_\_. Tais características “escondidas” são classificadas como \_\_\_\_\_ e só se manifestam em \_\_\_\_\_.

As lacunas do texto são preenchidas, respectivamente, por:

- organelas – genótipos – zigotos.
  - ácidos nucleicos – hereditárias – organismos adultos.
  - alelos – dominantes – heterozigose.
  - genes – recessivas – homozigose.
  - ribossomos – fenótipos – organismos juvenis.
2. (UFT-PR – 2023) Considere uma espécie animal cuja cor da pelagem é definida por um gene. Ambos os progenitores são heterozigóticos para essa característica. A proporção esperada de descendentes também heterozigóticos para essa mesma característica é:
- 25%
  - 50%
  - 75%
  - 100%
3. (Unesp-SP – 2018) O heredograma mostra os tipos sanguíneos do sistema ABO de alguns familiares de João e de Maria.



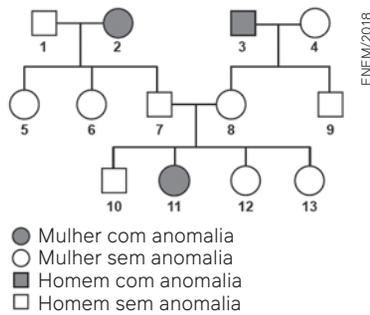
A probabilidade de João e Maria terem uma criança com o mesmo tipo sanguíneo da mãe de Maria é

- $\frac{1}{8}$ .
  - $\frac{1}{2}$ .
  - $\frac{1}{4}$ .
  - $\frac{1}{16}$ .
  - $\frac{1}{32}$ .
4. (Enem – 2017 - reaplicação) Uma mulher deu à luz o seu primeiro filho e, após o parto, os médicos testaram o sangue da criança para a determinação de seu grupo sanguíneo. O sangue da criança era do tipo O+. Imediatamente, a equipe médica aplicou na mãe uma solução contendo anticorpos anti-Rh, uma vez que ela tinha o tipo sanguíneo O-.

Qual é a função dessa solução de anticorpos?

- Modificar o fator Rh do próximo filho.
  - Destruir as células sanguíneas do bebê.
  - Formar uma memória imunológica na mãe.
  - Neutralizar os anticorpos produzidos pela mãe.
  - Promover a alteração do tipo sanguíneo materno.
5. (Unicesumar – 2023) A espécie humana apresenta cerca de 20 sistemas diferentes de classificação dos grupos sanguíneos. Destes, três são considerados os principais: os sistemas ABO, Rh e MN, sendo que os grupos sanguíneos do sistema ABO são quatro e estão relacionados à herança genética. Sabe-se, ainda, que a incompatibilidade que causa a aglutinação das hemácias do sangue de pessoas diferentes se deve aos diferentes tipos de sangue e às reações imunológicas entre eles. Considerando as informações fornecidas e os demais aspectos relacionados ao tema abordado, assinale a alternativa correta.
- O alelo *i* não determina síntese de aglutinogênios, logo, indivíduos *ii* não possuem aglutinogênios, mas possuem aglutinina anti-A e anti-B.
  - O estudo da herança dos sistemas ABO e MN é um caso particular de dominância parcial.
  - O sistema Rh é considerado um caso de dominância incompleta entre genes não alelos.
  - Os genes não alelos indicados pela letra *i* são ligados à isoimunidade e se referem à aglutinação do sangue ocorrida na transfusão entre indivíduos de espécies diferentes e mesmo tipo sanguíneo.
  - Um indivíduo do grupo A possui o aglutinogênio B em suas hemácias, além de apresentar aglutinina anti-A em seu plasma.
6. (Fuvest-SP – 2018) Nos cães labradores, a cor da pelagem preta, chocolate ou dourada depende da interação entre dois genes, um localizado no cromossomo 11 (alelos B e b), e o outro, no cromossomo 5 (alelos E e e). O alelo dominante B é responsável pela síntese do pigmento preto, e o alelo recessivo b, pela produção do pigmento chocolate. O alelo dominante E determina a deposição do pigmento preto ou chocolate nos pelos; e o alelo e impede a deposição de pigmento no pelo. Dentre 36 cães resultantes de cruzamentos de cães heterozigóticos nos dois *locus* com cães duplo homozigóticos recessivos, quantos com pelagem preta, chocolate e dourada, respectivamente, são esperados?
- 0, 0 e 36.
  - 9, 9 e 18.
  - 18, 9 e 9.
  - 18, 0 e 18.
  - 18, 18 e 0.

7. (Enem – 2017) O heredograma mostra a incidência de uma anomalia genética em um grupo familiar.



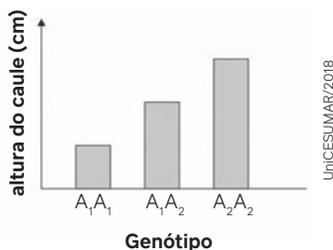
O indivíduo representado pelo número 10, preocupado em transmitir o alelo para a anomalia genética a seus filhos, calcula que a probabilidade de ele ser portador desse alelo é de

- a) 0%.                      c) 50%.                      e) 75%.  
b) 25%.                      d) 67%.
8. (Enem – 2021) A deficiência de lipase ácida lisossômica é uma doença hereditária associada a um gene do cromossomo 10. Os pais dos pacientes podem não saber que são portadores dos genes da doença até o nascimento do primeiro filho afetado. Quando ambos os progenitores são portadores, existe uma chance, em quatro, de que seu bebê possa nascer com essa doença.

ANDERSON, R. A. et. al. *In Situ Localization of the Genetic Locus Encoding the Lysosomal Acid Lipase/Cholesteryl Esterase (LIPA) Deficient in Wolman Disease to Chromosome 10* 923.2-423.3. *Genomics*, n. 1, jan. 1993 (adaptado).

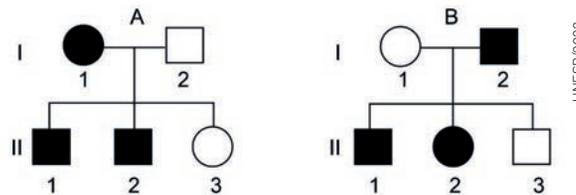
Essa é uma doença hereditária de caráter

- a) recessivo.                      d) poligênico.  
b) dominante.                      e) polialélico.  
c) codominante.
9. (Unicesumar – 2018) Em uma espécie de planta, o gene A controla a altura do caule. Esse gene possui dois alelos,  $A_1$  e  $A_2$ . O gráfico abaixo mostra os fenótipos das plantas para os três possíveis genótipos. De acordo com o gráfico, conclui-se que



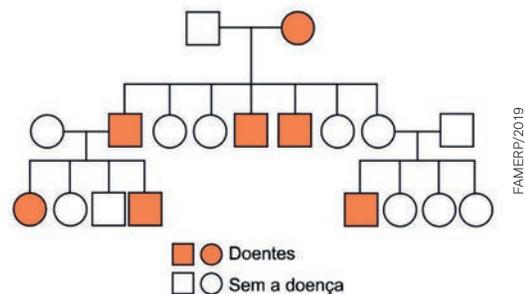
- a)  $A_1$  é dominante.  
b)  $A_2$  é dominante.  
c)  $A_1$  é epistático sobre  $A_2$ .  
d)  $A_1$  e  $A_2$  são codominantes.  
e) o gene A é ligado ao sexo.

10. (Unesp-SP – 2022) Os heredogramas a seguir representam duas famílias, A e B. Na família A, os indivíduos representados por símbolos escuros apresentam daltonismo, uma característica genética de herança recessiva ligada ao sexo. Na família B, os símbolos escuros representam indivíduos portadores de acondroplasia, ou nanismo, uma característica genética de herança autossômica dominante. Não há histórico de ocorrência de daltonismo na família B, e não há histórico de ocorrência de acondroplasia na família A.



Supondo que a mulher II-3 da família A venha a ter um bebê com o homem II-1 da família B, a probabilidade de a criança ser uma menina que não tenha daltonismo nem acondroplasia e a probabilidade de ser um menino que não tenha daltonismo nem acondroplasia são, respectivamente,

- a) 50% e 25%.                      d) 12,5% e 50%.  
b) 25% e 12,5%.                      e) 25% e 25%.  
c) 12,5% e 12,5%.
11. (Famerp-SP – 2019) Analise o heredograma que apresenta uma família com algumas pessoas afetadas por uma doença.



A partir do heredograma, conclui-se que a doença em questão é determinada por gene

- a) dominante ligado ao cromossomo X.  
b) mitocondrial.  
c) recessivo ligado ao cromossomo Y.  
d) dominante autossômico.  
e) recessivo ligado ao cromossomo X.
12. (Uerj – 2019) Considere uma população de 200 camundongos que foi criada em laboratório e se encontra em equilíbrio de Hardy-Weinberg. A pelagem desses camundongos é determinada por dois genes, B e b. O gene B é dominante e determina a pelagem marrom; o gene b é recessivo e determina a pelagem branca. A frequência de indivíduos com o genótipo recessivo bb é de 16% nessa população.

Sabe-se, ainda, que p representa a frequência do gene B e q a frequência do gene b.

Em relação a essa população de camundongos, determine os valores de p e q e, também, o número de indivíduos heterozigotos.

Em seguida, aponte uma condição necessária para que uma população seja considerada em equilíbrio de Hardy-Weinberg.

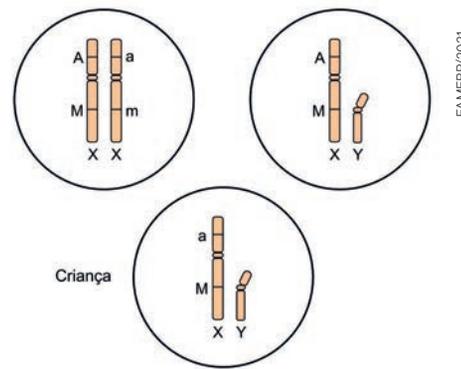
13. (Unioeste-PR – 2023) Uma mulher é heterozigota para o gene do daltonismo e não é portadora do gene da hemofilia. Ela teve uma criança do sexo masculino com seu companheiro, que não é portador do gene do daltonismo, porém é hemofílico. Em relação ao filho deste casal, é CORRETO afirmar.

- Tem 50% de chance de ser daltônico.
- Tem 50% de chance de ser hemofílica.
- Tem 25% de chance de ser hemofílico.
- Tem 75% de chance de ser daltônico.
- Tem 50% de chance de ser daltônico e hemofílico.

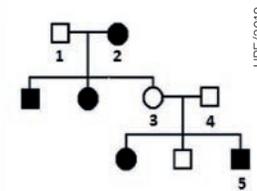
14. (Unicesumar – 2023) Diferenças fisiológicas e anatômicas entre mulheres e homens são conhecidas e perceptíveis, e a base de tais diferenças é bem simples: humanos e outros animais possuem dois tipos de cromossomos sexuais, X e Y. Dependendo de quantos cromossomos X e Y forem herdados pelo indivíduo, estará definido se o indivíduo será fêmea ou macho. No entanto, há relações, processos e consequências bem mais complexos quando se trata de herança e recombinação genética. Tendo isso em vista e os demais conteúdos afins, assinale a alternativa correta.

- Os cromossomos autossomos não condicionam as características do corpo, mas, sim, a determinação do sexo do organismo.
- Quando o gene está localizado na região não homóloga do cromossomo Y, tem-se um caso de herança ligada ao Y ou herança holândrica.
- Os genes alelos, como estão localizados na região não homóloga do cromossomo Y em relação ao cromossomo X, só ocorrem nos indivíduos do sexo feminino.
- O cromossomo X apresenta poucos genes holândricos, mas todos relacionados a doenças como o daltonismo e a hemofilia.
- Os genes autossomos recessivos, como estão localizados na região homóloga do cromossomo Y em relação ao cromossomo X, só ocorrem nos indivíduos do sexo feminino.

15. (Famerp-SP – 2021) As figuras ilustram células pertencentes a três indivíduos: uma criança e seus genitores. Em cada célula está representado um par de cromossomos sexuais, com os pares de alelos e seus respectivos *locus*. A distância entre os *locus* é de 26 UR.



- O alelo dominante no genótipo da criança foi herdado de qual dos seus genitores? Qual fenômeno permitiu que a composição genotípica da criança fosse diferente da dos genitores?
  - Com relação aos genes representados, qual a porcentagem esperada de ovócitos portadores apenas de alelos recessivos gerados pela mulher? Explique por que a localização dos genes representados na célula da mulher não está relacionada à Segunda Lei de Mendel.
16. (UPE-SSA – 2019) Em humanos, a polidactilia pós-axial é caracterizada pela presença de um dedo extranumerário próximo ao quinto dedo da mão e/ou do pé. Observe a imagem e o heredograma a seguir:



Fonte: <http://www.criancaesaude.com.br/ortopedia-pediatria/drmrangell/polidactilia-excesso-de-dedos-na-mao/>

Com base nas informações, é CORRETO afirmar que a característica em questão é condicionada por alelo

- autossômico recessivo letal, conforme observado no indivíduo 1, visto apresentar polidactilia, e dois de seus filhos que não a possuem morrerem antes de se reproduzirem.
- ligado ao X recessivo com expressividade variável, segundo se observa no indivíduo 2, devido ao fato de possuir polidactilia e ter prole com e sem a referida característica.
- autossômico dominante com penetrância incompleta como observado no indivíduo 3, por não apresentar polidactilia, mas recuperar a característica em sua prole na geração seguinte.
- ligado ao X dominante com penetrância completa, conforme se observa no indivíduo 4, em razão de ter passado a característica igualmente para filhos e filhas.

e) autossômico recessivo pleiotrópico, como identificado no indivíduo 5, uma vez que apresenta mais de duas formas alélicas para a característica.

17. (Enem – 2020) Uma população encontra-se em equilíbrio genético quanto ao sistema ABO, em que 25% dos indivíduos pertencem ao grupo O e 16%, ao grupo A homocigotos. Considerando que:  $p$  = frequência de  $I^A$ ;  $q$  = frequência de  $I^B$ ; e  $r$  = frequência de  $i$ , espera-se encontrar:

Grupo	Genótipos	Frequências
A	$I^A I^A$ e $I^A i$	$p^2 + 2pr$
B	$I^B I^B$ e $I^B i$	$q^2 + 2qr$
AB	$I^A I^B$	$2pq$
O	$ii$	$r^2$

A porcentagem de doadores compatíveis para alguém do grupo B nessa população deve ser de:

- a) 11%.
- b) 19%.
- c) 26%.
- d) 36%.
- e) 60%.

18. (Fuvest-SP – 2021) Uma variedade de milho (Milho Bt) foi modificada com a inserção de genes da bactéria *Bacillus thuringiensis*, que produzem proteínas Cry, tóxicas para insetos como as lagartas que atacam suas lavouras. Essas proteínas bloqueiam o trato digestório dos insetos, levando-os à morte. Em aves e mamíferos que também se alimentam de milho, as proteínas Cry são inativadas durante a digestão ácida, perdendo sua ação sobre esses animais. A alternativa que indica corretamente um aspecto positivo e um negativo dos efeitos dessa modificação genética do milho para o ser humano é:

a)

Aspecto positivo	Aspecto negativo
Aumento do valor nutricional do milho.	Possibilidade de desenvolvimento de alergia à proteína Cry em pessoas vulneráveis.

b)

Aspecto positivo	Aspecto negativo
Menor tempo de maturação dos grãos.	Possibilidade de invasão da vegetação nativa pela planta transgênica.

c)

Aspecto positivo	Aspecto negativo
Facilitação da polinização das plantas.	Risco de extinção local de aves e mamíferos insetívoros.

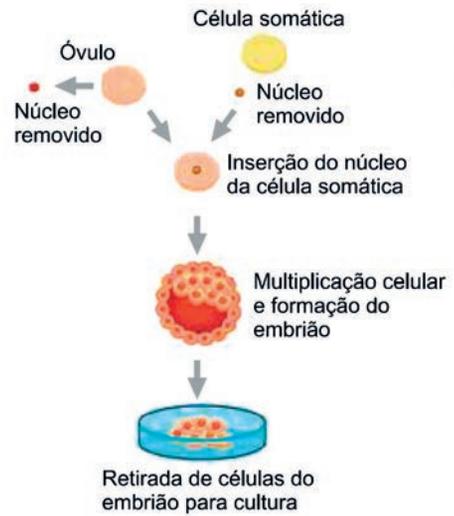
d)

Aspecto positivo	Aspecto negativo
Economia de água pela redução da irrigação.	Maior exposição dos agricultores a agrotóxicos.

19.

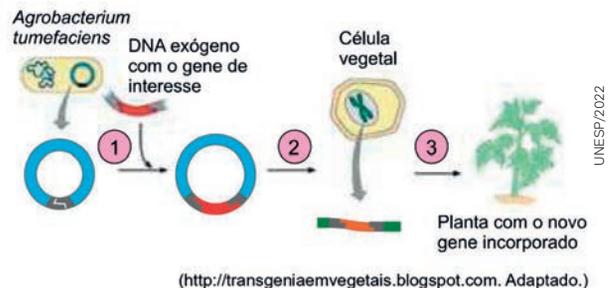
Aspecto positivo	Aspecto negativo
Maior produtividade das lavouras de milho.	Possibilidade de surgimento de lagartas resistentes à proteína Cry.

(FGV-SP – 2020) A figura mostra uma técnica biotecnológica de manipulação de células para a produção de um embrião resultante da fusão entre um óvulo anucleado e o núcleo de uma célula somática.



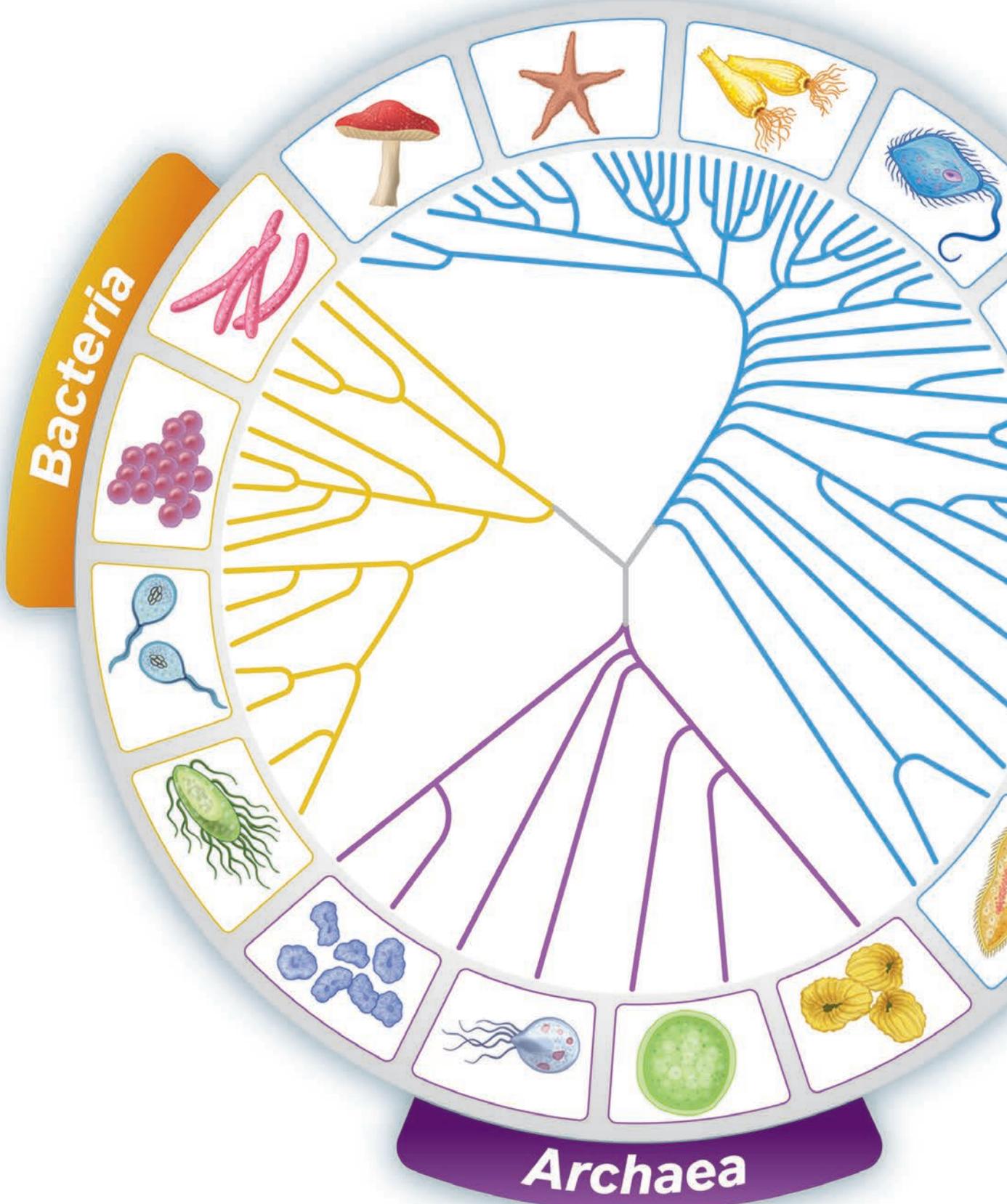
- Essa técnica pode ser empregada para
- a) aumentar a variabilidade genética da espécie.
  - b) evitar o surgimento de genes mutantes.
  - c) realizar a clonagem terapêutica.
  - d) identificar pessoas.
  - e) produzir células gaméticas.

20. (Unesp-SP – 2022) Para obtenção de plantas transgênicas em laboratório, um dos vetores utilizados é um plasmídeo, chamado Ti, presente na bactéria do solo *Agrobacterium tumefaciens*. Os pesquisadores inserem nesse plasmídeo um segmento de DNA de uma espécie que tem o gene de interesse (DNA exógeno), e utilizam esse plasmídeo como vetor para inserir o gene de interesse no genoma da espécie vegetal que se deseja modificar. Esse processo, de forma simplificada, está representado a seguir.



Na figura, as etapas em que ocorrem a indução da diferenciação celular, a aplicação das enzimas de restrição e a recombinação entre o gene de interesse e o DNA vegetal estão indicadas, respectivamente, pelos números

- a) 3, 2 e 1.
- b) 3, 1 e 2.
- c) 1, 3 e 2.
- d) 2, 1 e 3.
- e) 1, 2 e 3.



**Bacteria**

**Archaea**

# Origem e evolução da vida

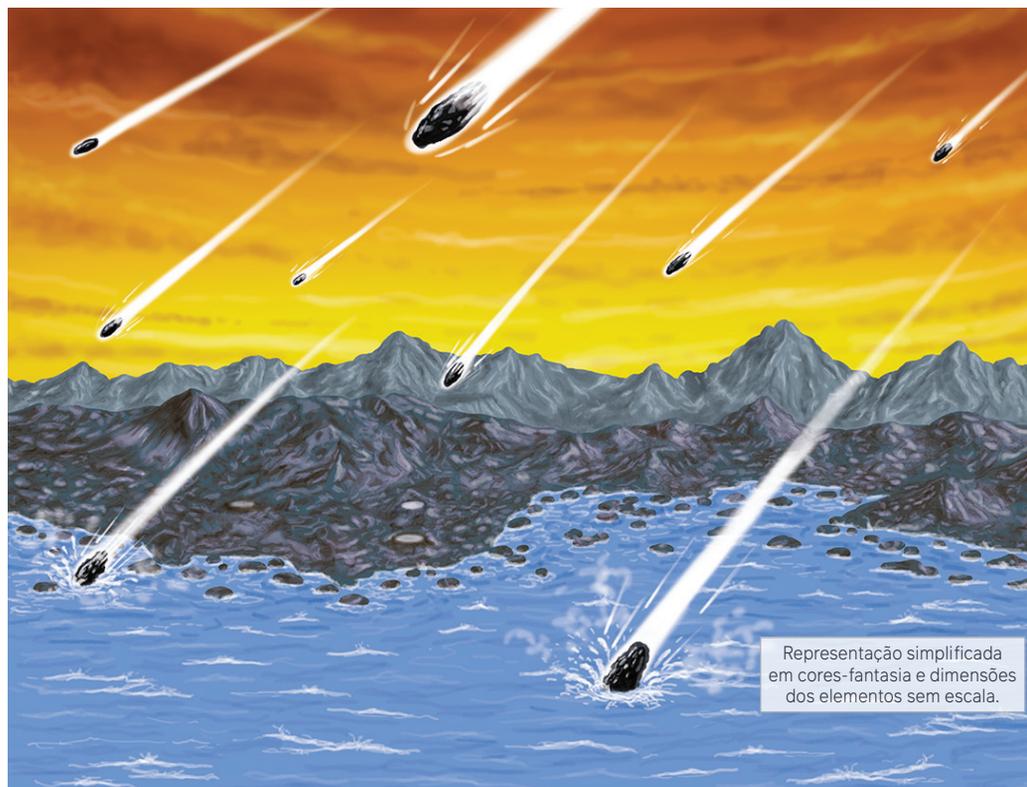
Esta unidade explora a origem e a evolução da vida em nosso planeta, além de narrativas mitológicas e teorias científicas propostas ao longo da história para explicá-las. Para isso, são apresentadas evidências científicas e experimentos clássicos marcados por debates na comunidade científica, visando também compreender os acontecimentos, mecanismos e processos que levaram à diversificação da vida ao longo das eras. Os capítulos também abordam a taxonomia, que nomeia e categoriza os organismos, e a filogenia, que busca reconstruir a história de diversificação e as relações de ancestralidade entre espécies. Outro ponto a ser estudado serão os marcos que moldaram nossa trajetória evolutiva, explorando fósseis, evidências genéticas e as transformações na espécie humana. Compreende-se que os seres vivos são sistemas dinâmicos e interdependentes, que se adaptam e evoluem em resposta aos desafios e às pressões ambientais. Para finalizar, a unidade aborda a origem e diversificação da espécie humana, bem como as outras espécies de homínidos que habitaram a Terra no decorrer de milênios.

## ▼ Para começar

1. Como você explicaria para o seu colega essa representação da árvore filogenética da vida?
2. O que a imagem sugere sobre a diversidade e a interconexão das formas de vida na Terra?
3. Localize-se na árvore filogenética e descreva um grau de parentesco com outro ramo/linhagem evolutiva representada.

Representação de uma árvore filogenética da vida, ressaltando três grandes domínios (Archaea, Bacteria e Eukarya) e alguns de seus representantes. Árvores como essa são uma forma de representar a diversificação da vida, evidenciando as relações de parentesco e ancestralidade entre grandes grupos de organismos.

# O fenômeno da vida



Renaldo Vignati

A Terra tem mais de 4,5 bilhões de anos, e, apesar dos avanços nos estudos nessa área, ainda existem diferentes teorias e hipóteses sobre a origem da vida e a evolução química dos seres vivos. A imagem mostra uma reconstituição artística de como era a Terra primitiva, quando ainda não existia vida.

## ▼ Para refletir

1. Como você explica o surgimento de vida na Terra?
2. Como você imagina terem sido os primeiros seres vivos que surgiram na Terra?
3. Quais condições permitiram o desenvolvimento da vida na Terra?
4. Se você fosse procurar vida em outro planeta, que critérios consideraria para identificar um ser vivo?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Compreender as diferentes teorias e hipóteses científicas sobre a origem da vida na Terra ao longo da história.
- Avaliar criticamente as diferentes teorias e hipóteses, reconhecendo que o desenvolvimento científico e tecnológico pode ampliar nosso entendimento da origem e da evolução da vida na Terra.
- Integrar os conhecimentos para reconhecer a complexidade e a diversidade da vida na Terra, bem como sua conexão com os processos evolutivos ao longo do tempo.

## Diferentes perspectivas sobre a vida

Ao longo dos séculos, diversas civilizações desenvolveram suas próprias narrativas e explicações sobre como a vida surgiu na Terra. Diferentes povos e culturas têm suas próprias visões sobre esse tema, que são muitas vezes baseadas em crenças, mitos e tradições. Essas visões transcendentais, não suportadas por dados científicos modernos, fornecem uma riqueza de aspectos socioculturais relevantes para o entendimento das diferentes tradições humanas.

No antigo Egito, acreditava-se que Rá, o deus-sol, criou o mundo e todos os seres vivos. Na mitologia greco-romana, a origem da vida é explicada por várias narrativas, sendo que uma delas conta que os deuses moldaram a humanidade a partir da argila, dando-lhes vida e alma. Outra narrativa grega traz os deuses Gaia e Urano, na mitologia romana, Tellus e Aion, respectivamente, como os primeiros seres. Gaia é a deusa da Terra e primeira a surgir a partir do caos primordial. Urano é o deus dos céus e foi gerado por Gaia, que lhe deu a luz, e é seu equivalente celestial.

Os povos indígenas do Brasil têm suas próprias narrativas sobre a origem da vida, enraizadas em suas tradições e conexões com a natureza. Para esses povos, a vida é sagrada e está interligada a todos os elementos naturais. Suas mitologias descrevem a criação da vida, em especial a dos seres humanos, por meio de divindades ou entidades sobrenaturais, muitas vezes relacionadas à fauna, flora e aos elementos da natureza.

Na cosmologia dos povos guarani, que abrangem diversas etnias, como os mbya, kaiowá e nhandeva, o Ser Criador recebe diversos nomes, como *ñande* (nosso) e *tenonde* (primeiro), uma figura masculina identificada diretamente com os pais e avós da sociedade guarani, que teve um começo anterior a ele, por meio de uma substância criadora e mantenedora da vida, denominada *jasuka*. Segundo sua tradição, a natureza e os seres vivos são considerados sagrados, e a relação harmoniosa com o ambiente é essencial para a sobrevivência e o bem-estar de todos.

O conjunto de mitos Yorùbá-Nagô oferece várias narrativas da criação, construídas com base em relações de oposição e mediação recorrentes, envolvendo elementos simbólicos, animais, plantas, objetos e cores. As oposições principais são entre o céu (*Órun*) e a Terra (*Aiyé*), e entre a água e a terra firme. A formação do mundo se deu por meio do estabelecimento dessas oposições e da mediação entre os polos opostos.

Algumas religiões ocidentais também buscaram explicar a origem da vida por meio da narrativa da criação divina em livros sagrados, como o *Gênesis*. De acordo com essa mitologia da criação, todos os seres vivos teriam sido criados no mesmo momento e da forma como os conhecemos hoje.

A Ciência moderna também formulou explicações sobre a origem da vida, baseada em investigações, evidências e experimentação. Neste capítulo, exploramos essa perspectiva sobre a origem da vida.



Aion, divindade associada ao tempo, de pé no círculo do zodíaco, com Tellus (Mãe Terra) e quatro meninos (representando as estações), mosaico romano, Sentinum, c. 200-300 d.C.

Peter Horree/Alamy/Fotoarena

### #FicaADica

**O espírito da floresta: a luta pelo nosso futuro**, de Bruce Albert e Davi Kopenawa (São Paulo: Companhia das Letras, 2023).

O livro retrata o drama que os yanomami vivem hoje em decorrência do garimpo e da mineração. Entre tantos relatos que desvelam a cosmovisão yanomami, destaca-se o trecho em que o xamã Davi Kopenawa conta como Omama, divindade yanomami, criou a Terra-floresta e a vida.

# A origem da vida para a Ciência

Na história da Ciência, também foram construídas diferentes explicações para a origem da vida, que podem ser divididas em **abiogênese** e **biogênese**. Até meados do século XIX, a origem dos seres vivos era explicada pela teoria da **abiogênese** (a = negação, bio = vida, gênese = origem), em que um ser vivo poderia surgir da “não vida”. A principal ideia dessa teoria era a de que os seres vivos originavam-se espontaneamente de materiais orgânicos em decomposição ou de materiais não orgânicos; por exemplo, da putrefação de carne ou de frutas surgiriam larvas e moscas. Importantes experimentos foram concebidos para testar essas ideias.

Cientistas que não aceitavam a ideia da geração espontânea dos seres vivos e buscavam evidências para comprovar suas teorias também realizaram experimentos, que hoje são considerados clássicos. Entre eles: Francesco Redi (1626-1697), Lazzaro Spallanzani (1729-1799) e Louis Pasteur (1822-1895).

Pasteur, uma das figuras mais importantes na história da Ciência, fez contribuições significativas para a Biologia no século XIX. Ele é mais conhecido pelo trabalho sobre a teoria de germes de doenças. Sua obra abriu caminho para o desenvolvimento da microbiologia moderna e impactou os campos da Medicina e da Agricultura.

Muitos pesquisadores se debruçaram sobre o tema nesse período, destacando-se o médico e naturalista Félix Archimède Pouchet (1800-1872), defensor da geração espontânea que tinha uma rivalidade científica com Pasteur. Ambos realizaram diversos experimentos para tentar comprovar ou refutar a teoria da geração espontânea, inclusive trocando correspondências, pois ambos queriam encontrar uma resposta para esse dilema. Comissões foram formadas na Academia de Ciências da França para avaliar seus estudos e conclusões, chegando-se, ao final, a uma conclusão consensual de que a teoria com maior suporte seria a da biogênese. É importante destacar que o debate entre pontos de vista discordantes é fundamental para a construção do conhecimento científico, sendo eventos comuns na história da Ciência.

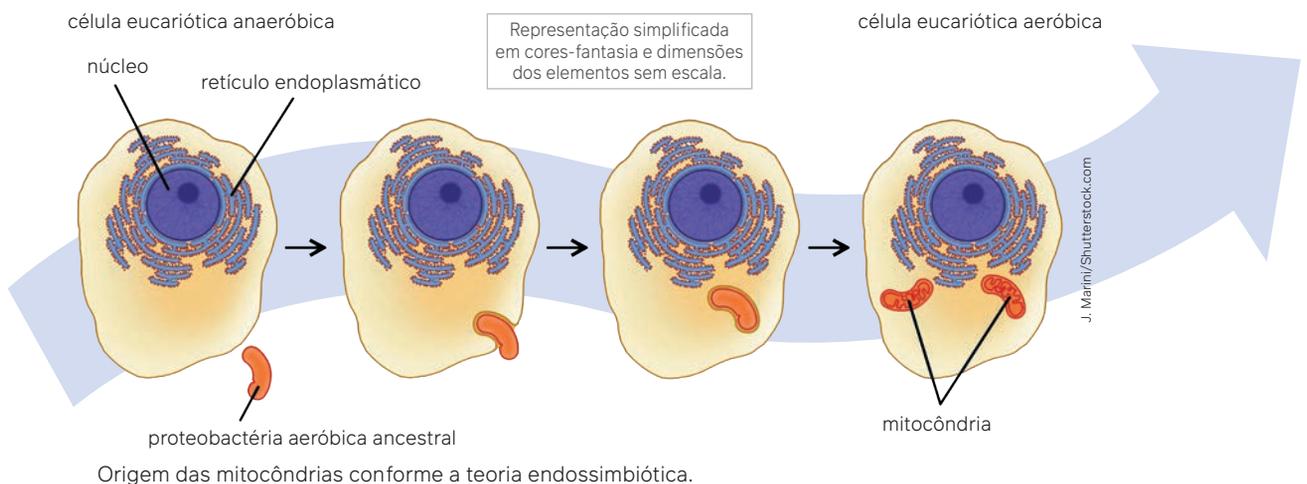
A teoria da **endossimbiose**, proposta pela bióloga evolucionista Lynn Margulis (1938-2011), em meados do século XX, sugere que as mitocôndrias e os cloroplastos presentes nas células eucarióticas têm origem em organismos procariontes englobados por células hospedeiras ancestrais. Em vez de serem digeridos, esses organismos procariontes primitivos teriam estabelecido uma relação simbiótica com as células hospedeiras.

Conforme a teoria, há bilhões de anos, uma célula ancestral englobou bactérias aeróbicas, que utilizavam oxigênio para gerar energia. Parte da energia produzida por essas bactérias era utilizada como energia adicional pela célula ancestral, que se configurava como um ambiente protegido e repleto de nutrientes essenciais. Com o passar do tempo, essa associação vantajosa foi se mantendo, até que as bactérias se tornaram parte essencial da célula hospedeira, as atuais **mitocôndrias**.



Nancy R. Schriff/Getty Images

Lynn Margulis.

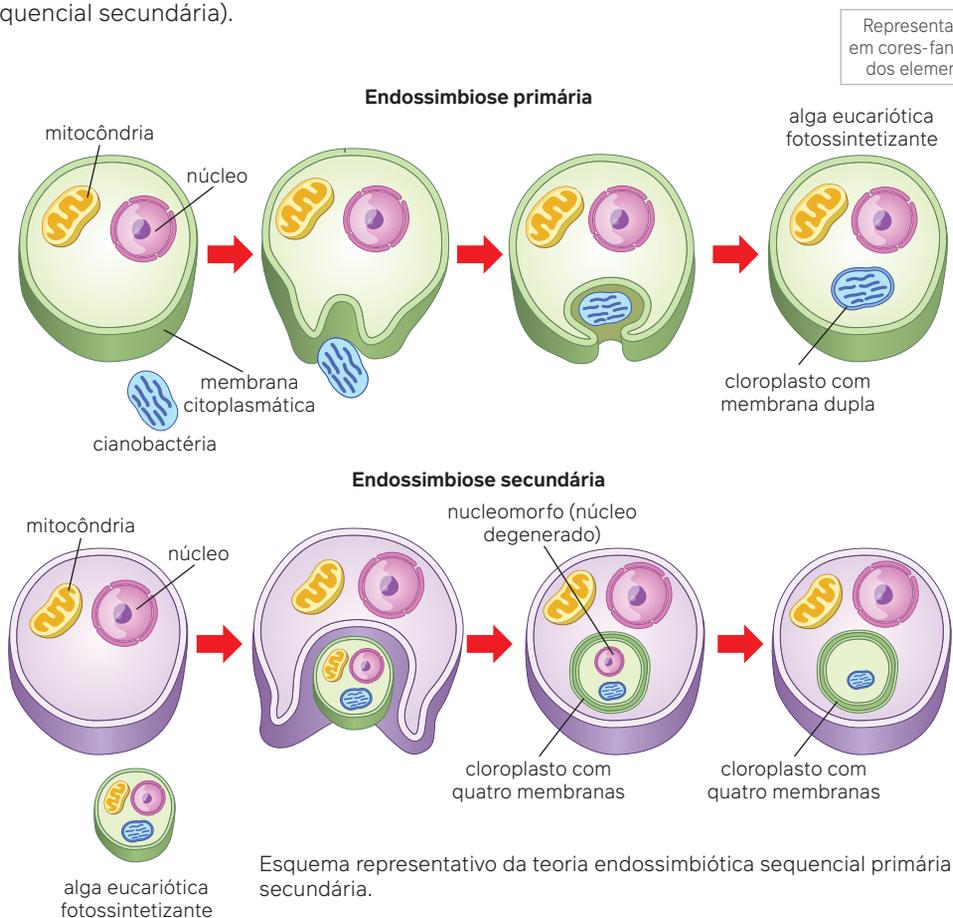


Origem das mitocôndrias conforme a teoria endossimbiótica.

Algumas dessas células estabeleceram novas relações simbióticas com cianobactérias. Nesse processo, estabeleceu-se uma relação simbiótica na qual a célula hospedeira era um ambiente protegido e rico em nutrientes essenciais, enquanto as cianobactérias realizavam fotossíntese, utilizando água, dióxido de carbono e luz solar, produzindo energia e matéria orgânica. Ao longo da evolução dessa simbiose, as cianobactérias deram origem aos **cloroplastos**, que hoje encontramos em plantas e outros organismos fotossintetizantes.

Essa teoria fornece uma explicação para a origem dessas organelas, que possuem seu próprio material genético e apresentam semelhanças com certos organismos procariontes. Sendo amplamente aceita e sustentada por evidências científicas, como a presença de DNA mitocondrial e cloroplastidial, além de semelhanças entre essas organelas e bactérias atualmente existentes, a teoria se mantém até hoje como base para estudos biológicos.

Além da teoria endossimbiótica, que explica a origem das mitocôndrias e dos cloroplastos nas células eucarióticas, também há evidências que sugerem uma forma mais complexa de endossimbiose, conhecida como **teoria endossimbiótica sequencial**. Essa teoria propõe que, após a incorporação inicial dos organismos procariontes que se tornaram mitocôndrias e cloroplastos (teoria endossimbiótica sequencial primária), ocorreram novos eventos de endossimbiose, resultando na incorporação de outros organismos dentro das células hospedeiras (teoria endossimbiótica sequencial secundária).



Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 529.

Essas incorporações sequenciais de organismos procariontes teriam contribuído para a diversificação e a especialização das células eucarióticas ao longo do tempo; por exemplo, alguns pesquisadores sugerem que a endossimbiose sequencial pode explicar a origem de organelas como os cloroplastos de algas vermelhas, que têm características únicas, como a presença de pigmentos acessórios específicos e uma estrutura de membrana distinta, quando comparadas aos cloroplastos de plantas verdes.

## #FicaADica

**A História de Louis Pasteur**, direção de William Dieterle (Warner Bros., 1936, 87 min).

Nesse filme, você acompanhará as dificuldades enfrentadas por Pasteur para superar a desconfiança, a descrença no novo, a tradição e as convenções a fim de comprovar suas teorias. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QOXpU-gAiV8>. Acesso em: 5 fev. 2024.



## Receita de vida

Filho de peixe, peixinho é, diz o ditado popular. E indo além: é preciso seres humanos para que haja bebês. [...] Bactérias dividem-se para formar novas bactérias. É preciso vida para surgir uma nova vida. E, com raríssimas exceções, vida da mesma espécie.

Parece óbvio, não? Mas nem sempre foi assim. Durante muitos anos, acreditou-se que a vida poderia surgir de outros organismos e mesmo da matéria inanimada. Era a teoria da geração espontânea ou abiogênese. Acreditava-se que vermes surgiam da lama, insetos da carne “em decomposição”. Algumas lendas chegavam a afirmar que gansos nasciam de árvores que tivessem contato com água do mar e que algumas árvores produzem carneiros e que o estrume de vacas dava origem a vespas e abelhas.

[...] O médico belga Jean Baptiste van Helmont, no século XVII, chegava a dar uma receita para produzir animais vivos:

Ratos: Enche-se de trigo e fermento um vaso, fechando-o com uma camisa suja, de preferência de mulher. Um fermento vindo da camisa, modificado pelo odor dos grãos, transformará em ratos o próprio trigo.

Escorpiões: Faça um buraco em um tijolo e ponha ali erva de manjeriço bem triturada. Aplique um segundo tijolo sobre o primeiro e exponha tudo ao sol. Depois de alguns dias, com o manjeriço agindo como fermento, nascerão pequenos escorpiões.

[...]

TEIXEIRA, L. A.; PALMA, A. O mistério da geração 1: de gansos e árvores. *InVivo*, [s. l.], 29 nov. 2021. Disponível em: <https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/o-misterio-da-geracao-1-de-gansos-e-arvores/>. Acesso em: 5 fev. 2024.

## Procedimento

1. Selecione uma das receitas de van Helmont e elabore um desenho experimental para refutar essa teoria.
2. Descreva sua hipótese, o experimento e o resultado esperado.

## Trocando ideias



1. Identifique a teoria estudada no capítulo que explica as frases: “Peixes se adaptam e evoluem ao longo das gerações” e “Bactérias se dividem, criando diversidade”.
2. Você já se deparou com uma situação ou fenômeno natural que não conseguiu compreender ou explicar? Relate aos colegas que situação foi essa e como se sentiu.
3. Apresente seu desenho experimental aos colegas, descrevendo cada etapa. Acompanhe as demais apresentações e depois responda: Sua investigação foi capaz de refutar a teoria da geração espontânea explicitada na receita de van Helmont? Explique.

## Atividades propostas



1. Aristóteles (385 a.C.-322 a.C.), filósofo da Grécia Antiga, um dos pensadores mais influentes da história da civilização ocidental acreditava que rãs e crocodilos brotavam do lodo dos pântanos e que moscas surgiam do lixo. Para ele, havia uma força vital na natureza que fazia com que a matéria bruta gerasse vida espontaneamente. Que teoria é essa? Explique.
2. Em uma pesquisa científica, variáveis são os elementos que podem ser medidos, manipulados ou observados durante um estudo. Ao realizar uma pesquisa científica, é importante identificar claramente as variáveis envolvidas e estabelecer uma relação de causa e efeito entre elas. Isso permite que os pesquisadores analisem os dados de forma objetiva e tirem conclusões válidas sobre o fenômeno estudado. Pesquise os experimentos de Redi, Needham, Spallanzani e Pasteur relacionados à origem da vida e identifique as variáveis controladas por eles para testar suas hipóteses.

# A Terra primitiva e os primeiros seres vivos

A partir da refutação da teoria da abiogênese, que defendia a geração espontânea de vida a partir de matéria inanimada, cientistas se dedicaram a estudar como surgiu o primeiro ser vivo. Muitas são as hipóteses, sendo as mais aceitas a **evolução química** e a **panspermia**. Essas abordagens diferem da antiga ideia de abiogênese vitalista, ao enfatizarem processos naturais e químicos que podem ser estudados e replicados experimentalmente.

Um aspecto importante a se considerar é que, quando os primeiros organismos surgiram, a Terra não tinha as mesmas condições de hoje: a atmosfera não era composta dos mesmos gases, não havia a camada de ozônio que filtra a radiação solar, havia muitas descargas elétricas e queda de meteoritos, a atividade vulcânica era intensa e havia os mares primitivos.

Os estromatólitos são os principais constituintes do registro fóssil das primeiras formas de vida na Terra, alguns deles datando de 3,45 bilhões de anos. Essas formações sedimentares, compostas principalmente de cianobactérias, atingiram seu pico há cerca de 1,25 bilhão de anos e posteriormente declinaram em abundância e diversidade.



Francesco Ricciaroli/Stockphoto.com

Estromatólitos formados na região de Shark Bay, Austrália, 2023.

## ▶ Ciências da Natureza

O estudo sobre reações químicas pode ser verificado no **capítulo 6** do volume de **Química** desta coleção.

## Origem por evolução química

A origem da vida pela evolução química é uma hipótese científica que explica como a vida na Terra pode ter surgido de compostos orgânicos simples em razão de um processo de mudanças químicas graduais ao longo do tempo.

### Se liga

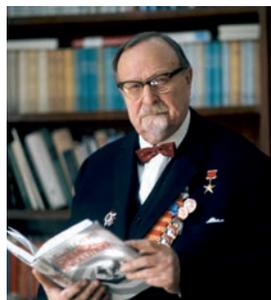
Quando nos referimos a “compostos orgânicos simples” no contexto das condições primordiais da Terra, estamos falando sobre matéria não viva. Na hipótese da evolução química, a ideia é que moléculas orgânicas, como aminoácidos e nucleotídeos, se formaram a partir de reações químicas em um ambiente abiótico; portanto, a evolução química é uma explicação para a transição da matéria não viva para a vida mediante processos químicos e evolutivos.

Essa teoria propõe que, por meio de uma série de reações químicas, compostos orgânicos acabaram se combinando para formar estruturas mais complexas, como proteínas e RNA, originando as primeiras células autorreplicantes. A hipótese da evolução química continua sendo uma das explicações científicas mais aceitas para a origem da vida.

## Hipótese de Oparin e Haldane

A hipótese de Oparin-Haldane, proposta de forma independente pelo bioquímico russo Aleksandr Ivanovich Oparin (1894-1980) e pelo geneticista britânico J.B.S. Haldane (1892-1964), na década de 1920, afirma que os primeiros organismos vivos na Terra surgiram de uma sopa primordial de moléculas orgânicas que foram produzidas por meio de reações químicas simples em uma atmosfera primitiva.

Segundo essa hipótese, nos primórdios da Terra, a atmosfera era fortemente redutora (contendo metano, amônia, hidrogênio e vapor de água) e havia energia proveniente de fontes como descargas elétricas, radiação ultravioleta e calor geotérmico. Essas condições teriam permitido a ocorrência de reações químicas entre os gases, levando à formação de moléculas orgânicas simples, como aminoácidos e nucleotídeos.



RIA NOVOSTI/AFP/Getty Images

Aleksandr Ivanovich Oparin.

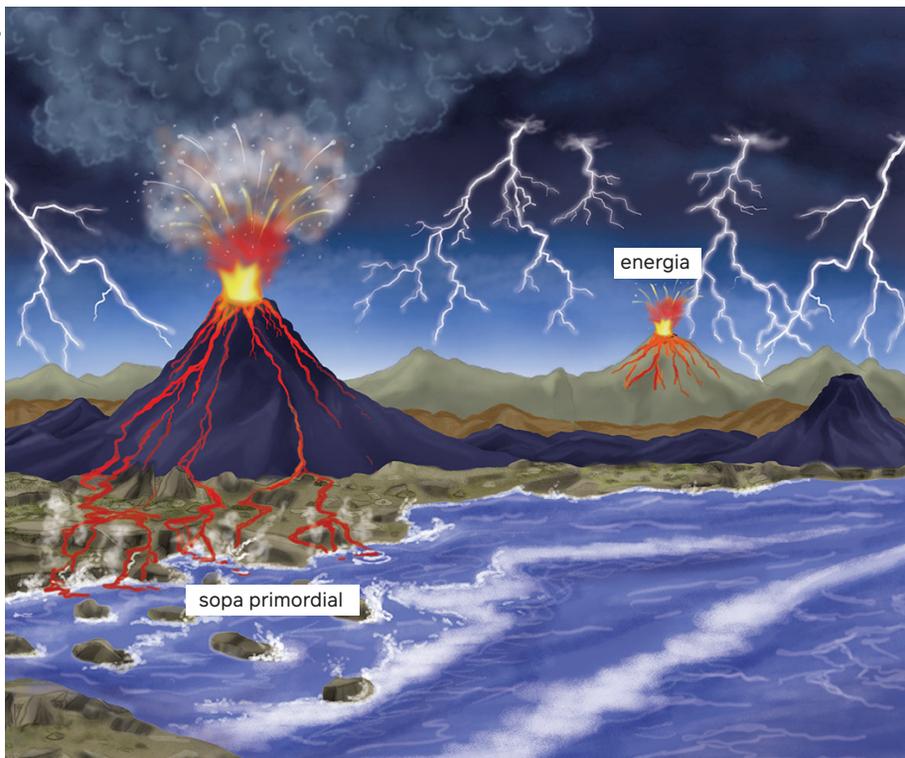


Universal History Archive/UG/Fotorena

John Burdon Sanderson Haldane.

Essas moléculas orgânicas teriam se acumulado em oceanos primitivos ou lagos, formando uma **sopa orgânica**. Nesse ambiente, surgiram os **coacervados**: aglomerados de moléculas orgânicas, como proteínas, lipídios e carboidratos, que teriam se agrupado espontaneamente em certas condições, em uma fase líquida separada dentro de um ambiente aquoso. Os coacervados podem ter propriedades semelhantes às de uma membrana celular, e não são considerados células completas, mas sim estruturas pré-bióticas importantes no estudo da origem da vida, pois representam um possível estágio intermediário na evolução de sistemas vivos. Com o tempo, os coacervados poderiam ter se organizado em estruturas mais complexas, contendo outras moléculas orgânicas complexas e ácidos nucleicos.

Renaldo Vignati



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Representação artística da atmosfera primitiva da Terra, com elevada energia proveniente da radiação ultravioleta emitida pelo Sol, das descargas elétricas e do calor emitido pela Terra.

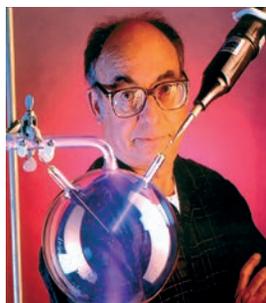
Essa organização molecular teria eventualmente levado à formação de estruturas celulares primitivas, conhecidas como **protocélulas**, que seriam capazes de realizar processos metabólicos básicos.

A hipótese de Oparin-Haldane fornece uma explicação plausível para a origem da vida, embora ainda haja debate e pesquisa em torno do assunto. Experimentos laboratoriais foram realizados para simular as condições da atmosfera primitiva e demonstrar a formação de moléculas orgânicas simples. Além disso, a descoberta de moléculas orgânicas complexas em meteoritos e em outros planetas e luas do Sistema Solar também fornece suporte indireto para essa hipótese.

## O experimento de Miller e Urey

Stanley Miller (1930-2007) e Harold Urey (1893-1981) foram bioquímicos estadunidenses que conduziram um experimento para evidenciar a hipótese de Oparin-Haldane durante a década de 1950 na Universidade de Chicago.

O experimento consistiu em criar um ambiente fechado que mimetizaria as condições da atmosfera da Terra primitiva. Nele, havia uma mistura de gases, incluindo metano, amônia, hidrogênio e água. Esses gases foram colocados em um sistema de vidro, que simulava um oceano primitivo, e foram aquecidos para simular a energia proveniente de fontes como raios e vulcões. Em seguida, eles aplicaram uma descarga elétrica, simulando relâmpagos, para fornecer energia ao sistema. Essa energia foi usada para estimular reações químicas e criar condições semelhantes às que poderiam ter ocorrido na atmosfera primitiva.



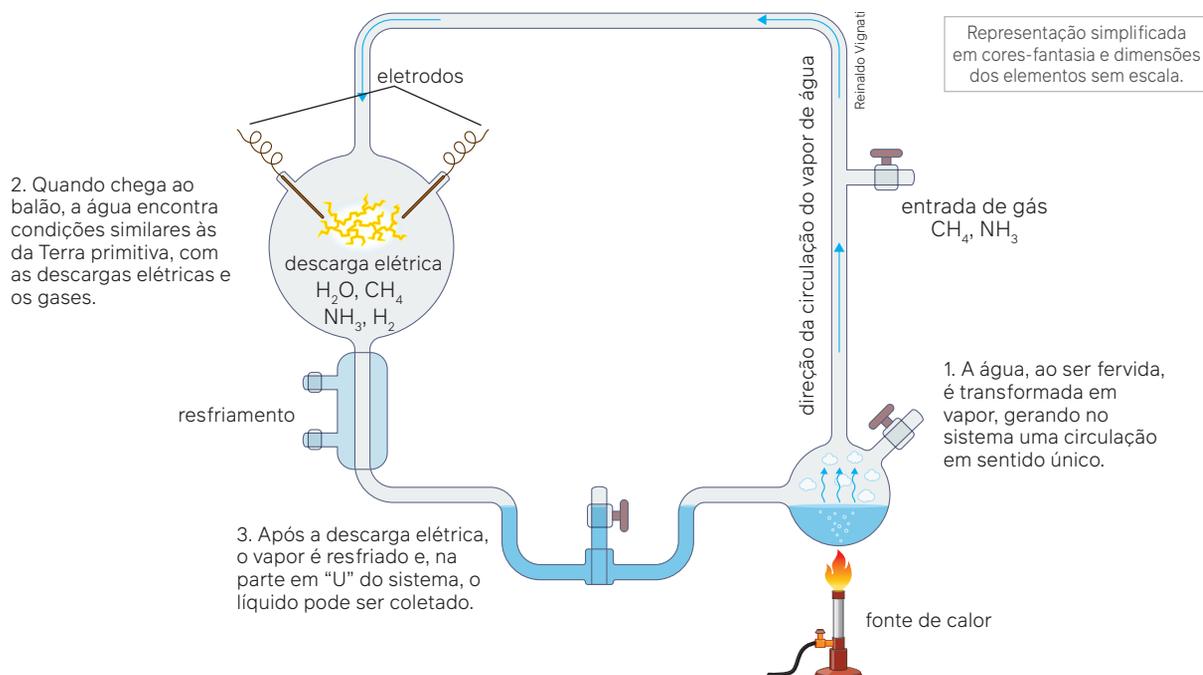
Stanley Miller.



Harold Urey.

Roger Viollet/Getty Images

Após uma semana de experimentação, Miller e Urey analisaram os produtos resultantes e encontraram a presença de aminoácidos, incluindo alguns aminoácidos essenciais para a vida. Isso forneceu suporte para a hipótese de Oparin-Haldane, que sugeria que as moléculas orgânicas necessárias para a origem da vida poderiam ter se formado em condições semelhantes.



Esquema representativo do experimento realizado por Miller e Urey.

## Mundo de RNA

Em 1986, o bioquímico Walter Gilbert (1932-) propôs a hipótese do mundo de RNA, em que, no início da história da vida na Terra, moléculas de RNA teriam desempenhado um papel fundamental.

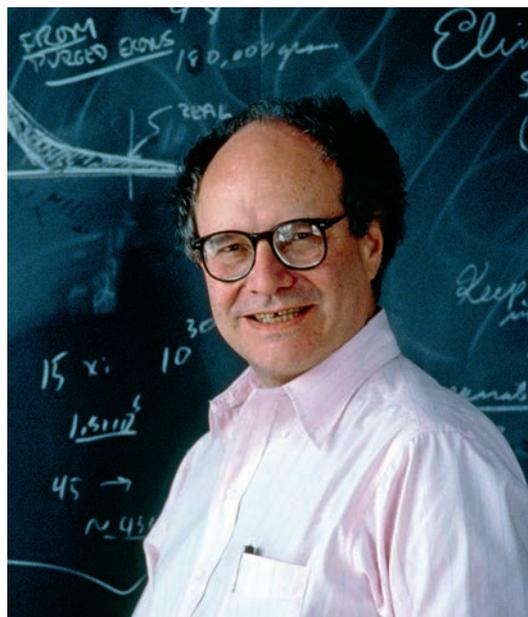
O **RNA** (ácido ribonucleico) é uma molécula que pode armazenar informações genéticas, assim como o DNA, e também realiza reações químicas importantes. Isso significa que o RNA pode conter instruções sobre como produzir ribozimas, que são moléculas de RNA capazes de catalisar reações químicas, tal qual as proteínas, acelerando processos metabólicos necessários para a vida.

Segundo a hipótese do mundo de RNA, em algum momento, moléculas de RNA simples foram formadas em condições primitivas da Terra. Essas moléculas poderiam se replicar, ou seja, fazer cópias de si mesmas, da mesma forma que seriam capazes de catalisar reações químicas.

Com o tempo, moléculas de RNA mais complexas foram se formando, aumentando sua capacidade de replicação e de catalisar reações químicas mais eficientemente. Essas moléculas mais complexas, por sua vez, foram capazes de criar as primeiras estruturas celulares rudimentares, dando origem aos primeiros organismos vivos.

Essa hipótese sugere que o RNA foi o primeiro componente central da vida, atuando tanto como um "registro" de informações genéticas quanto como uma molécula capaz de realizar reações químicas essenciais. Posteriormente, de acordo com essa hipótese, o DNA teria surgido e originado o mundo do DNA.

É importante destacar que essas são algumas hipóteses apresentadas sobre a origem da vida no planeta Terra, e os cientistas continuam a investigar e explorar outras ideias.



Walter Gilbert.

PETER MENZEL/SPL/Photorena

## Panspermia cósmica

Outra hipótese científica concorrente é a **panspermia**, que sugere que a vida na Terra pode ter se originado de microrganismos que chegaram à Terra em cometas, meteoritos ou outros corpos celestiais. A ideia é que esses microrganismos, capazes de sobreviver a condições extremas, poderiam ter resistido à viagem pelo espaço e se estabelecido com sucesso em nosso planeta. Essa hipótese, inicialmente proposta pelo filósofo grego Anaxágoras, no século V a.C., foi mais tarde reavivada por vários cientistas nos tempos modernos. Embora a panspermia seja uma ideia interessante, ela enfrenta muitos desafios científicos, incluindo a necessidade de um mecanismo para transportar a vida através das vastas distâncias do espaço e a capacidade dos microrganismos de sobreviver a condições extremas durante essa viagem. Além disso, a teoria não explica de onde teriam surgido esses microrganismos ou em quais condições eles teriam sido formados.

Mesmo não tendo encontrado evidências definitivas de vida extraterrestre, cientistas têm realizado estudos e experimentos para investigar essa possibilidade. A seguir, estão algumas das principais abordagens.

- **Busca por sinais de vida em outros planetas:** As missões espaciais, como as enviadas ao planeta Marte, visam procurar sinais de vida passada ou presente. Essas missões coletam amostras de solo, procuram por água e moléculas orgânicas, além de analisar a composição química de gases e rochas para encontrar indícios de atividade biológica.
- **Procura por exoplanetas habitáveis:** Astrônomos usam telescópios avançados, como o James Webb Space Telescope e o Hubble, para detectar exoplanetas (planetas que orbitam estrelas fora do nosso Sistema Solar) na chamada “zona habitável”, região onde as condições podem ser adequadas para a existência de água líquida e, potencialmente, vida.
- **Experimentos de laboratório:** Cientistas também realizam experimentos em laboratório para entender como a vida pode surgir e sobreviver em diferentes condições. Assim, recriam ambientes semelhantes aos encontrados em outros planetas, como simulações de atmosferas e condições extremas, para observar se certas formas de vida podem se desenvolver nessas condições.
- **Busca por sinais inteligentes:** Pesquisas como o Projeto Seti (sigla em inglês para *Search for Extraterrestrial Intelligence*, que significa Busca por Inteligência Extraterrestre) utilizam radiotelescópios para tentar detectar sinais vindos de outras civilizações.
- **Estudo de extremófilos:** Os extremófilos são organismos que vivem em ambientes extremos, como fontes hidrotermais, vulcões ou regiões de alta salinidade. Estudar esses organismos nos ajuda a compreender os limites da vida na Terra e a possibilidade de existência de vida em condições semelhantes em outros planetas.

Essas pesquisas permitem expandir o conhecimento sobre a possibilidade de vida em outros lugares do Universo e explorar questões sobre nossa existência e nosso lugar no Cosmos.

lkunil/Stockphoto.com



Organismos extremófilos podem ser encontrados em ambientes extremamente ácidos, como vulcões. Vista aérea da cratera do vulcão Monte Kawah Ijen. Indonésia, 2023.



## Teria a vida na Terra começado no espaço?

[...]

Uma das teorias mais aceitas sobre o aparecimento da vida em nosso planeta postula que, mais de 3,5 bilhões de anos atrás, os primeiros organismos surgiram na chamada “sopa primordial”, uma mistura teórica de compostos orgânicos que podem ter dado origem à vida na Terra.

Mas como esses compostos orgânicos vieram parar aqui? Poderiam alguns deles ter vindo de fora de nosso planeta?

Em um estudo publicado na revista *Nature Communications*, cientistas da Universidade de Hokkaido, no Japão, descobriram recentemente que três meteoritos contêm os blocos de construção moleculares do DNA e o seu primo RNA. No trabalho, os pesquisadores relataram que encontraram todas as cinco nucleobases dentro de meteoritos ricos em carbono. Isso incluiu vestígios de todas as três pirimidinas: citosina, uracila e timina.

Também conhecidas como bases nitrogenadas, as nucleobases são compostos biológicos capazes de formar nucleosídeos. Esses nucleosídeos formam pares de bases e empilham umas sobre as outras, levando diretamente a estruturas helicoidais de cadeia longa que conhecemos, como o ácido ribonucleico (o RNA) e o ácido desoxirribonucleico (o DNA).

De acordo com o professor Eduardo Janot Pacheco, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, a busca pela origem dos compostos orgânicos se enquadra com uma série de teorias sobre como essas substâncias podem fazer parte da gênese dos sistemas planetários: “Qualquer sistema planetário se forma assim, temos uma grande nuvem de gás e poeira que, por uma instabilidade qualquer começa a girar, faz uma grande concentração no centro maior, que será a futura estrela e outras menores, na periferia, que serão os futuros planetas”, esclarece ele ao completar que, caso a nuvem original já contiver moléculas chamadas de prebióticas, como [...] os componentes do DNA, “elas já estão no material do planeta”.

Outra teoria, revela ele, envolve a hipótese de que esse tipo de componente tenha sido dispersado por meteoritos, vindos de fora do planeta. Nesse sentido, descobertas como a realizada pelos cientistas japoneses alimentam essa hipótese, também conhecida como panspermia.

“Achamos que os sistemas planetários contaminam os próximos, aqueles que têm vida, no caso”, reforça. Segundo o professor, o processo envolve o desprendimento de partes dos planetas, na forma de cometas ou meteoritos que, potencialmente, transportam componentes da vida pelo Universo.

[...]

Mas como podemos ter certeza [de que] esses componentes vieram mesmo do espaço e não foram fruto de uma contaminação posterior no solo terrestre? O especialista argumenta que existem “técnicas muito sofisticadas para testar a possibilidade de contaminação, técnicas que não existiam até dez anos atrás e agora são seguras”. Dessa forma, a equipe extraiu as nucleobases de cada amostra e, em seguida, analisou as bases usando espectrometria de massa, uma técnica que revelou a composição química do material em detalhes.

Ainda assim, mesmo que os componentes detectados sejam extraterrestres, a presença escassa deles nos meteoritos não é suficiente para confirmarmos a teoria de que a primeira vida na Terra foi semeada por componentes de DNA do espaço. Entretanto, conforme o professor, a descoberta é, de fato, muito importante e “a busca continua”.

PACHECO, D. Teria a vida na Terra começado no espaço? Cientistas encontram compostos orgânicos em meteoritos. *Jornal da USP*, São Paulo, 14 jul. 2022. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/teria-a-vida-na-terra-comecado-no-espaco-cientistas-encontram-compostos-organicos-em-meteoritos/>. Acesso em: 15 fev. 2024.

### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre a espectrometria de massa e o espectro atômico pode ser aprofundado no **capítulo 2** do volume de **Química** desta coleção.

## Trocando ideias



1. Como a teoria de que a vida em nosso planeta surgiu a partir da sopa primordial se articula com a teoria da panspermia?
2. Identifique no texto informações que fundamentam a teoria de que os compostos orgânicos que originaram a vida já poderiam estar no planeta Terra. Explique o que você compreendeu.
3. A Astrobiologia é a área da pesquisa científica que se dedica ao estudo da vida no Universo em conexão com o ambiente astronômico: sua origem, distribuição, evolução e futuro. Pesquise sobre essa ciência interdisciplinar, quais são seus principais temas de estudo e suas metodologias de pesquisa mais frequentes.
4. Acesse a plataforma do CNPq (disponível em: <https://lattes.cnpq.br/web/dgp>; acesso em: 9 set. 2024) e busque grupos de pesquisa no Brasil que se dedicam à Astrobiologia. Identifique um grupo, sua instituição, os líderes, linhas e repercussões de sua pesquisa. Descreva o que chamou sua atenção nas áreas de pesquisa que você encontrou.



1. Refutada a teoria da abiogênese, que defendia a geração espontânea de vida a partir de matéria inanimada com um viés vitalista, explique, com suas palavras, as hipóteses apresentadas sobre a origem da vida no planeta Terra. Quais delas são as mais aceitas cientificamente? Quais aspectos fazem dessas hipóteses as mais factíveis para explicar a origem da vida?
2. A hipótese de Oparin e Haldane, proposta de forma independente na década de 1920, afirma que os primeiros organismos vivos na Terra surgiram de uma sopa primordial. Elabore um fluxograma que descreva essa hipótese.

## Evolução do metabolismo

A compreensão da evolução do metabolismo é fundamental para desvendar a origem e a diversificação da vida. Duas hipóteses, a **autotrófica** e a **heterotrófica**, oferecem percepções sobre como os organismos desenvolveram estratégias metabólicas ao longo da evolução.

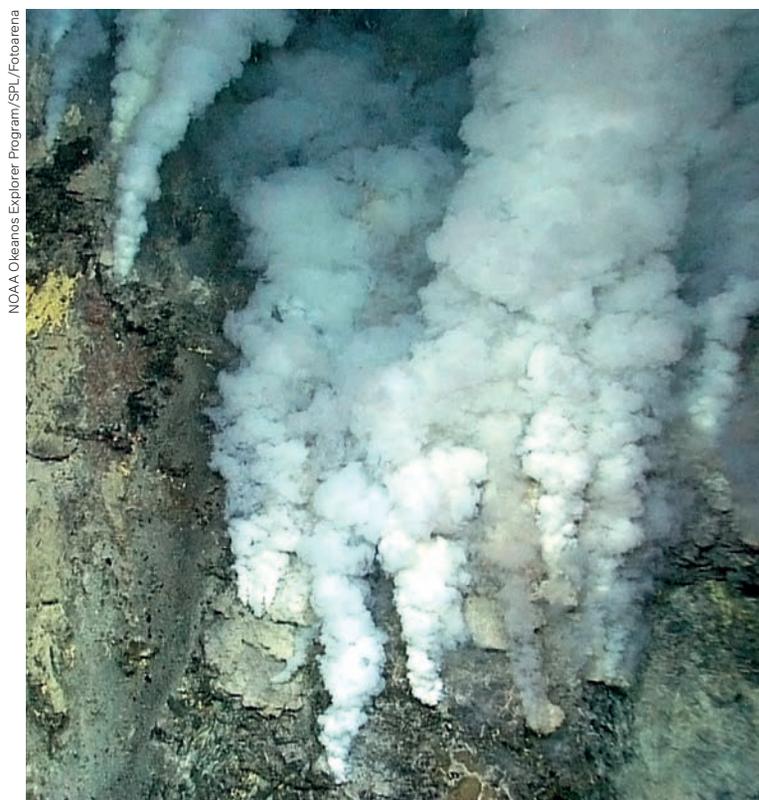
A hipótese **heterotrófica** tem suporte nas ideias de Oparin e Haldane de que os seres vivos teriam evoluído a partir de moléculas simples e, portanto, seu metabolismo também seria simples, além disso, eles seriam heterotróficos. Esses seres viveriam em ambiente aquático, sem oxigênio, dependeriam de fontes externas para obter compostos orgânicos para sua nutrição e produziram gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e álcool ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ).

Supõe-se, assim, que os primeiros organismos vivos eram fermentadores, que pouco a pouco teriam enriquecido a atmosfera com  $\text{CO}_2$ , possibilitando o surgimento posterior de organismos autotróficos fotossintetizantes (organismos que se utilizam de  $\text{CO}_2$  e energia solar para a produção de seu alimento). Os organismos fotossintetizantes, por sua vez, teriam sintetizado moléculas mais complexas e liberado gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ), promovendo o enriquecimento da atmosfera com oxigênio e possibilitando o surgimento de organismos heterótrofos, com respiração aeróbia e produtores de  $\text{CO}_2$ .

A hipótese **autotrófica**, por outro lado, sugere que os primeiros organismos eram capazes de sintetizar seus próprios compostos orgânicos a partir de substâncias inorgânicas. Essa hipótese é sustentada pela descoberta de organismos vivendo em situações extremas, como em fontes hidrotermais.

Alguns pesquisadores sugerem que os primeiros organismos não surgiram nos oceanos primitivos, como proposto por Oparin e Haldane, já que a superfície da Terra primitiva era muito instável, sendo constantemente bombardeada por meteoritos. Essa hipótese propõe que a vida surgiu em fontes hidrotermais nas profundezas oceânicas. Como não há luz nesses ambientes, os primeiros organismos seriam autotróficos quimiossintetizantes, obtendo energia por meio da oxidação de substâncias inorgânicas, como fazem as bactérias que vivem hoje nas fontes hidrotermais. Depois desses organismos, teriam surgido os fermentadores, os fotossintetizantes e, por último, os heterótrofos aeróbios.

Essas hipóteses destacam a diversidade de estratégias metabólicas que evoluíram ao longo do tempo. Enquanto alguns organismos são capazes de produzir seus próprios alimentos, outros dependem da obtenção de compostos orgânicos do ambiente circundante.



As fumarolas são fontes hidrotermais com altas temperaturas. Kawio Barat é um enorme vulcão submarino na Indonésia.



1. Diferentes perspectivas e narrativas sobre a origem da vida destacam a diversidade cultural e as várias formas pelas quais a humanidade buscou compreender a origem da vida. É importante respeitar e valorizar essas diferentes visões, reconhecendo que cada cultura tem sua própria sabedoria ancestral, bem como reconhecer os avanços no conhecimento humano permitidos pela Ciência Moderna. Forme um grupo com outros três colegas e discutam com base nos questionamentos a seguir; depois, anatem suas respostas no caderno.
  - a) Compare as narrativas sobre a origem da vida estudadas neste capítulo. Avalie os fenômenos que levaram à origem do Universo, da Terra e dos seres vivos. Você identifica aproximações entre essas narrativas? Explique.
  - b) Quais são as semelhanças e diferenças entre as diferentes concepções tradicionais sobre a origem da vida presentes nas narrativas míticas dos povos indígenas, com a visão científica sobre o tema?
  - c) Você considera que a Ciência é uma forma de cultura? Explique.
  - d) A História nos ajuda a compreender as diferentes hipóteses científicas sobre a origem da vida. Que relações podem ser estabelecidas entre o contexto histórico em que foram propostas teorias (como abiogênese, biogênese e panspermia) e as proposições feitas?
  - e) De todas as narrativas sobre a origem da vida estudadas no capítulo, qual é a que mais se aproxima do que você acredita? Explique.
2. Algumas espécies de peixes da Caatinga são conhecidas como “peixes das nuvens”. Como esses peixes aparecem apenas no período chuvoso, em poças e lagoas que se formam quando as primeiras chuvas começam a cair no semiárido, moradores locais acreditam que eles caem do céu.
  - a) Essa ideia pode ser associada a qual teoria estudada neste capítulo? Explique.
  - b) Elabore uma hipótese científica que explique a origem desses peixes, considerando as teorias estudadas no capítulo.
3. Considerando os estudos sobre a origem das organelas celulares, em que os biólogos investigam a possível relação entre as células eucarióticas e as simbioses obrigatórias entre diferentes seres, especialmente a proposta por Lynn Margulis, avalie as seguintes afirmativas:
  - I. A teoria endossimbiótica, sugerida por Margulis, não é improvável devido à raridade da simbiose na natureza.
  - II. A presença de uma membrana dupla ao redor das mitocôndrias e dos cloroplastos indica que essas organelas podem ter sido originalmente bactérias endossimbiontes fagocitadas por uma célula precursora eucariótica.
  - III. As mitocôndrias e os plastos, organelas encontradas em eucariotos, possuem DNA próprio e conseguem realizar divisão autônoma.Com base nessas considerações, é correto afirmar que:
  - a) apenas as afirmativas II e III são verdadeiras.
  - b) todas as afirmativas são falsas.
  - c) apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.
  - d) apenas as afirmativas II e III são falsas.
  - e) apenas a afirmativa III é verdadeira.

## Recapitule



Retome as diferentes explicações para a origem da vida, desde as teorias clássicas até conceitos mais contemporâneos, como a panspermia cósmica. Elabore um texto de divulgação científica sobre a temática, considerando como público-alvo os jovens do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental, e explore como, ao longo da história humana, diversas culturas contribuíram com narrativas e mitos que tentavam explicar a origem da vida.

# Evolução biológica

ChiccoDodIFC/iStockphoto.com



O costão rochoso é um ecossistema de transição entre o ambiente terrestre e o marinho. Durante a maré baixa, grande parte do costão fica exposto ao Sol e aos ventos e, na maré alta, ele fica encoberto por água do mar. É o hábitat de uma diversidade de organismos vivos, como algas, cracas, mexilhões e ouriços-do-mar.

## ▼ Para refletir

1. Cada espécie, de acordo com sua história evolutiva, possui características que lhe garantem a sobrevivência no ambiente em que vivem. Observando a imagem de abertura deste capítulo, quais características dos organismos que habitam o costão rochoso sugerem que eles estão adaptados a esse ambiente?
2. Apresente uma definição para o conceito de evolução biológica.
3. Cite um exemplo de evidência científica que apoia a sua definição.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Compreender ideias e representações evolucionistas ao longo da história.
- Identificar e descrever as evidências científicas que sustentam a teoria da evolução biológica, como fósseis, similaridades anatômicas e embriológicas, registros geológicos e genéticos.
- Explicar a variação da biodiversidade ao longo do tempo por meio de processos evolutivos, tais como seleção natural, mutação e recombinação genética.
- Analisar as interações entre os organismos e seu ambiente, discutindo como a seleção natural e as adaptações contribuem para a sobrevivência e o sucesso reprodutivo das espécies.

## Pensamento evolutivo

A base da **teoria evolutiva moderna** foi proposta independentemente por Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913). Ela se fundamenta na ideia de que todas as formas de vida que existem atualmente são resultado de um processo gradual de mudança e adaptação, que ocorreu desde a origem da vida na Terra.

Antes da publicação de Darwin e Wallace, Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829) foi um dos primeiros a elaborar uma teoria evolutiva considerando as ideias de transformação das formas de vida.

Lamarck acreditava que as características adquiridas durante a vida, seja pelo uso ou desuso dessas estruturas, poderiam ser transmitidas por meio da hereditariedade. Essas ideias se contrapunham à concepção vigente do **fixismo**, que considerava que as espécies não mudavam ao longo do tempo, ou seja, de acordo com essa ideia, toda a diversidade biológica sempre existiu. Antes de Lamarck, o pensamento fixista já havia sido questionado por outros naturalistas, como os franceses Pierre Louis Maupertuis (1698-1759) e Georges-Louis Leclerc, o conde de Buffon (1707-1788). Apesar de Lamarck ser um precursor da visão evolucionista, suas ideias são diferentes das propostas por Wallace e Darwin, pois estes enfatizaram a descendência com modificação e seleção natural como principais mecanismos evolutivos.

Em seus estudos sobre a história natural das espécies, Darwin e Wallace desenvolveram independentemente ideias similares que culminaram na apresentação conjunta de seus trabalhos na Linnean Society, em 1858. Darwin publicou posteriormente sua teoria da evolução por meio da seleção natural no livro *A Origem das Espécies*, em 1859. O livro de Darwin não apenas fundamentou a teoria da evolução, que postula a diversidade surgindo de um ancestral comum, mas também explicou o processo de **seleção natural** a partir de cruzamentos com pombos domésticos e selvagens. Este trabalho marcou um impacto substancial no contexto científico da época.

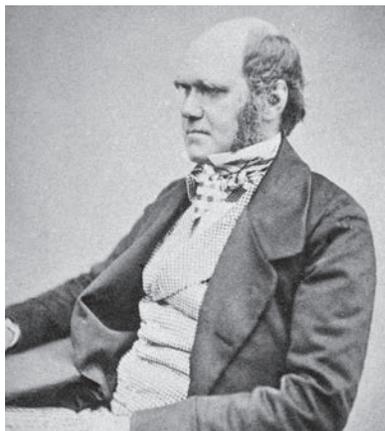
Darwin fez uma viagem de cinco anos – entre 1832 e 1836 – ao redor do mundo, a bordo do navio Beagle, e ficou impressionado com a grande diversidade de espécies que encontrou, entre elas, os tentilhões das ilhas Galápagos. Com base em suas investigações e conversas com naturalistas, ele constatou que populações de uma mesma ilha pareciam estar mais intimamente relacionadas entre si do que com populações de outras.

Ele também concluiu que a composição das populações poderia ser influenciada por fatores como a disponibilidade de alimento e a presença de predadores. Com base nessas informações e no arcabouço do conhecimento científico da época, formulou a ideia de que existia variação entre os indivíduos de uma mesma população, e que sob determinadas condições ambientais algumas variações seriam favorecidas em relação a outras, apresentando maiores chances de sobreviver e transmitir suas características para a próxima geração.

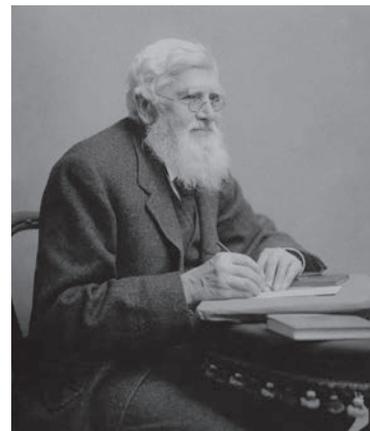
Observando a variabilidade populacional, Darwin teorizou que os indivíduos de uma população competem por recursos. De acordo com a teoria do naturalista, as características que conferem maior aptidão para sobrevivência e reprodução em determinado ambiente seriam selecionadas, ou seja, tais indivíduos teriam maior probabilidade de deixar descendentes com essas mesmas características, enquanto os menos aptos teriam, conseqüentemente, menos chance de deixar descendentes. Com o passar do tempo, essas mudanças se tornariam mais frequentes na população, podendo acarretar, inclusive, a formação de novas espécies. O desdobramento dessas ideias, segundo Darwin, seria que todas as formas de vida compartilhassem um ancestral comum e que as espécies mudassem ao longo do tempo (**descendência com modificação**), resultando em uma árvore da vida que conecta todas as formas de vida.

Em síntese, as ideias darwinistas explicam como as características mais vantajosas para a sobrevivência de uma população são selecionadas diante de uma pressão ambiental, enquanto as menos vantajosas podem ser eliminadas (extintas). De forma geral, esses processos ocorrem no decorrer de longos períodos, levando a mudanças graduais nas características das populações, cuja manutenção está a cargo da seleção natural.

O passado remoto e alguns dos elos de diversificação biológica podem ser inferidos com base na análise de fósseis e em evidências genéticas.



Charles Darwin.



Alfred R. Wallace.

## A teoria da evolução pela seleção natural

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Esquema representativo mostrando aspectos relevantes para compreender o funcionamento da teoria da evolução de Darwin.

## Fatores evolutivos

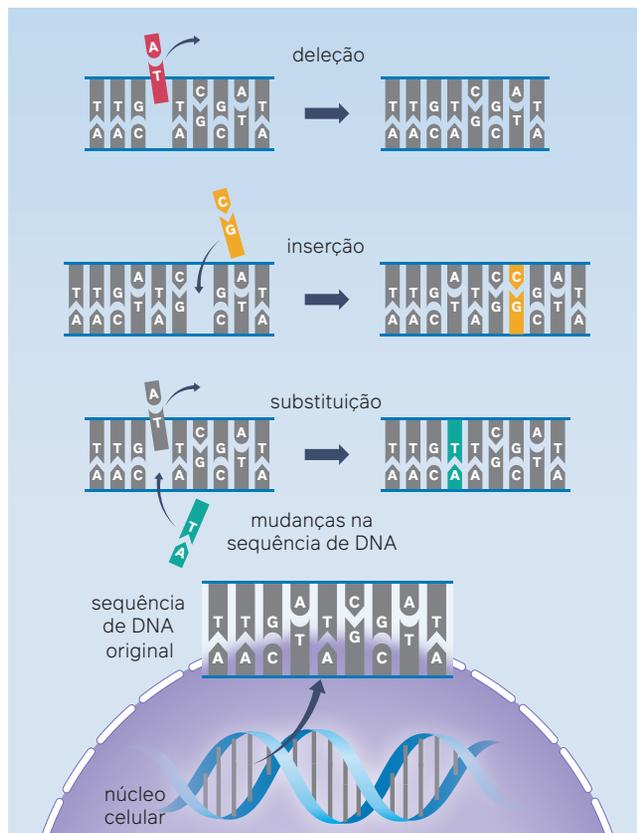
Após as contribuições iniciais de Darwin e Wallace, a pesquisa sobre o processo evolutivo avançou significativamente. No século XX, surgiu a teoria sintética da evolução, que integrou os princípios da seleção natural de Darwin com os avanços da genética mendeliana. Essa síntese, desenvolvida entre as décadas de 1920 e 1950, estabeleceu um novo paradigma na biologia evolutiva e definiu os principais fatores evolutivos.

## Mutações

As **mutações** são fonte primária de variabilidade genética nas populações que introduzem novas informações genéticas ou modificam genes existentes, podendo levar à expressão de novas características. As mutações são alterações em bases nitrogenadas do DNA que podem ter causas diversas, como erros durante a replicação do DNA, exposição a fatores externos, tais como radiações, entre outros. As alterações podem ocorrer em uma ou mais bases nitrogenadas e podem ser classificadas como **deleções**, **inserções** ou **substituições** de bases nitrogenadas.

Mutações ocorrem de forma aleatória. A maioria delas não tem qualquer influência nas populações biológicas, no entanto, algumas podem ser prejudiciais e outras vantajosas do ponto de vista adaptativo de uma determinada população, tornando-se mais frequentes. A tendência é que, por meio da seleção natural, as mutações prejudiciais sejam eliminadas da população, e as vantajosas, em um dado ambiente e tempo, sejam fixadas.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

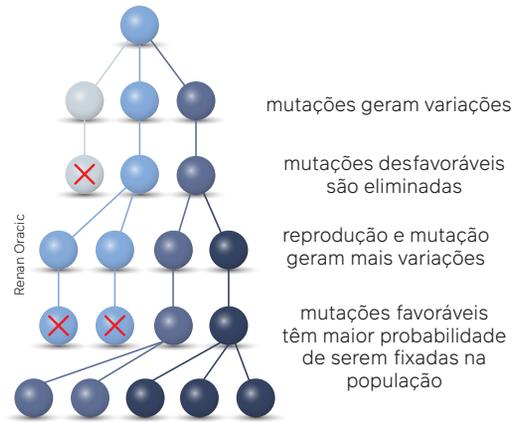


Esquema representativo de tipos de mutação no DNA.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 356.

As mutações neutras, que não conferem vantagem nem desvantagem em um determinado tempo e espaço, podem se tornar fixas na população ao longo do tempo devido à **deriva genética**: mudanças aleatórias nas frequências de alelos que ocorrem naturalmente em todas as populações. Isso acontece porque nem todos os organismos transmitem todo o seu genoma para a próxima geração. No entanto, a deriva genética tem um efeito especialmente significativo em populações pequenas, em que variações aleatórias podem ter um impacto mais pronunciado na composição genética ao longo das gerações.

As mutações são fenômenos que podem ocorrer a qualquer momento, podendo ser favoráveis à sobrevivência de uma espécie. A coloração dos círculos representa a variação de uma característica fenotípica.



## Recombinação genética

A **recombinação genética** contribui significativamente para a geração da variabilidade e introduz novas combinações de alelos dentro de uma população.

A recombinação genética ocorre durante a prófase I da meiose, na formação de gametas. Os cromossomos homólogos se alinham e sofrem trocas de segmentos de DNA em um processo chamado **crossing-over**. Essa troca de material genético entre cromossomos homólogos resulta na combinação de diferentes alelos em um único cromossomo, aumentando a diversidade genética entre os descendentes.

A diversidade genética é importante porque aumenta as chances de alguns indivíduos possuírem características vantajosas que lhes possibilitem sobreviver e se reproduzir em ambientes de constantes mudanças.

A variedade de características resultantes da recombinação genética está relacionada à maior capacidade de responder a mudanças ambientais e pressões seletivas, o que é essencial para sua sobrevivência e sucesso reprodutivo das espécies.

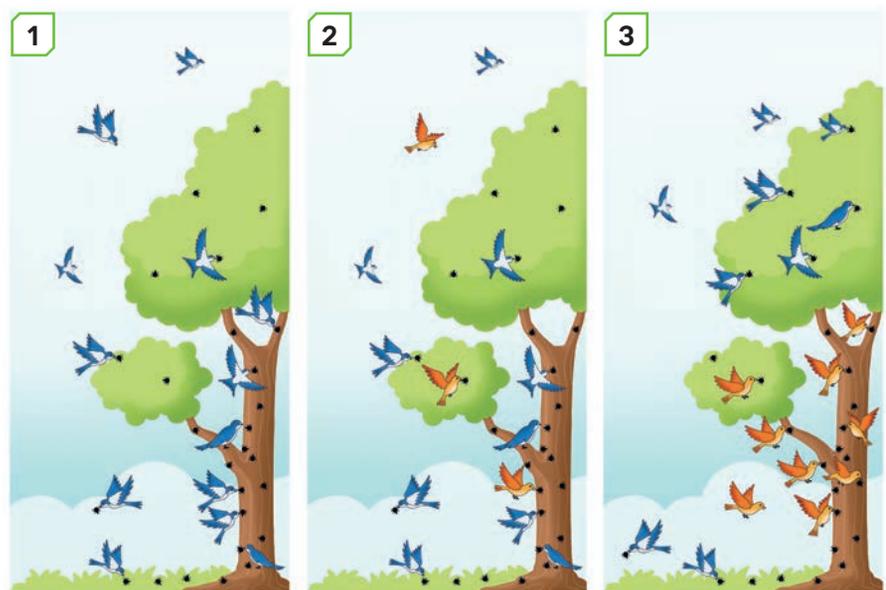
## Seleção natural

A **seleção natural** é o processo pelo qual certas características que proporcionam uma vantagem para a sobrevivência e reprodução se tornam mais comuns em uma população ao longo do tempo. Isso ocorre porque os indivíduos com essas características têm maior probabilidade de transmiti-las aos seus descendentes, de forma que, gradualmente, a população se torna mais adaptada ao seu ambiente pelo acúmulo dessas características vantajosas.

**Pressões seletivas** são fatores como disponibilidade de alimentos, competição, predação, condições climáticas, doenças, isolamento geográfico, entre outros, que influenciam quais das características presentes na população serão favorecidas na evolução de uma espécie.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Espécies de aves que competem por recursos exercem pressões seletivas umas nas outras, podendo levar à extinção de uma delas ou à coexistência com mudanças comportamentais.



Reinaldo Vignati

Um exemplo que evidencia o processo de seleção natural é a resistência a inseticidas. Partindo da premissa de que uma população de mosquitos apresenta variedade em suas características ao serem expostos a inseticidas, muitos morrem. Os poucos que apresentam resistência sobrevivem e, conseqüentemente, poderão se reproduzir, passando essa característica para a próxima geração. Com o tempo, os indivíduos resistentes a inseticidas podem se tornar mais comuns na população, até que a maioria dos mosquitos seja resistente.



A seleção natural é, portanto, um mecanismo que atua sobre a **variabilidade populacional**, selecionando os indivíduos mais adaptados a determinado ambiente. Dessa forma, a seleção natural pode levar ao surgimento de novas espécies.

## Seleção artificial

A **seleção artificial** é um processo no qual os seres humanos interferem no desenvolvimento evolutivo de uma espécie ao aplicar princípios de seleção em uma amostra controlada, como uma raça, estirpe, linhagem ou variante. Isso envolve selecionar indivíduos com características desejáveis para procriação, sem alterar a espécie matriz que continua a evoluir por processos naturais.

Embora a seleção artificial pareça semelhante à seleção natural, há uma diferença fundamental: ela é causada pela interferência e direcionamento humanos. Enquanto a seleção natural não possui direcionalidade nem finalidade, sendo um fenômeno natural influenciado pelo ambiente, a seleção artificial é dirigida de acordo com interesses humanos específicos. Por exemplo, a criação de raças de cães para diferentes propósitos, como guias, guardas, companhia ou caça, exemplifica esse processo de seleção artificial.

A seleção artificial pode levar a mudanças rápidas em um grupo controlado, uma vez que os humanos selecionam características específicas em um curto período. Apesar disso, esse processo pode ter conseqüências negativas, como a redução da diversidade genética e a criação de populações vulneráveis a doenças e outros problemas ambientais.

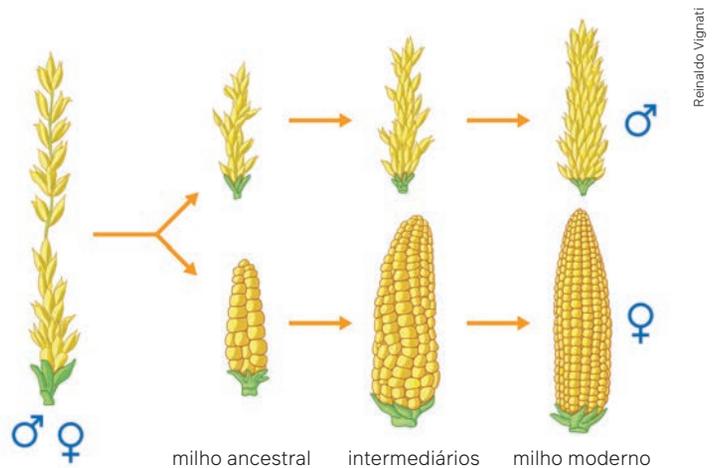


A seleção artificial é um processo importante na agricultura para melhorar a qualidade e a produtividade dos cultivos. Ela é aplicada para aperfeiçoar características desejáveis em culturas, como tamanho, sabor, resistência a doenças, pragas, condições climáticas adversas, entre outros fatores.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

O milho é um exemplo de produto agrícola que passou por seleção artificial.

Fonte: RAVEN, P. H.; JOHNSON, G. B. *Biology*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2001. p. 448.

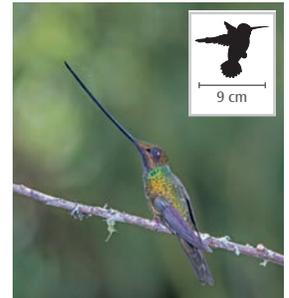


Reinaldo Vignati

## Atividades propostas

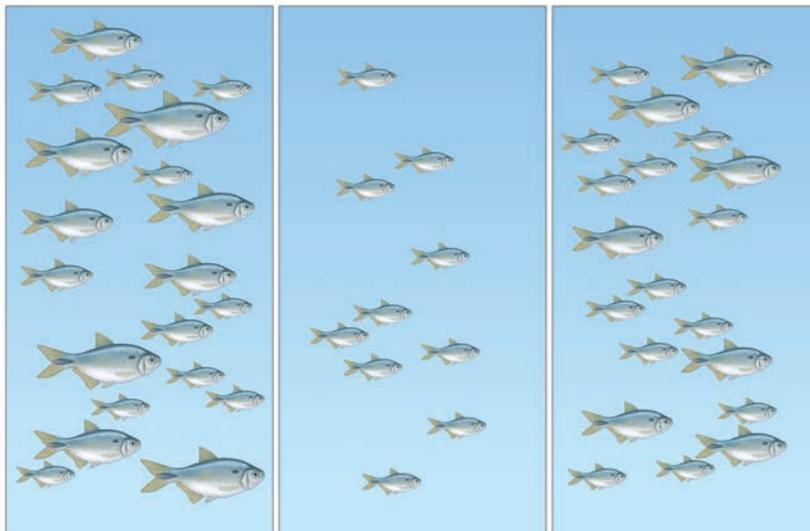


- Os beija-flores têm uma alimentação altamente restrita, composta principalmente de néctar e pólen. Sua anatomia possibilita que essas aves coletem o néctar das flores. Apesar de todos terem o bico fino e leve, o formato varia entre as espécies. Com base na teoria da evolução e na análise das duas imagens, elabore uma hipótese para explicar como diferentes espécies de beija-flor podem coexistir em um ambiente possuindo características anatômicas tão similares.
- A imagem a seguir mostra uma população de peixes em área de intensa atividade pesqueira em três momentos distintos: antes da pesca, depois da pesca e após alguns ciclos de reprodução.



Beija-flores alimentam-se do néctar das flores.

Gerald Corsi/iStockphoto.com



Reinaldo Vignati

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

- Como a intensa atividade de pesca afetou os tamanhos dos peixes ao longo do tempo? Explique as mudanças na distribuição de tamanhos antes e depois da pesca.
- Quais são os impactos potenciais de longo prazo da pesca intensiva na população de peixes? Como esses impactos podem afetar a capacidade da população de se adaptar às mudanças ambientais?

# Evidências da evolução biológica

As evidências que sustentam as ideias evolucionistas são um vasto e diversificado corpo de informações de várias disciplinas científicas, como a paleontologia, a anatomia comparada, a biologia molecular e a biogeografia. Coletivamente, essas linhas de evidências fornecem uma base sólida e abrangente para a teoria da evolução.

## Os registros fósseis

A evolução biológica é um fenômeno que ocorre ao longo de milhões de anos e, por isso, não é frequentemente observável no tempo de uma única vida humana. No entanto, é possível encontrar sinais dela em evidências do passado, mediante fósseis e camadas geológicas.

Os **fósseis** são restos ou vestígios de seres vivos que viveram no passado e foram preservados em rochas sedimentares. Por meio da análise desses fósseis, é possível entender como eram os seres vivos que habitavam a Terra em épocas passadas, como se pareciam, onde viviam e o que comiam. Além disso, pode-se inferir informações sobre condições ambientais e climáticas, observando as características morfológicas, como forma e estrutura externa, e características fisiológicas, a partir de constituintes genéticos.



Fabio Colombrini

Fóssil de samambaia da espécie *Ruffordia goeppertii*, exposto no Museu de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri em Santana do Cariri (CE), 2020.

### Saiba mais

#### Fósseis brasileiros

O Brasil é um país com uma rica diversidade de fósseis, especialmente na Bacia do Araripe, localizada entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, onde foram encontrados fósseis de diversos organismos, como peixes, répteis, aves, plantas e insetos que viveram há cerca de 120 milhões de anos, durante o Período Cretáceo. Da mesma forma que o país tem uma rica diversidade de fósseis, o Brasil também é um dos países com maior incidência de tráfico de fósseis. Essa atividade é ilegal e extremamente prejudicial para a pesquisa científica e para a preservação do patrimônio paleontológico nacional. Muitas vezes, os fósseis roubados são vendidos em mercados paralelos, privando a comunidade científica de informações valiosas sobre a história da vida na Terra e a evolução das espécies. Conforme o Código Penal brasileiro, o roubo de fósseis é considerado crime ambiental e pode acarretar multas e detenção.

## Biogeografia

A **Biogeografia** é o estudo da distribuição geográfica dos seres vivos no planeta Terra – tanto no presente quanto no passado – e dos processos que influenciam essa distribuição. Essa Ciência busca compreender por que as espécies habitam determinados ambientes e como essas distribuições mudaram ao longo do tempo.

A Biogeografia investiga como os fatores ambientais, históricos e biológicos afetam a diversidade biológica em diferentes regiões do mundo. Entre os fatores ambientais, estão o clima, a geologia, o relevo e as condições do solo, que influenciam a disponibilidade de recursos e as condições para a sobrevivência dos organismos. Entre os fatores históricos, destacam-se a origem de barreiras geográficas, expansões populacionais, eventos de dispersão, entre outros. Por meio da Biogeografia, podemos entender como as espécies se dispersaram e se adaptaram a diferentes ambientes ao redor do planeta.

## Espécies endêmicas

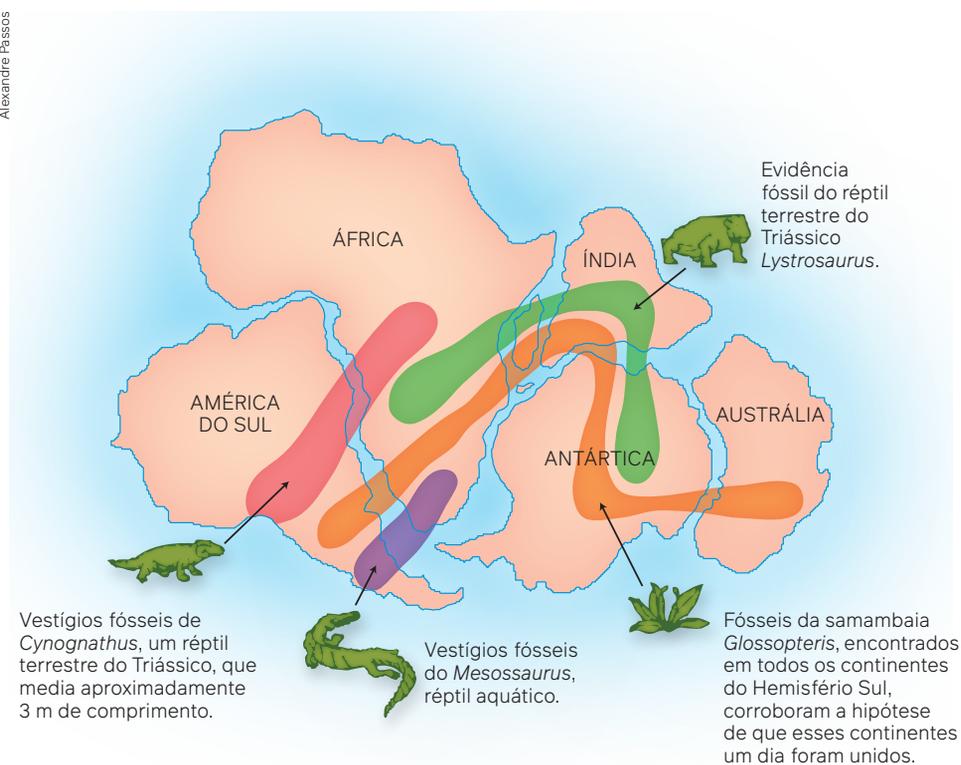
**Espécies endêmicas** são aquelas que só existem em determinado local ou região geográfica por terem evoluído em isolamento geográfico, seja devido a barreiras físicas, como cadeias montanhosas ou oceanos, seja devido a mudanças climáticas, que alteraram a paisagem e possibilitaram que essas espécies se adaptassem a novas condições. Elas são comuns em ilhas e, por sua distribuição ser restrita, tendem a ser mais ameaçadas de extinção.

No Brasil, por exemplo, existem diversas espécies endêmicas, como é caso do mico-leão-da-cara-dourada (*Leontopithecus chrysomelas*), que é encontrado de forma endêmica em algumas áreas no sul da Bahia e no extremo nordeste de Minas Gerais.

## Deriva continental

A **deriva continental** é uma teoria geológica que propõe que os continentes da Terra se separaram ao longo de milhões de anos, partindo de uma massa de terra anteriormente unificada, chamada **Pangeia**. Conforme essa teoria, proposta pela primeira vez por Alfred Wegener (1880-1930), o supercontinente Pangeia se desintegrou devido ao movimento das placas tectônicas abaixo da superfície da Terra. Wegener forneceu várias linhas de evidência para apoiar a sua teoria, incluindo as formas correspondentes dos continentes em lados opostos do Oceano Atlântico – por exemplo, as costas da América do Sul e da África –, formações rochosas semelhantes e cadeias de montanhas em continentes que foram uma vez conectados, bem como a distribuição de fósseis similares em continentes separados por oceanos.

Alexandre Passos



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

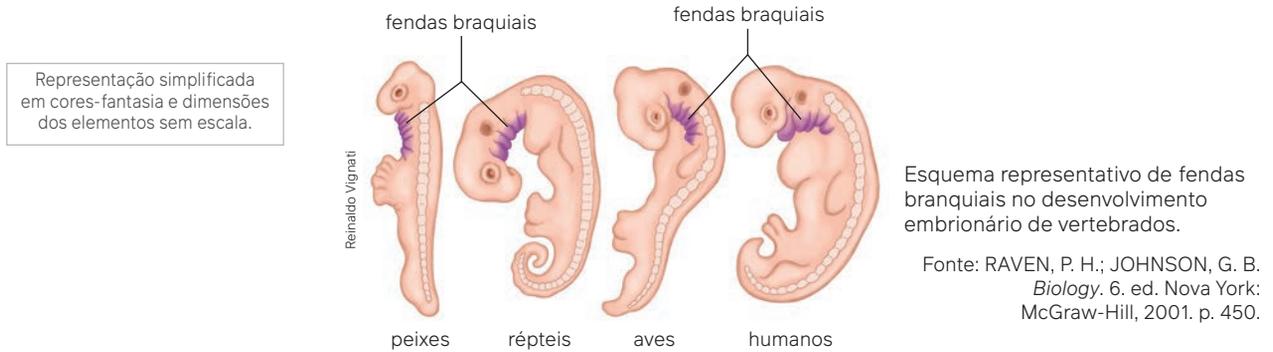
Fonte: USGS. [Rejoined continents]. *United States Geological Survey*, Reston, 5 maio 1999. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/continents.html>. Acesso em: 28 maio 2024.

Distribuição geográfica do *Lystrosaurus* e de fósseis contemporâneos em conformidade com a paleodistribuição dos continentes, formando a Gondwana, supercontinente formado por áreas de terra firme que hoje ocupam o hemisfério sul.

## Anatomia e embriologia comparada

O estudo da anatomia e da embriologia comparada fornece informações relevantes para a compreensão das relações evolutivas entre as espécies. Muitas vezes, as semelhanças entre características das espécies, seja de indivíduos adultos, seja de embriões, são evidências de ancestralidade comum.

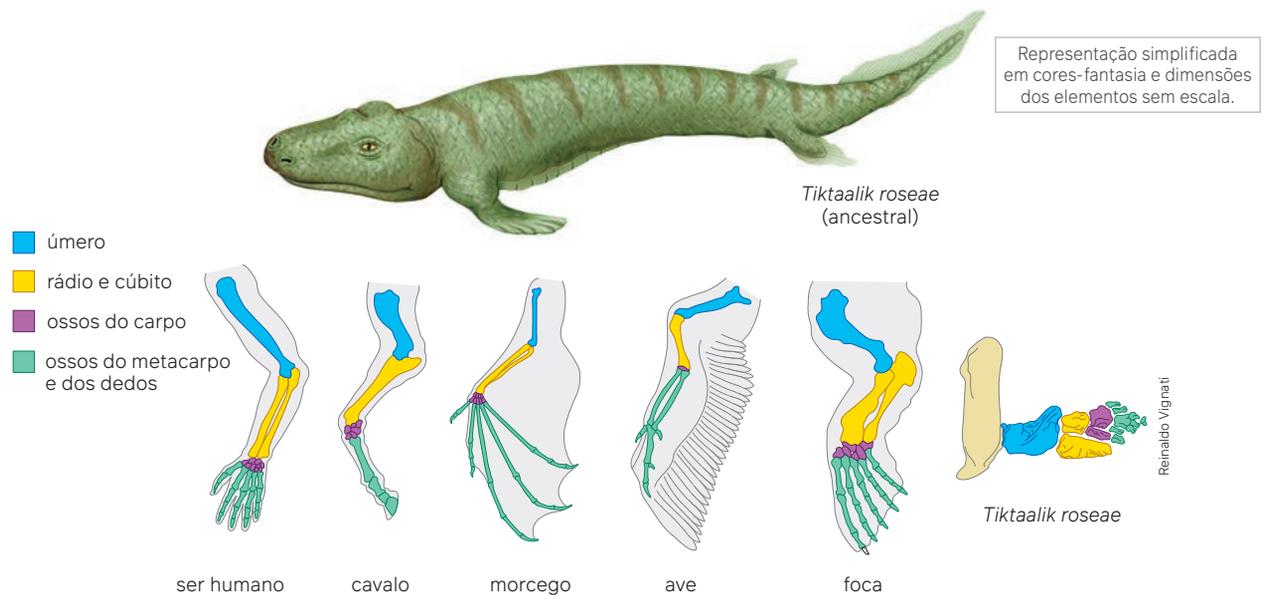
Durante o desenvolvimento embrionário, muitas espécies apresentam fases semelhantes, como a formação de fendas branquiais em embriões de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Essas estruturas, que podem se tornar brânquias em algumas espécies ou desaparecer completamente em outras, são evidências de uma ancestralidade comum dessas espécies.



Outro exemplo de evidência da evolução em embriologia comparada são os membros com dígitos em tetrápodes. Embora os membros de variadas espécies tenham funções diferentes, como nadar, voar ou caminhar, sua estrutura básica é muito semelhante. A presença de membros em animais tão distintos como sapos, lagartos, baleias e morcegos sugere que eles compartilham um ancestral comum.

Para descrever semelhanças entre características de diferentes espécies, a homologia e a analogia são conceitos importantes.

**Homologia** se refere a estruturas com mesma origem embrionária encontradas em diferentes espécies com uma origem em um ancestral comum. A semelhança entre o esqueleto das asas de morcegos e o esqueleto das mãos humanas é um exemplo de homologia. **Analogia**, por outro lado, se refere a características semelhantes entre diferentes espécies que não têm origem em uma característica ancestral comum e tampouco a mesma origem embrionária. Em vez disso, as características análogas são resultado da evolução convergente, em que espécies não relacionadas desenvolvem, de forma separada, estruturas semelhantes que, ao enfrentar desafios ambientais similares, são selecionadas. Por exemplo, as asas de insetos, de aves e de morcegos, são características análogas, pois surgiram independentemente em diferentes linhagens evolutivas possibilitando o voo, mas não têm um ancestral comum que deu origem a essa estrutura.



Ossos do membro superior de diferentes vertebrados. Repare que, apesar de formas muito diferentes, a maioria dos tipos de osso é a mesma em todas as espécies.

Fonte: BARRESI, M. J. F.; GILBERT, S. F. *Development Biology*. 12. ed. Nova York: Oxford University Press, 2020. p. 68, 789 e 794.

Essas similaridades anatômicas observadas pela embriologia e pela anatomia comparada são evidências de que as espécies evoluíram a partir de ancestrais comuns, que, ao longo do tempo, sofreram mudanças em decorrência de pressões seletivas em diferentes ambientes ecológicos.

## Órgãos ou partes do corpo vestigiais

Órgãos ou partes do corpo vestigiais são estruturas que, ao longo do processo evolutivo, perderam sua função original e se tornaram rudimentares ou inúteis. Os arrepios em seres humanos em condições de estresse são um reflexo vestigial ligado a um músculo eretor de pelos. Acredita-se que nos ancestrais humanos, esse reflexo os fazia parecer maiores, assustando predadores. Além disso, ao levantar os pelos, uma camada extra de ar fica armazenada entre a pele e os pelos, contribuindo para manter o corpo aquecido. Como os humanos da atualidade têm menor quantidade de pelos, os arrepios como resposta ao frio tornam-se pouco funcionais.

Os órgãos vestigiais também são um exemplo de como a evolução é um processo contínuo e dinâmico, no qual as espécies são selecionadas constantemente por pressão ambiental.

## Biologia molecular

A genética também é uma importante ferramenta para entender a evolução biológica e fornecer evidências do processo evolutivo. Por meio do estudo do sequenciamento de DNA, pode-se identificar a relação de parentesco entre diferentes espécies e entender como elas evoluíram ao longo do tempo. Igualmente, pode-se estudar as mutações genéticas que ocorrem ao longo do tempo e que são responsáveis por gerar novas características em determinadas espécies.

Uma das principais evidências genéticas da evolução é a similaridade de sequências de DNA em diferentes espécies. Por exemplo, o gene que regula a produção de insulina em humanos é muito semelhante ao que controla a produção de insulina em outros mamíferos, como macacos, cães e gatos. Essa semelhança indica que essas espécies compartilham um ancestral comum que já possuía esse gene.

Outra evidência genética é a presença de **pseudogenes**, que são genes que perderam a função ao longo da evolução. Geralmente, eles têm uma sequência semelhante à de um gene funcional, mas possuem mutações que os impedem de produzir uma proteína. A presença de pseudogenes em diferentes espécies sugere que elas compartilham um ancestral que possuía esse gene funcional.

A **análise das proteínas** também fornece evidências da evolução biológica. A estrutura de proteínas em diferentes espécies pode ser comparada para determinar a relação evolutiva entre elas. Por exemplo, a hemoglobina, proteína responsável pelo transporte de oxigênio no sangue, tem uma estrutura semelhante em mamíferos, aves e répteis, mas apresenta algumas diferenças que refletem a adaptação desses grupos a ambientes distintos.

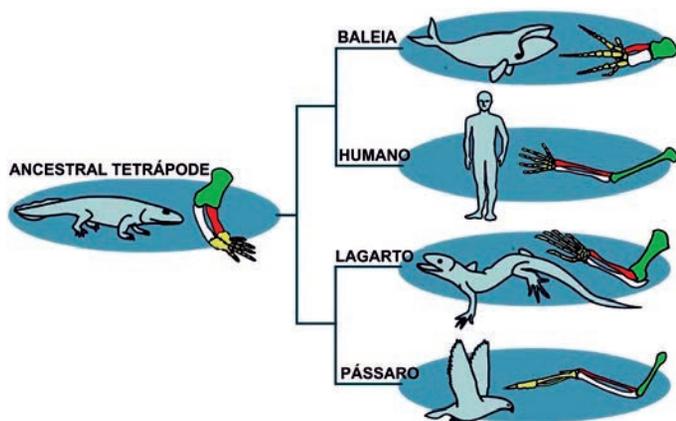
A evolução também pode ser estudada por meio da análise dos cromossomos. Mudanças na sua estrutura, como fusões ou inversões, podem ocorrer ao longo do tempo e ser usadas para determinar a relação evolutiva entre as espécies.

As evidências genéticas e moleculares da evolução são importantes porque nos permitem entender a relação evolutiva entre as espécies e identificar como a seleção natural atua no nível molecular, de forma a moldar as características dos organismos.

## Atividades propostas

1. (Unicamp-SP – 2024) O conceito apresentado na figura a seguir é importante para fundamentar a classificação biológica baseada nas relações evolutivas entre os organismos. É correto afirmar que as estruturas anatômicas indicadas

- no humano e no lagarto são consideradas análogas; trata-se de um caso de evolução convergente.
- na baleia e no pássaro são consideradas homólogas; trata-se de um caso de evolução divergente.
- no lagarto e no pássaro são consideradas homólogas; trata-se de um caso de evolução convergente.
- no humano e na baleia são consideradas análogas; trata-se de um caso de evolução divergente.



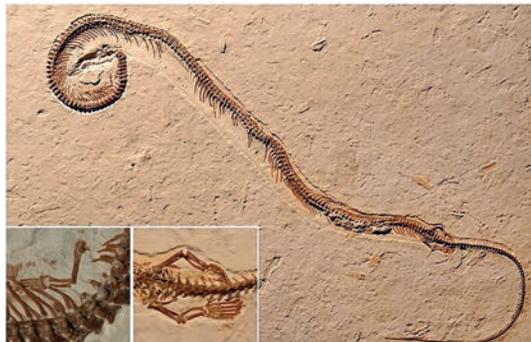
(Adaptado de: <https://evolution.berkeley.edu/similarities-and-differences-understanding-homology-and-analogy-ms/.../>. Acesso em 22/08/2023.)



## As serpentes já tiveram pernas?

No DNA, além das sequências que codificam os genes, também existem sequências que atuam na regulação da expressão genética. Esses trechos de DNA são conhecidos como sequências regulatórias. Leia o texto a seguir para entender como elas podem ter influenciado a história evolutiva das serpentes. Em seguida, responda às questões propostas.

Fóssil de *Tetrapodophis amplexus*, serpente com quatro pernas que viveu há mais de 100 milhões de anos onde hoje fica o Ceará. Nas fotografias menores, detalhes dos membros do réptil.



Dave Martill/University of Portsmouth

## Estudo mostra como as cobras perderam as pernas ao longo da evolução

### Artigo descreve as alterações genéticas que levaram ao surgimento desses animais como os conhecemos

Em algum ponto da história da evolução das espécies, as cobras já tiveram pernas. Uma nova pesquisa publicada em novembro na *Nature Communications* nos ajuda a entender como essa transição ocorre. Segundo o estudo, a perda de elementos físicos de algumas espécies ocorreu devido à diferenciação de elementos regulatórios no DNA. A pesquisa é da autoria da bióloga Juliana Roscito, doutora em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências (IB) da USP, e coautoria do professor Miguel Trefaut, professor no mesmo instituto.

Na estrutura do DNA existem elementos que regulam a expressão de genes que podem se manifestar em partes diferentes do corpo. Dependendo desse gene, esses reguladores podem direcionar sua expressão para um local específico. “As mutações ocorrem em diversas partes do genoma, mas os genes em si estão blindados contra as suas ações. Esses elementos regulatórios estão mais suscetíveis a sofrer mutações que os genes em si”, explica Juliana.

Esses elementos, portanto, são responsáveis por controlar a expressão de genes em cada parte do corpo. Quando ocorrem mutações nesses elementos, a expressão dos genes é afetada, resultando na má-formação da parte do corpo em questão. A pesquisa analisou diferentes espécies de lagartos e mamíferos, e concluiu que esse fenômeno causou a atrofia de membros e olhos nestes animais, respectivamente.

A pesquisa contou com métodos avançados de estudos, como o sequenciamento genômico de espécies ainda não mapeadas. Segundo a pesquisadora, esse foi o procedimento mais demorado. “Para fazer essa análise precisamos de muitas espécies com genoma sequenciado. Então se alinham genomas diferentes e se faz uma comparação entre as sequências.” Esse sequenciamento consiste em “quebrar” o DNA e descobrir a sequência de moléculas que o compõe. Por meio desse método, pode-se analisar em que elementos ocorreram mutações entre as espécies.

A pós-doutoranda relata que o material publicado ajuda a aprofundar os conceitos já existentes sobre a evolução dos animais. “Estamos mostrando como esse processo pode acontecer e como o mecanismo da modificação funciona.”

ROSA, M. Estudo mostra como as cobras perderam as pernas ao longo da evolução. *Jornal da USP*, São Paulo, 13 dez. 2018. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-biologicas/estudo-mostra-como-as-cobras-perderam-as-pernas-ao-longo-da-evolucao/>. Acesso em: 24 maio 2024.

## Trocando ideias



1. Conforme o texto, como os elementos regulatórios no DNA estão relacionados à perda das pernas nas serpentes?
2. O texto menciona que elementos regulatórios são mais suscetíveis a mutações do que genes. Explique como essa suscetibilidade pode influenciar os processos evolutivos.
3. Qual foi o principal método utilizado na pesquisa para analisar em que elementos ocorreram mutações entre diferentes espécies? Por que esse método é importante para os estudos evolutivos?
4. Na sua opinião, os resultados desse estudo podem ser aplicados em outros campos de conhecimento, como a conservação da biodiversidade ou o desenvolvimento de terapias médicas? Justifique.

# Especiação

**Especiação** é o processo pelo qual novas espécies surgem a partir de uma única espécie ancestral, sendo necessário, para isso, a ocorrência de isolamento que impeça o cruzamento de indivíduos de diferentes populações, levando, em última análise, à formação de espécies distintas.

A especiação é resultado direto da diferenciação causada por fatores evolutivos, tais como deriva genética e seleção natural.

O processo de especiação ocorre ao longo de muitas gerações, muitas vezes com escala temporal de milhões de anos. Um dos principais mecanismos que contribuem para a especiação é o **isolamento reprodutivo**, que impede a reprodução bem-sucedida entre indivíduos de populações isoladas. Existem dois tipos principais: pré-zigótico e pós-zigótico.

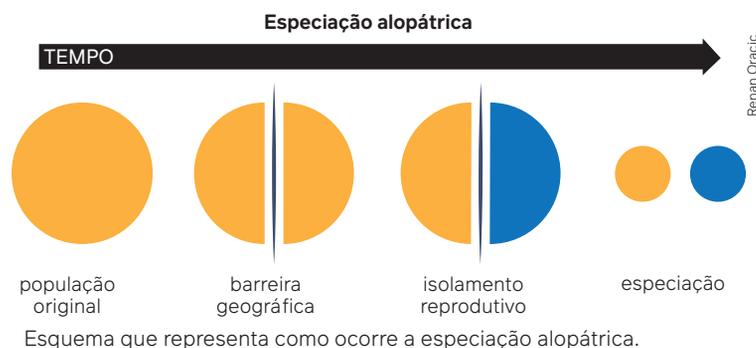
O **isolamento pré-zigótico** ocorre antes da formação do zigoto e impede o encontro ou a fertilização entre gametas de indivíduos de diferentes populações. O **isolamento pós-zigótico** ocorre após a formação do zigoto e impede o desenvolvimento normal do embrião híbrido ou a geração de descendentes híbridos férteis. É por meio da reprodução que ocorre a troca de material genético nas espécies. Assim, o isolamento reprodutivo desempenha papel fundamental no processo de especiação, uma vez que impede a troca de material genético entre populações isoladas, levando à formação de novas espécies ao longo do tempo. Dois processos são fundamentais para entender como pode ocorrer a especiação: o alopátrico e o simpátrico.

## Especiação alopátrica e simpátrica

A especiação **alopátrica**, também conhecida como especiação por isolamento geográfico, ocorre quando uma única população de uma espécie é fisicamente separada em duas ou mais populações geograficamente isoladas. Esta separação pode ser causada por barreiras naturais, como montanhas, rios e oceanos. Algumas ações humanas, como a criação de barragens ou usinas hidroelétricas, podem potencialmente levar a esse tipo de especiação. Esta separação geográfica impede o fluxo gênico entre as populações isoladas, promovendo a divergência genética ao longo do tempo, que eventualmente pode levar à especiação.

Por outro lado, a especiação **simpátrica** ocorre quando uma nova espécie se origina na mesma área geográfica que a espécie parental, sem isolamento físico. Neste caso, o isolamento reprodutivo e a especiação são impulsionados por fatores como diferenças nos comportamentos de acasalamento, preferências de habitat, ou na utilização de recursos. Este processo pode resultar na formação de novas espécies enquanto as populações continuam a interagir e trocar material genético.

É importante considerar que existem situações intermediárias entre a total alopatria e simpatria, onde a especiação pode ocorrer mesmo na presença de algum fluxo gênico entre populações.





1. Em 2014, a *Revista Pesquisa Fapesp* noticiou uma pesquisa sobre a orquídea *Epidendrum denticulatum*. A pesquisa, realizada com o cruzamento de exemplares de orquídeas de diferentes localidades, não gerou nenhum embrião. O estudo indica um possível processo de especiação dos diferentes grupos, apesar de as orquídeas serem idênticas no tamanho, nas flores, nas cores e nas estruturas externas. Como você explica a ausência de embriões, considerando um possível processo de especiação?
2. Entender os processos de especiação é fundamental para a compreensão da diversidade biológica. Em grupo com três colegas, retomem o que foi estudado no capítulo, comparem os processos de especiação alopátrica e simpátrica, destacando suas principais diferenças em relação ao isolamento geográfico e aos mecanismos de alteração genética, e pesquisem exemplos de cada processo, refletindo sobre como o isolamento pode moldar a distribuição e a interação das populações e, conseqüentemente, afetar a evolução das espécies. Elaborem um infográfico com os exemplos pesquisados, explicando os processos de especiação, o contexto geográfico em que ocorreram e os principais fatores ambientais que influenciaram esses processos.

## A síntese moderna da evolução

A **síntese moderna da evolução**, muitas vezes referida como “síntese neodarwiniana”, ou teoria sintética da evolução, é a combinação dos conhecimentos de seleção natural, genética mendeliana, genética populacional e genética quantitativa. Os trabalhos no campo da Genética e da Matemática estatística reforçaram a teoria da evolução das espécies, demonstrando que os organismos compartilham genes e que variações genéticas são moldadas por processos evolutivos e populacionais.

Também referida como teoria, a síntese moderna da evolução não surgiu de uma única vez, sendo proposta com base em uma série de modelos e experimentos realizados no decorrer do século XX, que corroboram as ideias evolutivas de Darwin e Wallace. A síntese moderna da evolução explica que a evolução dos seres vivos ocorre por meio da seleção natural, atuando sobre as variações genéticas que surgem por mutação e por recombinação genética; além disso, enfatiza a importância da deriva genética e do fluxo gênico na evolução dos seres vivos.

O fluxo gênico, por outro lado, envolve a transferência de genes ou alelos entre populações, muitas vezes por migração de indivíduos. Isso pode contrabalançar os efeitos da deriva genética, mantendo a diversidade genética e facilitando a adaptação a novos ambientes ou a variações no ambiente.

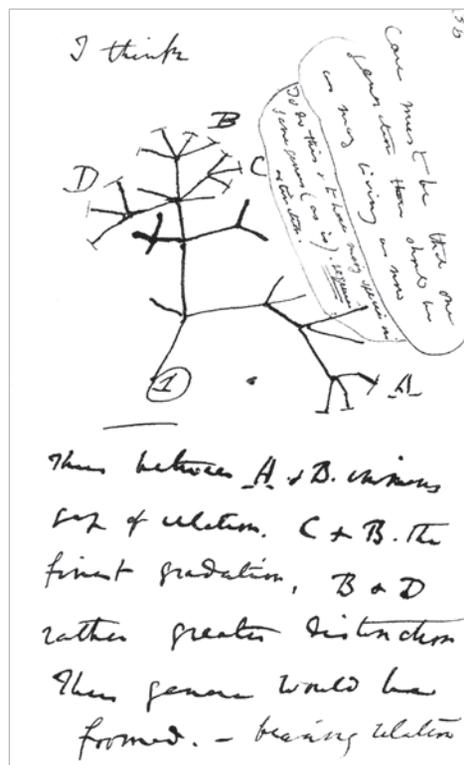
## Árvores filogenéticas

As **árvores filogenéticas** são representações gráficas que permitem visualizar as relações de parentesco entre os seres vivos e entender como a diversidade biológica está organizada. Elas são diagramas que mostram como os diferentes grupos de organismos estão conectados e como eles evoluíram ao longo do tempo.

Nas árvores, as espécies são representadas por ramos, e os pontos de conexão entre esses ramos mostram os momentos em que os diferentes grupos se originaram de um ancestral comum. Essa representação gráfica é essencial para entender a evolução da vida. Por meio destes diagramas, podemos identificar, por exemplo, quais grupos de animais estão mais estreitamente relacionados e quais compartilham um ancestral mais distante.

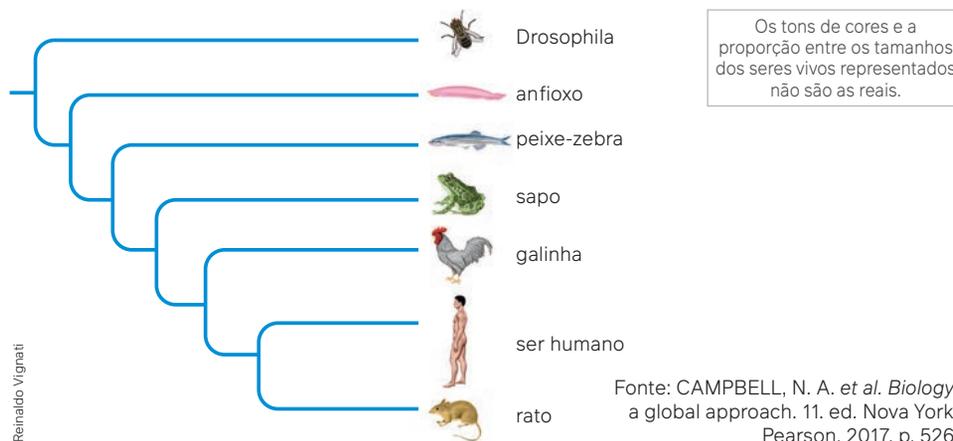
Para construir as árvores, cientistas utilizam os dados obtidos por meio dos métodos de análise filogenética, detalhados no capítulo 11. Esses dados são comparados e analisados para determinar as relações de parentesco entre os organismos e construir uma representação visual dessa história evolutiva, possibilitando, inclusive, reconstruir toda a história da vida na Terra, o que chamamos de **Árvore da Vida**.

Esboço de árvore evolutiva elaborado por Charles Darwin em seu *Primeiro Caderno* sobre Transmutação de Espécies (1837).





1. Na árvore filogenética a seguir, construída a partir da análise de sequências de DNA, podemos visualizar as relações de parentesco entre grupos de animais. Em dupla com um colega, analisem-na e expliquem o que compreenderam. Procurem pensar nas semelhanças que vocês reconhecem e nos grupos a que elas pertencem.



2. A teoria da evolução é um tópico que, ao longo do tempo, gerou várias controvérsias e debates. As razões para essas discussões podem estar relacionadas a ideias científicas ou a crenças religiosas e culturais dos pesquisadores.
  - I. Em grupo com três colegas, selecionem um dos textos a seguir (A ou B). Pesquisem a respeito do tema tratado no texto selecionado, buscando informações sobre as teorias envolvidas, as evidências científicas e os impactos dessas teorias na Ciência e na sociedade como um todo. Utilizem as perguntas como condutoras de uma linha de raciocínio, identifiquem as controvérsias e preparem argumentos que defendam o posicionamento do grupo.
  - II. Elaborem uma apresentação que seja ao mesmo tempo informativa e envolvente para os colegas de turma. Vocês podem utilizar meio diversos (mídias eletrônicas, cartazes, músicas, poemas etc.).
  - III. Em data previamente combinada com o professor, apresentem o material aos colegas. Assistam à apresentação dos demais grupos e, depois que todos se apresentarem, façam uma discussão de ideias, dialogando sobre as diferenças entre opiniões pessoais e conhecimentos científicos.

### Texto A: Ensino de evolução nas escolas

Em algumas regiões, o ensino da evolução nas escolas públicas tem sido alvo de controvérsias devido a objeções baseadas em crenças religiosas ou opiniões contrárias à aceitação da teoria da evolução. Argumentos como o criacionismo e a teoria do *design* inteligente propõem explicações não evolutivas para a complexidade da vida, sugerindo a intervenção de uma inteligência superior.

**Reflitam:** Como equilibrar o respeito à diversidade de crenças e opiniões com a necessidade de fornecer educação científica baseada em evidências?

### Texto B: Evolução humana e origem do ser humano

Há controvérsias em relação à evolução humana e à origem do ser humano. Questões como a relação entre humanos e primatas não humanos ou a interpretação de evidências fósseis podem gerar debates.

**Reflitam:** Como as evidências fósseis e genéticas apoiam a evolução humana? Quais são os pontos de vista contrários e como eles podem ser discutidos com base em evidências científicas?

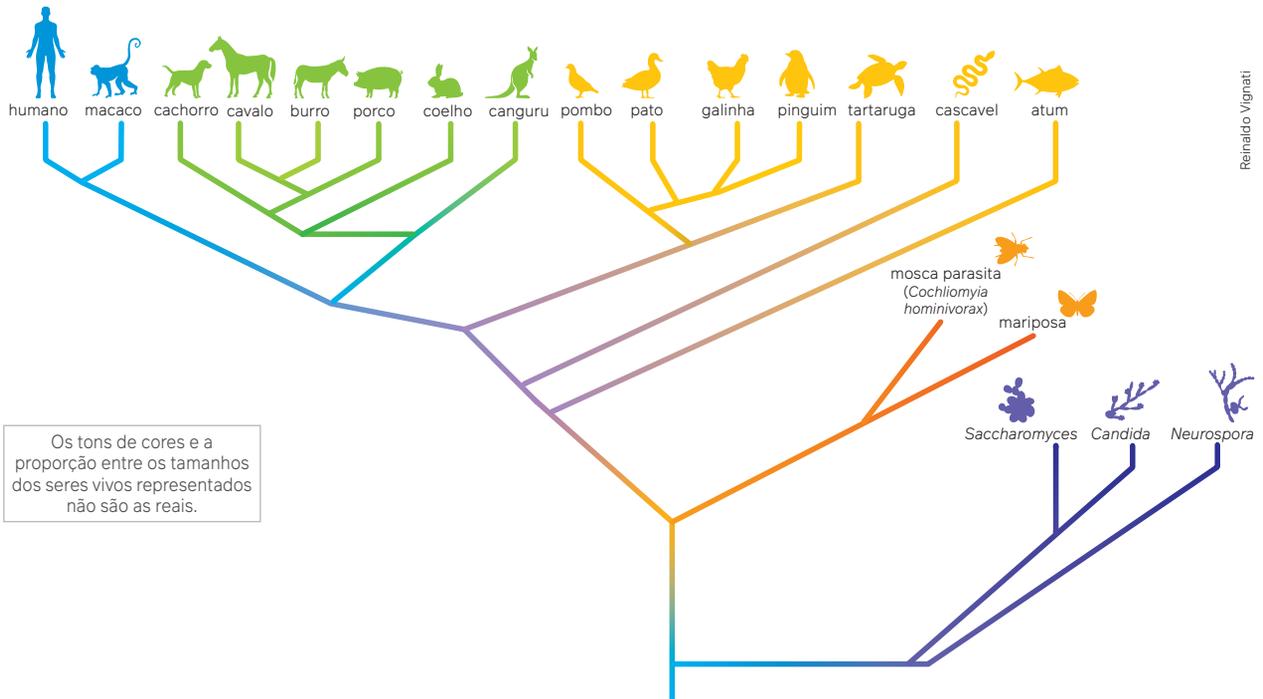
## Recapitule



Neste capítulo, foram discutidas ideias evolucionistas e a teoria da evolução biológica, fatores que levam à variação da biodiversidade e à ação da seleção natural sobre essas variações.

Agora, convidamos você a elaborar um mapa mental utilizando termos-chave como base, explorando suas interconexões e ampliando sua compreensão sobre os temas abordados. Termos-chave para considerar: evolução biológica; evidências da evolução; seleção natural; mutação genética; recombinação de genes; especiação; teoria sintética da evolução; e diversidade da vida.

# Sistemática: taxonomia e filogenia



Árvore filogenética baseada nas diferenças entre nucleotídeos do gene que codifica o citocromo C, uma proteína da cadeia de transporte de elétrons. Os valores são estimativas do número mínimo de substituições de nucleotídeos que ocorreram, ao longo das linhagens, no gene que codifica essa proteína.

## ▼ Para refletir

1. Observe a imagem e explique a ideia de ancestralidade e relações de parentesco que a representação fornece.
2. Analisar só um gene, como informa a legenda, é suficiente para explicar definitivamente as relações de parentesco entre os grupos presentes na imagem? Justifique.
3. Como a árvore filogenética pode ajudar a entender a evolução dos organismos?
4. Por que é importante estudar e compreender as relações de parentesco entre os seres vivos?
5. Qual é a importância de organizar e nomear os diferentes organismos?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Explicar e aplicar regras de nomenclatura científica propostas na atividade taxonômica.
- Analisar diferentes sistemas de classificação dos seres vivos.
- Interpretar as relações de ancestralidade e descendência entre as espécies.
- Deduzir as relações evolutivas a partir dos componentes das árvores filogenéticas.

# Taxonomia

A taxonomia é uma prática científica que se dedica a nomear, descrever, categorizar e classificar os seres vivos de acordo com suas características. Portanto, a taxonomia é um sistema utilizado para catalogar e organizar a diversidade de seres vivos de uma forma lógica e compreensível.

A atividade taxonômica também fornece a base para identificar padrões evolutivos e relações de parentesco entre as espécies. No entanto, para traçar as linhagens evolutivas e desvendar as mudanças que ocorreram ao longo do tempo, utiliza-se a sistemática filogenética, que estuda as características compartilhadas entre os organismos de forma mais detalhada. Por exemplo, amostras de plantas catalogadas em exsicatas e armazenadas em herbários subsidiam a pesquisa taxonômica e filogenética de grupos vegetais.



Andre Dib/Pulsar Imagens

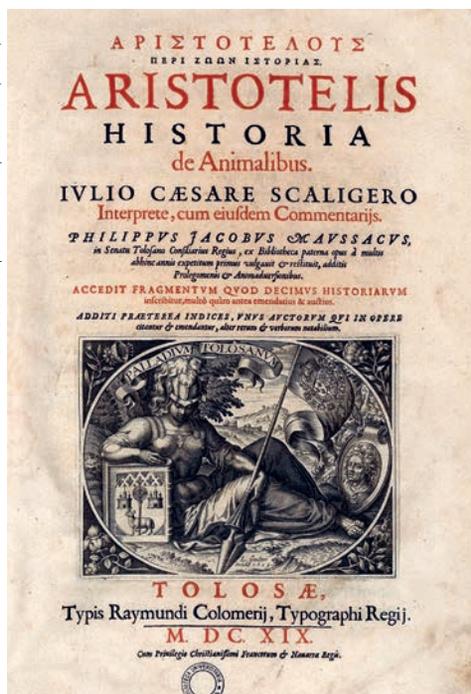
Armazenamento de exsicatas, plantas secas herborizadas em sala climatizada no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (Inpa). Manaus (AM), 2022.

# Classificação biológica

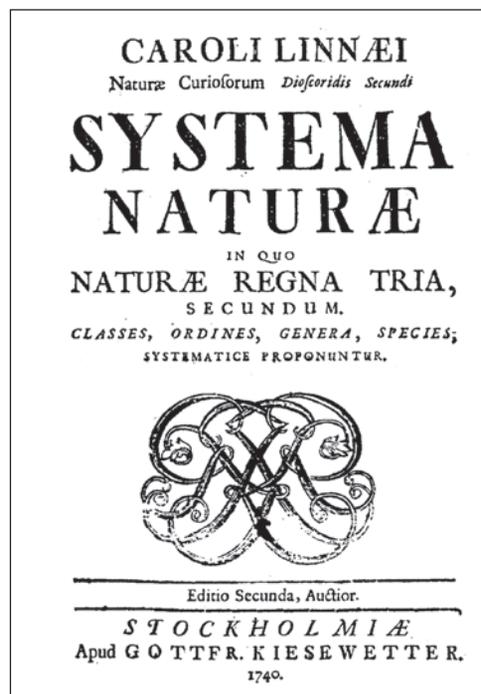
Aristóteles (384-322 a.C.) é considerado um dos precursores da classificação dos seres vivos. Além de ter classificado os animais quanto ao seu ambiente, em aéreos, terrestres ou marinhos, ele atentou para as suas semelhanças físicas. Por mais de mil anos, perdurou na taxonomia um pensamento filosófico denominado **essencialismo**, que atribuía à ideia de espécie um grupo de coisas semelhantes em sua “essência”, e à ideia de gênero, partes dessa essência compartilhadas por espécies distintas, em qualquer nível categórico. Aristóteles também dividiu os seres vivos em dois grandes grupos: Reino Animal e Reino Vegetal. Uma das suas principais obras foi a *História dos Animais*.

Carl Linnaeus (1707-1778) propôs, em 1735, uma organização dos seres vivos em grupos hierárquicos baseados em características morfológicas e apresentou o **sistema de nomenclatura binomial**, que usa um nome científico para cada espécie, como *Panthera onca*, que denomina as onças-pintadas. Esse sistema tem sido adotado até os dias de hoje.

Biblioteca Europeia de Informação e Cultura, Milão, Itália



O livro *História dos animais*, de Aristóteles, na edição do estudioso e médico italiano Julius Caesar Scaliger, com comentários, publicado em 1619.

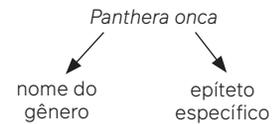


Science History Images/Alamy/Fotoarena

Capa do livro *Systema naturae*, de Linnaeus, publicado em 1758.

## Sistema de nomenclatura binomial

GTW/Shutterstock.com



**Gênero** é um conjunto de espécies.

**Epíteto específico** é o termo que designa a espécie.

Nomenclatura binomial da onça-pintada.

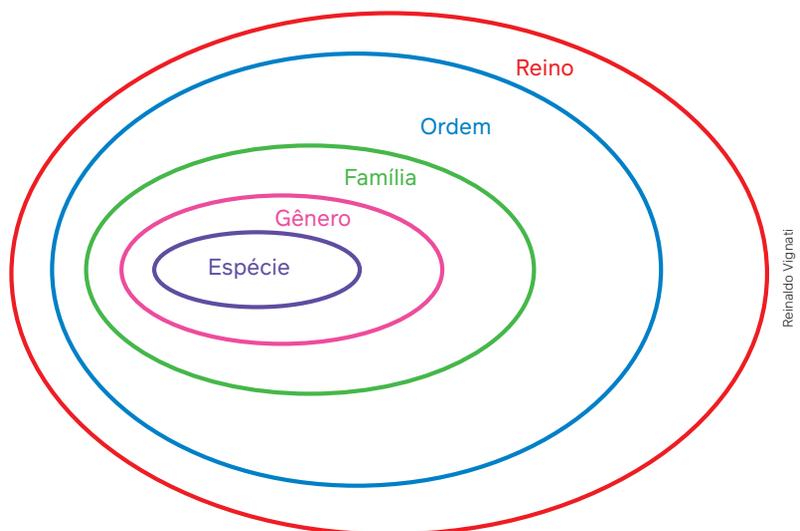
Considerado um dos pilares da taxonomia moderna, Linnaeus desenvolveu um método padronizado que trouxe objetividade à nomenclatura biológica, permitindo que cientistas de todo o mundo compreendessem a qual espécie se referem ao citá-la. Na nomenclatura binomial:

- O nome da espécie é obrigatoriamente escrito em latim ou latinizado.
- A primeira parte é o nome do **gênero**, que agrupa espécies semelhantes.
- A segunda parte é o **epíteto específico**, que identifica e caracteriza a espécie. Este pode ser alguma característica específica de seus indivíduos, região geográfica de ocorrência, ou até uma homenagem a alguém, a alguma coisa ou ao cientista que registrou a espécie.
- O primeiro nome deve ter sua inicial maiúscula, e o segundo nome deve ser escrito com inicial minúscula.
- Os nomes das espécies devem ser destacados, preferencialmente, em itálico ou sublinhado.
- A subespécie é trinomial (formada por três nomes), como é o caso de um dos vetores da doença de Chagas, o *Triatoma brasiliensis melanica*.

A taxonomia Lineana também se baseia na organização dos seres vivos em grupos hierárquicos que refletem suas características morfológicas e funcionais, perpassando grupos mais amplos e mais restritos.

Cada nível agrupa organismos que compartilham características mais específicas entre si do que com os grupos anteriores, mas nem sempre isso implica em todas as características serem exclusivas desse grupo em relação aos grupos anteriores.

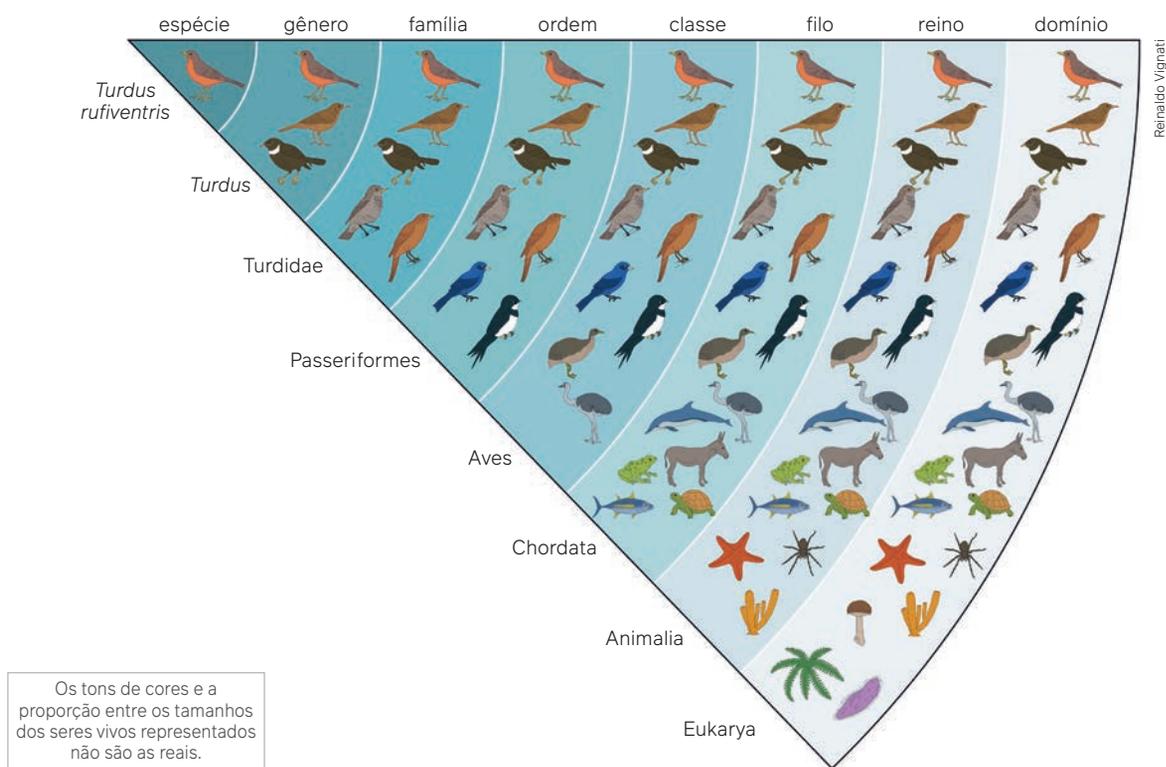
O nível mais restrito é a espécie, conceito que, atualmente, considera aspectos genéticos, ecológicos, evolutivos e de reprodução para definir o que é uma espécie. É importante notar que existem outros conceitos de espécie que também são utilizados em diferentes contextos científicos.



Reinaldo Vignatti

Esquema representativo da hierarquia taxonômica proposta por Linnaeus. Ao longo do tempo, pesquisadores contribuíram para a inclusão de novas categorias taxonômicas.

Analise, a seguir, a taxonomia lineana a partir do *Turdus rufiventris*, conhecido popularmente como sabiá-laranjeira, observando a figura a seguir:



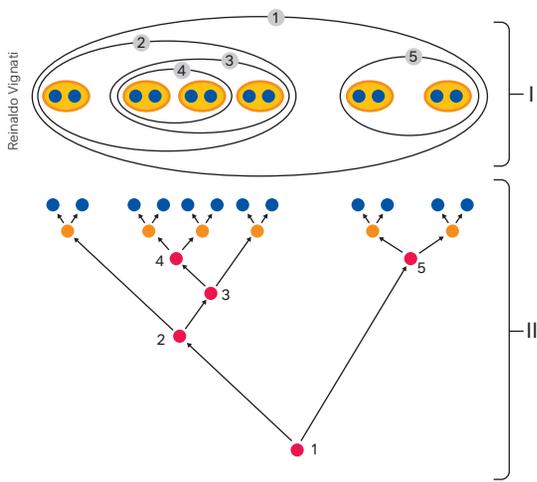
Taxonomia do sabiá-laranjeira.

- Várias espécies com características semelhantes são agrupadas em um gênero. O gênero *Turdus* inclui várias espécies de sabiás, como o sabiá-coleira, o sabiá-ruivo, o sabiá-preto, o tordo africano etc.
- Diversos gêneros relacionados são agrupados em uma família. O gênero *Turdus* e o gênero *Zoothera* pertencem à **família** Turdidae, que inclui todos os sabiás, tordos, piscos e outros gêneros.
- Muitas famílias que compartilham características semelhantes são agrupadas em uma **ordem**. A ordem Passeriformes inclui uma variedade de pássaros diferentes, como cambacicas, cardeais, chupins, arapaçu, corvos e o galo-da-serra.
- Várias ordens relacionadas são agrupadas em uma **classe**. As aves, como o sabiá-laranjeira, pertencem à classe Aves, pois possuem penas, bicos e esqueletos pneumáticos.
- Várias classes relacionadas são agrupadas em um **filo** (também conhecido como **divisão**, no caso das plantas). Por exemplo, o filo Chordata inclui animais com notocorda em algum estágio de sua vida, como vertebrados e alguns invertebrados.
- Vários filis (ou divisões) que compartilham características gerais são agrupados em um **reino**. Por exemplo, o reino *Animalia* engloba todos os animais.
- Por fim, vários reinos com características em comum podem ser agrupados em um **domínio**. Atualmente, os três domínios reconhecidos são Bacteria, Archaea e Eukarya, que englobam todos os seres vivos.

## Se liga

Na nomenclatura biológica, existem convenções específicas para identificar famílias e gêneros de seres vivos. Todas as famílias de animais são identificadas pela terminação *-idae*. As famílias de plantas sempre apresentam a terminação *-aceae*. Um exemplo é a família das roseiras, conhecida como Rosaceae. O gênero de um organismo pode ser seguido por "sp." para indicar uma espécie específica ainda não descrita ou identificada. Por exemplo, *Homo* sp. pode se referir a uma espécie dentro do gênero *Homo* cuja descrição ainda não foi realizada. Se todas as espécies de um gênero estiverem sendo mencionadas, utiliza-se "spp."

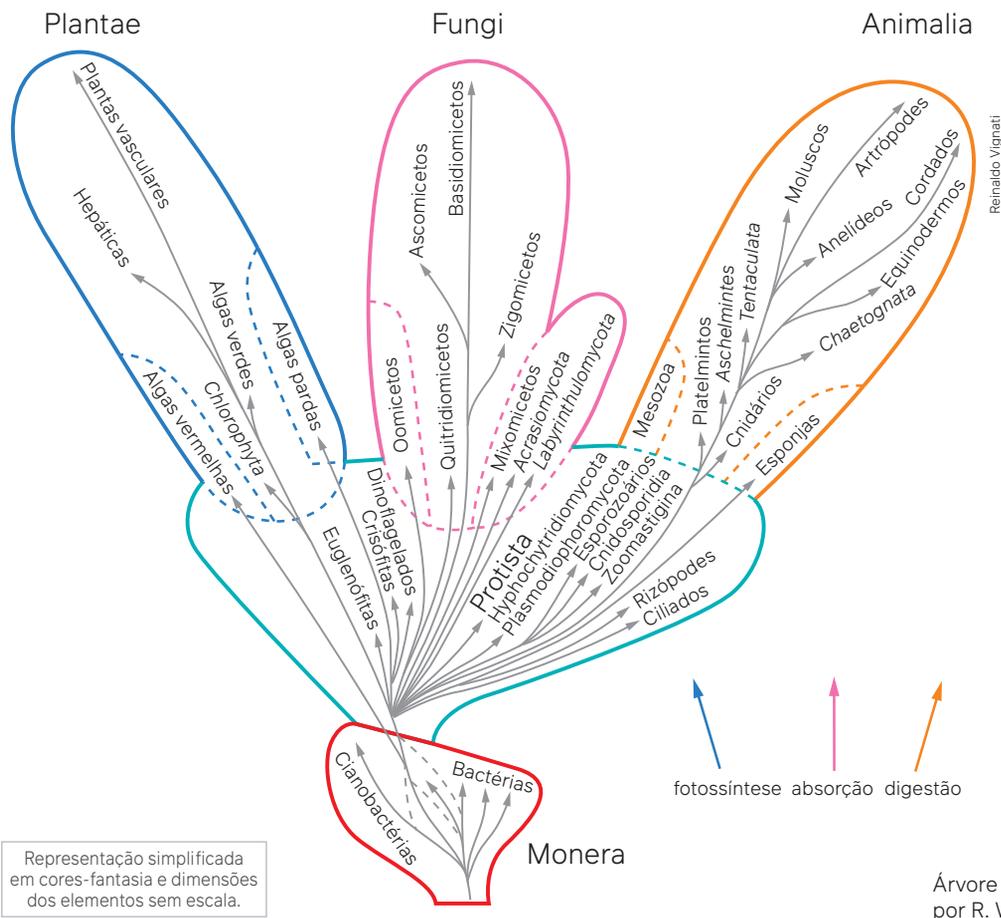
Os trabalhos de Willi Hennig (1913-1976), realizados a partir da década de 1950 com a proposição de uma sistemática filogenética ou **cladística**, trouxeram uma abordagem que se concentra em agrupar organismos com base em características derivadas compartilhadas; ou seja, em traços evolutivos específicos que surgiram em um ancestral comum a um grupo de organismos. Essa metodologia revolucionou a taxonomia ao enfatizar a reconstrução de relações de parentesco com uma metodologia sistematizada.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Dois tipos de diagrama propostos por Willi Hennig em seu livro *Sistemática Filogenética*, que representam as relações de parentesco possíveis entre espécies de um grupo que compartilha um ancestral comum. O diagrama superior (I) mostra relações de parentesco baseadas em conjunto, enquanto o inferior (II) mostra as mesmas relações em forma de árvore ramificada.

Robert Whittaker (1920-1980) contribuiu com a taxonomia ao propor, em 1969, uma classificação em **cinco reinos**: Monera, Protista, Fungi, Plantae e Animalia. Ele considerou não apenas as características morfológicas, mas também a bioquímica e a ecologia dos organismos ao definir esses reinos. Essa abordagem mais abrangente refletiu a crescente compreensão da diversidade biológica.

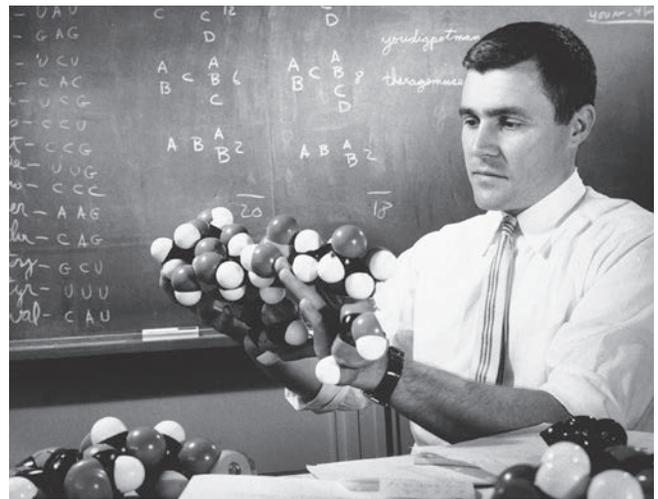


Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Árvore dos cinco reinos proposta por R. Whittaker em 1969.

Carl Woese (1928-2012) e colaboradores desafiaram a visão tradicional da taxonomia, em 1977, ao usar a análise do RNA ribossômico para classificar os seres vivos. Essa linha de pesquisa resultou no arranjo dos seres vivos em três domínios: Bacteria, Archaea e Eukarya.

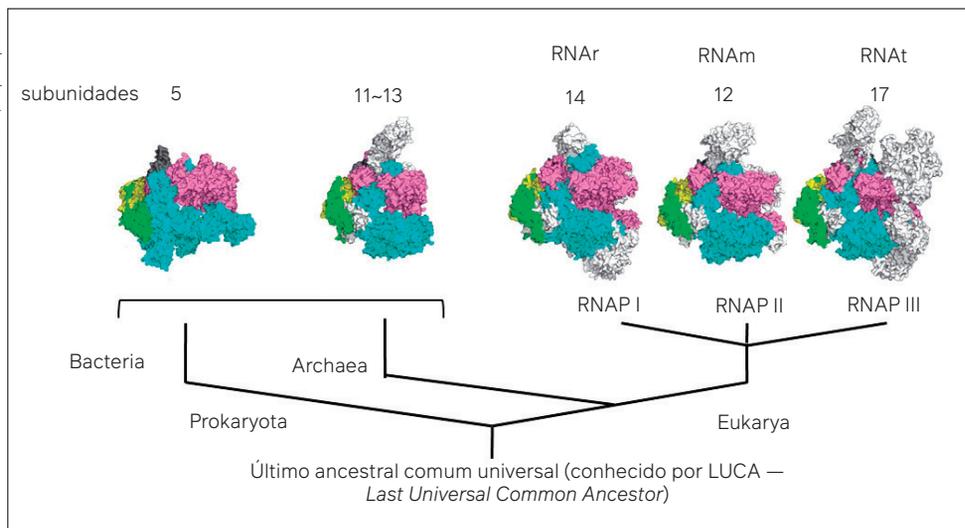
O grupo de pesquisadores evidenciou a existência de duas linhagens de organismos procarióticos – anteriormente classificados no reino Monera por Whittaker. Assim, sugeriu que os integrantes desse reino fossem divididos em dois grupos: Bacteria e Archaea. A divisão proposta por Woese e colaboradores ganharam forças nos anos 1990, com a modernização das técnicas de manipulação de material genético. A distinção entre Bacteria e Archaea representa uma compreensão mais refinada da diversidade procariótica, reconhecendo suas diferenças evolutivas e genéticas.



AP Photo/Imageplus

Professor Carl Woese, em 1961, com um modelo da cadeia de ácido ribonucleico (RNA) que utilizou em suas pesquisas.

Katsuhiro Murakami/Arquivo pessoal



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Estrutura da RNA polimerase nos três domínios da vida. Subunidades homólogas são codificadas por cores e demonstram alto grau de similaridade entre as moléculas, em particular, como o RNAP archaeal se assemelha à RNAP II eucariótica.

## Domínio Bacteria

Abrange um grupo diversificado de microrganismos que possuem células procariontes, o que significa que não possuem núcleo definido ou organelas membranosas. Esse grupo tem uma parede celular composta principalmente de peptidoglicano. As bactérias podem ser encontradas em uma ampla variedade de ambientes, desde solos até o trato digestivo de organismos multicelulares, incluindo seres humanos.

## Domínio Archaea

O domínio Archaea, também conhecido como Arqueas, é uma linhagem de organismos unicelulares procariontes que se diferem das bactérias em sua constituição genética, bioquímica e estrutura celular. Muitos possuem parede celular composta de pseudopeptidoglicano. Arqueas podem ser encontradas em ambientes extremos, como fontes hidrotermais, salinas e solos ácidos.

## Domínio Eukarya

O domínio Eukarya abrange todos os organismos com células de núcleo definido e organelas membranosas, unicelulares ou multicelulares. Os organismos do domínio Eukarya são caracterizados por sua maior complexidade morfológica e fisiológica em comparação com os organismos dos Archaea e Bacteria. O domínio das Arqueas compartilha um ancestral comum com os Eucariontes. Ou seja, embora sejam organismos com constituição celular distinta, há mais similaridade e proximidade evolutiva entre esses dois grupos do que entre Bactérias e Arqueas.



## O trabalho taxonômico

Nesta atividade, você e seus colegas vão explorar o trabalho taxonômico por meio da observação e análise de imagens de seres vivos.

### Procedimento

1. Com quatro colegas, observe as imagens dos seres vivos. Cada grupo receberá imagens de diferentes animais e plantas. Observem atentamente suas características, como forma, tamanho, cor e hábitat, e anotem no caderno.
2. Analisem as características observadas e identifiquem padrões de semelhanças e diferenças entre os seres vivos. Pensem em perguntas como: “Quais seres vivos têm características similares?”, “Há algum aspecto que se repete em diferentes grupos?”.
3. Com base nas semelhanças observadas, crie categorias taxonômicas. Comece agrupando os seres vivos que compartilham características semelhantes em categorias mais amplas. Depois, refine essas categorias em grupos mais específicos.
4. Dê nomes às categorias que vocês criaram. Lembrem-se de que as categorias taxonômicas vão desde as mais amplas (como reino), até as mais específicas (como espécie).
5. Agora é hora de criar modelos visuais para representar suas categorias taxonômicas. Vocês podem desenhar uma “árvore” de categorias, começando com o reino na raiz e ramificando o tronco em grupos mais específicos.

### Trocando ideias



1. Apresentem aos demais grupos as categorias taxonômicas e o modelo visual que vocês criaram. Expliquem a razão de agruparem os seres vivos dessa maneira e como chegaram aos nomes das categorias. Comparem as categorias taxonômicas criadas pelos diferentes grupos. Discutam semelhanças e diferenças nas abordagens e como a classificação pode variar com base nas características observadas.
2. Para concluir a atividade, amplie o conceito de categorias taxonômicas, explicando a hierarquia desde o reino até a espécie. Mostre como essas classificações nos ajudam a organizar a enorme variedade de seres vivos e a entender as relações evolutivas. Pesquisem a respeito dos organismos classificados e façam a distribuição conforme as categorias taxonômicas às quais pertencem.

## Atividades propostas



1. Indique o nome do gênero e o epíteto específico em cada um dos seguintes nomes científicos. Depois, pesquise e identifique características compartilhadas entre as espécies de cada gênero:

a) *Sapajus apella*

b) *Bromelia balansae*

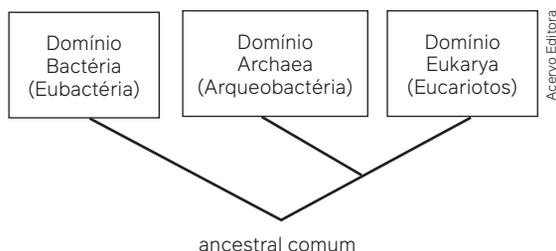
c) *Escherichia coli*

2. Se você fosse denominar as espécies que aparecem nas imagens ao lado, qual nome você daria a elas? Considere que uma pertence ao gênero *Chrysocyon*, da família Canidae, e a outra, ao gênero *Caracara*, da família Falconidae.

Para denominá-las, siga o formato do sistema binomial. Você pode ser criativo, mas deve garantir que os nomes sejam únicos e reflitam as características do organismo.



3. (UFRR-RR – 2019) A árvore filogenética a seguir mostra a classificação biológica dos seres vivos em três domínios propostos por Carl Woese em 1977. Esse modelo é baseado em aspectos evolutivos a partir da comparação de sequências de RNA ribossômico.

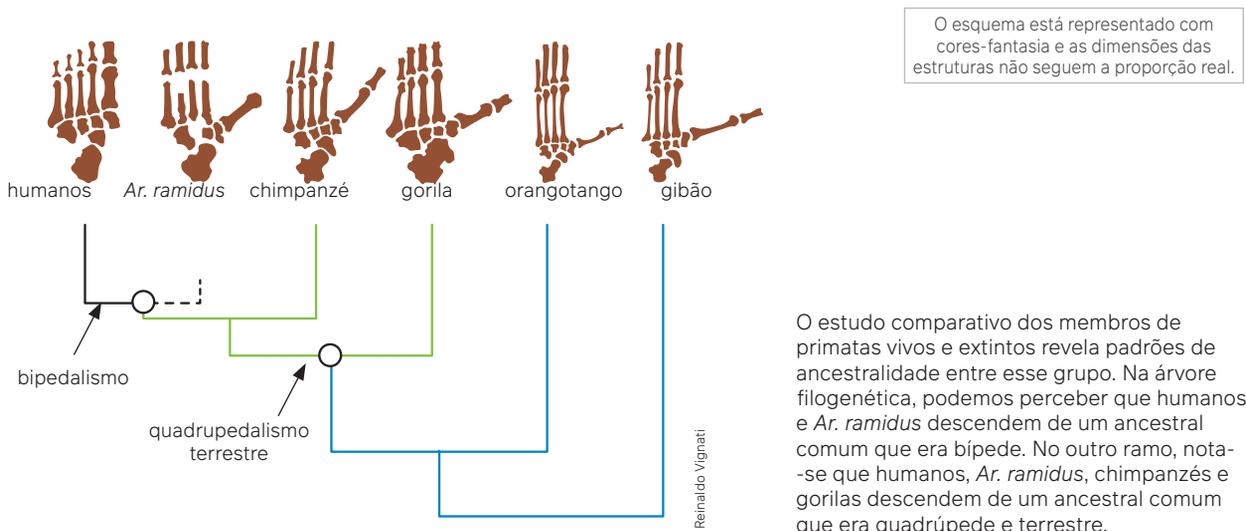


Em relação ao sistema de três domínios assinale a alternativa INCORRETA.

- O ancestral comum dos três domínios possuía ribossomos.
- Os três domínios compartilham um único ancestral comum.
- Os procariontes formam uma única categoria taxonômica.
- O ancestral comum de todos os três domínios apresentava DNA como material genético.
- Archaea e Eukarya compartilham ancestral comum mais recente entre si do que com Bactéria.

## Filogenia

A Filogenia é o estudo que permite reconstruir a história evolutiva dos seres vivos traçando suas relações de parentesco ao longo do tempo. Por meio da análise filogenética, podemos entender como os organismos estão relacionados e como evoluíram a partir de ancestrais comuns. A análise filogenética é representada por meio de diagramas denominados árvores filogenéticas e/ou cladogramas.



### Se liga

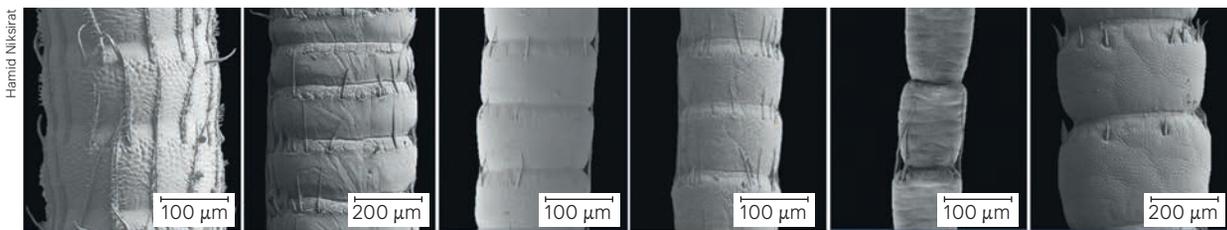
A palavra **filogenia** deriva do grego “*phylon*”, que significa “tribo” ou “raça”, e “*genia*”, que significa “origem” ou “geração”.

A filogenia se baseia na ideia de que os seres vivos compartilham características semelhantes devido à sua herança comum. Essas características podem ser morfológicas, fisiológicas, bioquímicas ou moleculares. Ao identificar e comparar essas características entre diferentes organismos, cientistas são capazes de inferir a relação evolutiva entre eles, os graus de parentesco e, ainda, determinar quais grupos são mais estreitamente relacionados entre si.

# Análise filogenética

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

A **análise filogenética** pode se basear em características morfológicas, ou seja, nos aspectos físicos e estruturais dos organismos, que podem ser observados, medidos e comparados. Essas características incluem a forma do corpo, a estrutura dos órgãos, a presença de apêndices, entre outros. A análise filogenética baseada em características morfológicas utiliza essas informações para identificar padrões de semelhanças e diferenças entre os organismos e inferir a respeito de suas relações evolutivas. Além disso, pode também ser fundamentada em dados moleculares, utilizando informações genéticas para reconstruir as relações filogenéticas entre os organismos.



A morfologia das antenas de lagostins permite traçar relações evolutivas entre essas espécies.

Sistematas podem recorrer à elaboração de matrizes de características para registrar a presença ou a ausência de determinados traços em um grupo de organismos, além de suas variações. Nas matrizes, as características (ou caracteres) são descritas por meio de números que representam suas condições primitivas e derivadas. Por exemplo, o estado “0” pode representar um caractere em sua condição primitiva, e os estados subsequentes (1, 2, 3...), as variações que ocorreram nele com o passar do tempo. A partir dessas matrizes e alinhamentos, algoritmos computacionais podem ser aplicados para construir árvores filogenéticas que reflitam as relações evolutivas entre os organismos estudados.

Os avanços na tecnologia de sequenciamento genético possibilitaram decifrar dados moleculares das espécies relacionados à constituição de seus materiais genéticos. Ao analisar essas sequências, também é possível identificar suas similaridades e diferenças e utilizá-las para inferir as relações evolutivas. A análise filogenética baseada em sequências moleculares é muito utilizada atualmente devido à sua precisão e capacidade de distinguir relações evolutivas em múltiplos tempos evolutivos, inclusive incorporando dados moleculares de registros fósseis fragmentados.

A análise de dados moleculares pode envolver a investigação de informações contidas em genomas inteiros dos organismos, uma abordagem abrangente e detalhada que envolve uma infinidade de dados computacionais. Esses dados são inseridos em *softwares* especializados que utilizam algoritmos matemáticos e estatísticos para analisar as semelhanças e diferenças entre os organismos e identificar suas relações evolutivas.

## sequências não alinhadas

humano	A	C	A	T	T	A	T	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T	A	T	T	
chimpanzé	A	C	A	T	T	A	T	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T	A	T	T	
macaco	A	T	A	T	A	C	A	T	T	A	C	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T

Sequências genômicas alinhadas conferem maior poder de análise sobre as mutações que adicionam ou subtraem trechos de DNA em algum ponto da história evolutiva, como as demonstradas na comparação entre humanos, chimpanzés e macacos.

Fonte: KNOWLES, D. G.; MCLYSAGHT, A. Recent de novo origin of human protein-coding genes. *Genome Research*, [s. l.], v. 19, p. 1752-1759, 2009.

## sequências alinhadas

humano	A	C	A	T	T	A	T	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T	A	T	T	
chimpanzé	A	C	A	T	T	A	T	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T	A	T	T	
macaco	A	T	A	T	A	C	A	T	T	A	C	G	G	A	C	A	G	G	T	A	A	G	T	A	A	A	A	A	C	A	T

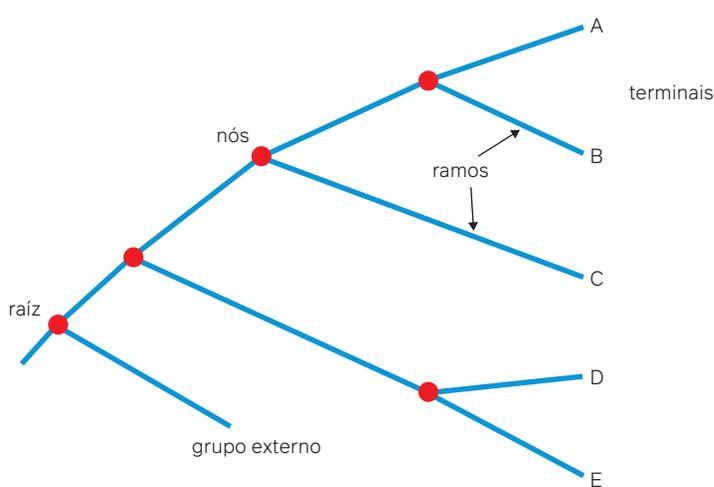
Em muitos casos, a filogenia se vale da combinação de diferentes métodos para obter uma visão mais completa e precisa das relações filogenéticas. Vale ressaltar que as árvores filogenéticas são dinâmicas e passíveis de revisão à medida que se ampliam as evidências e, conseqüentemente, a compreensão das relações evolutivas entre os organismos. Trata-se de uma prática científica que reflete a natureza transitória da Ciência.

## Nomenclatura filogenética

A nomenclatura filogenética é um método que usa definições da área para nomear elementos das árvores filogenéticas. Essa abordagem é diferente da classificação tradicional, proposta por Linnaeus, baseada no agrupamento de organismos com características externas similares, mas que não necessariamente refletem sua história evolutiva.

Os diagramas filogenéticos, como os cladogramas, contêm os seguintes componentes:

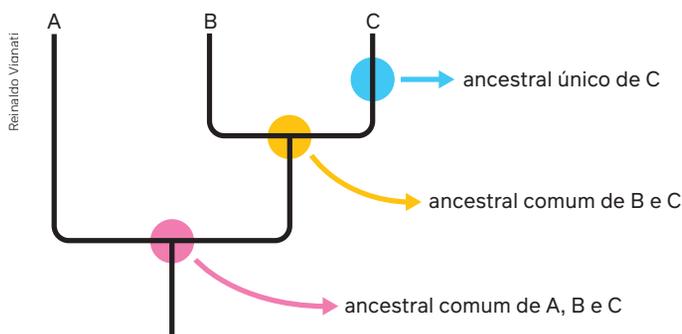
- **Nós:** pontos de ramificação no cladograma que representam a divergência evolutiva, ou seja, quando um ancestral comum se divide em duas ou mais linhagens.
- **Ramos:** são as linhas no cladograma, conectadas pelos nós, e representam as linhagens evolutivas ao longo do tempo.
- **Terminais:** são as pontas dos ramos que representam os grupos de organismos que estão sendo estudados.
- **Raiz:** ponto de origem do cladograma. Representa o ancestral comum mais recente de todos os organismos incluídos na análise. Em alguns estudos filogenéticos, as raízes não são conhecidas.
- **Grupo externo:** grupo de organismos que não fazem parte do grupo principal estudado, mas que podem ser usados como referência para entender as relações evolutivas do grupo de interesse.



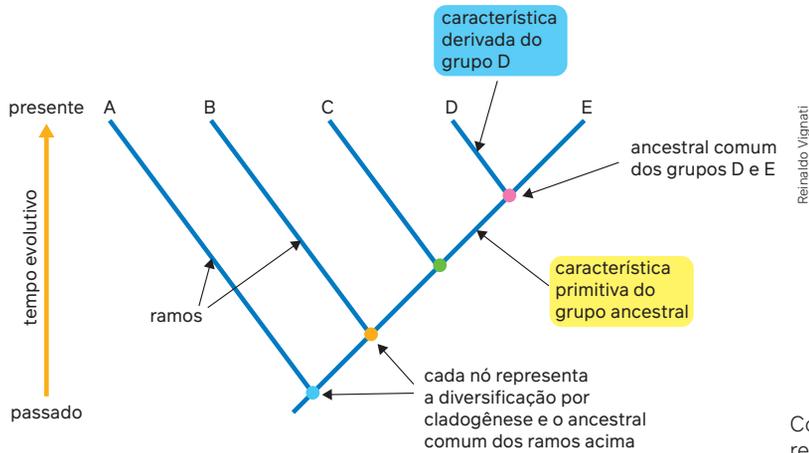
Nos cladogramas, os grupos de organismos são representados em **clados**, linhagens evolutivas comuns a todos os seus descendentes. Um clado inclui um ancestral comum e todos os seus ramos evolutivos. Denominamos de **táxons** as unidades taxonômicas usadas para classificar os organismos, que podem incluir uma única espécie, um grupo de espécies (gênero, família, ordem etc.) ou até mesmo um grupo de táxons. Os táxons podem ou não formar clados, dependendo da proximidade evolutiva entre os organismos incluídos.

Um clado surge a partir de um evento chamado **cladogênese**, um termo usado na Biologia evolutiva para descrever a ramificação ou a divergência das linhagens ao longo do tempo, resultando na origem de novas espécies ou grupos taxonômicos.

Cada clado está incluído em um clado maior. No diagrama a seguir, o clado que representa a linhagem evolutiva do táxon C está contido em um clado maior que abrange a história evolutiva dos táxons A, B e C. Mesmo com sua história ou linha evolutiva particular, o táxon C compartilha uma história anterior com os táxons A e B.

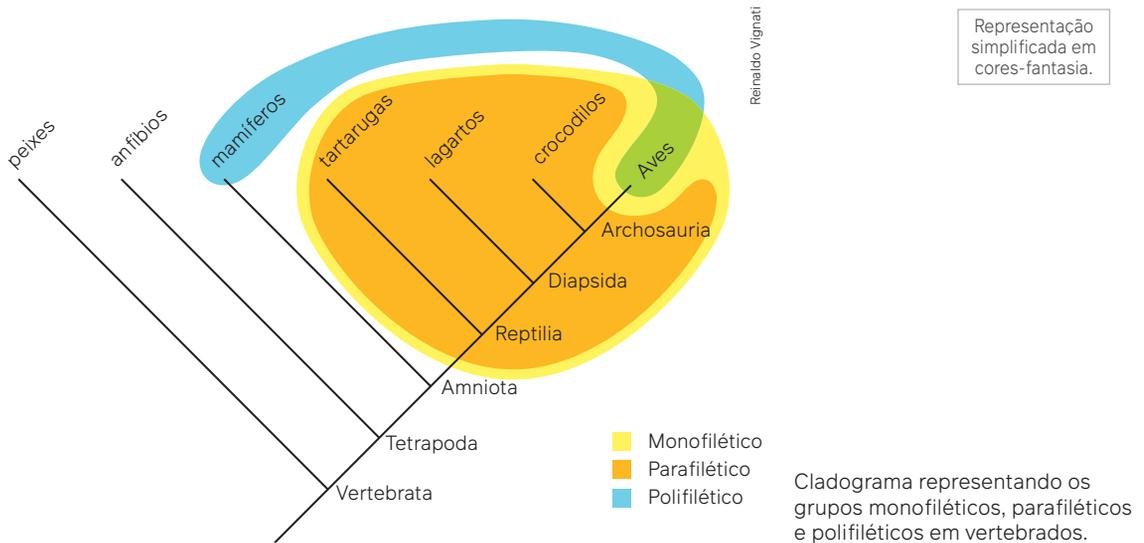


No diagrama a seguir, estão representadas as relações evolutivas entre os grupos taxonômicos hipotéticos A, B, C, D e E. No nó inferior, temos um ancestral comum de todos os grupos A, B, C, D, E; o nó seguinte representa o ancestral comum aos grupos B, C, D, E; e assim por diante. Analisando o cladograma, podemos afirmar que o táxon E compartilha um ancestral comum com o táxon D, ou seja, é possível afirmar que ele tem maior grau de parentesco com este do que com os demais táxons representados.



Outros conceitos essenciais para a interpretação dos cladogramas são:

- **Grupo monofilético:** grupo formado pelo ancestral comum e todas as linhagens de um clado.
- **Grupo parafilético:** conjunto de organismos com um ancestral comum e alguns, mas não todos, os descendentes desse ancestral.
- **Grupo polifilético:** formado por linhagens que não compartilham um ancestral comum exclusivo, dispersos em cladogramas não relacionados na árvore.

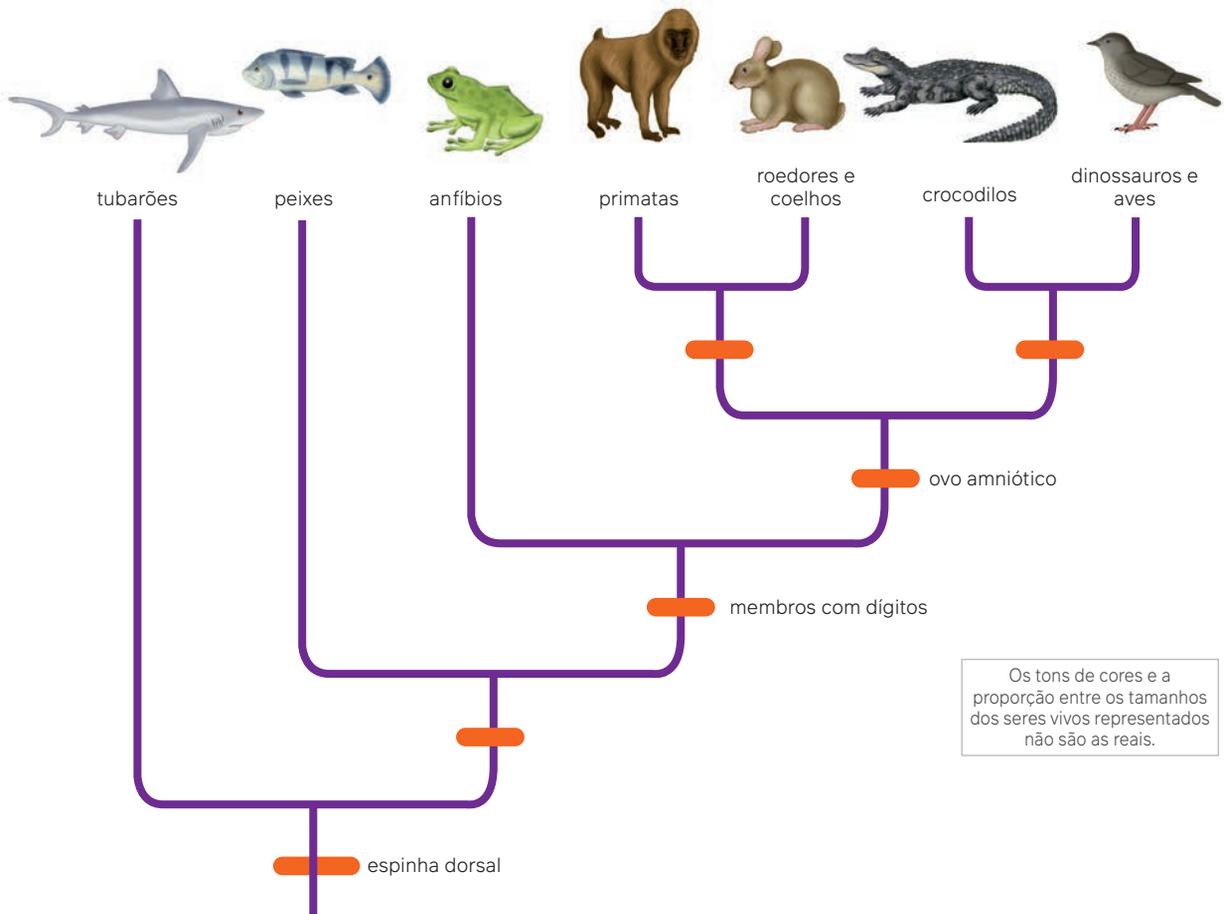


No cladograma de vertebrados, observa-se que o grupo azul, com mamíferos e aves, são táxons polifiléticos. Isso significa que esses dois grupos não compartilham um ancestral comum exclusivo no contexto do cladograma. Esse agrupamento foi tradicionalmente baseado em características superficiais como a homeotermia e outras adaptações funcionais, não refletindo as relações filogenéticas mais precisas obtidas por meio de análises moleculares e morfológicas detalhadas. Em laranja, está representado um grupo parafilético historicamente denominado de classe Reptília. Esse grupo parafilético inclui crocodilos, lagartos, serpentes e tartarugas, mas não compartilha um ancestral comum exclusivo. Em amarelo, está representado um grupo monofilético denominado Sauropsida, que inclui tanto répteis quanto aves, formando um clado com todos os descendentes do ancestral comum. Os grupos parafiléticos e polifiléticos surgem de agrupamentos tradicionais feitos sem considerar relações filogenéticas baseadas em metodologias estatísticas modernas.

## Crítérios para agrupamento filogenético

As características compartilhadas (ou homólogas) entre os organismos podem ser morfológicas, moleculares, comportamentais, embriológicas, entre outras. A ideia-chave é que características compartilhadas entre grupos de organismos podem indicar uma origem comum e uma história evolutiva conjunta.

As características podem ser divididas em dois tipos: **caracteres ancestrais** (ou plesiomorfias) e caracteres derivados (ou apomorfias). Os caracteres ancestrais são características encontradas em um ancestral comum de um grupo de organismos, enquanto os caracteres derivados surgiram ao longo da evolução e são exclusivos de um grupo específico. Os **caracteres derivados** são importantes para distinguir grupos dentro de uma linhagem, pois indicam inovações evolutivas que definem clados específicos. Por exemplo, a presença de penas é um caractere derivado exclusivo das aves, enquanto a presença de membros com dígitos é um caractere ancestral compartilhado por todos os tetrápodes.



A presença de espinha (ou tubo nervoso) dorsal é um caractere ancestral presente em todos os representantes de vertebrados. A presença de ovo amniótico é um caractere derivado presente apenas nos mamíferos, crocodilos, dinossauros e aves.

**Sinapomorfias** são características derivadas e compartilhadas entre um grupo de organismos, mas que não estão presentes em outros grupos relacionados. Por exemplo, no diagrama dos vertebrados, a presença de espinha dorsal é uma sinapomorfia de todos os grupos; já o ovo amniótico é uma sinapomorfia de todos os tetrápodes exceto os anfíbios. Essas características são indicativas de um clado específico, ou seja, de um grupo de organismos que inclui um ancestral comum e todos os seus descendentes.

Ao identificar sinapomorfias, cientistas podem agrupar os organismos em um novo táxon, formando uma classificação hierárquica que reflete as relações de parentesco evolutivo desses organismos.



## O que é um protista?

A pergunta do título poderia ser respondida facilmente na década de 1970, após a publicação de Robert Whittaker, em 1969, que apresentou uma proposta de classificação dos organismos em cinco reinos. Contudo, com as mudanças e avanços na sistemática filogenética nas décadas seguintes, a resposta para a pergunta tornou-se algo mais complexo e controverso. A referida complexidade tem em sua origem as múltiplas definições para o termo protista que surgiram ao longo do tempo, algumas das quais ainda vigoram na literatura.

Para entendermos o porquê das controvérsias a respeito do conceito de protista, precisamos retroceder até meados do século XIX. Ernest Haeckel propôs, em 1866, um sistema de classificação com três reinos como uma alternativa ao sistema dicotômico de Linnaeus, que previa dois reinos (animal e vegetal).

[...] Desse modo, organismos como bactérias, algas, fungos e até alguns animais foram incluídos no reino Protista. O sistema de três reinos perdurou por longos anos até que Hebert Copeland apresentou um sistema com quatro reinos. A grande contribuição de Copeland foi desmembrar o reino protista, retirando deste os organismos unicelulares sem núcleo, que passaram a ser incluídos em um quarto reino, o Reino *Mychota* ou Monera (Copeland, 1956). Os quatro reinos de Copeland, entretanto, não solucionaram o problema do termo protista. Copeland inclusive usou o termo *Protoctista* de John Hogg, 1861, para designar organismos primitivos e nessa concepção manteve sob essa designação os organismos unicelulares nucleados, mas também organismos multicelulares como algas e fungos. Robert Whittaker em 1969 ao apresentar o sistema de cinco reinos (Whittaker, 1969) criou o reino *Fungi* para a inclusão dos fungos, que até então eram considerados também como protistas. O avanço da proposta de Whittaker não se limitou na criação de mais um reino, mas restringiu o reino Protista para organismos unicelulares com núcleo. Com isso, na proposta de Whittaker além dos fungos que foram transferidos para o Reino *Fungi*, as algas multicelulares também foram retiradas do reino Protista e posicionadas entre as plantas.

O trabalho de Whittaker poderia ter colocado fim ao polêmico uso do termo protista, entretanto, na década de 1980, Lynn Margulis e Karlene Schwartz [...] apresentaram uma proposta também de cinco reinos baseadas em Whittaker (1969). [...]. As autoras retornaram as algas multicelulares para o grupo, anulando nessa concepção, a definição apresentada por Whittaker para protista, como sendo exclusiva de organismos unicelulares com núcleo. Com essa modificação as autoras adotaram novamente o termo *Protoctista*, como reino que incluiria organismos primitivos [...].

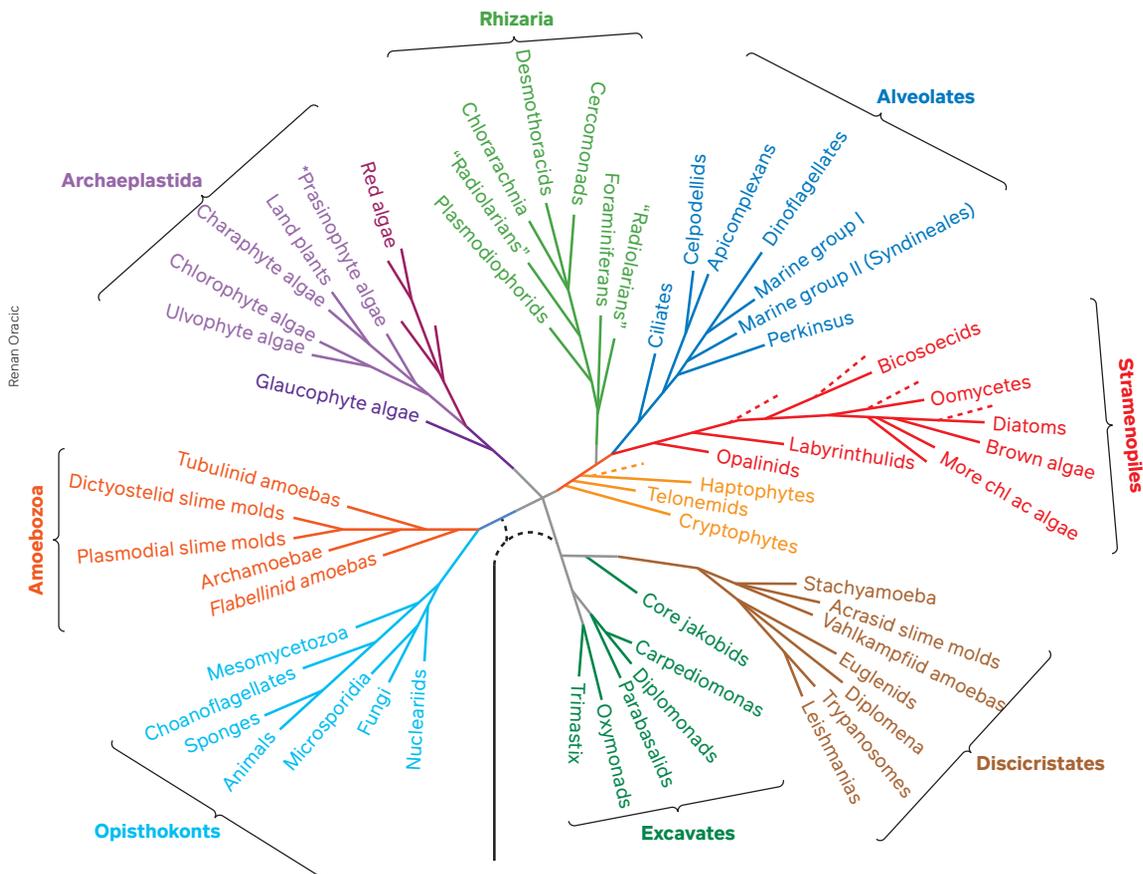
Thomas Cavalier-Smith em 2004 apresentou outra proposta de classificação com seis reinos, sendo que nessa proposta o termo protista é totalmente suprimido e os organismos unicelulares eucariontes distribuídos nos demais reinos, sendo a maioria deles alocados nos reinos *Protozoa* e *Chromista* [...].

Com os avanços das análises morfológicas e moleculares dos últimos anos, e consequentes mudanças nas propostas da sistemática filogenética de *Eucarya*, nem mesmo a definição apresentada por Whittaker para protista se sustenta, pelo menos do ponto de vista filogenético [...]. Os estudos filogenéticos têm demonstrado que a unicelularidade está presente em diversas linhagens de *Eucarya* [...].

A atual filogenia dos eucariontes mostra, na verdade, que a multicelularidade é a exceção, e teria surgido de modo independente em algumas linhagens. A sistemática filogenética também tem mostrado que as controversas algas multicelulares agrupadas em Protista ou *Protoctistas* por Haeckel e por Copeland e consideradas como pertencentes ao reino *Plantae* por Whittaker e que haviam sido novamente consideradas como protoctistas por Margulis e Schwartz seriam na verdade plantas. Desse modo, as chamadas algas verdes e vermelhas, mas não as pardas, estariam incluídas no clado *Plantae*. Do mesmo modo, tem-se concluído que algumas algas unicelulares (protistas pela definição de Whittaker) como, por exemplo, *Clamydomonas*, *Pandorina*, *Volvox*, dentre outras, são plantas unicelulares.

[...]

RODRIGUES, A. F. S. F. O que é um protista? *Revista de Biologia Neotropical*, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 114-116, 2018.



Árvore que representa um consenso sobre a filogenia dos principais grupos de eucariotos, elaborada com base em dados moleculares e ultraestruturais.

Fonte: BALDAUF, S. L. An overview of the phylogeny and diversity of eukaryotes. *Journal of Systematics and Evolution*, Beijing, v. 46, n. 3, p. 263-273, 2008. Disponível em: <https://www.jse.ac.cn/EN/10.3724/SP.J.1002.2008.08060>. Acesso em: 30 jul. 2024.

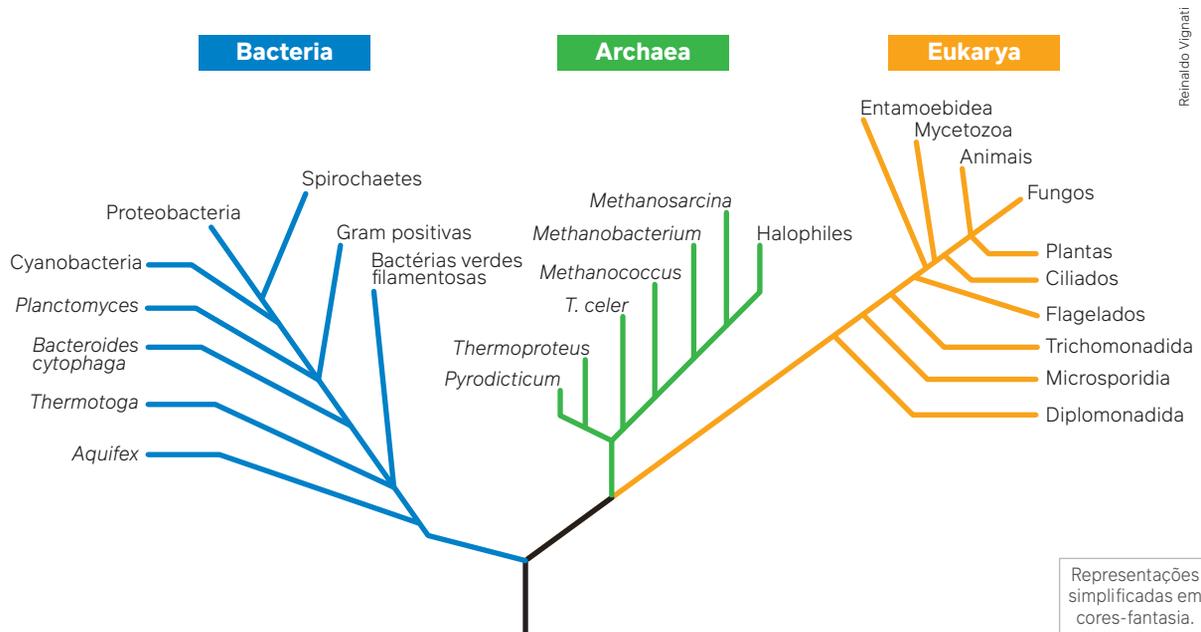
## Trocando ideias



1. Elabore uma linha do tempo com as principais alterações realizadas para a categoria taxonômica Reino, apresentada no artigo e estudada no capítulo.
2. Sobre as algas multicelulares:
  - a) Identifique como foram agrupadas nas diferentes propostas ao longo do tempo.
  - b) Como você explica essas diferentes proposições?
  - c) De acordo com a árvore dos eucariotos, onde estão posicionadas as algas multicelulares? O que isso revela sobre a evolução desses organismos?
3. Pesquise quais organismos estão agrupados no Reino Chromista proposto por Thomas Cavalier-Smith.
4. Em outra parte do artigo, não mencionada no trecho, é feito o seguinte questionamento: "Se considerarmos que a tendência atual das Ciências Biológicas é adotar um sistema de classificação com base na filogenia e que Protista não é um grupo monofilético, estaria o termo caminhando para o desuso?".
  - a) Explique o contexto da pergunta.
  - b) O que significa dizer que Protista não é um grupo monofilético?
  - c) Por que o termo caminharia para o desuso?
  - d) Compartilhe suas respostas com os colegas e promovam uma discussão a respeito do tema e da pergunta do autor. Não se esqueça de elaborar seus argumentos para explicar o que pensa sobre o assunto.

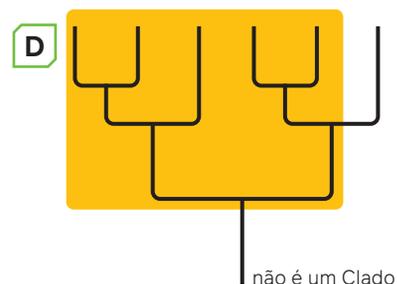
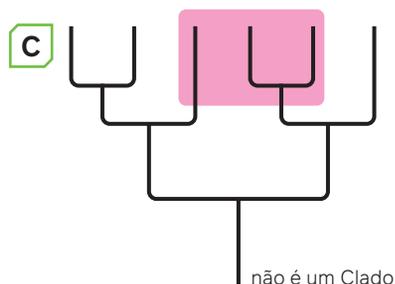
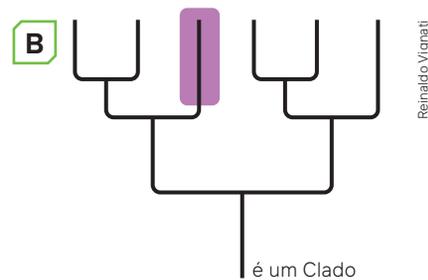
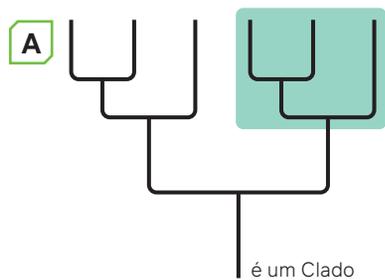


1. Observe atentamente a filogenia dos três domínios proposta por Carl Woese e representada na figura a seguir:



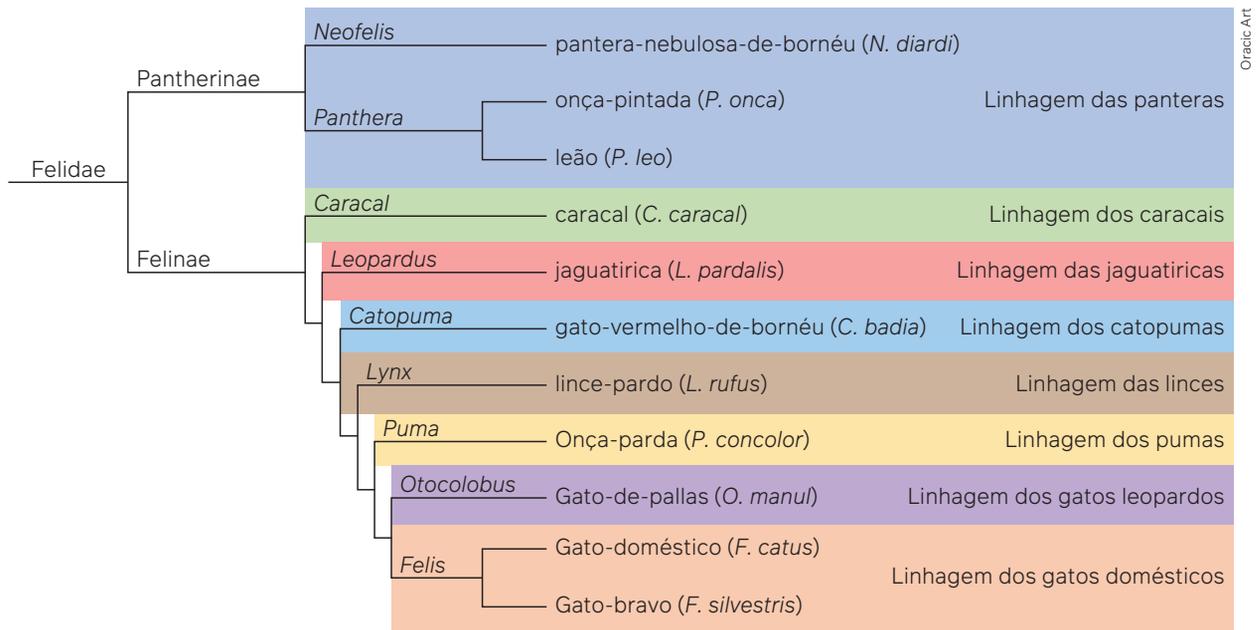
Reinaldo Vignati

- Destaque os ancestrais comuns dos principais grupos: Bactéria, Archaea e Eukarya.
  - Identifique características-chave que são representativas de cada domínio, podem ser morfológicas, fisiológicas ou moleculares.
  - Em duplas, compartilhem suas observações a respeito das características que identificaram e elaborem um breve texto que explique as relações evolutivas representadas na filogenia dos três domínios.
  - Explique, com base na imagem, por que *Entamoebidea*, *Mycetozoa* e *Cyanobacteria* não formam um grupo monofilético.
2. Observe as árvores filogenéticas. Explique a razão de nas árvores A e B as áreas destacadas representarem clados, mas nas árvores C e D as áreas destacadas não representarem clados.



Reinaldo Vignati

3. Estudos recentes têm desafiado a visão tradicional dos répteis, revelando que esta não constitui um grupo monofilético. De acordo com essas pesquisas, para ser considerado monofilético, o táxon Reptilia incluiria as aves (classe Aves). Portanto, se excluirmos as aves e considerarmos apenas tartarugas, lagartos, serpentes e crocodilianos, o táxon Reptilia seria classificado como parafilético. Diante desse exemplo, responda às questões:
- O que são grupos parafiléticos e monofiléticos?
  - O que são características homólogas e como elas podem ser usadas para agrupar diferentes táxons?
4. Analise a seguir a filogenia da família Felidae e responda às questões.



Filogenia dos felinos.

Fonte: LI, G.; DAVIS, B. W.; EIZIRIK, E.; MURPHY, W. J. Phylogenomic evidence for ancient hybridization in the genomes of living cats (Felidae). *Genome research*, [s. l.], v. 26, n.1, p.1-11, jan. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26518481/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

- Os grandes felinos, como o leão, a onça-pintada, a pantera-nebulosa-de-bornéu e a onça-parda, compartilham um ancestral comum exclusivo? Explique.
- Considerando que o gênero *Panthera* é monofilético, como você explica a ocorrência das onças-pintadas e leões em continentes diferentes?
- Tendo em vista que a onça-pintada e a onça-parda são felinos de gêneros distintos, como você explica a ocorrência dessas duas espécies de onças no continente americano?
- Conte a história evolutiva dos gatos-domésticos, considerando sua ancestralidade, parentes próximos e parentes distantes. Para isso, utilize, no mínimo, quatro níveis taxonômicos presentes na filogenia.

## Recapitule

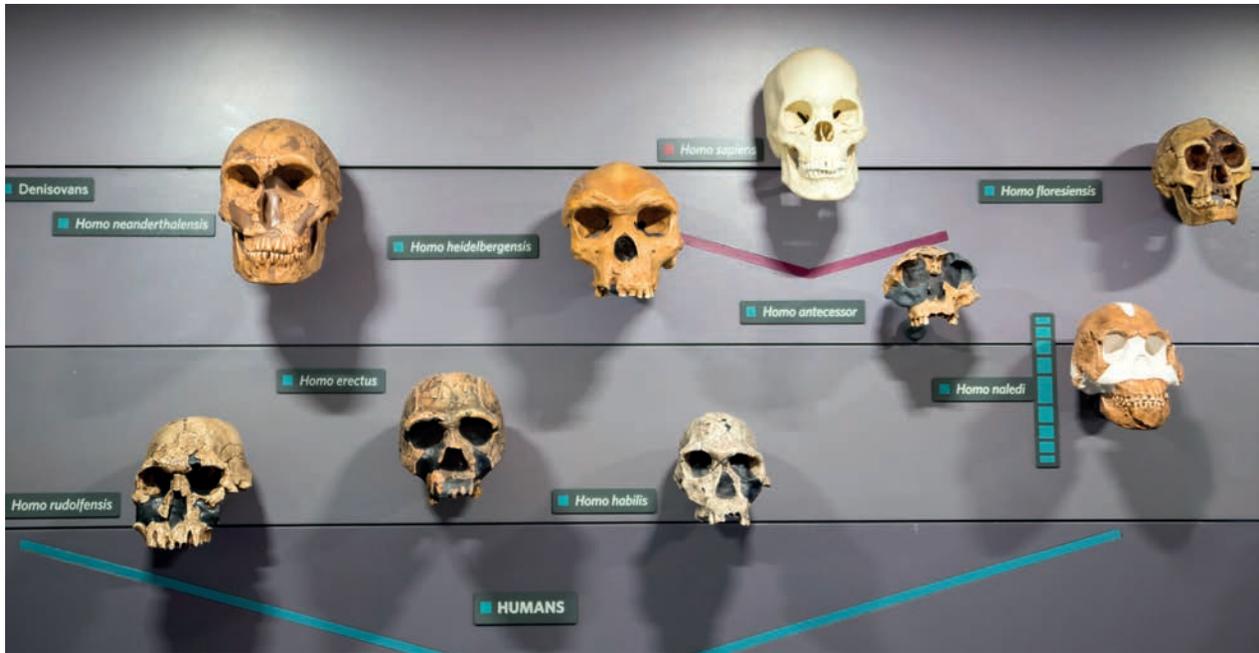


Este capítulo abordou a sistemática, atentando para a taxonomia, ciência que descreve e classifica os seres vivos em categorias com base em suas características semelhantes; e a filogenia, que estuda as hipóteses relacionadas com as histórias evolutivas dos seres vivos, desde seus ancestrais até os seres recentes.

Os estudos em taxonomia organizam as espécies, classificando-as não apenas por ordenamento, mas identificando, estudando e comunicando informações sobre os seres vivos. A taxonomia é uma área em constante modificação, uma vez que é alterada conforme novos conhecimentos são elaborados.

Para finalizar este capítulo, convidamos você a elaborar um cladograma de um grupo de seres vivos de seu interesse. Os táxons podem ser espécies, ordens, famílias, ou o que você desejar. O importante é que possam ser representadas as relações de ancestralidade e parentesco de variados seres vivos, recapitulando os conceitos estudados. Para finalizar, socializem as filogenias com outras turmas do mesmo ano por meio de murais físicos ou digitais.

# Evolução dos primatas



Crânios de homínidos em exposição no *National History Museum* em Londres, 2018.

## ▼ Para refletir

1. Observe os crânios representados na imagem. Quais diferenças podemos perceber entre eles?
2. A que podemos atribuir as diferentes características das espécies do gênero *Homo* apresentados na imagem?
3. Quais semelhanças você consegue perceber entre os seres humanos e outros primatas, como macacos-prego, chimpanzés e gorilas?

## Objetivos do capítulo

Consulte no *Manual do Professor* as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Identificar as principais características dos primatas.
- Comparar as semelhanças e as diferenças entre seres humanos e outros primatas e explicar a evolução dessas características ao longo do tempo.
- Reconhecer os marcos na história evolutiva do gênero *Homo*.
- Distinguir as características das espécies do gênero *Homo* e compreender as mudanças ambientais contemporâneas à origem da espécie *Homo sapiens*.
- Analisar a evolução humana além do aspecto biológico, explorando fatores culturais, sociais e comportamentais.
- Discutir como o uso de ferramentas, o pensamento e a linguagem contribuíram para a formação das sociedades humanas ao longo do tempo.
- Avaliar o impacto da evolução humana no meio ambiente e refletir sobre a responsabilidade da nossa espécie na preservação do planeta.

# Taxonomia evolutiva de primatas

Os primatas são um grupo diversificado de animais que compartilham entre si algumas características, como mãos hábeis com polegares opositores, visão estereoscópica e natureza social. O grupo inclui macacos, símios (como gorilas e chimpanzés) e seres humanos.

## Mãos hábeis e polegares opositores

Uma das características mais marcantes na evolução dos primatas é a presença de mãos hábeis e polegares opositores que possibilitam agarrar objetos com precisão e realizar uma variedade de movimentos complexos. Essa habilidade manual é essencial para o uso de ferramentas. A capacidade de manipular objetos permite a realização de tarefas que exigem coordenação e destreza, como a construção de abrigos e a obtenção de alimentos de formas mais eficazes.



Ismar Ingber/Pulsar Imagens

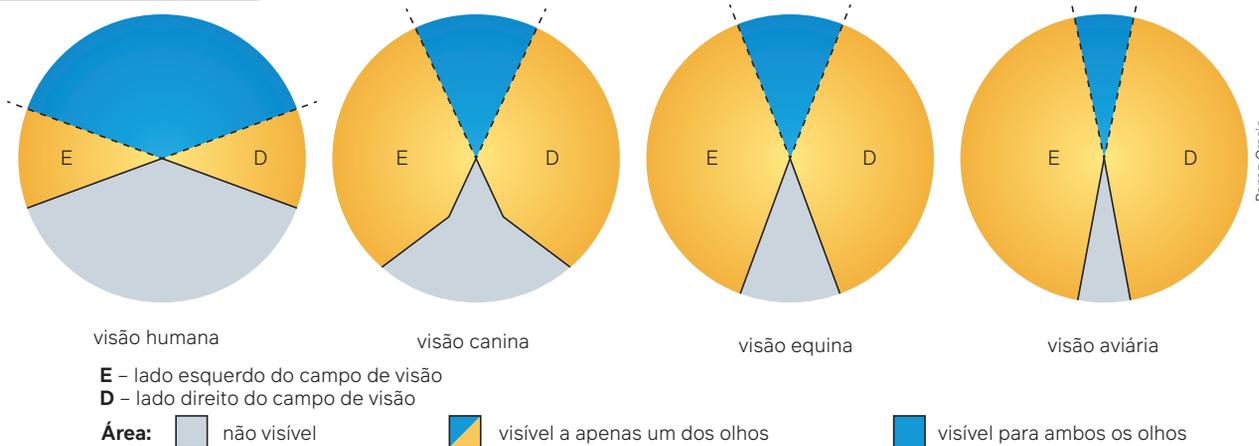
Mãos hábeis e polegares opositores possibilitam elaborar desenhos rebuscados e confeccionar ferramentas.

## Visão estereoscópica

A **visão estereoscópica** permite julgar a distância com precisão, tanto para saltar de galho em galho nas árvores, no caso dos macacos, quanto para perceber a distância de objetos e ações ao redor, por exemplo. Essa habilidade é resultado do posicionamento frontal dos olhos em muitos primatas.

A visão humana é caracterizada por uma combinação das visões periférica e central. A visão periférica é essencial para detectar movimentos e objetos ao nosso redor, enquanto a visão central permite focar detalhes específicos.

Representação simplificada em cores-fantasia.



Renan Oracic

Visão periférica comparada entre humanos, cães, cavalos e aves.

Fonte: NICOLLS, M. What is an animal's Arc of Vision? In: NICOLLS, M. *Similar but different in the animal kingdom*. [S. l.]: Strategic Book, 6 jan. 2021. Disponível em: <https://similarbutdifferentanimals.com/2021/01/06/what-is-an-animals-arc-of-vision>. Acesso em: 10 jun. 2024.

## Natureza social

Comparados a outros mamíferos, os primatas têm cérebros relativamente grandes. Isso está relacionado ao desenvolvimento da aprendizagem social, do pensamento e da linguagem.

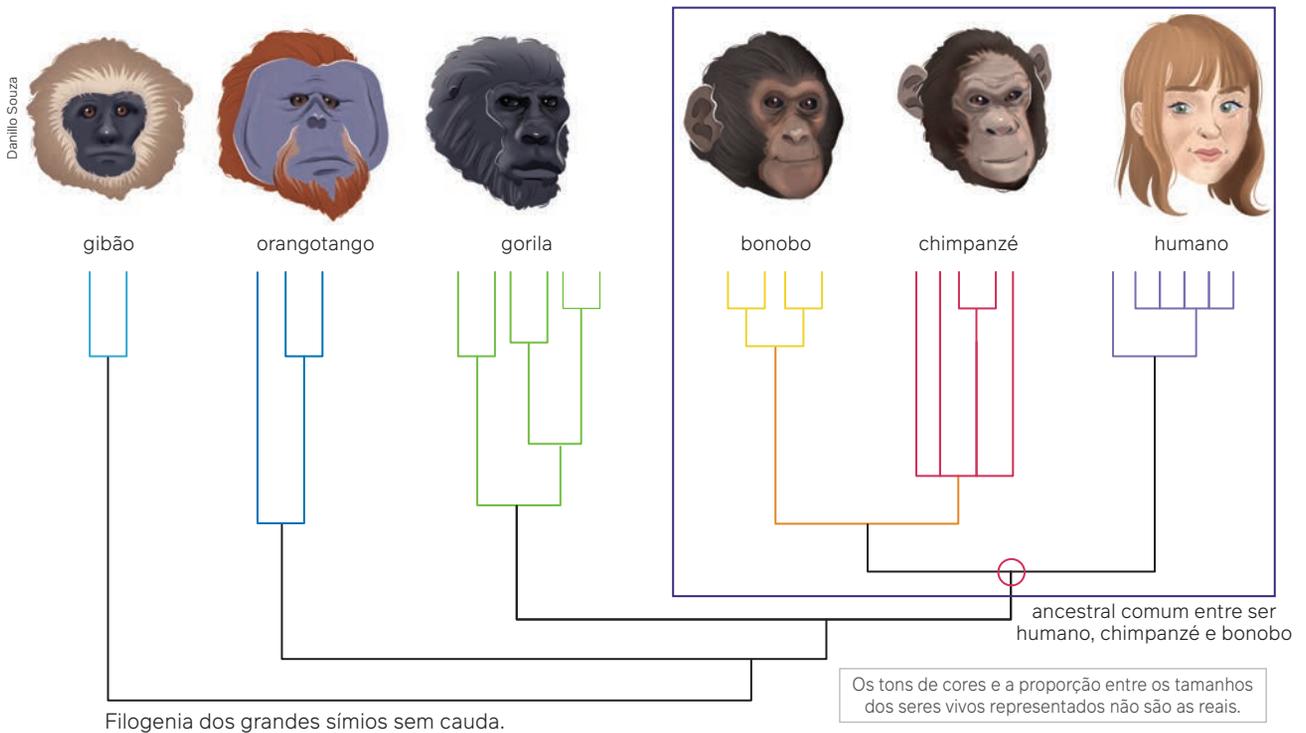
A habilidade de pensar, planejar e aprender se manifesta de inúmeras maneiras, como a comunicação, que desempenha um papel fundamental na complexidade das sociedades primatas. Além das vocalizações, os primatas utilizam uma variedade de formas de comunicação, como gestos e expressões faciais.

## #FicaADica

**O poder entre os macacos**, de Ricardo Zorzeto (*Revista Pesquisa Fapesp*, 2016). A reportagem detalha e divulga resultados de pesquisas científicas que mostram como as disputas sociais e a capacidade de se orientar no ambiente para achar comida moldaram o cérebro dos primatas. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-poder-entre-os-macacos/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

## Parentes próximos dos humanos

Os grandes primatas compartilham um ancestral comum que viveu há cerca de 8 milhões de anos. A linhagem Hominoidea engloba os grandes símios e se divide em duas famílias principais: Hylobatidae, que compreende os gibões (também conhecidos como “gibões menores” ou “siamangs”), e Hominidae, que inclui os grandes símios, como orangotangos, gorilas, chimpanzés, bonobos e humanos.



Fonte: SANTOS, F. R. Evolução Humana I: A ordem Primata e nossos parentes mais próximos. In: UFMG. Departamento de Biologia Geral. Belo Horizonte: UFMG, 2012. Disponível em: <https://labs.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/evol/aula24-evolhuml-primatas.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2024.

No grupo dos primatas, os parentes mais próximos dos seres humanos são os chimpanzés e os bonobos. Observar sua morfologia, seus comportamentos sociais, suas formas de comunicação e o uso de ferramentas permite inferir como nossos antepassados podem ter vivido.

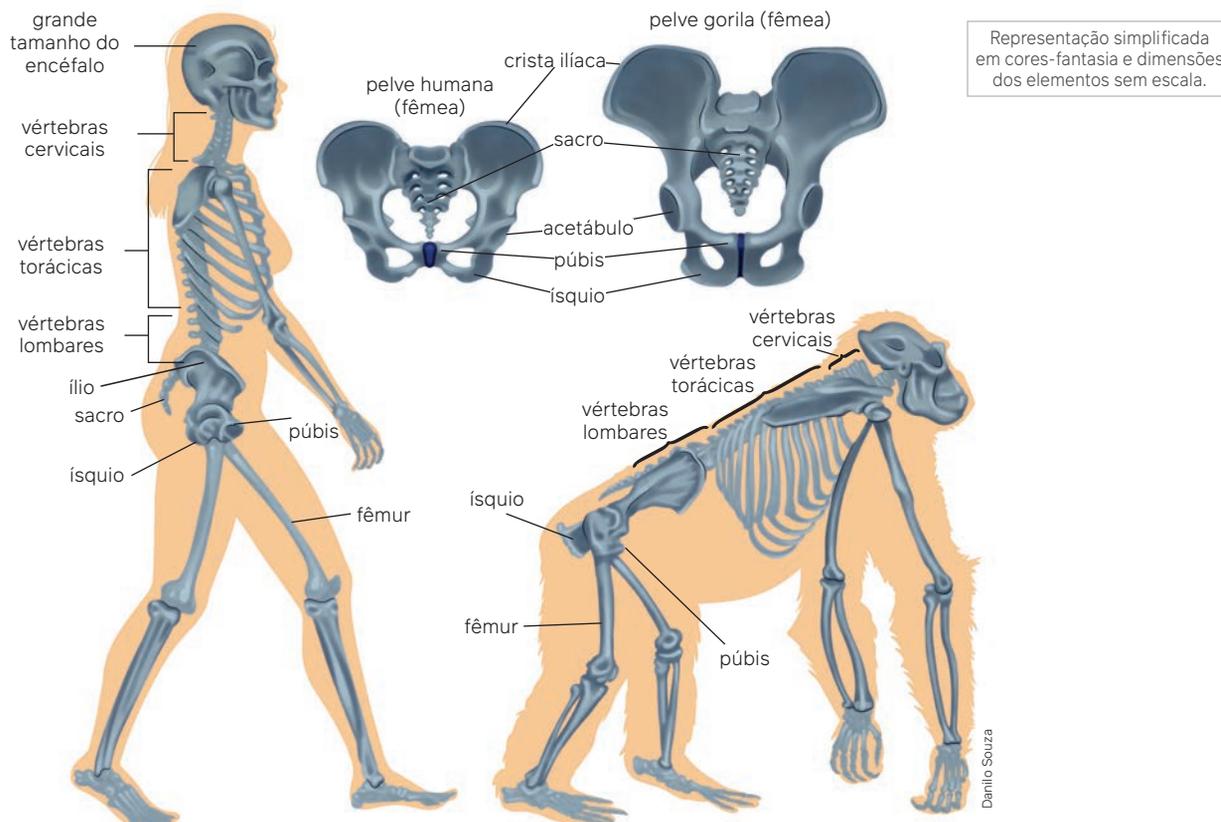
Em comparação com os demais primatas, os grandes primatas possuem maior tamanho do encéfalo, especialmente do cérebro se comparado ao tamanho de seu corpo; clavícula alongada, ombros, tórax e quadril mais largos, pois o tronco é achatado no sentido dorsoventral; vértebras caudais vestigiais (côccix, nos humanos) e ausência de cauda.

## Gorilas

Os gorilas, representados pelas espécies *Gorilla gorilla* (gorilas ocidentais) e *Gorilla beringei* (gorilas orientais), são os maiores primatas vivos. Habitando as florestas tropicais da África Central, esses primatas têm uma sociedade baseada em grupos de oito a dez indivíduos liderados por um macho dominante. Essa estrutura social é mais comum entre os gorilas ocidentais.

Os gorilas são caracterizados por sua robustez, tórax largo, longos braços e pernas curtas. Sua locomoção é realizada apoiando os braços no chão ou na postura bípede. Essas características físicas distintivas contribuem para a adaptação desses primatas ao ambiente florestal.

Observe algumas diferenças entre o esqueleto humano e do gorila no esquema comparativo a seguir.



Esquema comparativo de esqueletos humano e de um gorila. O esqueleto humano é adaptado para a locomoção bípede, com uma pelve ampla e curvada para suportar o peso vertical, enquanto o esqueleto de gorila reflete uma adaptação à locomoção quadrúpede, caracterizada por braços longos e pernas mais curtas. Além disso, o crânio humano apresenta maior volume, testa mais vertical e face menos **prognata** em comparação com o crânio do gorila. Essas diferenças refletem as distintas estratégias de adaptação ao ambiente e estilo de vida de cada espécie.

Fonte: LEWIN, R. *Human Evolution: An Illustrated Introduction*. 5 ed. Boston: Blackwell Scientific Publications, 2005. p. 96.

### GLOSSÁRIO

**prognata:** relação da posição da mandíbula ou da maxila com a base do esqueleto, ficando projetada para frente.

## Orangotangos

As três espécies de orangotangos (*Pongo pygmaeus*, *Pongo abelii*, *Pongo tapanuliensis*) habitam as florestas da Indonésia e da Malásia e são conhecidos por seu estilo de vida solitário. Diferentemente dos demais grupos de grandes primatas, estes possuem hábitos arborícolas e quase não vão para o solo. Um comportamento observado nesses grupos é o de proteger-se da chuva utilizando folhas.

## Chimpanzês e bonobos

Os chimpanzês habitam as florestas tropicais da África, exibem mãos hábeis, cérebros desenvolvidos e se organizam em sociedades complexas.

Os bonobos residem nas florestas da República Democrática do Congo e destacam-se por suas sociedades pacíficas. Diferentemente da imagem muitas vezes associada aos chimpanzês, os bonobos são conhecidos por resolver conflitos por meio do compartilhamento e do comportamento sexual.

Essas duas espécies locomovem-se sobre as árvores, usando principalmente os braços, e, em solo, alternando entre as posturas quadrúpede e bípede.

Tanto na natureza como em cativeiro, há registros de fabricação e do uso de ferramentas por essas espécies, assim como de transmissão de informações entre gerações.

Thomas Henry Huxley (1825-1895) foi um cientista inglês que apresentou evidências sobre a proximidade evolutiva entre seres humanos e chimpanzês. Ele chegou a essa proposição – inovadora no âmbito científico daquela época – ao comparar as características anatômicas dessas espécies. Tais evidências foram reafirmadas por meio do estudo de fósseis e da análise comparativa de moléculas como o DNA. Atualmente foi possível observar, por exemplo, que a similaridade genética entre seres humanos e chimpanzês é de cerca de 98,5%.



## Jane Goodall: evolução e comportamento animal

Nesta seção, vamos explorar a jornada de Jane Goodall (1934-), uma pesquisadora inglesa da área de primatologia, apoiada principalmente por Louis S. B. Leakey (1903-1972), um paleoantropólogo com especial interesse em primatas e no estudo sobre a origem da espécie humana. Leia o texto a seguir.

Em meados de 1960, a jovem monta acampamento na Reserva de Gombe Stream, às margens do Lago Tanganica. Seu pai, Vanne Morris-Goodall, vai como acompanhante da filha, já que o governo tanzaniano não permitia que mulheres vivessem sozinhas na floresta. Jane estabelece seus próprios métodos de pesquisa e segue seus instintos na busca e observação dos chimpanzés da reserva. Não os via somente como objeto de estudo, mas seres com distintas personalidades e comportamentos, fugindo da abordagem e tratamento científico tradicional. Foi criticada por cientistas da área por não ter designado números como forma de identificação de cada animal, mas achava tal conduta equivocada e insensível. Fifi, Flo, Sr. McGregor e David Greybeard foram alguns dos nomes escolhidos pela pesquisadora para os animais com quem convivia diariamente e que a permitiam acessar as particularidades da organização e cotidiano da espécie.

Na época, acreditava-se que primatas não ingeriam carne. Entretanto, foi a partir das observações de Goodall que tal crença foi contradita, ao relatar a cena em que um dos animais se alimentava da carcaça de outra espécie menor. Os chimpanzés eram, então, onívoros, assim como seus parentes humanos. Em outra ocasião, a pesquisadora observou David Greybeard, com sua característica “barba” grisalha, pegar um talo de capim, retirar suas folhas e enfiá-lo em um cupinzeiro. O capim voltava cheio de cupins presos a ele, que eram devorados por David. Nos livros de história, é comum vermos que uma das habilidades que diferenciam o ser humano como “ser racional” é sua capacidade cognitiva de construir e usar ferramentas.

[...]

### Recepção pela sociedade conservadora

Em um momento histórico onde a sociedade tradicional dissuadia mulheres de seguir carreira científica, Jane Goodall abriu caminho pelo ambiente conservador e machista da ciência e da mídia.

Ao longo de sua carreira, se deparou com uma classe majoritariamente masculina que não a levava a sério, chefes de meios de comunicação que queriam roteirizar suas ações e explorar sua “boa aparência” em troca de apoio a sua pesquisa, além do controle de parceiros de trabalho que esperavam interesses amorosos em relações estritamente profissionais.



Jane Goodall com um chimpanzé em Gombe, Tanzânia, 2005.

Em entrevista ao El País, Jane, já com 86 anos, relata os comentários que ouviu de muitos cientistas no lançamento do primeiro documentário produzido pela empresa que a patrocinava: “Por que temos que escutar a Jane? É só uma garota, sem uma graduação, que obteve o apoio da National Geographic porque tem umas pernas bonitas...”. Em outra ocasião, o veículo midiático Associated Press inicia sua reportagem sobre ela com a seguinte frase: “loura esguia com mais tempo para macacos que para homens contou hoje como passou 15 meses na selva estudando os hábitos dos primatas”.

[...]

Com a ajuda de Leakey, foi aceita em um programa de doutorado na Universidade de Cambridge, sendo uma das raras ocasiões em que alguém sem diploma de graduação é admitido pela instituição. Assim que finalizou seus estudos, retornou à reserva para montar uma estação de pesquisa. Em 1986, ela assistiu, em uma conferência em Chicago, a exposições de cientistas que mostravam abusos e crueldades que chimpanzés viviam ao redor do mundo, mantidos em cativeiro em pequenas gaiolas como cobaias em laboratórios médicos.

Com isso em mente, Jane decidiu criar, em 1991, o Programa Roots & Shoots, que hoje atua em quase 100 países treinando jovens desde a pré-escola até a universidade para trabalhar em questões ambientais, humanitárias e de conservação. Seu propósito é incentivar as novas gerações a fazer mudanças positivas nas sociedades onde vivem e, assim, melhorar o meio ambiente, a vida das pessoas e dos animais. Na mesma entrevista citada acima, para o veículo jornalístico El País, a pesquisadora diz que é preciso encontrar urgentemente maneiras alternativas de vida que não envolvam a destruição do meio ambiente. Para tal, ela ressalta a importância da educação e do empoderamento de jovens adultos, para que se tornem conscientes de seu potencial como agentes de mudança.

Na sua visão, os jovens de hoje em dia são a esperança para o futuro, dedicados de coração e alma a fazer uma diferença no mundo, assim como ela já foi, uma jovem garota com olhar sensível para uma espécie tão próxima.

GUIMARÃES, M. E. A. M. Jane Goodall: a mulher que revolucionou a primatologia.

*Espaço do Conhecimento UFMG*, Belo Horizonte, 8 mar. 2023. Disponível em:

<https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/jane-goodall-a-mulher-que-revolucionou-a-primatologia/>

Acesso em: 10 jun. 2024.

## Trocando ideias



1. Quais foram algumas das observações de Jane Goodall em relação ao comportamento dos chimpanzés?
2. Explique por que o estudo do comportamento de chimpanzés na natureza poderia ajudar em pesquisas sobre a evolução humana.
3. A história da Ciência mostra que o trabalho das mulheres foi, muitas vezes, ocultado dos registros. Apesar de a visibilidade das mulheres estar aumentando, o sexismo ainda se mantém nos dias de hoje. Neste sentido, identifique no texto os desafios que Jane Goodall enfrentou na comunidade científica e na mídia. Reflita sobre como esses desafios podem representar exemplos contemporâneos de violência e discriminação enfrentados por mulheres na produção científica, considerando casos veiculados na mídia em diferentes locais e culturas. Que estratégias podem contribuir para mudar esse quadro?

## Atividades propostas



1. No livro *Eu Primata: por que somos como somos?* (2007), o autor e etólogo Frans de Waal declara acreditar que, em nível celular, o ser humano é essencialmente egoísta e competitivo, como qualquer animal. No entanto, psicologicamente, teria herdado tendências de cooperação e socialização. De acordo com o que foi estudado no capítulo, que outros primatas se assemelham ao ser humano nesses dois aspectos: cooperação e socialização?
2. Leia o texto a seguir e, depois, faça o que se pede.

Os símios compreendem um grupo diversificado de primatas, incluindo chimpanzés, gorilas, orangotangos, gibões e seres humanos. Este grupo compartilha um ancestral comum mais recente do que com outros grupos de primatas, como os lêmures e os macacos do Novo Mundo.

Texto elaborado pelos autores para esta obra.

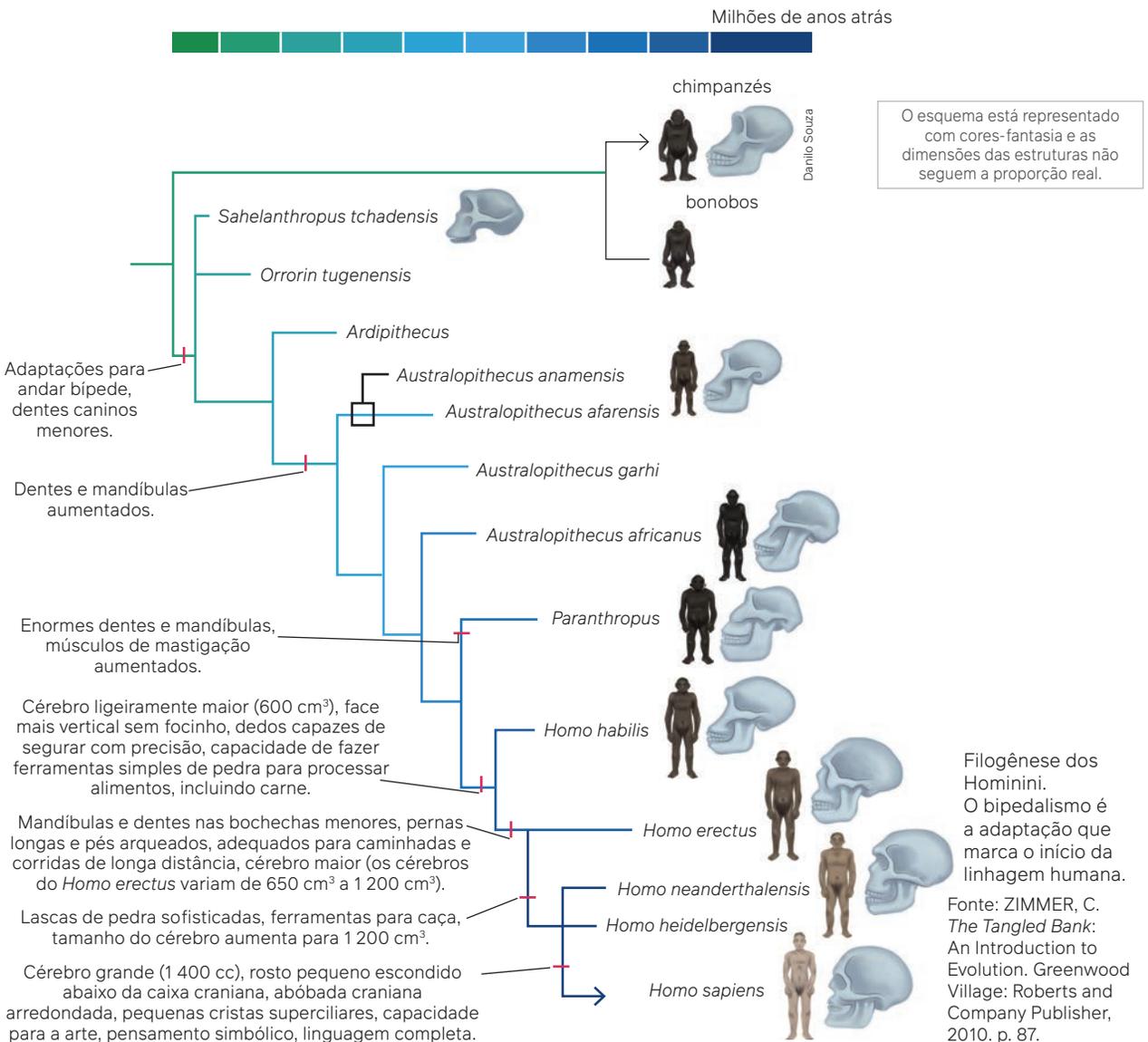
Considerando o texto, explique a importância do ancestral comum compartilhado entre os símios para o entendimento sobre a história evolutiva dessas espécies.

# Taxonomia evolutiva humana

Acredita-se que o início da linhagem humana tenha sido marcado pelo bipedalismo, inicialmente alternado com outras formas de locomoção. Essa característica é identificada a partir da morfologia da parte superior dos ossos da coxa e do joelho de fósseis de hominídeos. Os ancestrais dos humanos surgiram na África e, ao longo da evolução, alguns migraram para outros continentes. Nesse processo, passaram por inúmeras mudanças ao longo do tempo. Essas adaptações possibilitaram a vida em diferentes ambientes, como florestas tropicais, savanas e até mesmo desertos e florestas temperadas. O desenvolvimento da capacidade de caminhar em duas pernas, por exemplo, pode ter sido uma adaptação que viabilizou que eles se deslocassem com mais eficiência em áreas abertas, como savanas, liberando as mãos para usar ferramentas e caçar. Já o aumento do tamanho e a complexidade do cérebro humano pode ser resultado do processo de seleção natural, favorecendo o desenvolvimento cognitivo, o que permitiu o desenvolvimento de linguagem, raciocínio e resolução de problemas.

## Principais linhagens

O fóssil de Hominini mais antigo que se tem conhecimento é o *Sahelanthropus tchadensis*, descrito em 2002 e datado entre 7 e 6 milhões de anos. No entanto, várias espécies foram registradas, e a classificação dos fósseis frequentemente gera debates entre os cientistas. Isso porque diferentes hipóteses surgem em relação ao nível de parentesco evolutivo com o ser humano moderno. Este capítulo foca na exposição de apenas algumas espécies menos controversas e, ao mesmo tempo, de gêneros mais representativos da linhagem humana: o *Australopithecus* e o *Homo*.



Os paleoantropólogos, que estudam a evolução biológica humana, procuram formular hipóteses a respeito de como e quando essas espécies surgiram. Para responder a essas questões, cientistas contam principalmente com o registro fóssil. Já foram encontradas diversas formas fósseis, em diferentes partes do mundo, que guardam semelhanças com o ser humano, mas que também apresentam algumas diferenças que indicam tratar-se de espécies distintas de hominíneos.



Javier Trueba/insr/SFPL/Fotoarena

Pesquisadora examina fósseis do sítio Sima de los Huesos, na Serra de Atapuerca, Espanha.

## #FicaADica

**Museu Virtual da Evolução Humana**, São Paulo (SP): Neste *site*, você encontra diferentes informações sobre a evolução humana e registros de fósseis de hominídeos.

Mais informações em: Laboratório de Estudos Evolutivos Humanos, da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://evolucaohumana.ib.usp.br/proposta/propostas.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.

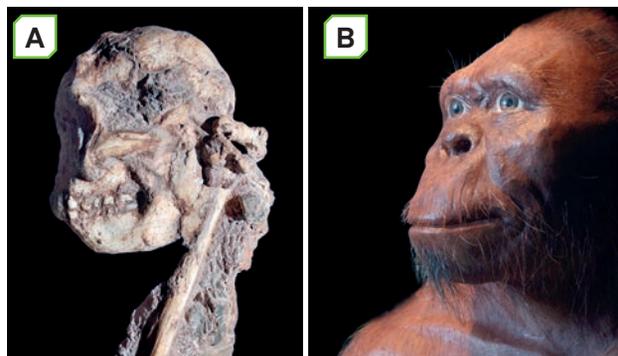
## Gênero *Australopithecus*

Os **australopithecíneos** são um grupo de primatas que viveu na África entre 4 e 2 milhões de anos aproximadamente.

Foram encontrados muitos registros fósseis da espécie *Australopithecus afarensis*, que habitou a Etiópia, o Quênia e a Tanzânia há cerca de 3 a 4 milhões de anos. Segundo estudos, esses primatas teriam vivido por 900 mil anos.

Esses primatas eram bípedes e possuíam braços longos e fortes com dedos curvados, adaptações que possibilitavam também viver em árvores.

Patrick Landmann/SPL/Fotoarena



(A) O esqueleto quase completo do australopiteco Little Foot foi encontrado nas cavernas Sterkfontein na África do Sul entre 1994 e 1998. Estima-se que tenha aproximadamente 3,67 milhões de anos. (B) Reconstrução artística em cera da cabeça do australopiteco, feita com base no crânio.

Patrick Landmann/SPL/Fotoarena



Bloomberg/Getty Images



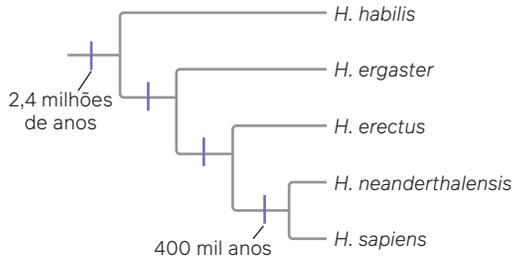
geogphotos/Alamy/Fotoarena

(A) Esqueleto de Lucy, um fóssil de um *Australopithecus afarensis* que viveu na África há 3,18 milhões de anos. (B) Modelo tridimensional que buscou reconstituir a aparência da espécie.

## Gênero *Homo*

O gênero *Homo*, que inclui os seres humanos modernos, é caracterizado por uma linhagem evolutiva diversificada ao longo do tempo.

Entre as espécies do gênero *Homo* identificadas, destacam-se: *Homo habilis*, *Homo ergaster*, *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* e *Homo sapiens*. Cada uma dessas espécies ocupou diferentes períodos ao longo da história, com diferentes estimativas aproximadas de suas existências.



Renan Oracic

Árvore filogenética do gênero *Homo*.

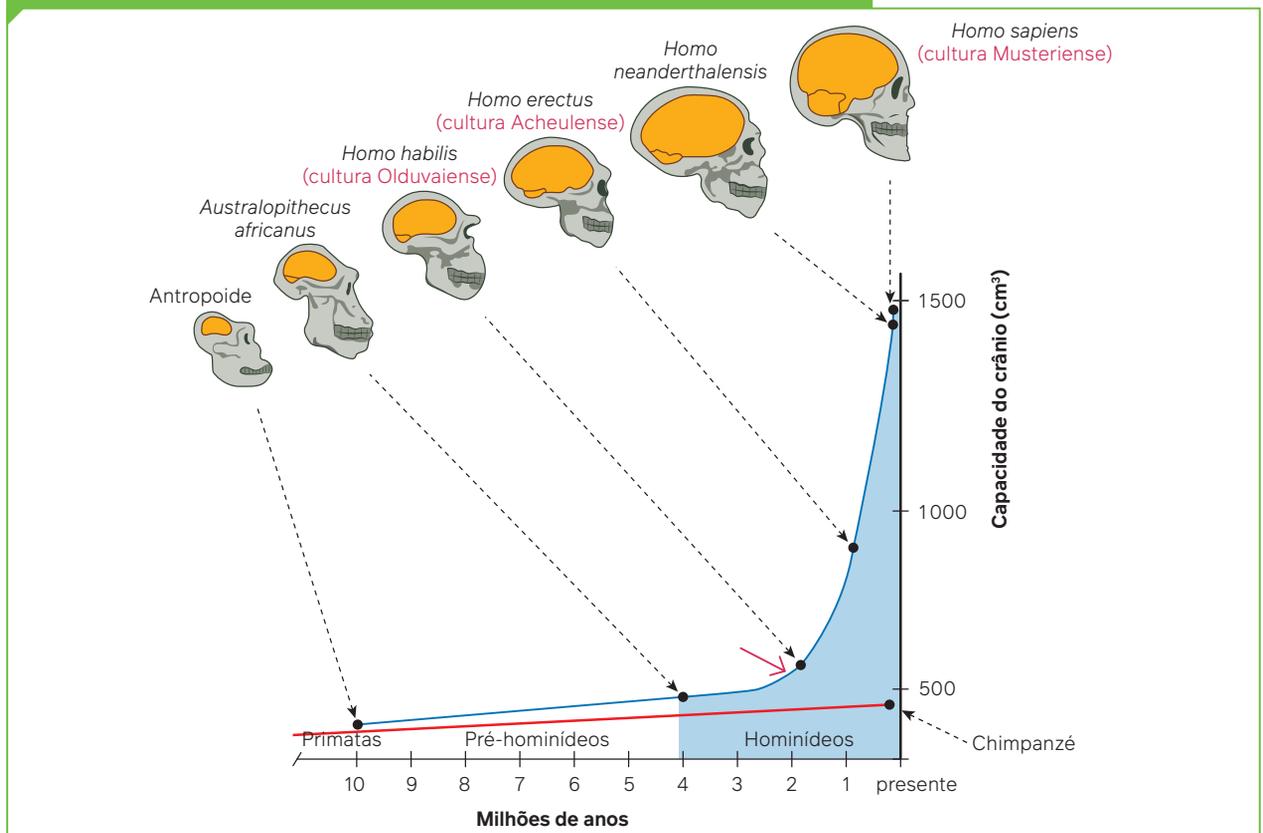
Fonte: ZIMMER, C. *The Tangled Bank: An Introduction to Evolution*. Greenwood Village: Roberts and Company Publisher, 2010. p. 81.

O *Homo habilis* é datado de cerca de 2,4 a 1,4 milhões de anos atrás; o *Homo erectus*, de aproximadamente 1,9 milhão até 140 000 anos atrás; o *Homo neanderthalensis*, de cerca de 400 000 a 40 000 anos atrás; e o *Homo sapiens*, espécie dos humanos atuais, surgiu por volta de 300 000 anos atrás. Essas estimativas proporcionam uma visão geral da diversidade temporal das espécies dentro do gênero *Homo* ao longo da evolução humana.

Uma das características notáveis entre vários membros desse gênero é a expansão do tamanho do cérebro em relação ao corpo. Essa expansão tem sido associada a um aumento na capacidade de pensamento complexo, planejamento e resolução de problemas. Além disso, muitas espécies, incluindo o *Homo habilis*, destacam-se como pioneiras na fabricação de ferramentas de pedra.

### Transição do tamanho craniano (ordenado) ao longo do processo evolutivo de vários pré-hominíneos e hominíneos ancestrais

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Guilherme Ericson

Fonte: BRETAS, R. V.; YAMAZAKI, Y.; IRIKI, A. Phase transitions of brain evolution that produced human language and beyond. *Neuroscience Research*, [s. l.], v. 161, p. 1-7, dez. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168010219304882>. Acesso em: 10 jun. 2024.

Conforme as espécies do gênero *Homo* evoluíram, também desenvolveram traços culturais e sociais mais complexos do que outros símios. Isso sugere um senso de cultura e simbolismo. Esse senso se refere à capacidade das espécies de criar e usar símbolos, como linguagem, arte e ferramentas, para expressar ideias, comunicar-se e construir conhecimento. Isso inclui o desenvolvimento de rituais, artefatos culturais e práticas sociais que refletem uma compreensão complexa do mundo e das relações sociais, indo além das necessidades básicas de sobrevivência. Além disso, a habilidade de construir abrigos e usar o fogo demonstrou uma interação mais sofisticada com o ambiente.



Reconstrução de um enterro de um neandertal em *La Chapelle-aux-Saints*, na França. A descoberta original no local, em 1908, continua sendo uma das mais famosas e debatidas de todos os tempos.

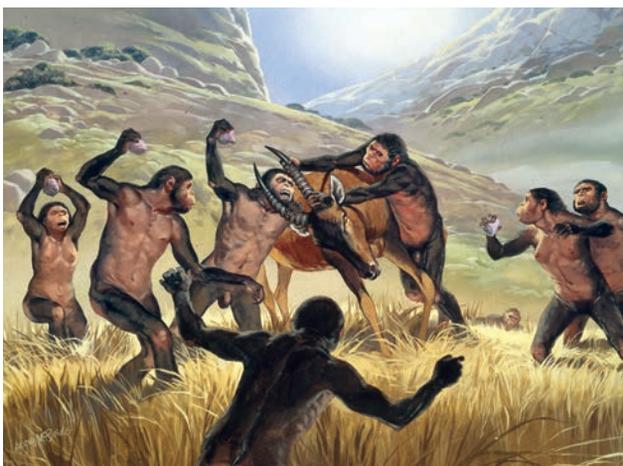
A capacidade de se deslocar e de se adaptar a novos climas e recursos é uma evidência da flexibilidade das espécies do gênero.

A espécie *Homo habilis* foi uma das primeiras a desenvolver ferramentas feitas de pedra, o que proporcionou uma mudança no estilo de vida. O desenvolvimento de habilidades motoras finas necessárias para criar e manipular as ferramentas pode ter contribuído para a expansão cerebral do *Homo habilis*.

O *Homo ergaster* foi uma das primeiras espécies a se aventurar fora de seu ambiente. Essa migração marcou um momento significativo na história evolutiva à medida que buscavam novos recursos e oportunidades em terras desconhecidas.

O *Homo erectus* deu um passo ainda mais ousado ao se deslocar para fora do continente de origem e colonizar várias partes do mundo. Essa espécie habilidosa enfrentou desafios diversos, desde mudanças climáticas até a interação com outros grupos de homínios.

The Natural History Museum, London/Science Source/Fotoarena



Representação de um grupo de *Homo habilis* caçando.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados nas ilustrações desta página não são as reais.

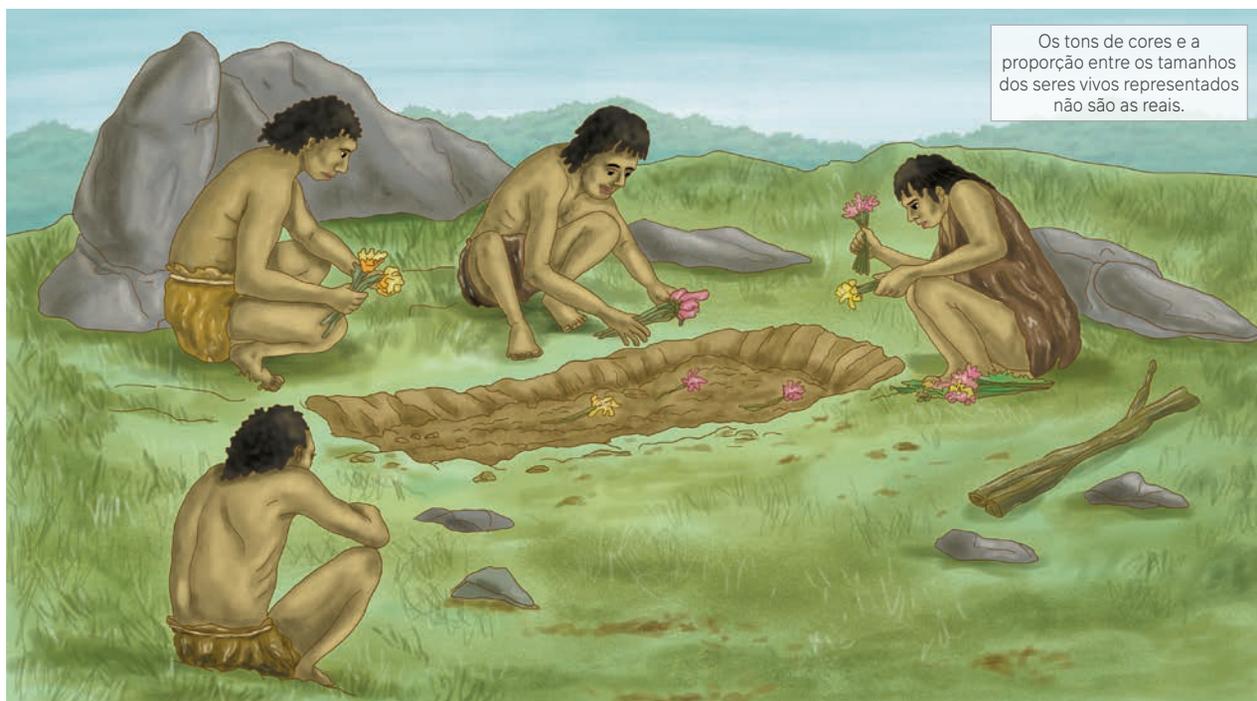


O *Homo ergaster* foi supostamente a primeira espécie do gênero *Homo* capaz de se afastar das principais fontes de abastecimento em busca de novos recursos.

MAURICIO ANTON/SPL/Fotoarena

Tal versatilidade é evidenciada pela distribuição global de seus fósseis, pelo desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas de pedra – tornando-as mais complexas e eficazes –, pela utilização do fogo para diversas finalidades e por sua morfologia adaptativa.

O *Homo neanderthalensis* viveu na Europa e em partes do oeste da Ásia. A seleção natural favoreceu traços vantajosos para esta espécie sobreviver em ambientes frios, uma vez que possuíam corpos robustos e largos, além de características anatômicas que os ajudavam a conservar calor. Essa espécie compartilha muitas características físicas com o ser humano moderno, como cérebro grande e postura ereta.



Reconstituição de práticas funerárias do *Homo neanderthalensis*.

A seleção natural favoreceu traços vantajosos para sobreviver em ambientes frios. Eles possuíam corpos robustos e largos, além de características anatômicas que os ajudavam a conservar calor.

A espécie *Homo sapiens* é a única sobrevivente do gênero *Homo*, e teve o começo de sua história evolutiva na África, há aproximadamente 300 000 anos. Com o decorrer dos milênios, os indivíduos dessa espécie passaram por mudanças significativas em sua anatomia e comportamento: o crânio se tornou mais arredondado e o cérebro aumentou em tamanho. Essas mudanças foram acompanhadas por avanços no desenvolvimento da linguagem, do pensamento simbólico e da capacidade de resolução de problemas. Essas habilidades possibilitaram o compartilhamento de conhecimentos, a formação de sociedades complexas e o desenvolvimento de culturas únicas, fundamentais para ocupar e sobreviver em diferentes ambientes, incluindo locais extremos como o ártico e o deserto.

Ao longo da história, houve momentos de interação entre *Homo sapiens* e outras espécies humanas, como os neandertais, o que teria resultado em uma contribuição genética significativa dos neandertais para a linhagem do ser humano moderno.



**Mapa clicável**  
Migração dos primeiros *Homo sapiens*

A análise do DNA neandertal encontrado em humanos modernos revela um cruzamento ocasional entre as duas espécies, indicando uma conexão genética. Estudos genômicos modernos revelaram que indivíduos fora da África carregam de 1% a 2% de seu DNA de origem neandertal.

Mulher humana sentada ao lado de uma reconstrução de uma criança neandertal no Museu do Neandertal. Alemanha, 2022.

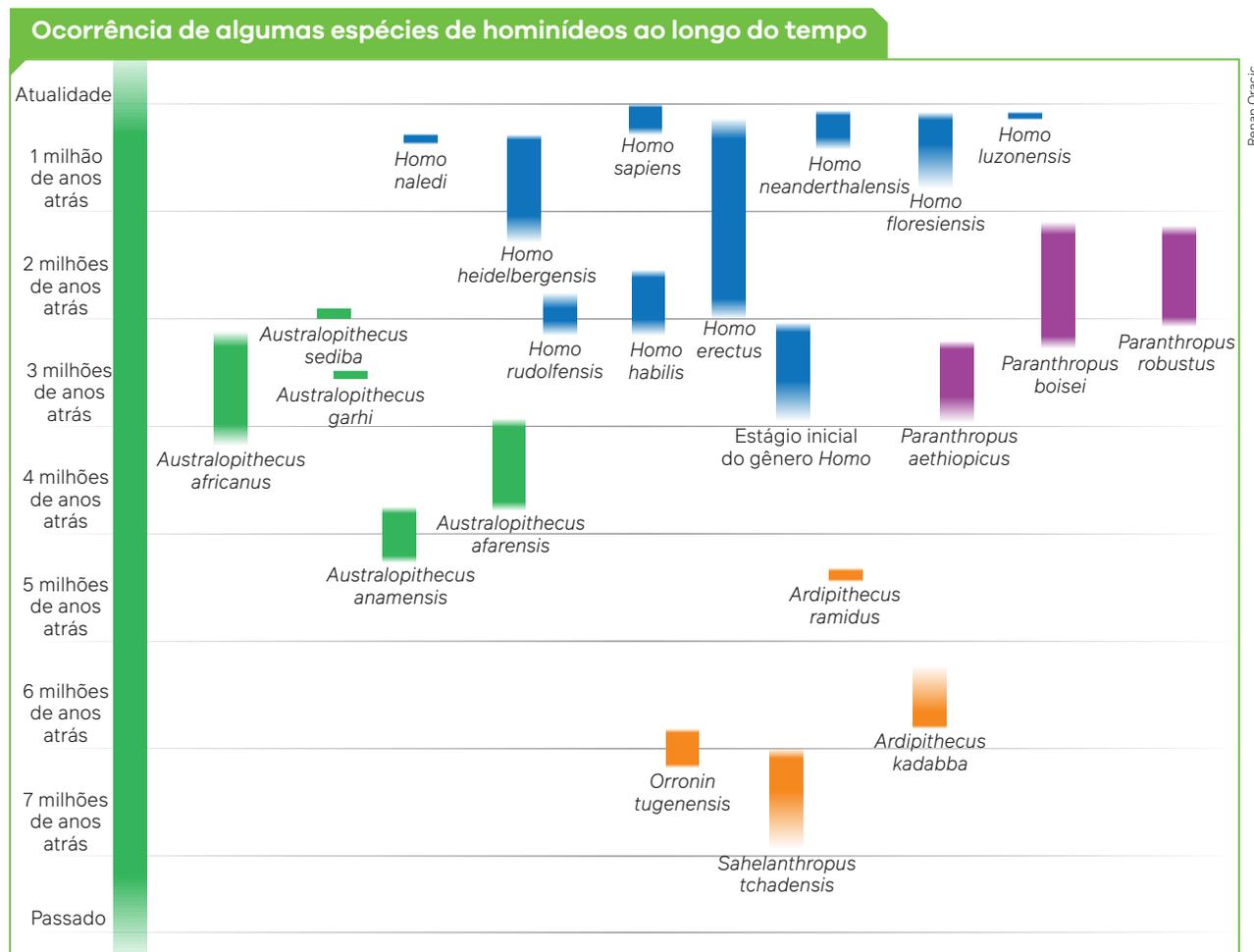


frantic/Alamy/Fotoarena



- As espécies da linhagem humana foram identificadas a partir de fósseis encontrados em diferentes regiões do mundo. Datações indicam que algumas espécies coexistiram por certo período. Essas espécies são exemplos que ajudam a visualizar as transformações ocorridas e a entender como nossos antepassados viveram, se adaptaram e evoluíram. A linha do tempo a seguir representa os períodos em que algumas espécies de homínídeos coexistiram.

Analise a linha do tempo e, depois, faça o que se pede.



Fonte: SUSAN C. A. et al. Evolution of early Homo: An integrated biological perspective. *Science*, Washington, DC, v. 345, n. 6192, 2014. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1236828>. Acesso em: 10 jun. 2024.

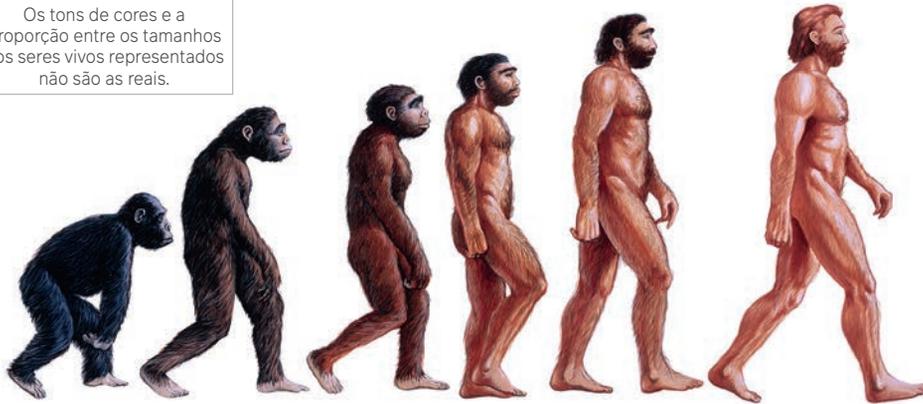
- Identifique, na linha do tempo, as espécies que compartilharam o mesmo período.
  - Pesquise onde os fósseis foram encontrados e verifique se as espécies compartilharam também um mesmo ambiente ou continente.
  - Escolha uma das espécies representadas e procure mais informações a respeito de prováveis causas de sua extinção. Compartilhe as informações com os colegas.
- A ciência busca explicar os fatos, porém, como uma atividade humana, ela sofre influência de ideologias, de política e de interesses econômicos e particulares. Pesquise sobre o intrigante caso do “Homem de Piltdown”. Registre em forma de texto o que compreendeu, discuta sobre o assunto com os colegas e, depois, responda às questões a seguir.
    - De que forma episódios como esse podem afetar a confiança nos cientistas?
    - Quais estratégias são recomendadas para reconhecer pesquisas sérias e confiáveis?

3. A imagem a seguir é muito comum e já foi utilizada em diferentes mídias. No entanto, apresenta erros conceituais do ponto de vista filogenético.

De acordo com o que você aprendeu neste capítulo, explique quais erros são esses e proponha um esquema que melhor descreva a evolução humana como se conhece hoje.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são as reais.

David Gifford/SPL/Fotoarena



Ocorrência de algumas espécies de hominíneos ao longo do tempo.

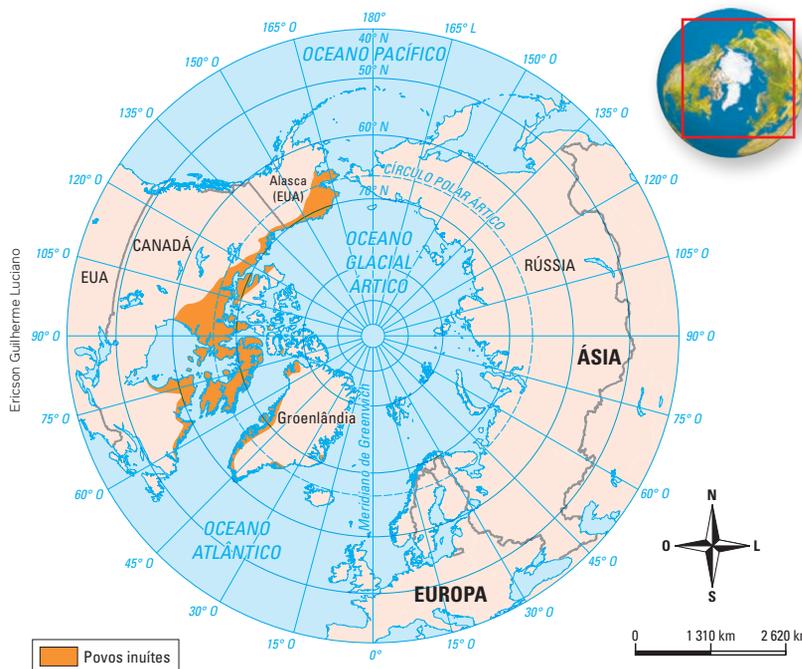
## #FicaADica

**Origens: a jornada da humanidade**, direção de John D. Boswell (National Geographic, 2017, 60 min).

O documentário explora pesquisas científicas mais recentes sobre nossas origens, mostrando como os vestígios de nossa história evolutiva são desvendados por meio da arqueologia, genética e paleontologia. O documentário, que celebra a história de como o ser humano se tornou moderno, está disponível nas plataformas de *streaming*.

## Adaptações às diferentes regiões

Quando os seres humanos migraram para diferentes regiões, enfrentaram diversos desafios ambientais, como variações de temperatura, disponibilidade de alimentos e tipos de terreno. Por exemplo, os grupos que viviam em regiões frias tinham maior probabilidade de sobreviver e de se reproduzir se possuísem características que lhes permitissem reter calor corporal de maneira mais eficiente, como uma maior quantidade de gordura subcutânea. Em contrapartida, os grupos que viviam em áreas quentes e apresentaram características que favoreceram o resfriamento corporal, como uma maior capacidade de suar, tiveram sucesso evolutivo.



As cores, as distâncias e as dimensões representadas na ilustração não são as observadas na realidade.

Ilustração indicando as regiões originalmente habitadas pelos povos inuítes. Os seres humanos que viviam em regiões frias e inóspitas, como os inuítes, tradicionalmente consumiam grandes quantidades de alimentos gordurosos, o que aumentava significativamente a taxa metabólica basal e resultava, consequentemente, na produção de calor corporal extra.

Fonte: LARA, M. D. R. *et al.* Arctic: Traditional Knowledge, Livelihoods and Community Engagement. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, p. 9, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/328981212\\_Arctic\\_Traditional\\_Knowledge\\_Livelihoods\\_and\\_Community\\_Engagement\\_Setting\\_the\\_Scene](https://www.researchgate.net/publication/328981212_Arctic_Traditional_Knowledge_Livelihoods_and_Community_Engagement_Setting_the_Scene). Acesso em: 10 jun. 2024.

Em regiões de grande altitude, como o Planalto do Tibete, os habitantes apresentam adaptações resultantes de um processo de seleção natural devido às condições extremas de baixa disponibilidade de oxigênio. Estudos sugerem que as populações nativas dessa região possuem variações genéticas que favorecem uma maior eficiência na utilização do oxigênio.

A diversidade genética entre os grupos étnicos é resultado de mutações que permitiram que eles se adaptassem ao ambiente ao longo das gerações. Essas variações genéticas também podem influenciar como diferentes populações respondem a doenças e medicamentos, por exemplo.

Em diferentes partes do mundo, a pigmentação da pele humana varia. Em regiões mais ensolaradas, a seleção natural favoreceu a presença de mais melanina, que protege a pele dos efeitos nocivos do Sol.

Embora haja diferenças entre os grupos étnicos, é importante lembrar que todos os seres humanos são da mesma espécie e compartilham uma história evolutiva comum. Ao explorar as adaptações às diferentes regiões e à formação de grupos étnicos, devemos reconhecer a complexidade da evolução e da diversidade. Essa diversidade é parte fundamental da espécie humana, e é essencial valorizar e respeitar cada grupo étnico e sua contribuição, reconhecendo que as diferenças culturais e genéticas apenas enriquecem a história dos seres humanos.



Variações de pigmentação na pele humana.

1) alvarez/Stockphoto.com; 2) alvarez/Stockphoto.com; 3) alvarez/Stockphoto.com; 4) alvarez/Stockphoto.com; 5) Krakenimages/Shutterstock.com; 6) alvarez/Stockphoto.com; 7) alvarez/Stockphoto.com; 8) alvarez/Stockphoto.com; 9) alvarez/Stockphoto.com

## Ciência por dentro



### Estudo do comportamento animal

Os zoológicos têm passado por reformulações, mudando o foco de espaço de exibição da fauna ao público para um ambiente de conservação de espécies, pesquisa e educação. Diante disso, nesta atividade você vai desenvolver um estudo do comportamento de primatas *ex situ* (em cativeiro), tendo como método fundamental a observação fenomenológica. Neste método de pesquisa, o comportamento natural do animal é o objeto da investigação, e o intuito final é a descrição mais completa possível de todas as respostas ou condutas do organismo, visando identificar padrões comportamentais. Para fazer este trabalho, será necessário realizar visitas a um zoológico. Observe os procedimentos a seguir e programe-se para isso. Caso a visita presencial não seja possível, localize na internet zoológicos que disponibilizem câmeras *on-line* 24h e adaptem o procedimento para esse recurso.

#### Material:

- caderno de campo;
- lápis para anotação;
- câmera fotográfica.

#### Procedimento

Em grupo com dois colegas, identifiquem o zoológico mais próximo e verifiquem se ele possui recintos com primatas. Programem as datas que poderão visitá-lo (preferencialmente em dois momentos) e reservem algumas horas para o trabalho.

## Dia 1

### Observação

1. No zoológico, caso tenham vários recintos de primatas, façam uma primeira observação de todos eles e selecionem o que mais chamou a atenção do grupo.
2. Posicionem-se em um local que tenha uma boa visualização do recinto e dos animais. Se possível, cada integrante do grupo deve estar em uma posição. Observem cuidadosamente o ambiente (elementos que o constituem, como eles estão posicionados), a população (número de indivíduos, suas idades, características de cada um) e os comportamentos (individuais e de interação com o ambiente e com outros indivíduos). Apenas observem por um tempo. Anotem o horário de início e término da observação.
3. Em seguida, registrem de forma detalhada tudo o que observaram, incluindo o nome da espécie escolhida pelo grupo. Sempre que necessário, retomem a observação. Se possível, façam fotos caso queiram registrar algo específico. É importante que cada integrante do grupo faça seu registro pessoal.

### Sistematização

1. Analisem individualmente seus registros, refletindo acerca de tudo o que observaram. Depois, procurem destacar alguns comportamentos que pareceram ser padrão de um ou vários indivíduos. Tente identificar em que situações esses comportamentos aconteceram e se tinha alguma razão aparente para essas ações.
2. Compartilhem seus registros com os colegas do grupo e verifiquem o que cada pessoa percebeu. Avaliem se houve interpretações convergentes ou se divergiram. Destaquem alguns pontos comuns para serem novamente observados.
3. Pesquisem a espécie observada, relacionando aspectos que viram em campo com registros descritos na literatura. Completem suas anotações com essas informações e retornem ao campo pelo menos mais uma vez para novas observações.

## Dia 2

### Observação

1. Façam novas observações buscando confirmar se os comportamentos destacados antes se repetem e se as situações ou motivações que os originaram são as mesmas. Ao mesmo tempo que focam esses aspectos, estejam abertos a novos elementos e comportamentos que surgirem. Anotem o horário de início e término da observação.
2. Registrem tudo o que observaram.

### Sistematização

1. Analisem seus registros. Construam um relatório a partir dos dados que possuírem, descrevendo tudo o que observaram e estabelecendo comparações entre os dois momentos de observação. Destaquem comportamentos que pareçam padrões; se não for possível identificá-los, apenas detalhem o que observaram.
2. Elaborem uma apresentação com os resultados do estudo comportamental realizado para apresentar aos colegas. Seleccionem as informações mais relevantes, destaquem os aspectos que encontraram na literatura e os que observaram em campo.

### Apresentação aos pares

1. Em um dia marcado pelo professor, apresentem o trabalho para os demais grupos.

### Trocando ideias



1. Quais comportamentos de um ou mais indivíduos da população observada foi possível verificar?
  2. Esses comportamentos foram percebidos por outros grupos? Em quais espécies?
  3. Dos comportamentos observados, algum se assemelha ao dos humanos? De quais espécies eram os primatas escolhidos para o estudo comportamental?
  4. Como os seres humanos que visitavam o zoológico se relacionavam com os animais? Como os animais respondiam à presença humana? Quais impactos dessa relação puderam ser percebidos?
-



- Em muitos textos sobre evolução humana, podemos ler a expressão “homem das cavernas”, compreendendo uma população com mulheres, crianças e homens. Nesse caso, o termo “homem” pode ser utilizado como sinônimo de ser humano, humanidade, e não apenas para referenciar indivíduos do sexo masculino. Contudo, hoje entendemos que é preciso atentar aos diversos reducionismos representacionais da nossa língua e começar a empregar termos mais abrangentes, como “ser humano” em vez de “homem”, por exemplo. Escreva um texto argumentativo que discorra sobre como a linguagem pode contribuir com o reforço ou com a superação do sexismo, inclusive na ciência, e depois debata com os colegas os argumentos propostos.
- Estudos recentes na região da Serra da Capivara, no Piauí, encontraram vestígios antrópicos de mais de 30 000 anos, enquanto as teorias a respeito da migração destacam que a presença humana na América do Sul não passa de 13 000 anos. Quais consequências esses novos achados podem ter para a história da evolução humana? Elabore uma hipótese que explique como pode ter acontecido a migração para a América do Sul considerando esses achados.
- Em muitas sociedades, a ideia de raça, produzida pela ciência no século XVIII, foi historicamente usada para categorizar e hierarquizar grupos de pessoas com base em características físicas, como cor da pele, formato dos olhos e textura do cabelo. Entretanto, a ciência moderna nos ensina que as diferenças genéticas entre os seres humanos são mínimas. A genômica revela que compartilhamos uma incrível semelhança no material genético, independentemente da origem étnica.
  - Em grupos, pesquisem sobre como o uso indevido do conceito de raça levou à discriminação e a injustiças históricas. Explore casos históricos e contemporâneos de discriminação racial e pense em estratégias para promover a equidade e o respeito à diversidade.
  - Identifiquem diferentes grupos étnicos. Escolham um deles e pesquisem suas origens, culturas e contribuições históricas.
  - Produzam um material audiovisual de sensibilização para os ambientes virtuais que reflita acerca da seguinte questão: Como os conhecimentos das Ciências da Natureza podem ser utilizados para combater o uso indevido de conceitos raciais e promover uma sociedade mais justa e inclusiva? Aproveitem o momento para valorizar e difundir alguma das produções culturais do grupo étnico pesquisado, como músicas, danças, textos, entre outros.
- Embora seja um conceito central na Biologia, o termo “evolução” pode assumir interpretações distintas no senso comum. A concepção de que a espécie humana representa o ponto culminante do

processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada pela maioria dos cientistas. Para esses pesquisadores, a compreensão desse processo está fundamentada na ideia de que, ao longo do tempo, os seres vivos passam por:

- modificação de características.
  - incremento na complexidade de seus sistemas.
  - melhoria de processos e estruturas.
  - especialização para atender a uma finalidade específica.
  - adaptações ao ambiente em que estão inseridos.
- Em 2018, uma *fake news* se espalhou pelo Brasil: a ideia de que um estudo havia provado a existência de Adão e Eva. Na verdade, tratou-se de uma interpretação equivocada sobre alguns estudos, feitos com base na análise do DNA mitocondrial, que identificaram uma suposta ancestral comum matrilinear, ou seja, de origem materna, que foi batizada como Eva mitocondrial, e de um suposto ancestral patrilinear comum dos humanos modernos, que foi denominado Adão cromossomal-Y. O fato de os cientistas terem denominado tais ancestrais como Adão e Eva contribuiu para que o equívoco ocorresse. Defensores do criacionismo se apoiaram nessa interpretação errônea para colocar em xeque a teoria da evolução. Pesquise o assunto e, com base em seus conhecimentos sobre genética e evolução, elabore um argumento que explique, do ponto de vista da ciência, que o resultado dos estudos é, na verdade, mais uma evidência da evolução.
  - Leia o texto a seguir e, depois, responda à questão.

Pesquisas recentes apontam que o símio [os orangotangos] possui as mesmas características nos últimos 15 milhões de anos, diferentemente do *Homo sapiens* e dos chimpanzés, demonstrando que os orangotangos são os indivíduos com código genético mais antigos entre os grandes primatas [...] na mesma pesquisa foi constatada uma grande variação genética entre populações[,] fator favorável na manutenção da espécie.

MINKO, E. T.; SANTOS, A. C. L.; PIZZUTTO, C. S. (org.). *Grandes primatas mantidos sob cuidados humanos*. São Paulo: FMVZ, 2020. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/452/405/1588>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Considerando as informações apresentadas no texto, qual das seguintes afirmações está correta?

- Os orangotangos estão em um estado de estagnação evolutiva, indicando que não continuarão a evoluir.
- A estabilidade genética dos orangotangos é ocasionada pela ausência de pressões ambientais sobre a espécie.

- c) A diversidade genética observada entre as populações de orangotangos contribui positivamente para a sobrevivência da espécie.
  - d) A estabilidade genética dos orangotangos os coloca em risco de extinção, devido à falta de adaptação às mudanças ambientais.
  - e) A estabilidade genética dos orangotangos os distingue significativamente dos seres humanos, justificando uma revisão em sua classificação filogenética.
7. Anote em seu caderno se as afirmações a seguir são verdadeiras ou falsas. Depois, faça o que se pede.

- a) A capacidade de fabricar e usar ferramentas é exclusiva dos seres humanos.
  - b) A similaridade genética entre humanos e chimpanzés é de aproximadamente 98,5%.
  - c) Os humanos compartilham um ancestral comum mais recente com os macacos do Novo Mundo do que com os símios.
  - d) O *grooming* (catação) é um comportamento inato em primatas, incluindo seres humanos.
- Identifique e explique duas implicações importantes decorrentes das respostas corretas nas afirmações acima, para o entendimento da relação entre os seres humanos e outros primatas.

## Recapitule



Este capítulo explorou as características distintivas dos primatas e, ao examinar as semelhanças e diferenças entre os seres humanos e outros primatas, explicou como a seleção natural moldou essas características ao longo de milhões de anos. Foram apresentados os marcos na história evolutiva do gênero *Homo*, destacando as peculiaridades de algumas espécies que precederam o *Homo sapiens*. Além do aspecto biológico, o capítulo adentrou nas dimensões cultural, social e comportamental da evolução humana. Investigamos como o uso de ferramentas e o desenvolvimento cultural foram elementos-chave na formação das sociedades humanas ao longo do tempo.

Agora, elabore um ensaio reflexivo abordando como a evolução das características dos primatas contribuiu para a formação da sociedade humana moderna. Considere aspectos biológicos, culturais e sociais e explore como as mudanças ao longo do tempo influenciaram o desenvolvimento das capacidades humanas.

## Planeje e resolva



### Diversidade e território

Desde que os *Homo sapiens* partiram da África rumo a outros continentes, a espécie humana enfrentou uma série de desafios ambientais, como variações de temperatura, mares tempestuosos e até mesmo baixíssimas concentrações de oxigênio em altitudes elevadas. As migrações também envolveram adaptações a diferentes recursos nutricionais, mudanças nos ritmos e rotinas e, certamente, lidar constantemente com o desconhecido.

É nesse cenário de incertezas que também se desenvolve a agricultura e a criação de animais, atividades que resultam na incorporação de alimentos na dieta humana, como os cereais, o leite e seus derivados. Paralelamente, o contato com novos ambientes e patógenos selecionou características de resistência, moldando as populações humanas dos diferentes territórios. Epidemias como a gripe espanhola, a peste bubônica e a tuberculose são exemplos dessas adversidades que marcaram a evolução da nossa espécie.

A nossa ancestralidade é marcada por essas adaptações e transformações de longa data, mas também por um processo histórico mais recente de miscigenação. Ou seja, as interações não apenas possibilitaram a adaptação a novos ambientes, mas também contribuíram para a diversidade genética e cultural que caracteriza as sociedades atuais.

Investigar a ancestralidade humana permite compreender quem são os povos que constituem nossas cidades. No caso do Brasil, por exemplo, as cidades são o resultado de uma complexa miscigenação de povos indígenas, africanos, europeus e asiáticos, cada um trazendo consigo uma riqueza cultural e genética única que se revela em suas tradições, culinária, práticas de saúde e adaptações ambientais. Reconhecer essa diversidade é fundamental para valorizar nossa história coletiva e entender como nossas raízes influenciam a maneira como vivemos e interagimos com o mundo ao nosso redor.

### Agora é com você!

Nesta atividade, vocês devem realizar uma investigação a fim de responder a seguinte questão:

1. Como a história do local em que vocês vivem foi influenciada pelo deslocamento de populações? Elaborem uma forma de representar os deslocamentos e as ancestralidades que levaram você e seus colegas até o território em que vivem atualmente. Compartilhem com os colegas e com a comunidade escolar.



- (UEL-PR – 2018) Um dos temas mais controversos da história da ciência diz respeito à origem da vida, pois existia a dúvida se ela teria surgido pela abiogênese (geração espontânea) ou pela biogênese. Por séculos, inúmeros pesquisadores propuseram e desenvolveram explicações, por meio de experimentos, como consequência de diferentes olhares. Com base nos conhecimentos sobre abiogênese e biogênese, assinale a alternativa que relaciona, corretamente, o pesquisador, a hipótese por ele defendida e o experimento que deu sustentação para sua defesa.

  - John Tuberville Needham defendeu a abiogênese por meio de experimentos que demonstraram o surgimento de microrganismos em um caldo de carne aquecido e mantido em recipientes fechados.
  - Jean-Baptiste van Helmont defendeu a biogênese por meio de experimentos que demonstraram o surgimento de larvas em pedaços de carne em putrefação.
  - Lazzaro Spallanzani defendeu a biogênese por meio de estudos que demonstraram a origem da matéria que permitia o crescimento das plantas em vasos.
  - Felix Pouchet defendeu a biogênese por meio de experimentos a partir dos quais surgiam microrganismos pela fervura de um caldo nutritivo em frascos de vidro.
  - Louis Pasteur defendeu a abiogênese por meio de experimentos com uma mistura aquecida de água, feno e gás oxigênio ( $O_2$ ), a partir da qual surgiam microrganismos.
- (Unicesumar – 2023) Na história da Biologia, muitas são as hipóteses e teorias já criadas para explicar a origem da vida. No entanto, até o momento, nenhuma delas foi incontestavelmente comprovada. Há teorias que, atualmente, já se sabe serem infundadas cientificamente, e outras que, ao contrário, são factíveis. Considerando o tema, informe se é verdadeiro (V) ou falso (F) o que se afirma a seguir e assinale a alternativa com a sequência correta.

( ) A teoria da geração espontânea, ou abiogênese, postula que os seres vivos se formaram a partir de material orgânico em decomposição, do lodo ou qualquer outro material inanimado, ou seja, a vida brotou espontaneamente sob condições ideais para sua origem.

( ) Um dos trabalhos científicos mais importantes para a confirmação da teoria de Redi sobre a origem da vida foi o experimento realizado por Louis Pasteur, o qual desfez a ideia de que a vida surgiu por meio da panspermia.

( ) Atualmente, a hipótese sobre a origem da vida que vem sendo mais aceita pela comunidade científica é a que considera a possibilidade de que a vida surgiu em fontes termais localizadas no fundo do mar, próximas às fendas do assoalho oceânico.

( ) Segundo Oparin, a vida teria surgido no espaço e chegado à Terra em forma de partículas coloidais, em aglomerados de coacervados, trazidas por cometas e meteoros; ao alcançar os oceanos, essas partículas se desenvolveram e se multiplicaram.

  - V – V – V – F.
  - F – F – F – V.
  - V – F – V – F.
  - F – V – V – V.
  - F – F – V – V.
- (Unicamp-SP – 2019) Em 2017, um grupo de astrônomos europeus detectou sete planetas orbitando uma estrela da Via Láctea denominada TRAPPIST-1. Reproduzimos abaixo algumas informações extraídas desse estudo.

As estimativas das massas dos seis planetas mais próximos da estrela sugerem fortemente uma composição rochosa. Em especial, três planetas têm irradiações estelares\* muito próximas das de Vênus, Terra e Marte. Supondo condições atmosféricas semelhantes às da Terra, deduziu-se que um desses três planetas, denominado TRAPPIST-1f, pode ter oceanos de água em forma líquida na superfície.

\* irradiação estelar é a potência de energia recebida da estrela por unidade de área do planeta. Responda às questões a seguir.

  - O estudo sugere que o planeta TRAPPIST-1f pode ter sido palco do surgimento de formas de vida semelhantes às da Terra. Levando em conta apenas as características encontradas atualmente em todos os organismos vivos, explique a importância de duas características físicas ou químicas presentes no planeta TRAPPIST-1f para a biologia dos organismos vivos como nós os conhecemos.
  - Uma teoria altamente controversa, denominada panspermia, sugere que a vida existe em vários lugares do Universo e pode ter se disseminado entre planetas e sistemas estelares, carregada por meteoros. Considerando plausível tal teoria, se dois planetas com características semelhantes fossem semeados simultaneamente pelos mesmos microrganismos, não necessariamente possuiriam as mesmas formas de vida bilhões de anos depois. Explique por que, incluindo em sua resposta pelo menos um fator que leva a evolução biológica a ser imprevisível. Qual a relação entre mutações e variabilidade genética, condição essencial para a evolução biológica?
- (UFU-MG – 2022) Sobre a evolução do metabolismo, são apresentadas duas hipóteses: a heterotrófica e a autotrófica.

Considerando-se os números **1** para a hipótese heterotrófica e **2** para a autotrófica, numere as afirmações a seguir.

( ) Os primeiros seres vivos extraíam energia das moléculas orgânicas presentes no meio.

( ) Bactérias primitivas foram descobertas vivendo em ambientes inóspitos, como fontes de água quente e fendas submarinas. Elas têm como fonte de energia reações inorgânicas simples.

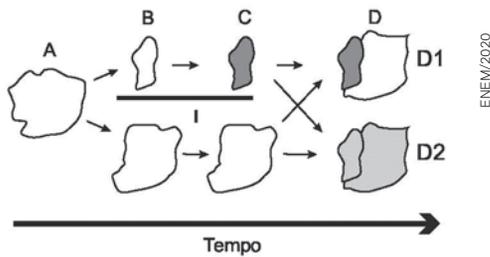
( ) A progressiva redução dos gases metano e amônia disponíveis na atmosfera interrompeu a formação de moléculas orgânicas.

( ) Os seres vivos utilizavam a energia liberada por reação entre componentes inorgânicos da crosta terrestre para sintetizar as moléculas orgânicas que lhes serviam de alimento.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- a) 1, 2, 1 e 2.                      c) 2, 1, 1 e 2.  
b) 1, 1, 2 e 2.                      d) 1, 2, 2 e 1.

5. (Enem – 2020) Uma população (momento A) sofre isolamento em duas subpopulações (momento B) por um fator de isolamento (I). Passado um tempo, essas subpopulações apresentam características fenotípicas e genotípicas que as distinguem (momento C), representadas na figura pelas tonalidades de cor. O posterior desaparecimento do fator de isolamento I pode levar, no momento D, às situações D1 e D2.



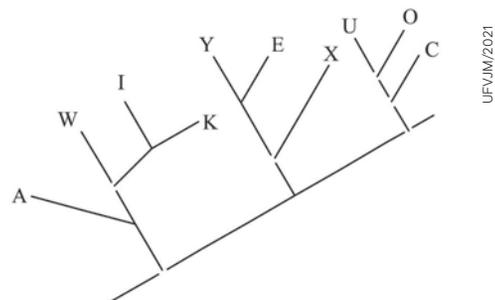
A representação indica que, no momento D, na situação

- a) D1 ocorre um novo fator de isolamento geográfico.  
b) D1 existe uma única população distribuída em gradiente.  
c) D1 ocorrem duas populações separadas por isolamento reprodutivo.  
d) D2 coexistem duas populações com características fenotípicas distintas.  
e) D2 foram preservadas as mesmas características fenotípicas da população original A.
6. (UFMS – 2018) A seleção artificial é um processo de evolução guiado pela espécie humana. Indivíduos de outras espécies são submetidos a cruzamentos previamente definidos, a fim de produzir variações de interesse. Muitas vezes, ao cruzar indivíduos de parentesco próximo para intensificar e aumentar a

probabilidade de obter essas características, num processo conhecido como endogamia, geram-se, como produtos, as diversas raças de animais e plantas domésticos, que permitiram o avanço das primeiras civilizações humanas. Considerando as consequências do processo de seleção artificial e comparando-o com a seleção natural, assinale a alternativa correta:

- a) A seleção artificial cria organismos tão saudáveis e adaptados ao meio selvagem quanto a seleção natural.  
b) A seleção artificial cria superbactérias resistentes a antibióticos *in vivo*.  
c) Proles geradas por endogamia são necessariamente geneticamente idênticas.  
d) A seleção artificial é um processo evolutivo extremamente lento.  
e) Devido à endogamia, é comum indivíduos de raças de animais domésticos apresentarem problemas de saúde de causas genéticas.
7. (UEA-AM – 2023) Ao longo da história, o desenvolvimento das teorias evolucionistas científicas ocorreu sempre em contraposição ao pensamento fixista religioso. Atualmente, as teorias mais aceitas relacionadas à evolução e, conseqüentemente, ao processo de origem de novas espécies integra diferentes áreas do conhecimento biológico. A teoria moderna da evolução possibilita a compreensão da evolução a partir de:
- a) reprodução sexuada, transgenia e tecnologia do DNA recombinante.  
b) reprodução assexuada, clonagem e biologia molecular.  
c) seleção artificial, hibridização entre espécies diferentes e especiação.  
d) lei do uso e desuso, teoria celular e código genético.  
e) seleção natural, mutações e recombinação gênica.

8. (UFVJM-MG – 2021) Estudos filogenéticos são utilizados para classificar os seres vivos em táxons. Observe o cladograma (ou árvore filogenética) no qual cada letra corresponde a uma espécie de ser vivo e cada interseção (ou nó) representa um ancestral comum.



As espécies que se encontram taxonomicamente mais próximas entre si, no cladograma, são:

- a) A e K.                                  c) Y e E.  
b) C e O.                                  d) X e U.

9. (UFAM – 2021) Analise os conceitos a seguir:  
A **I** classifica os seres vivos através do estudo comparativo de suas características morfológicas, fisiológicas, genéticas e processos evolutivos, com o objetivo de reconstruir sua história evolutiva a partir das relações e afinidades entre os diversos grupos de espécies.

A **II** é o ramo responsável pela identificação e classificação de todos os seres vivos.

A **III** é o resultado das alterações no número de genes ou na frequência dos alelos de um ou um conjunto de genes em uma população e ao longo das gerações.

A **IV** são grupos de indivíduos que se inter cruzam e que são reprodutivamente isolados de outros grupos semelhantes.

Assinale a alternativa que preenche CORRETAMENTE as lacunas relacionadas aos conceitos citados anteriormente:

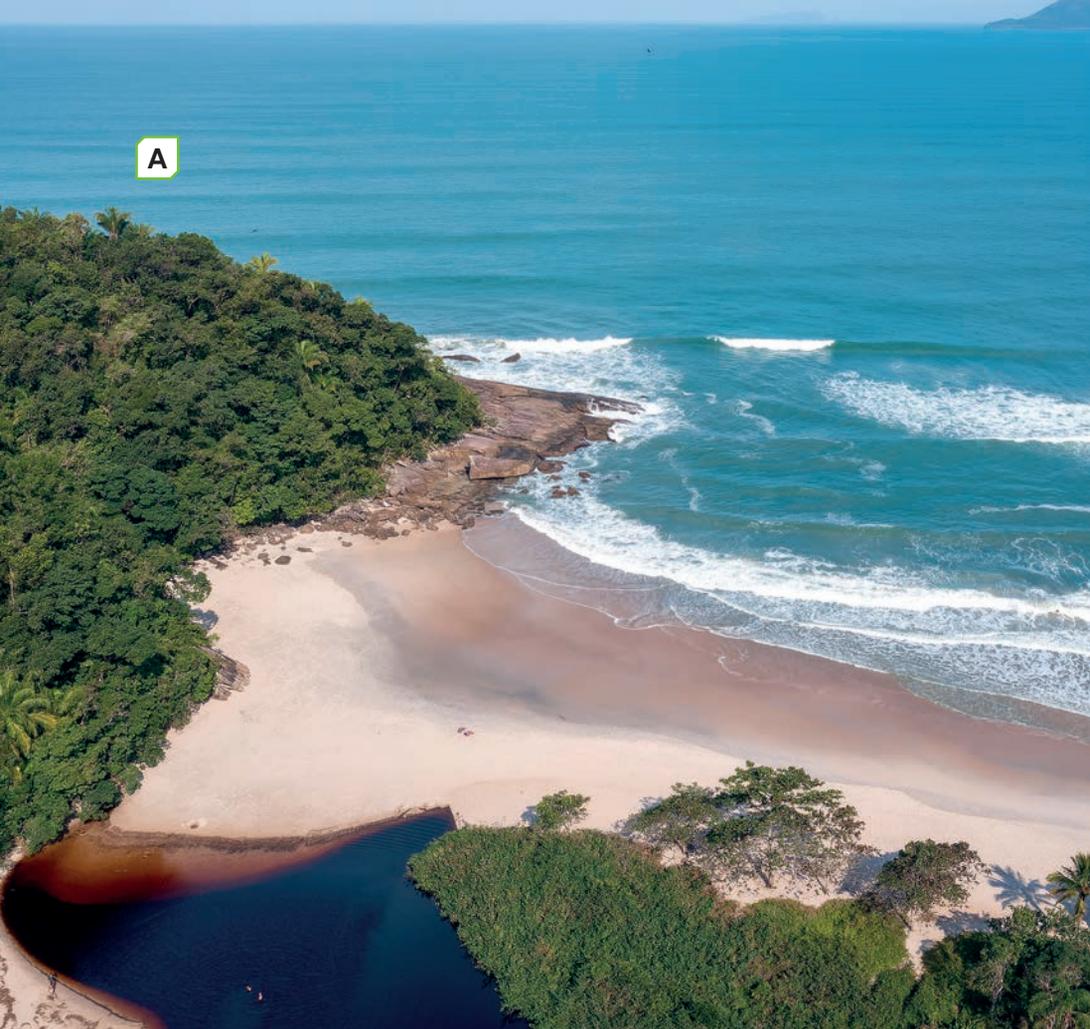
- a) **I**: Taxonomia; **II**: Sistemática; **III**: Filogenia; **IV**: Evolução
- b) **I**: Filogenia; **II**: Sistemática; **III**: Cladogênese; **IV**: Adaptação
- c) **I**: Evolução; **II**: Adaptação; **III**: Sistemática; **IV**: Evolução
- d) **I**: Filogenia; **II**: Taxonomia; **III**: Evolução; **IV**: Adaptação
- e) **I**: Sistemática; **II**: Taxonomia; **III**: Evolução; **IV**: Espécie
10. (FGV-SP – 2020) O *Homo sapiens* apresenta parentesco evolutivo com os macacos da superfamília *Hominoidea*. Esses macacos não possuem cauda e são rotulados como antropóides devido a diversas semelhanças anatômicas, fisiológicas e moleculares com a espécie humana. No entanto, as diferenças anatômicas entre o *H. sapiens* e os demais hominóides são evidentes. Por exemplo, em comparação aos humanos, os demais hominóides apresentam:
- a) menor volume da caixa craniana.
- b) membros inferiores mais longos que os superiores.
- c) ossos maiores e maior massa corporal.
- d) dedos dos pés mais curtos.
- e) mandíbulas menores e projetadas.

11. (Unesp – 2011) Há cerca de 40 000 anos, duas espécies do gênero *Homo* conviveram na área que hoje corresponde à Europa: *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Há cerca de 30 000 anos, os neandertais se extinguíram, e tornamo-nos a única espécie do gênero. No início de 2010, pesquisadores alemães anunciaram que, a partir de DNA extraído de ossos fossilizados, foi possível sequenciar cerca de 60% do genoma do neandertal. Ao comparar essas sequências com as sequências de populações modernas do *H. sapiens*, os pesquisadores concluíram que de 1 a 4% do genoma dos europeus e asiáticos é constituído por DNA de neandertais.

Contudo, no genoma de populações africanas não há traços de DNA neandertal.

Isto significa que

- a) os *H. sapiens*, que teriam migrado da Europa e Ásia para a África, lá chegando entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.
- b) os *H. sapiens*, que teriam migrado da África para a Europa, lá chegando entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.
- c) o *H. sapiens* e o *H. neanderthalensis* não têm um ancestral em comum.
- d) a origem do *H. sapiens* foi na Europa, e não na África, como se pensava.
- e) a espécie *H. sapiens* surgiu independentemente na África, na Ásia e na Europa.
12. (Fuvest – 2020) Pesquisadores do Museu Nacional, no Rio de Janeiro, encontraram o crânio e uma parte do fêmur de Luzia, o esqueleto humano mais antigo descoberto na América que revolucionou as teorias científicas sobre a ocupação do continente. Os fósseis foram achados há alguns dias (não foi divulgado quando) junto aos escombros do edifício, parcialmente destruído por um incêndio em 2 de setembro. O crânio está fragmentado, porque a cola que mantinha os seus pedaços juntos se foi com o calor, mas a equipe está bastante otimista com suas condições. Júlia Barbon, Folha de São Paulo, Outubro/2018. Adaptado.
- O esqueleto de Luzia,
- a) adquirido por D. Pedro II em 1876, foi incorporado à sua coleção pessoal, a mesma que deu origem ao Museu Nacional no período republicano.
- b) descoberto na década de 1970 em Minas Gerais, permitiu questionar a teoria de que a ocupação das Américas se deu por apenas uma onda migratória.
- c) estudado por diferentes equipes de antropólogos, comprovou que grupos saídos diretamente da África foram os primeiros habitantes das Américas.
- d) encontrado na atual Serra da Capivara, no Estado do Piauí, pertenceu à cultura que elaborou suas famosas pinturas rupestres.
- e) mantido em uma coleção particular fora do país, estava exposto para comemoração dos 150 anos da passagem de Charles Darwin pelo Brasil.
13. (UEA – 2022) A hipótese autotrófica defende que, durante o processo de origem da vida, os primeiros organismos eram capazes de sintetizar moléculas orgânicas a partir de moléculas inorgânicas. Atualmente, o processo metabólico celular mais simples que existe, realizado apenas por microrganismos procariontes, e que embasa tal hipótese é a
- a) fermentação alcoólica.      d) respiração aeróbica.
- b) fotossíntese.                      e) quimiossíntese.
- c) fermentação láctica.



# Biodiversidade

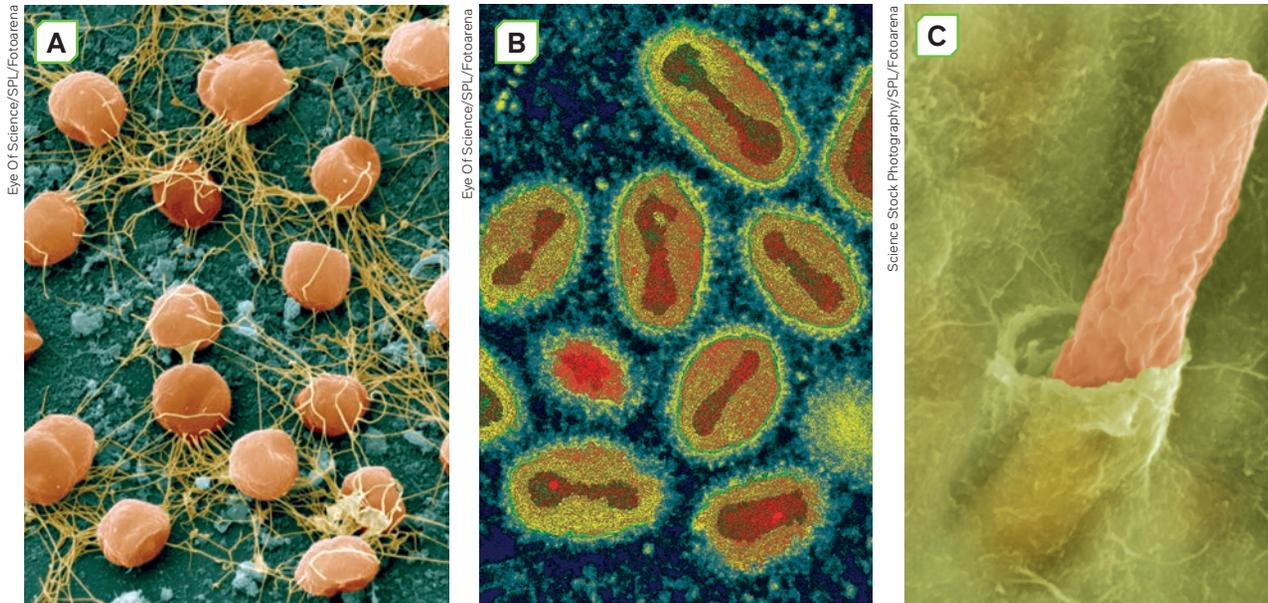
Na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), realizada na cidade do Rio de Janeiro, em 1992, definiu-se o conceito de **biodiversidade**, ou de **diversidade biológica**, como “a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas”. Esse conceito ganha camadas de complexidade à medida que aspectos socioculturais e históricos são considerados, levando em conta as diversas maneiras que sociedades valorizam e interagem com as múltiplas formas de vida. Nesta unidade, serão abordadas as principais linhagens e grupos de formas de vida, tanto do ponto de vista taxonômico-evolutivo quanto considerando suas relações ecológicas, de saúde e socioambientais.

## ▼ Para começar

1. Observe as imagens de abertura da unidade. Relacione os diferentes ecossistemas nelas apresentadas e liste as formas de vida que você acredita que neles habitam.
2. Agrupe os organismos listados e explique quais foram os critérios de classificação que você utilizou para essa organização.
3. Dos seres vivos que você listou, escolha três e descreva que tipos de interação eles realizam nos ecossistemas em que vivem.

(A) Imagem aérea de paisagem com ecossistemas litorâneos, São Sebastião, SP, 2022. (B) Detalhe de costão rochoso. (C) Imagem subaquática de recife de corais. (D) Igapós – zona de floresta inundada pelo rio Tapajós, Belterra (PA), 2023.

# Vírus, arqueas e bactérias



Organismos representantes de vírus, arqueas e bactérias. Imagens obtidas por diferentes técnicas de microscopia. (A) Arquea *Pyrococcus furiosus*, com numerosos flagelos. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 4400 vezes. (B) Vírus da varíola maior (*Orthopoxvirus*). Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 40700 vezes. (C) Bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 21360 vezes.

### ▼ Para refletir

1. Considerando que vírus, bactérias e arqueas são microscópicos, como é possível identificá-las e diferenciá-las? Explique, se possível, usando detalhes das imagens desta abertura.
2. Como esses agentes microscópicos podem impactar a vida humana? Exemplifique apresentando aspectos relacionados à saúde e à proteção da biodiversidade.
3. Que curiosidades você tem sobre esses habitantes do planeta Terra, invisíveis a olho nu?

### Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

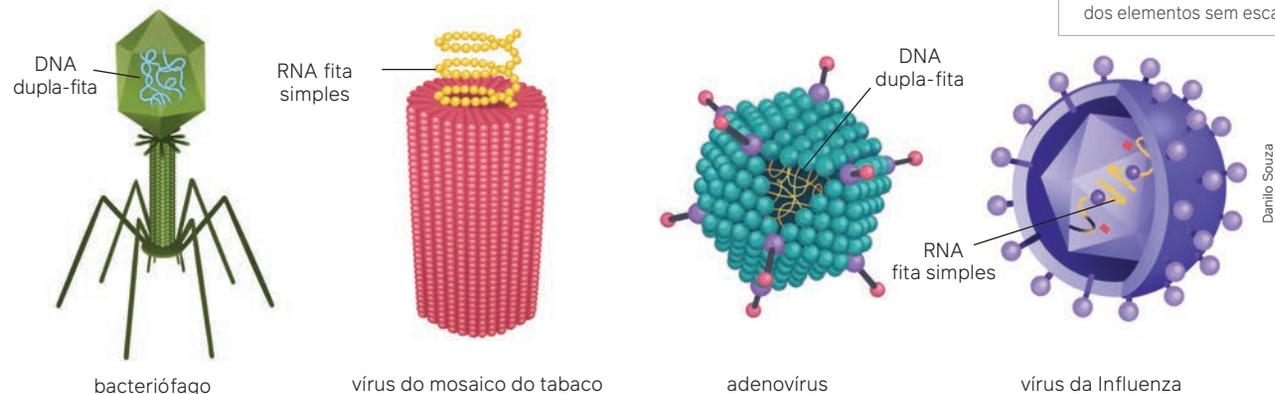
- Identificar as principais características distintivas de vírus, arqueas e bactérias.
- Descrever os processos de entrada, replicação e montagem viral dentro de células hospedeiras.
- Discutir como as mutações promovem mudanças nas características virais, como a virulência e a capacidade de transmissão.
- Comparar as estruturas celulares entre arqueas e bactérias, incluindo a composição das membranas e paredes celulares.
- Reconhecer as adaptações extremófilas das arqueas e pesquisar o seu potencial biotecnológico na indústria.
- Examinar estruturas e mecanismos de transferência horizontal de material genético e sua influência na adaptação a diferentes ambientes.
- Analisar as características das bactérias patogênicas, as infecções que elas podem causar, mecanismos de resistência e métodos de transmissão.

# Vírus

Os **vírus** são agentes microscópicos que infectam os mais variados tipos de células, sendo encontrados tanto em ambientes terrestres quanto em aquáticos. A classificação biológica dos vírus é um tema em aberto, uma vez que não há consenso na comunidade científica sobre serem considerados seres vivos. Mesmo compartilhando certas características com organismos vivos, como a presença de material genético e a possibilidade de evoluir e se adaptar, esses organismos também apresentam diferenças significativas, como a ausência de estrutura celular e um metabolismo próprio, bem como a incapacidade de se reproduzir de forma independente, pois, para isso, necessitam parasitar a célula de um organismo vivo.

Os vírus são compostos de duas partes: uma cápsula proteica, denominada **capsídeo**, e o **material genético**, que pode ser DNA dupla-fita, DNA fita simples, RNA dupla-fita ou RNA fita simples. O capsídeo é composto por subunidades proteicas, chamadas **capsômeros**, que se organizam em padrões geométricos e protegem o material genético contra danos físicos e químicos, além de viabilizar a infecção das células hospedeiras.

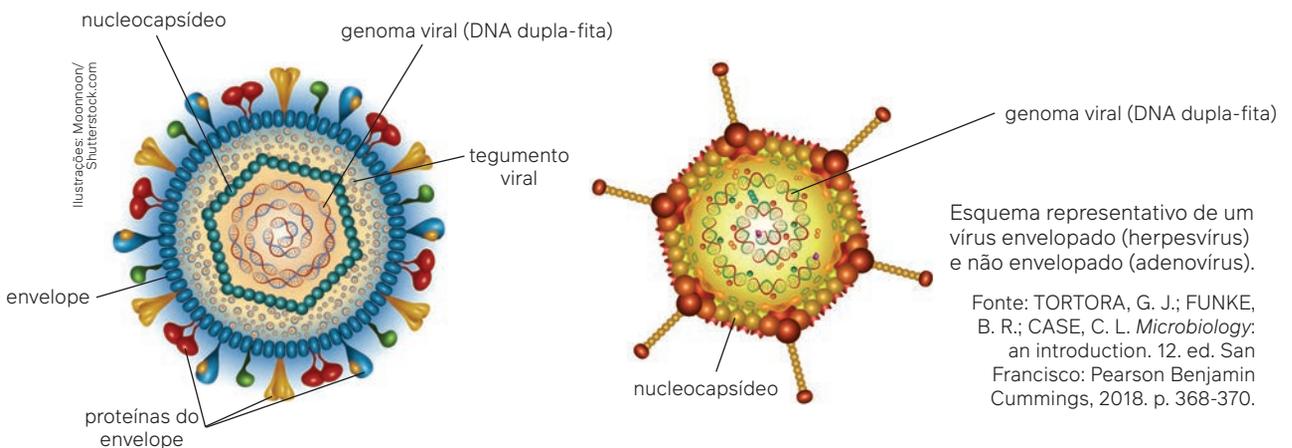
Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Esquema representativo de alguns tipos de vírus.

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 12. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018. p. 368-370.

O **nucleocapsídeo** é o conjunto do ácido nucleico com o capsídeo. O nucleocapsídeo pode ser envolvido pelo **envelope viral**. Tal estrutura é uma membrana lipídica externa que deriva das membranas celulares das células hospedeiras e apresenta proteínas virais que possibilitam a ligação e entrada do vírus nas células infectadas. Alguns exemplos de **vírus envelopados** são: o vírus influenza, causador da gripe; o HIV, causador da aids; herpesvírus, causador da herpes simples; e os diferentes tipos de coronavírus (incluindo SARS-CoV-2, o agente infeccioso que ocasionou a pandemia de covid-19). Exemplos de **vírus não envelopados** incluem: adenovírus, parvovírus, rotavírus, norovírus e papilomavírus.



Esquema representativo de um vírus envelopado (herpesvírus) e não envelopado (adenovírus).

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 12. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018. p. 368-370.

A presença ou ausência de um envelope é uma característica que pode alterar a transmissão de doenças e a tolerância aos métodos de desinfecção, além de afetar a forma como os vírus interagem com as células hospedeiras e o sistema imunológico dos seres infectados. Os vírus envelopados tendem a ser mais sensíveis a mudanças ambientais e podem ser mais facilmente inativados por certos tratamentos ou condições em comparação com os vírus não envelopados.

## Saiba mais

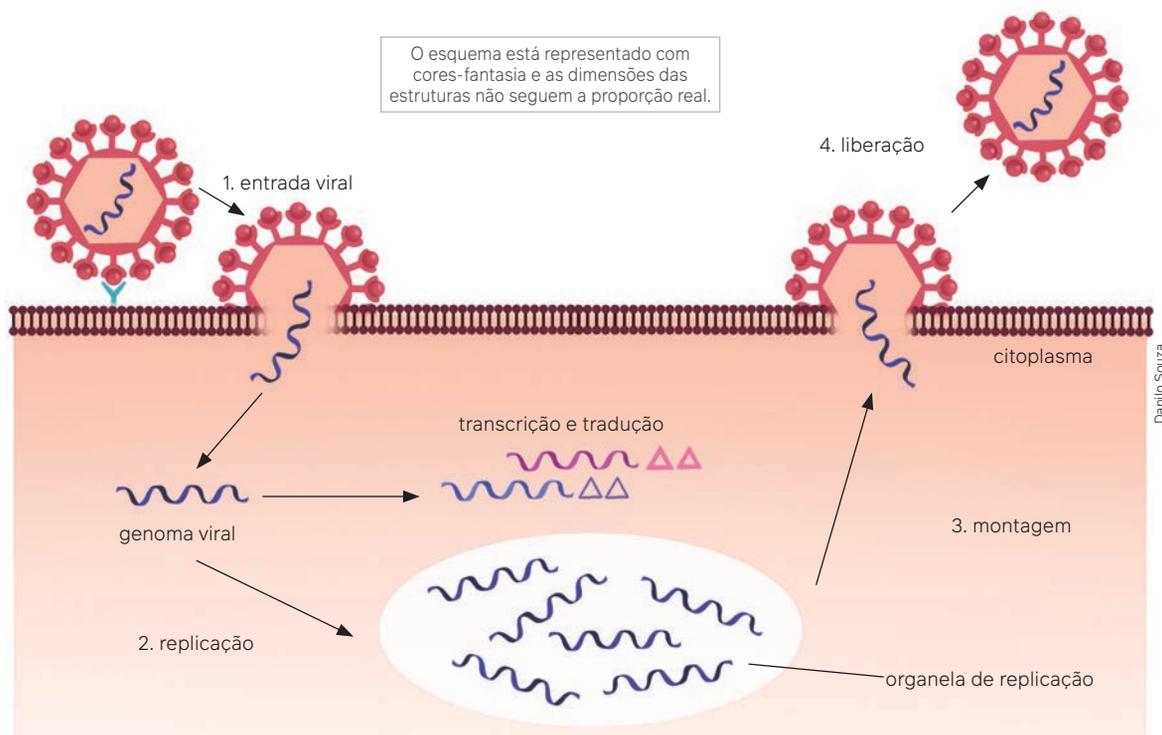
### Importância de se lavar as mãos na prevenção contra viroses

O envelope viral é constituído principalmente por lipídios, moléculas que têm uma região hidrofóbica (repelente à água) e uma região hidrofílica (que absorve água). Quando os vírus envelopados entram em contato com água e sabão, as interações hidrofóbicas e hidrofílicas entre os lipídios podem ser interrompidas, desestabilizando o envelope viral. O sabão envolve as partículas virais e pode romper a bicamada lipídica do envelope, inativando o vírus. Essa é uma das razões pelas quais a lavagem das mãos com água e sabão é uma medida eficaz para prevenir a propagação de infecções virais, incluindo aquelas causadas por vírus envelopados.

## Ciclo de replicação

Os vírus se reproduzem exclusivamente no interior das células hospedeiras, por isso são considerados parasitas intracelulares obrigatórios. A replicação viral é um processo que envolve etapas variáveis de acordo com o tipo de vírus e da célula hospedeira infectada.

Inicialmente, os vírus se ligam a receptores específicos presentes na membrana celular das células dos organismos infectados, durante um processo denominado **adsorção**. Essa ligação é mediada por proteínas virais especializadas, como a hemaglutinina (HA), no caso do vírus da gripe, e a proteína *spike* (S), no caso do coronavírus. Uma vez ligado à membrana celular, o genoma viral é introduzido na célula hospedeira por endocitose, sendo engolfado por uma vesícula, por fusão direta do envelope viral com a membrana da célula ou por outras formas, como a injeção de DNA pelo capsídeo em alguns vírus bacteriófagos.



Ciclo de replicação viral tradicional usando o metapneumovírus humano (HMPV) como exemplo. A entrada viral ocorre por fusão, por meio de um receptor alvo. No interior da célula, o RNA viral é replicado em organelas de replicação citoplasmática e proteínas virais são produzidas. Partículas virais montadas e maduras saem através da membrana celular.

Fonte: JONES, J. E.; LE SAGE, V.; LAKDAWALA, S. S. Viral and host heterogeneity and their effects on the viral life cycle. *Nature Reviews Microbiology*, London, v. 19, p. 272-282, 2021.

Dentro da célula, a maquinaria celular replica o material genético viral. No caso dos vírus de DNA, o DNA viral é transcrito em RNAm, que é traduzido em proteínas virais. Nos vírus de RNA, o RNA viral é traduzido diretamente em proteínas, ou atua como molde para criar mais cópias de genomas de RNA. As proteínas virais são sintetizadas nos ribossomos da célula hospedeira e outras organelas celulares, como no retículo endoplasmático granuloso. Essas proteínas incluem componentes necessários para a montagem de novas partículas virais, bem como enzimas e proteínas que facilitam a replicação viral.

Em alguns casos, durante a infecção viral, podem se formar estruturas ou compartimentos especializados na célula hospedeira, denominados **organelas de replicação**. Essas estruturas facilitam a replicação viral por possibilitar o rearranjo das membranas das células hospedeiras e o recrutamento da maquinaria celular para dar suporte à replicação viral. Os genomas virais recém-sintetizados, proteínas e outros componentes se juntam, formando novas partículas virais, muitas vezes dentro de compartimentos celulares específicos. Durante a montagem, os componentes do vírus são organizados e empacotados em partículas virais individuais.

Dependendo do tipo, as partículas virais recém-formadas são liberadas da célula hospedeira por meio de **brotamento** ou por **lise** (estouro) da célula hospedeira, processo que libera múltiplas partículas virais no meio extracelular. Os vírus envelopados geralmente brotam da membrana da célula hospedeira porque, na formação do envelope viral, utilizam alguns elementos que pertenciam à célula parasitada.

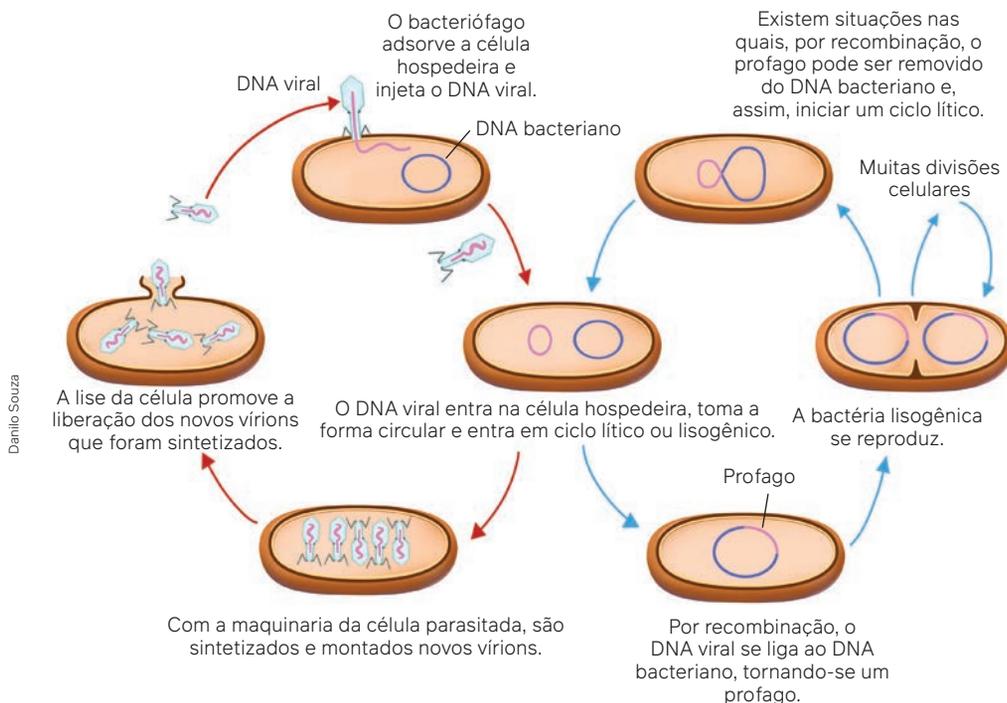
## Ciclos lisogênicos e líticos

Os ciclos lisogênicos e líticos representam duas maneiras distintas nas quais os vírus podem se replicar no interior das células hospedeiras. No **ciclo lítico**, processo descrito anteriormente, o vírus se conecta à célula hospedeira e introduz seu material genético. Dentro da célula parasitada, o material genético viral é replicado e transcrito, resultando na produção de material genético e proteínas. Esses componentes virais são então montados para formar novas partículas virais. Eventualmente, a célula hospedeira é rompida (lise), resultando na liberação de uma quantidade substancial das novas partículas virais e na morte da célula.

No **ciclo lisogênico**, o material genético do vírus é incorporado por recombinação ao DNA da célula hospedeira, assumindo a forma de um **prófago**. O DNA viral integrado é copiado em conjunto com o DNA da célula hospedeira durante as divisões celulares. O material genético viral permanece em um estado latente, sem causar a lise imediata da célula hospedeira, enquanto isso, a célula hospedeira continua seu ciclo normal de crescimento e reprodução. Eventuais estímulos externos ou fatores estressantes podem promover recombinação, e o prófago se desprende do DNA hospedeiro, iniciando o ciclo lítico. Para isso, utiliza a maquinaria celular para a produção de vírus, iniciando em seguida o processo de lise celular.

### GLOSSÁRIO

**prófago:** fase inativa ou latente do DNA viral incorporado ao genoma hospedeiro sujeita à replicação.



Esquema representativo do ciclo viral lítico e lisogênico.

Fonte: FRAGUAS, T.; GONZALEZ, C. E.; MARQUES, R. Vírus: sequência didática para o ensino de ciências pós pandemia. *Experiências em Ensino de Ciências*, Cuiabá, v. 16, n. 1, p. 596-611, 2021.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

## Ecologia e evolução de vírus

Os vírus têm taxas de mutação excepcionalmente altas porque não possuem mecanismos de reparo do material genético, assim, é mais comum que ocorram erros durante a replicação. A evolução acelerada resulta no aparecimento de novas variantes virais, algumas das quais podem apresentar mudanças em sua virulência, na capacidade de transmissão ou mesmo nos tipos de hospedeiro que podem infectar. A virulência refere-se ao grau de severidade dos danos que um vírus pode causar ao hospedeiro, incluindo a gravidade das doenças que ele pode provocar e a rapidez com que esses efeitos se manifestam.

Em geral, a relação entre vírus e célula hospedeira tende a ser restrita, mas alguns vírus podem alternar entre espécies ocasionando, por exemplo, infecções zoonóticas. Exemplos de vírus que infectavam outros animais e passaram a infectar também os seres humanos incluem o hantavírus, causador de febre hemorrágica, o vírus da influenza aviária (AI), o vírus da varíola dos macacos e o coronavírus (Sars-CoV-2), associado à Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

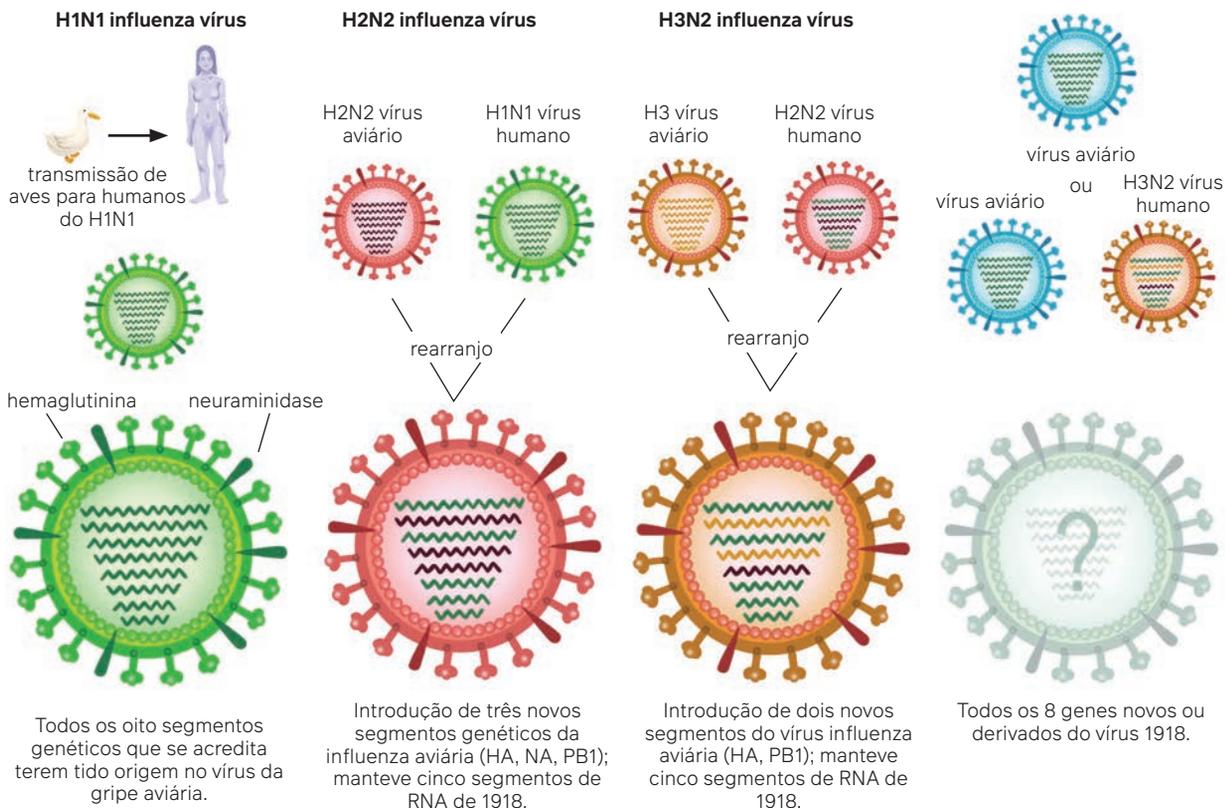
Em vírus de RNA, como o causador da influenza, as mutações mais frequentes podem levar a **alterações antigênicas**, o que exige a adaptação contínua das vacinas, já que, mediante as constantes variações genômicas, essas podem deixar de ser eficazes. Em 1918, um vírus do tipo influenza, o H1N1, intimamente relacionado aos aviários, desenvolveu a capacidade de se replicar eficientemente em humanos, causando a maior pandemia de gripe do século XX. Em 1957 e 1968, eventos de rearranjo genético resultaram em novos vírus que causaram duas pandemias adicionais. Em 1957, o vírus H2N2, conhecido como influenza asiática, adquiriu elementos genéticos de um vírus aviário. Em 1968, o vírus H3N2, ou influenza de Hong Kong, também incorporou material genético de uma fonte aviária. Futuras cepas pandêmicas podem surgir por meio de processos semelhantes.

### GLOSSÁRIO

#### alteração antigênica:

mudanças nas características dos antígenos, que podem afetar a capacidade do sistema imunitário de reconhecer e combatê-los.

1918 – influenza espanhola → 1957 – influenza asiática → 1968 influenza de Hong Kong → nova pandemia de influenza



Danilo Souza

Os dois mecanismos de evolução viral pelos quais a gripe pandêmica se manifesta.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Fonte: BELSHE, R. B. The Origins of Pandemic Influenza – Lessons from the 1918 Virus. *The New England Journal of Medicine*, Waltham, v. 353, p. 2209-2211, 2005.



1. Conhecer os mecanismos de evolução viral e monitorá-los pode ajudar a prever e desenvolver tratamentos e vacinas eficazes. Formem 10 grupos de modo que cada grupo pesquise e elabore uma pequena apresentação sobre os seguintes agentes infecciosos: flavivírus, coronavírus, influenza, filovírus, *paramyxovirus*, lyssavirus, rotavírus, *herpesviridae*, parvovírus b-19 e lentivirus (HIV). Destaquem informações sobre infecções virais, tipo de genoma, formas de transmissão e principais sintomas.
2. Identifique características tipicamente virais no excerto a seguir.

Pessoas podem passar o Sars-CoV-2 para animais de estimação ou silvestres, que podem infectar de volta o homem com o coronavírus causador da covid-19, possivelmente até com uma versão modificada do patógeno. Alguns pesquisadores suspeitam de que a atual forma dominante do Sars-CoV-2, a variante ômicron, mais transmissível e com cerca de 50 mutações em seu material genético em relação à linhagem original do vírus, possa ter surgido dessa forma.

GERAQUE, E. Infecção entre espécies. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/infeccao-entre-especies/>. Acesso em: 12 set. 2024.

3. Leia o texto a seguir depois faça o que se pede.

A hantavirose é uma zoonose viral aguda, cuja infecção em humanos, no Brasil, se apresenta na forma da Síndrome Cardiopulmonar por Hantavírus. [...]. Os hantavírus possuem como reservatórios naturais alguns roedores silvestres, que podem eliminar o vírus pela urina, saliva e fezes. Os roedores podem carregar o vírus por toda a vida sem adoecer. A hantavirose é causada por um vírus RNA, pertencente à família Hantaviridae, gênero Orthohantavirus.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Hantavirose*. Brasília, DF: MS, [20--]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/h/hantavirose>. Acesso em: 12 set. 2024.

Considerando a forma dos agentes transmissores e eliminação do hantavírus, quais medidas preventivas podem ser adotadas para evitar a infecção e reduzir a ocorrência de casos da doença?

4. Os retrovírus são agentes infecciosos capazes de converter o RNA viral em DNA, que é, então, integrado ao genoma da célula hospedeira. O vírus da imunodeficiência humana (HIV), que causa a síndrome da imunodeficiência adquirida (aids), é um dos retrovírus mais conhecidos. Os antirretrovirais são uma classe de medicamentos utilizados no tratamento de infecções causadas por retrovírus, cujos mecanismos de ação se centram na interferência ou inibição do funcionamento de enzimas, principalmente a transcriptase reversa, fundamental para o processo de replicação do HIV. A terapia antirretroviral (ART, do inglês, *antiretroviral therapy*) normalmente envolve a combinação de vários medicamentos antirretrovirais de diferentes classes para criar um regime potente. Embora os antirretrovirais sejam eficazes na supressão do HIV e melhorem a saúde dos indivíduos que vivem com aids, eles não são capazes de curar a infecção.

Neste contexto, pesquise, em fontes confiáveis, no que consiste a Profilaxia Pós-Exposição (PEP) e a Profilaxia Pré-Exposição (PrEP). Qual é a relação desses tratamentos com os antirretrovirais?

Pesquise sobre o surgimento da aids e a evolução de seu tratamento no mundo. Inclua considerações sobre os aspectos sociais envolvidos e como a epidemia influenciou diferentes comunidades ao longo do tempo.

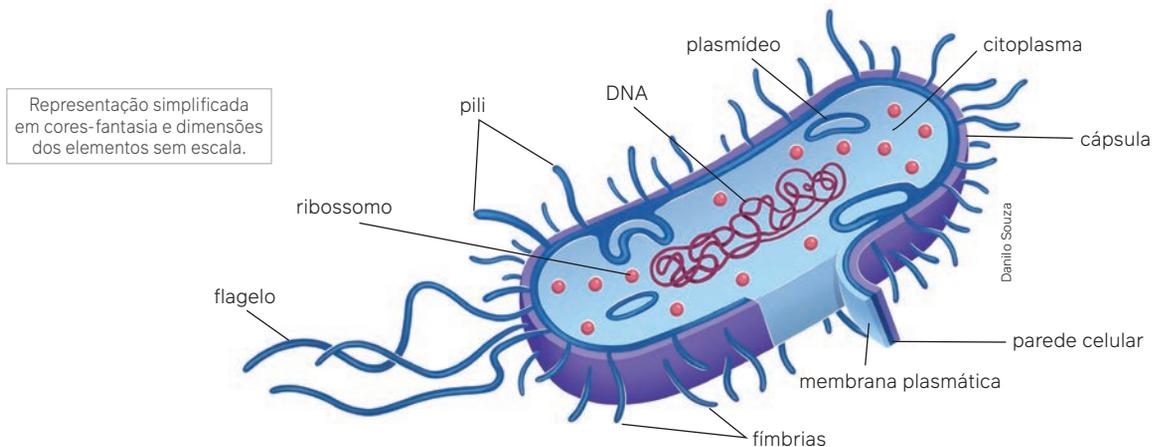
Diferencie grupo de risco e comportamento de risco. Elabore uma redação crítica e explicativa que resuma suas investigações, ajude a ilustrar a evolução da epidemia e seus impactos.

## Arqueas e bactérias

Durante muito tempo, as arqueas foram classificadas como bactérias por compartilhar com elas muitas características em comum: são microrganismos unicelulares, procariontes, portanto, sem a presença de um núcleo organizado e delimitado por membranas contendo o material genético, nem organelas delimitadas por membranas. Atualmente, são reconhecidas como um domínio separado dessas últimas com base em dados genéticos e bioquímicos. Algumas espécies podem formar colônias, aglomerados de células individuais que crescem juntas.

As arqueas, ou Archaea (do grego *arkhé* que significa “original”, “primeiro”, “anterior” ou “inicial”) e bactérias, ou Bacteria (do grego *bakterion*, que significa “pequena vara”, “bastãozinho”, diminutivo de *baktron*, “vara”, “cajado”) são encontradas nos mais variados tipos de ambiente, como na água doce, marinha, no solo, no ar e, até mesmo, no corpo de outros seres vivos. Muitas das arqueas apresentam atividade metabólica variável que possibilita ocuparem ecossistemas não propícios à vida humana e outras formas de vida, bem como ambientes de condições físico-químicas extremas.

## Estrutura



Esquema representativo de arqueas e bactérias.

Flagelos e fimbrias são estruturas que possibilitam o movimento e a fixação a substratos ou outras células. Nas bactérias, os flagelos permitem a locomoção, enquanto as fimbrias ajudam na adesão. Os pili, geralmente referidos como pili sexuais, são responsáveis pela formação de pontes citoplasmáticas para a transferência de material genético entre bactérias. Essas estruturas estão presentes em bactérias, mas há correspondentes em arqueas. Por exemplo, os flagelos de arqueas são estruturalmente diferentes dos de bactérias. As paredes celulares conferem a esses organismos propriedades estruturais e de defesa. Em bactérias, as paredes celulares são compostas de peptidoglicano. Em arqueas, a composição e a estrutura das paredes celulares são muito variadas, sendo muitas vezes compostas de pseudopeptidoglicano.

Na microscopia óptica, a estrutura do peptidoglicano presente na parede celular das bactérias pode conferir diferentes colorações mediadas pelo uso de corantes: as que apresentam uma espessa camada de peptidoglicano adquirem a cor roxa e são conhecidas como Gram-positivas; enquanto as que possuem uma fina camada adquirem a cor rosa e são classificadas como Gram-negativas.

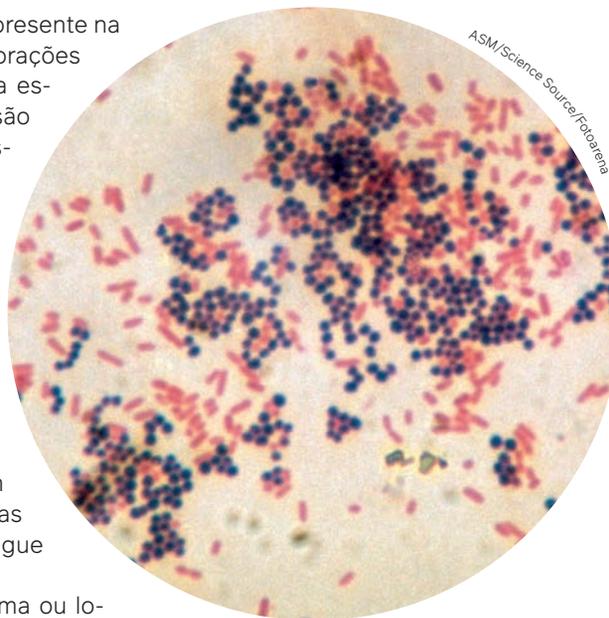
As bactérias também podem apresentar uma camada externa à parede celular. Essa estrutura é denominada **cápsula**, que a protege contra o sistema imunitário do organismo hospedeiro e confere aderência às superfícies de hospedeiros. Essa função também pode ser atribuída às fimbrias que, além da aderência, produzem biofilmes e promovem interações com outras células.

As arqueas apresentam membranas celulares distintas, compostas de lipídios diferentes dos encontrados em bactérias e eucariontes. Essa diferença na composição das membranas é uma característica importante que distingue esses organismos.

O material genético se encontra disperso no citoplasma ou localizado na região do nucleóide. Nas arqueas, a organização do DNA é semelhante à dos eucariotos, incluindo proteínas histonas para a compactação do material genético. Em algumas arqueas, o DNA também pode ser circular. Nas bactérias, o DNA está organizado em um único cromossomo circular e não possui histonas.

Os **plasmídeos** são pequenas moléculas circulares de DNA que são extracromossômicas e se replicam independentemente.

Eles podem transportar vários tipos de informação genética, incluindo genes que conferem resistência a antibióticos e fatores de virulência. Essas estruturas são comumente registradas em bactérias e são menos frequentes em arqueas, descritas em poucos grupos, como na família *Sulfolobales*.



*Staphylococcus aureus*, em coloração roxa, são bactérias Gram-positivas; e *Escherichia coli*, em rosa, são bactérias Gram-negativas. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 3970 vezes.

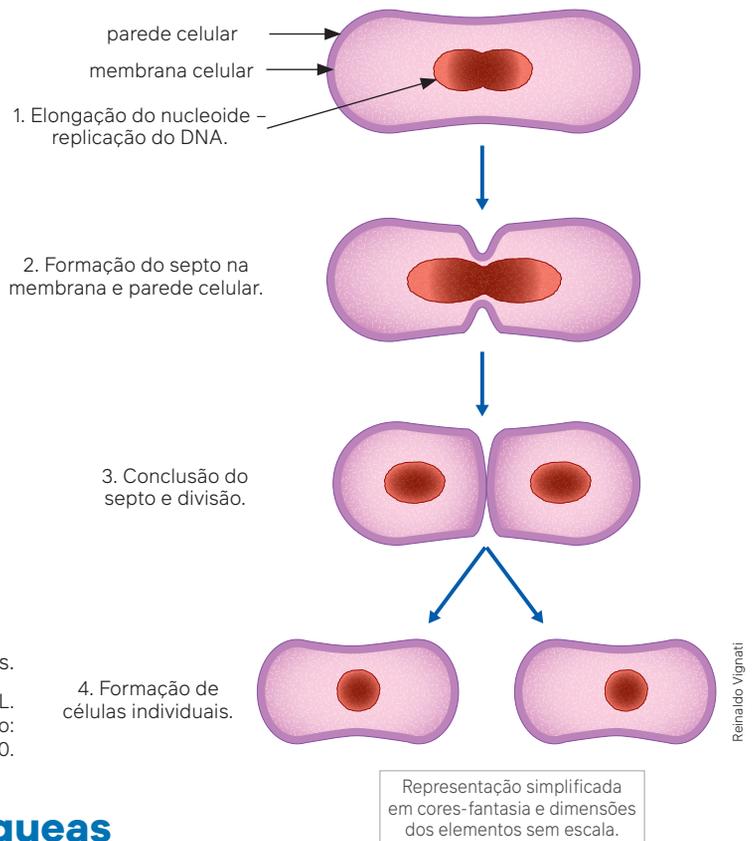
## Reprodução

Bactérias e arqueas têm reprodução assexuada, ou seja, sem que ocorra troca genética entre indivíduos. Sua principal forma de reprodução é a fissão binária, um processo semelhante à mitose, no qual um único organismo se divide em duas células filhas idênticas.

Outras formas de reprodução incluem: a **esporulação**, na qual, em condições ambientais desfavoráveis, formam-se esporos, que são estruturas de resistência; e o **brotamento**, que ocorre quando uma pequena protuberância, ou “broto”, se forma na superfície, até que este se destaque da célula-mãe. Alguns representantes de arqueas se reproduzem ainda por **fragmentação**, quando uma célula se divide em fragmentos menores que se desenvolvem em uma nova célula independente.

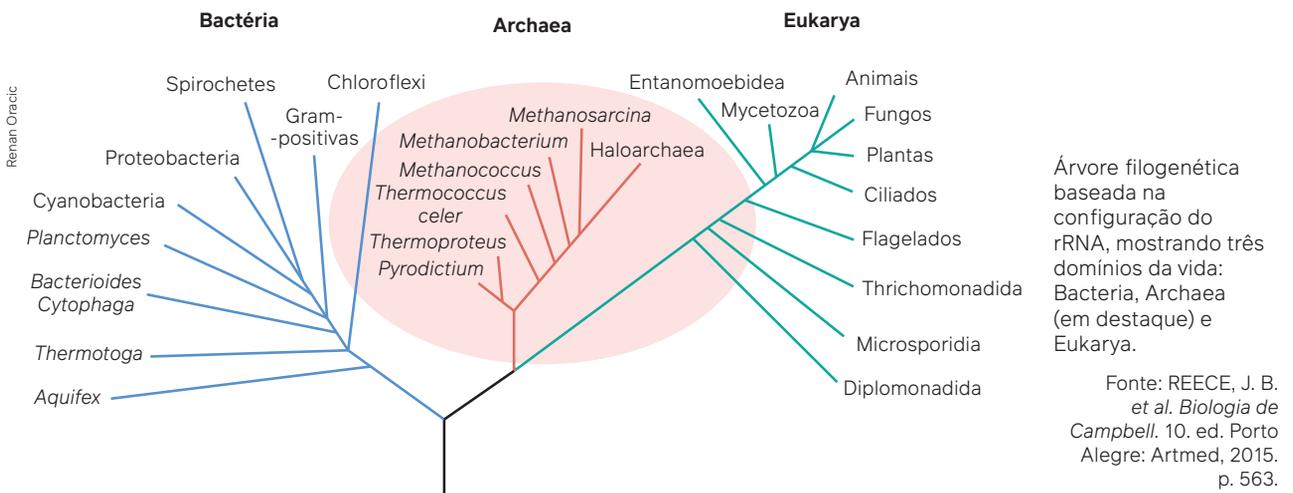
Esquema representativo de fissão binária em bactérias.

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 12. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018. p. 368-370.



## Ecologia e evolução de arqueas

As hipóteses evolutivas, como a proposta pelo grupo de pesquisa do microbiologista estadunidense Carl Woese (1928-2012), sugerem que arqueas e eucariotos compartilham um ancestral comum. Por meio de estudos de biologia evolutiva, foi identificada a presença de genes e diversas vias metabólicas intimamente relacionadas com eucariotos em arqueas.



## Diversidade de habitats e modos de vida

As primeiras arqueas identificadas habitam ambientes extremos, como fontes termais e lagos salinos, onde poucos organismos conseguem sobreviver. O refinamento das técnicas moleculares possibilitou a detecção de arqueas em uma variedade de habitats, como o solo, os oceanos e os pântanos, além de associações mutualísticas entre arqueas e animais. Nas águas oceânicas, as arqueas são especialmente numerosas, considerando que as presentes no plâncton podem constituir um dos grupos de organismos mais abundantes do planeta.

As arqueas são, muitas vezes, referidas como organismos **extremófilos**, já que apresentam capacidade de adaptação e resistência a ambientes com condições extremas de temperatura, pH, salinidade e pressão. De acordo com o tipo de ambiente que ocupam, podem ser classificadas em categorias: termófilas, metanogênicas, halófilas e acidófilas.

As arqueas **termófilas** habitam ambientes que apresentam altas temperaturas, como as fontes termais e hidrotermais, áreas geotérmicas e solos vulcânicos; possuem enzimas e proteínas resistentes ao calor, que mantêm sua estabilidade e funcionalidade metabólica sob temperaturas elevadas, sendo alguns tipos capazes de suportar temperaturas superiores a 80 °C. Acredita-se que os primeiros seres vivos que habitaram o planeta Terra eram semelhantes a arqueas termófilas. Elementos relacionados à replicação do DNA e ao processamento de informações de Arqueas apresentam semelhanças com o que se presume ter sido o metabolismo primordial da vida.

As arqueas **halófilas** são organismos que prosperam em ambientes com altas concentrações de sal, como salinas, minas de sal, lagos salgados e solos hipersalinos. Possuem mecanismos especializados para manter o equilíbrio osmótico e prevenir a dessecação.

As arqueas **acidófilas** são microrganismos que sobrevivem em ambientes altamente ácidos, com valores de pH geralmente abaixo de 3,0. Isso inclui locais como fontes termais vulcânicas e solos ácidos. Esses organismos possuem enzimas resistentes e mecanismos de proteção que evitam danos causados pela acidez às suas estruturas celulares.

Outras arqueas são **metanogênicas**, ou seja, são capazes de sintetizar metano. Essas arqueas habitam uma diversidade de ambientes anaeróbicos, como solos inundados, pântanos, sedimentos lacustres, intestinos de animais e ambientes subterrâneos. Além disso, apresentam metabolismo especializado, envolvendo a produção de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de compostos orgânicos simples, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e acetato. Alguns desses organismos vivem como simbioses no sistema digestório de animais herbívoros, que degradam a celulose e outros polissacarídeos complexos. Vale ressaltar que a liberação de metano por animais ruminantes é um componente significativo das emissões de gases de efeito estufa.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.



Wolfgang Baumeister/SPL/Fotoarena

Arqueia *Staphylothermus marinus*, uma espécie termófila – parede celular (verde) e o conteúdo celular (rosa). Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 27 000 vezes.



Dennis Kunkel Microscopy/SPL/Fotoarena

Arqueas halófilas. Os organismos da imagem foram coletados em ambiente de alta salinidade (com 2,5 vezes a concentração normal da água do mar). É provavelmente um gênero desconhecido, *Halomicrobium* ou *Halobacterium*, de um grupo de Archaea. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 1600 vezes.



Jose Luis Alvarez-Esteban/Stockphoto.com

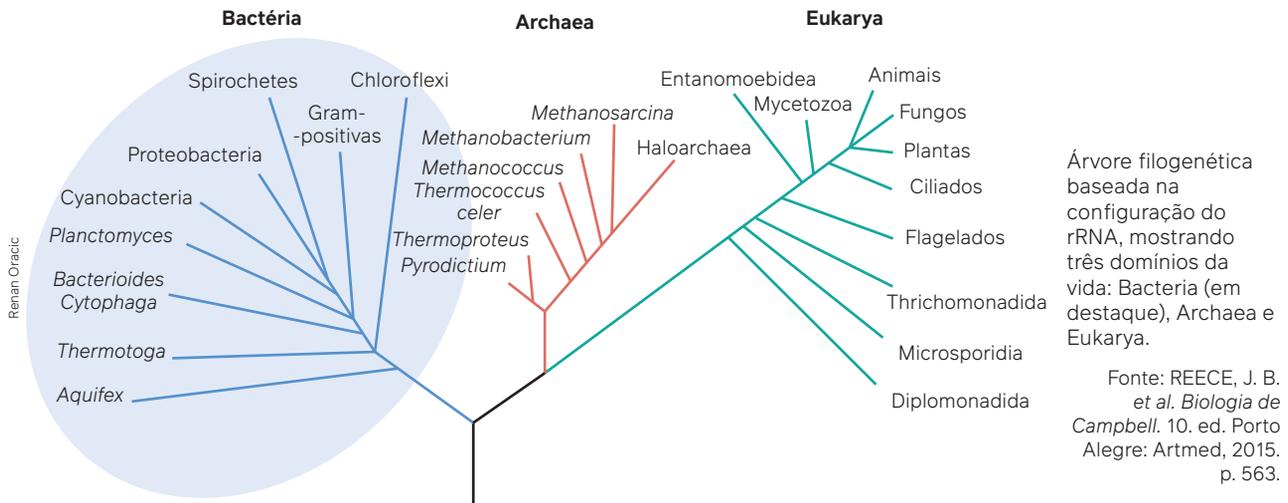


Denise Graupner/Stockphoto.com

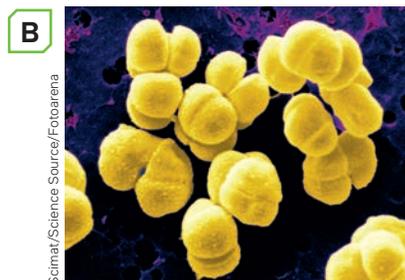
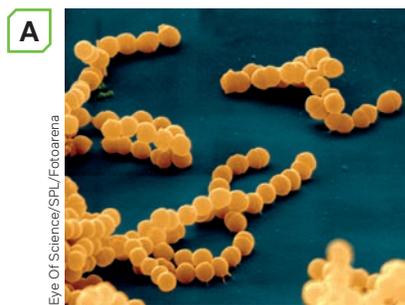
Arqueas acidófilas geralmente habitam ambientes ácidos ricos em enxofre, como (A) Rio Tinto no Cinturão Píritico Ibérico no sul da Espanha e a Bacia de Norris Geysir, no (B) Parque Nacional de Yellowstone em Wyoming, Estados Unidos.

# Ecologia e evolução de bactérias

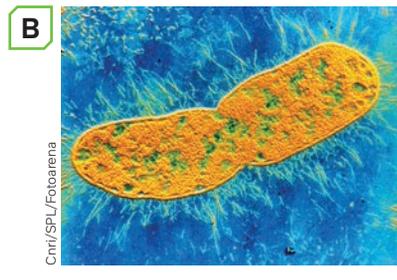
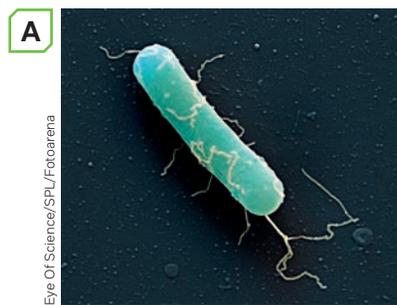
Bactérias apresentam ciclos de vida curtos assim como as arqueas, podendo alcançar – em condições favoráveis – grandes populações e, por essa razão, são suscetíveis a rápidos processos evolutivos.



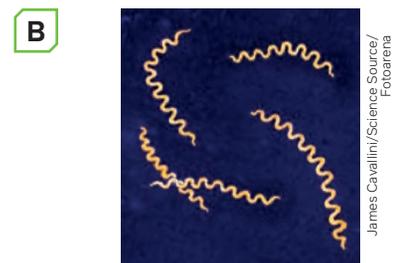
Esses organismos apresentam vários formatos e podem formar colônias. As formas mais comuns de bactérias são cocos (esféricas), bacilos (bastões) e espirilos (espiraladas), variando significativamente em tamanho, desde microrganismos muito pequenos, como algumas espécies de *Mycoplasma* (150 nm a 300 nm), até bactérias maiores, como algumas espécies de *Bacillus* (algumas com 1 µm). As bactérias podem se organizar de diferentes maneiras, aos pares, em cadeias ou em aglomerados irregulares, como mostrado na imagem a seguir.



Arranjos de bactérias no formato de cocos. (A) Estreptococos. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 2700 vezes. (B) Sarcinas. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 5000 vezes.



Arranjos de bactérias no formato de bacilo. (A) Bacilo único. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 3600 vezes. (B) Diplobacilos. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de transmissão. Aumento aproximado de 17000 vezes.



Arranjos de bactérias espirais. (A) Vibrião. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de transmissão. Aumento aproximado de 5000 vezes. (B) Espiroqueta. Fotografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 2000 vezes.

## Transferência de material genético

Além da transferência vertical de material genético, que ocorre por meio da reprodução, nas bactérias, também ocorre a **transferência horizontal** entre organismos, sem haver descendência entre eles, por meio de processos como a conjugação, a transformação e a transdução. A transferência horizontal de genes contribui para a variabilidade de bactérias, possibilitando que se adaptem rapidamente.

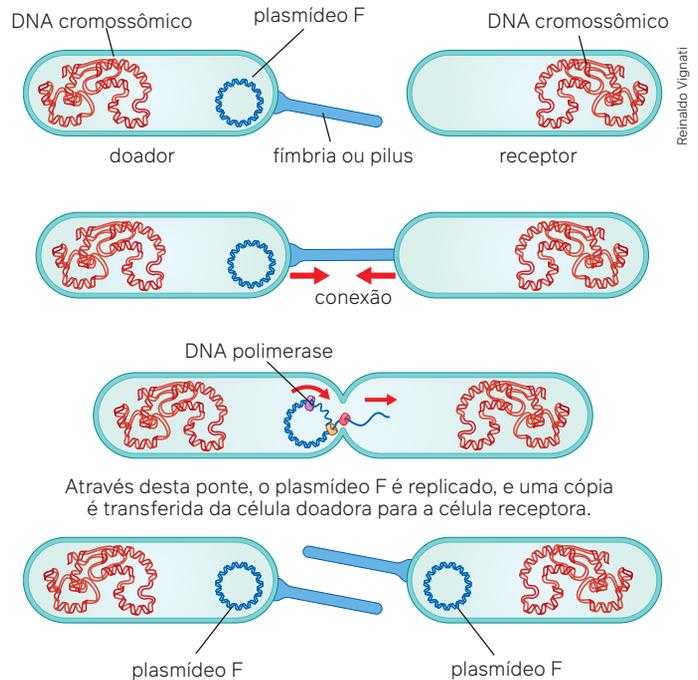
A **conjugação** é um mecanismo no qual o material genético é transferido de uma célula bacteriana para outra, muitas vezes na forma de plasmídeos. É um processo crucial que contribui para a rápida disseminação de características adaptativas vantajosas entre populações bacterianas, como genes de resistência a antibióticos.

A **transformação** ocorre em situações nas quais uma bactéria obtém DNA livre do ambiente circundante e o incorpora em seu próprio genoma. O DNA capturado pode vir de outras bactérias após a lise de suas células ou de fontes externas, como DNA liberado de células mortas.

Esquema representativo de conjugação, um tipo de troca horizontal de genes entre bactérias.

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 12. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018. p. 236.

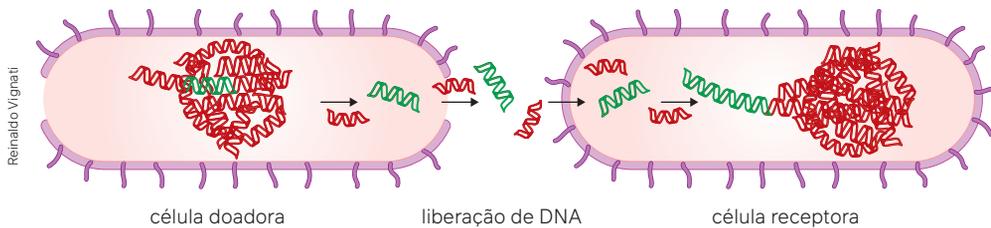
Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Reinaldo Vignati

### Se liga

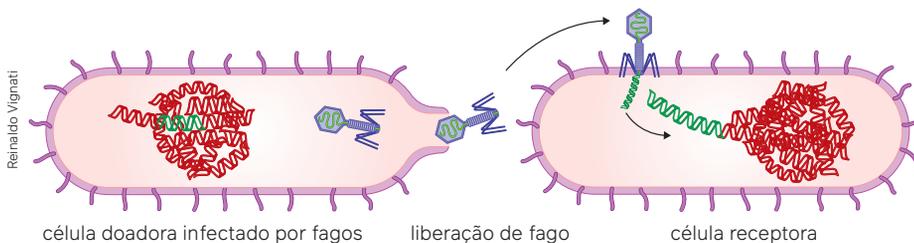
A transformação é um tipo de transferência horizontal de genes também presente em arqueas.



Reinaldo Vignati

Esquema representativo de transformação bacteriana.

Na **transdução**, o material genético é transferido entre bactérias por meio de bacteriófagos, vírus que infectam bactérias. Durante a infecção bacteriófaga, o DNA bacteriano é embalado em uma cápsula viral e pode ser doado para outra bactéria em uma nova infecção.



Reinaldo Vignati

Esquema representativo de transdução bacteriana.

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 12. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018. p. 234.

## Formas de vida e relações ecológicas

Entre as bactérias, podem ser encontrados organismos de vida livre, simbioses ou parasitas. O grupo das cianobactérias são exemplos de organismos fotossintetizantes de vida livre. Frequentemente são encontradas em ambientes aquáticos. As cianobactérias abrigam o grupo de organismos mais antigos da Terra e que contribuíram para o abastecimento de oxigênio atmosférico do planeta.

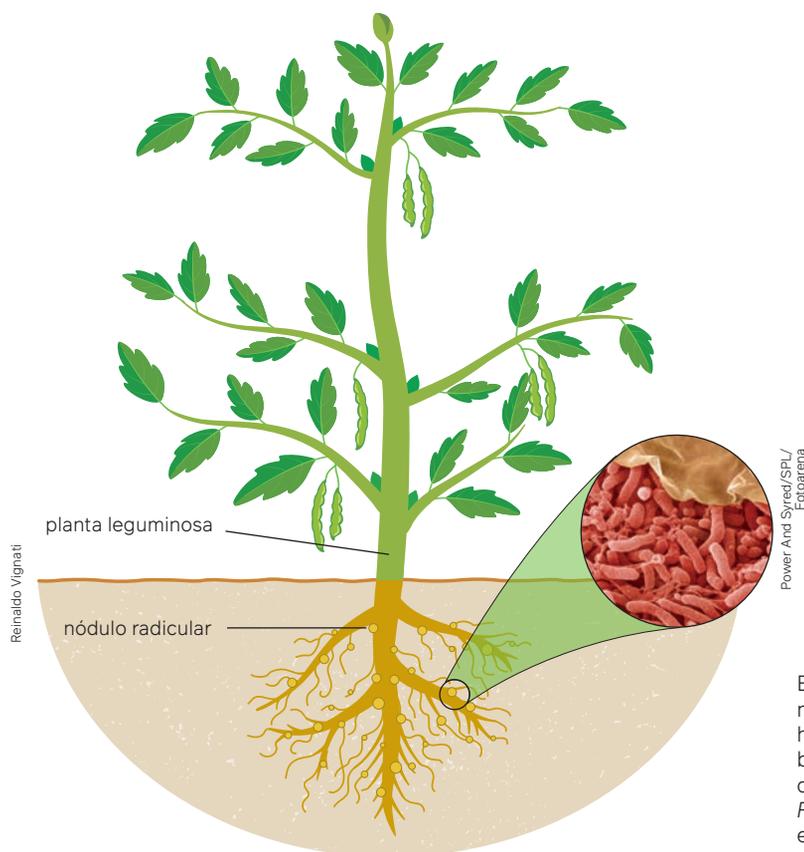
A nutrição e o metabolismo bacteriano envolvem uma variedade de processos que lhes possibilitam obter matéria e energia, sintetizar moléculas essenciais e realizar outras funções celulares, tais como como a nutrição autotrófica e heterotrófica. O metabolismo desses organismos procariontes se dá por meio de processos como a fermentação e a respiração, aeróbica ou anaeróbica.

Grande parte das espécies atuam como decompositoras, obtendo nutrientes por meio da degradação da matéria orgânica. Também há bactérias que atuam na fixação do nitrogênio, por exemplo, representantes do gênero *Rhizobium* participam da fixação de nitrogênio por meio de relações simbióticas com leguminosas, convertendo o nitrogênio atmosférico em amônia, uma forma utilizável de nitrogênio. Outras espécies realizam a desnitrificação, processo que devolve o nitrogênio gasoso à atmosfera.



Gerd Guenther/SPL/Fotoarena

Filamentos de cianobacteria *Nostoc* sp. Fotografia obtida por microscópio de luz com contraste. Ampliação aproximada de 273 vezes.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema representativo de nódulos nas raízes de uma leguminosa hipotética. Eles podem conter bactérias simbióticas fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Rhizobium*, no detalhe. Microscopia eletrônica de varredura. Ampliação aproximada de 2440 vezes.

Há bactérias que residem nos tratos digestórios de certos animais e participam da digestão de compostos complexos, como a celulose nas dietas dos herbívoros e as bactérias que compõem a flora intestinal no organismo humano.

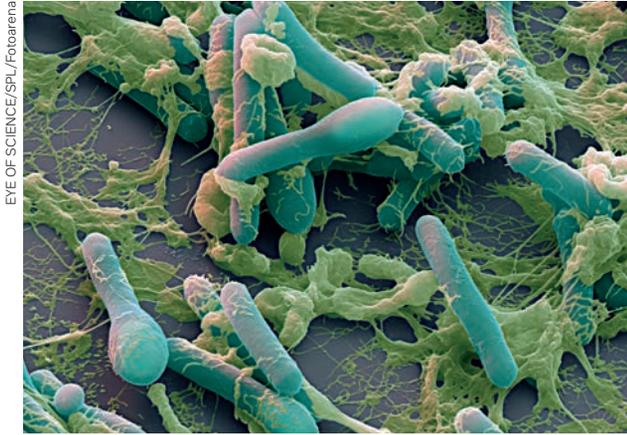
Algumas bactérias, assim como algas, fungos ou plantas, podem apresentar a capacidade de acumular, degradar e desintoxicar poluentes e contaminantes do meio ambiente, como óleo e resíduos industriais, por isso, podem ser aplicadas em técnicas de **biorremediação**.



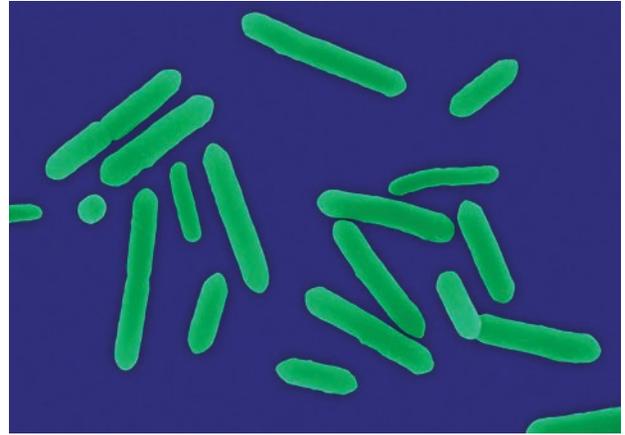
Podcast  
Biorremediação

## Bactérias patogênicas

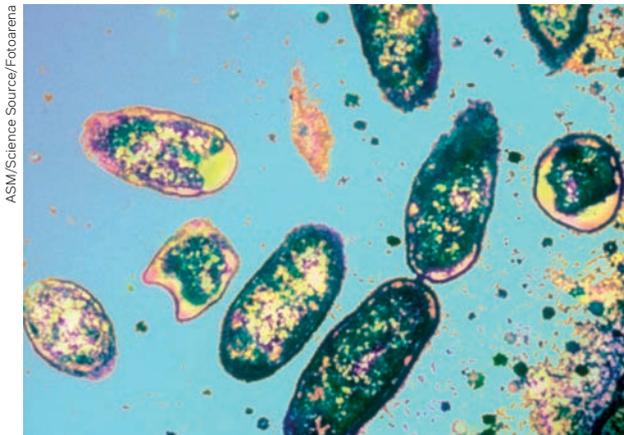
As bactérias patogênicas são microrganismos que podem liberar toxinas, enzimas e outras moléculas que danificam células e tecidos dos hospedeiros, causando infecções que podem variar de leves a graves, com risco à vida. Veja a seguir alguns exemplos de infecções bacterianas e seus agentes causadores.



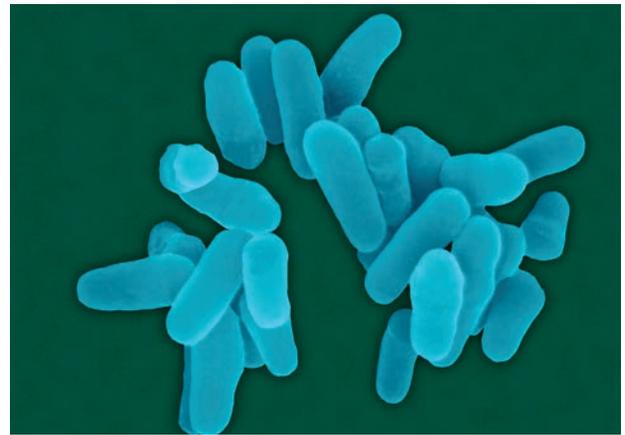
*Clostridium botulinum*, que causa o botulismo. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 6 000 vezes.



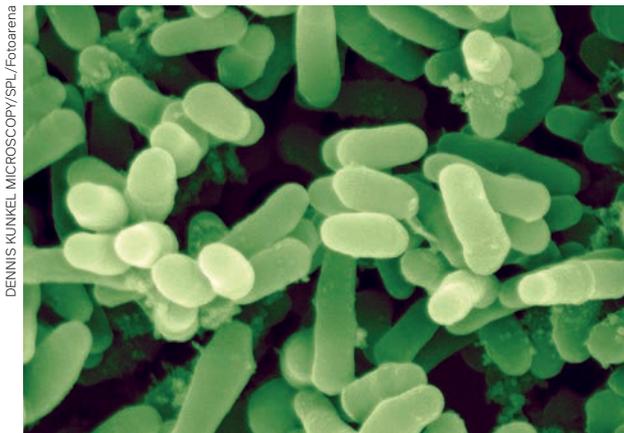
*Clostridium tetani*, que causa o tétano. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 6 000 vezes.



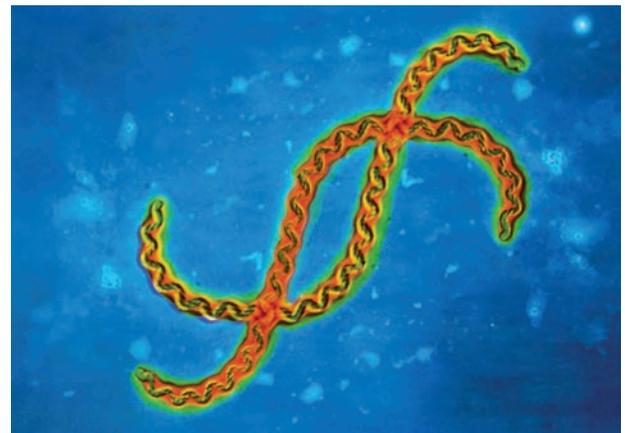
*Rickettsia*, que causa a febre maculosa. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de transmissão. Aumento aproximado de 20 000 vezes.



*Mycobacterium tuberculosis*, que causa a tuberculose. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 15 000 vezes.



*Mycobacterium leprae*, que causa a hanseníase. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de varredura. Aumento aproximado de 10 500 vezes.

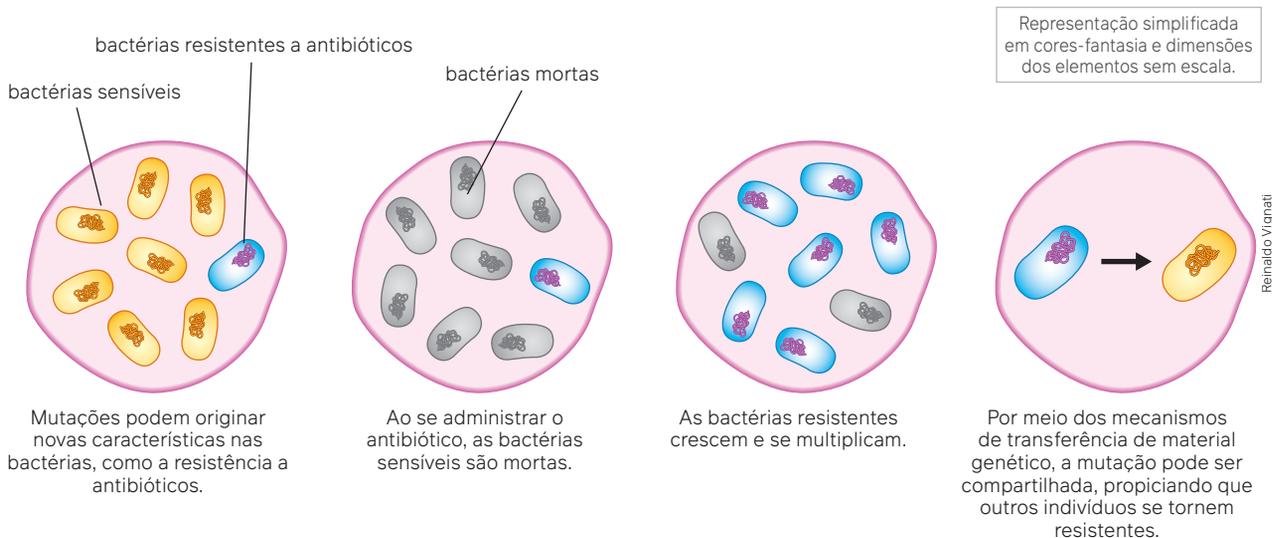


*Leptospira interrogans*, que causa a leptospirose. Fotomicrografia obtida com microscópio eletrônico de transmissão. Aumento aproximado de 32 000 vezes.

## Resistência a antibióticos

Os antibióticos são medicamentos que eliminam ou inibem o crescimento de bactérias, cujos mecanismos de ação agem nas paredes celulares, na síntese de proteínas, na replicação do DNA e nas vias metabólicas bacterianas.

A utilização excessiva e inadequada de antibióticos pode resultar na proliferação de variantes resistentes, tornando medicamentos ineficazes. Esse é um exemplo amplamente comprovado de como as populações bacterianas podem se ajustar rapidamente a estímulos externos.



Esquema representativo da progressão da resistência bacteriana.

## Ciência por fora



## Resistência microbiana

O Dia Nacional do Uso Racional de Medicamentos, instituído no dia 5 de maio, tem o objetivo de promover a conscientização e boas práticas do uso de medicamentos, além de alertar a população quanto aos riscos à saúde causados pela automedicação e ingestão inadequada de fármacos, principalmente os antibióticos. Pesquisadoras da Fiocruz advertem que a administração inadequada e o uso abusivo desse tipo de medicação têm causado, com maior frequência, um fenômeno preocupante: a resistência microbiana.

A Organização Mundial da Saúde entende como uso racional de medicamentos a prescrição de medicação apropriada para as condições clínicas de cada paciente, em doses adequadas às suas necessidades, por um período adequado e ao menor custo para si e para a comunidade. A medicalização inadequada, por sua vez, pode causar diversos eventos adversos à saúde, assim como intoxicação e dependência.

A situação é ainda pior quando se trata de antibióticos. Também segundo a OMS, a resistência bacteriana poderá ser uma das principais causas de óbitos de pessoas no mundo até 2050. O fenômeno pode ser definido como a capacidade das bactérias se tornarem mais resistentes aos efeitos das medicações, explicou Isabel Tavares, coordenadora da Comissão de Controle de Infecção Hospitalar do Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas (INI/Fiocruz).

“A partir do uso excessivo e indiscriminado dos antibióticos, infecções bacterianas simples, podem, com o tempo, se tornar cada vez mais difíceis de serem combatidas, levando, eventualmente, a uma piora do quadro clínico e até ao óbito. O que temos visto é um aumento do número de bactérias multirresistentes e poucas opções para tratamento no mercado”, explicou Tavares.

A avaliação é reforçada por Ana Paula Assef, chefe do laboratório de pesquisa em infecção hospitalar do Instituto Oswaldo Cruz (IOC/Fiocruz). “É preciso cada vez mais conscientizar a população e a sociedade médica sobre a otimização do uso de antibióticos, devido a esse aumento da capacidade de resistência das bactérias, e a falta de novas opções terapêuticas pela indústria farmacêutica. Essas medicações devem ser bem selecionadas para cada tipo de paciente, e utilizadas no momento e na dose adequada, de forma a minimizar seus impactos”, ponderou ela.

Dados da OMS apontam que mais de 50% de todos os medicamentos no mundo são prescritos, dispensados ou vendidos de forma inadequada, e que metade de todos os pacientes não os utiliza corretamente. Além disso, o Brasil ocupa a 17ª posição entre 65 países pesquisados em relação ao número de doses de antibióticos consumidas.

O primeiro passo para promover o uso racional de medicações é utilizá-las apenas com orientação médica. “O paciente com alguma queixa de saúde precisa, primeiro e de forma essencial, procurar assistência médica. Apenas um profissional está habilitado para avaliar o caso e prescrever, se preciso, o antibiótico. Muitos pacientes que optam pela automedicação, fazem uso, por exemplo, de antibióticos para infecções virais, o que não só não resolve o problema, como pode gerar outros”, afirmou Tavares, especialista do INI.

Outra questão é o uso da medicação pelo tempo correto, e nos horários determinados pelo médico. A interrupção de tratamento com antibiótico acontece com frequência em pacientes com doenças como tuberculose e endocardite, por exemplo, que precisam fazer uso da medicação por longos períodos, como seis meses de duração.

“Há pacientes que se sentem bem após certo período de uso da medicação, e param de tomá-la. A infecção, contudo, precisa de tempo para ser totalmente eliminada do organismo, mesmo que não provoque mais sintomas. A partir da paralisação do tratamento, a doença pode retornar e aquele medicamento não fazer mais efeito”, detalhou Assef, do IOC. “Já em relação aos horários, existe a duração que o antibiótico faz efeito no organismo, por isso é preciso tomar conforme prescrito para que continue matando as bactérias. Se há atraso, a concentração da medicação cai e a bactéria volta a se multiplicar”, completou.

A coordenadora da Comissão de Controle de Infecção Hospitalar do INI, Isabel Tavares destacou, ainda, a importância da higiene para evitar a resistência microbiana em ambientes hospitalares. O dia 5 de maio também é marcado pelo Dia Mundial de Higienização das Mãos. “Em ambiente hospitalar, o que facilita a disseminação de bactérias multirresistentes é a transmissão cruzada, onde entra o conceito importante de higiene das mãos. Essa higiene, de forma adequada e nos momentos certos evita essa transmissão. As duas coisas estão intrinsecamente ligadas”, pontuou ela.

DANDARA, L. Uso racional de medicamentos: pesquisadores alertam para resistência microbiana. *Fiocruz*, Rio de Janeiro, 5 maio 2022. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/dia-nacional-do-uso-racional-de-medicamentos-pesquisadores-alertam-para-resistencia>. Acesso em: 12 set. 2024.



Kmpzz/Shutterstock.com

O uso indiscriminado de antibióticos pode gerar problemas de saúde pública.

## Trocando ideias

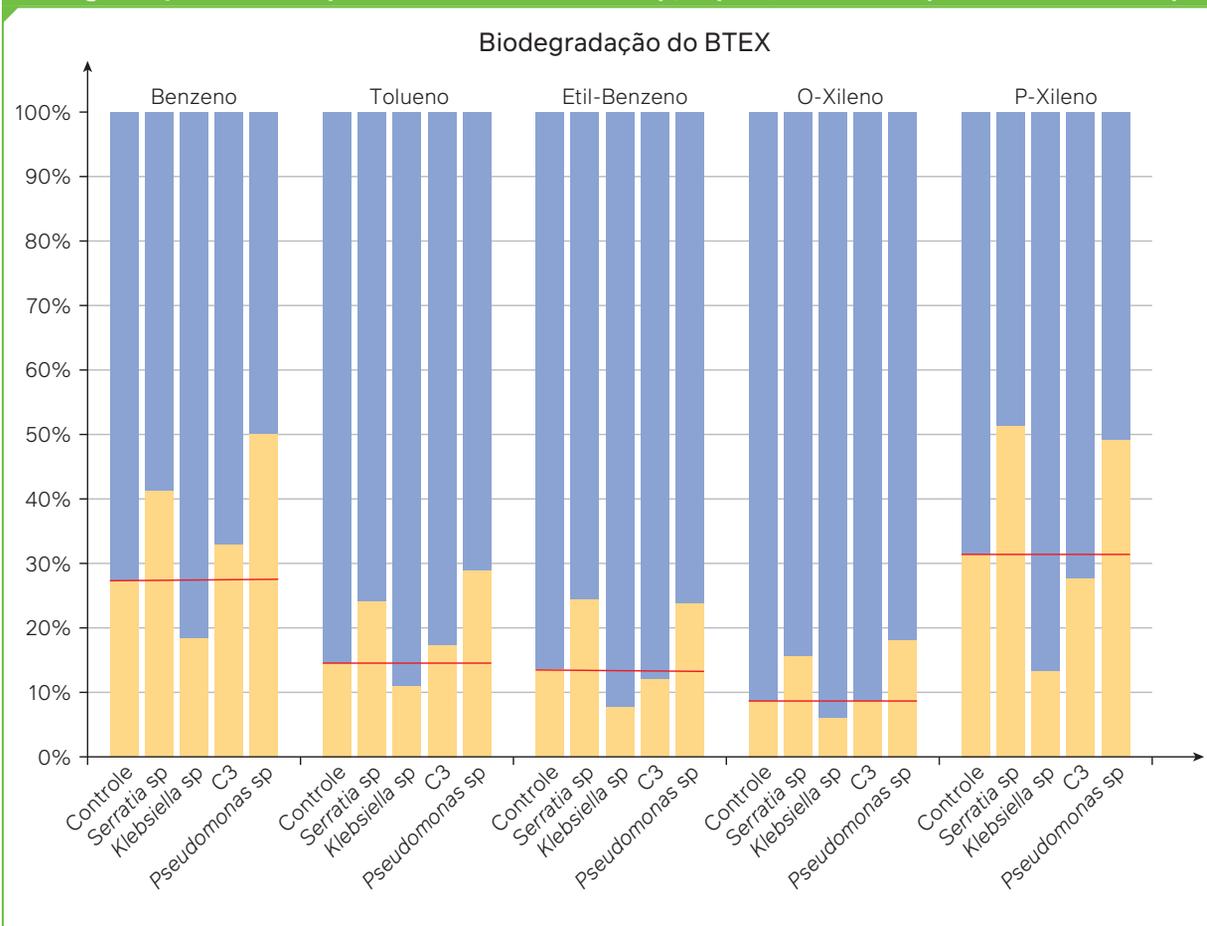


1. De acordo com o texto, quais são as causas do aumento de bactérias resistentes a antibióticos?
2. Quais medidas deveriam ser tomadas para reduzir esse problema?
3. Qual é a relação entre o uso incorreto de antibióticos, o aparecimento de bactérias resistentes a eles e a teoria da evolução de Charles Darwin? Explique sua resposta.
4. Forme um grupo com mais três colegas. Pesquise em *sites* de universidades, institutos de pesquisa ou páginas governamentais sobre as resistências bacterianas. Identifique algumas bactérias resistentes a antibióticos e quais são as infecções provocadas por elas. Além disso, pesquise também os mecanismos de ação de antibióticos, seu uso correto e os riscos de automedicação. Escrevam um relatório que sintetize as informações coletadas.
5. Ainda em grupo e com base nos conhecimentos adquiridos com a pesquisa da atividade 4, pesquisem na internet uma notícia falsa sobre o uso de antibióticos. Discutam e redijam um texto explicando por que a notícia é falsa.



1. As afirmativas a seguir trazem informações sobre bactérias e arqueas. Julgue-as como verdadeiras ou falsas, em seguida, justifique suas escolhas.
  - I. As bactérias e as arqueas são consideradas organismos procariontes, o que significa que não possuem núcleo definido em suas células.
  - II. Ambas, as arqueas e bactérias, realizam reprodução sexuada, formando gametas para a variabilidade genética.
  - III. Arqueas são frequentemente encontradas em ambientes extremos, como fontes termais e ambientes salinos, e são conhecidas por sua resistência a condições adversas.
  - IV. Bactérias fixadoras de nitrogênio convertem o nitrogênio atmosférico em amônia, tornando-o disponível para as plantas.
2. Os BTEX são compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) presentes na gasolina e que causam graves impactos ambientais, contaminando as águas superficiais e subterrâneas e, conseqüentemente, o solo. Ao ser humano, pode causar convulsões, problemas cardíacos e envenenamento. Analise o gráfico a seguir, resultado de um ensaio de biodegradação dos BTEX por bactérias, e responda às questões.

## Biodegradação de BTEX pelas bactérias *Serratia sp*, cepa 3, *Klebsiella sp* e *Pseudomonas sp*



Fonte: AVANZI, I. R. Áreas afetadas por BTEX na região de Cubatão: isolamento de microrganismos com potencial para a biorremediação e impactos ambientais causados por estes compostos. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. p. 62.

- a) Analise a taxa de degradação de cada um dos componentes do BTEX pelas bactérias *Serratia sp*, *Klebsiella sp*, C3 e *Pseudomonas sp*. Qual delas apresentou melhor resultado geral?

b) Considere a seguinte situação: O solo ocupado por um posto de combustível foi contaminado por BTEX devido a um vazamento de gasolina. A situação ocorreu durante a descarga do combustível. Pesquise sobre as bactérias *Serratia* sp, *Klebsiella* sp, C3 e *Pseudomonas* sp, após, explique como elas poderiam ser aplicadas em um projeto de biorremediação do solo contaminado.

3. Leia o texto a seguir, depois, faça o que se pede.

A Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) é uma alternativa tecnológica para aumentar a produtividade agropecuária e minimizar a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), contribuindo para atenuar os efeitos das mudanças climáticas.

Este processo tecnológico foi incluído no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, como parte do compromisso internacional assumido pelo Brasil, em 2009, de reduzir suas emissões de Gases de Efeito Estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020.

A Fixação Biológica do Nitrogênio é uma das tecnologias que surgem a partir da pesquisa para adaptação de espécies cultivadas às condições tropicais. Essa é uma alternativa mais sustentável para a substituição do uso de nitrogênio, considerando os custos e as condicionantes ambientais. Em um processo natural de interação planta-bactéria, a técnica incorpora o nitrogênio disponível no ar ao mecanismo de nutrição das plantas.

[...]

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Programa ABC: Fixação biológica do nitrogênio*. Brasília, DF: MAPA, [20--]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/fixacao-biologica-do-nitrogenio.pdf>.

Acesso em: 12 set. 2024.

Pesquise mais sobre o assunto em fontes confiáveis e explique o que é a FBN, como ela é utilizada na agricultura e por que seu uso minimiza a emissão dos gases de efeito estufa.

4. A utilização e aplicação de arqueas em processos biotecnológicos têm experimentado uma significativa expansão, especialmente por serem repositórios de moléculas de interesse industrial, como enzimas que suportam altas temperaturas e ambientes com alto teor de sal. Pesquise sobre o assunto em fontes confiáveis e indique os potenciais usos biotecnológicos das arqueas.
5. A vacinação contribui para a prevenção de algumas infecções bacterianas, preparando o sistema imunológico para reconhecer e combater esses patógenos. A higiene ajuda a reduzir o risco de exposição a bactérias nocivas e a propagação de infecções. Pesquise, junto a centros de saúde locais, quais são as infecções bacterianas mais comuns e elabore um quadro indicando a bactéria, a doença associada, sintomas e formas de transmissão e, com base nelas, métodos de prevenção de cada uma.
6. Muitos agricultores usam fertilizantes químicos para aumentar a produtividade de seus cultivos. Pesquise sobre o impacto desse uso no solo e no ambiente e compare com a prática da rotação de culturas, especialmente o uso de leguminosas. Em seguida, redija um texto aconselhando um produtor que está em dúvida sobre qual técnica adotar.

## Recapitule

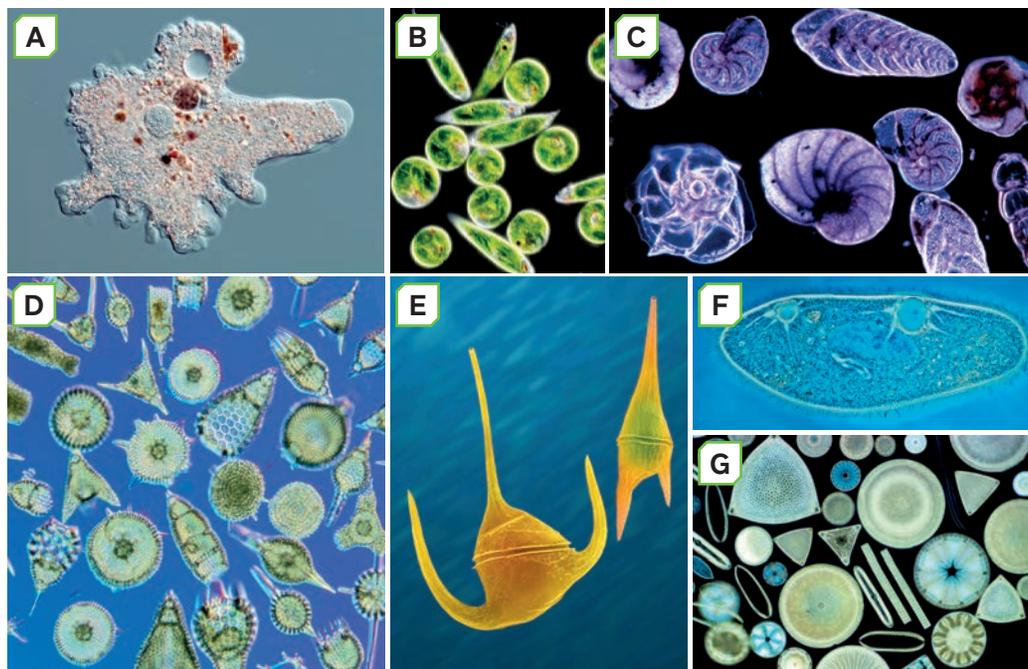


Este capítulo abordou a complexidade dos vírus, destacando a estrutura, ciclo de replicação viral, a alta taxa de mutação e a influência das infecções virais sob os aspectos da saúde humana e da ecologia.

Ao se discutir a diversidade de arqueas e bactérias, destacou-se suas características comuns e distintas com base no sistema de classificação de Carl Woese em três domínios, os modos de reprodução e a relevância dos plasmídeos na transferência de informações genéticas, as adaptações de arquea extremófilas.

Retome as perguntas iniciais e avalie como o seu conhecimento sobre vírus, arqueas e bactérias foi ampliado. Revise o conteúdo estudado e elabore um mapa mental considerando os termos bactérias, arqueas e vírus, destacando estrutura, formas de reprodução, replicação e relação com saúde e meio ambiente.

# Microrganismos eucariontes e algas pardas



A) Gerd Guenther/SPL/Fotoarena; B) FRANK FOX/SPL/Fotoarena; C) JIAN HINSCH/SPL/Fotoarena; D) ALFRED PASIERKA/SPL/Fotoarena; E) DENNIS KUNZEL/MICROSCOPIST/Fotoarena; F) FRANK FOX/SPL/Fotoarena; G) John Clegg/SPL/Fotoarena

Microrganismos que vivem em ambientes aquáticos. Seguem as informações de ampliações aproximadas: (A) *Amoeba proteus*. 75 vezes; (B) *Euglena* sp. 600 vezes; (C) Foraminíferos. 15 vezes; (D) Radiolários. 150 vezes; (E) Dinoflagelados. 80 vezes; (F) *Paramecium* sp. 360 vezes; (G) Diatomáceas. 25 vezes.

## Para refletir

1. Os microrganismos representados nas imagens são eucariontes. Quais características podem ser usadas para classificar esses microrganismos nesse grupo de seres vivos?
2. Como você classificaria ou identificaria os diferentes microrganismos apresentados nas imagens? Quais características você usaria para distingui-los entre si?
3. Os microrganismos eucariontes desempenham funções vitais nos ecossistemas, além de apresentarem importância significativa para a saúde humana. Discorra sobre essa afirmação, trazendo exemplos de situações reais.

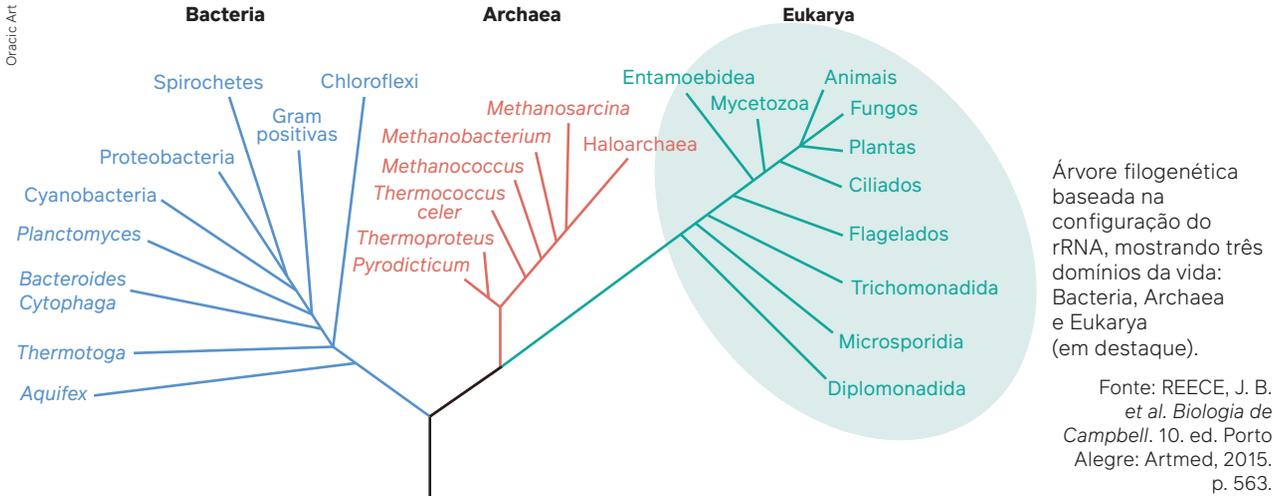
## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Caracterizar os grupos Amoebozoa, Discoba, Metamonada, Rhizaria, Alveolata e Stramenopiles, considerando aspectos morfológicos e ecológicos.
- Relacionar a relevância dos microrganismos eucariontes nos ecossistemas, considerando seus papéis na cadeia alimentar e na manutenção das dinâmicas ecológicas.
- Compreender a relação entre zooxantelas e corais, assim como os fatores que influenciam o branqueamento de corais.
- Analisar criticamente informações científicas e desinformação sobre o branqueamento de corais no contexto das mudanças climáticas globais.
- Identificar as características de algumas doenças causadas por microrganismos eucariontes, incluindo suas formas de transmissão, ciclo de vida parasitário, sintomas e medidas preventivas.

# Diversidade de eucariontes

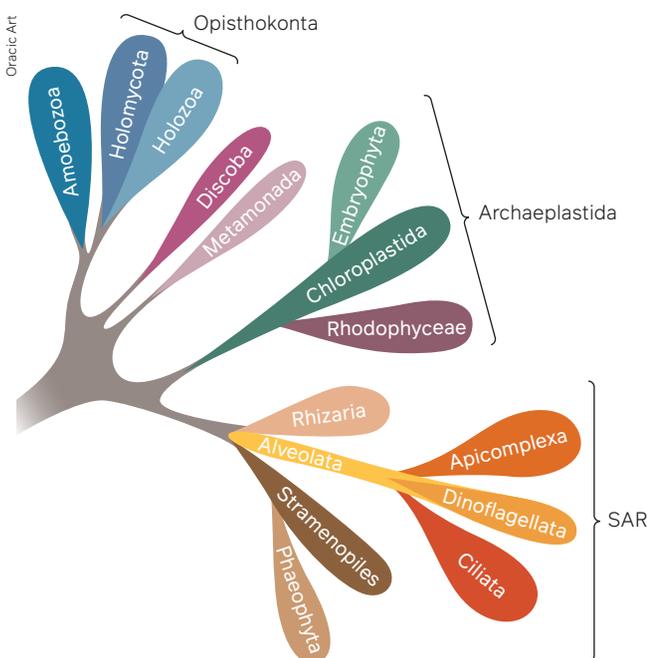
Os eucariontes são organismos que possuem células com um núcleo definido e delimitado por uma membrana nuclear. Na árvore da vida que representa os três domínios, proposta por Carl Woese, esses organismos são representados por um ramo que inclui animais, fungos, plantas e diversos outros grupos classificados historicamente como protistas.



Neste capítulo, serão abordados os grupos de organismos eucariontes unicelulares e alguns representantes multicelulares da linhagem de algas pardas, que não apresentam tecidos especializados, mas que podem atingir grandes dimensões de tamanho.

Entre essas variadas formas de vida eucarióticas podem ser encontrados indivíduos autótrofos, heterótrofos e exibir modos de vida livres ou parasitas. Ao se caracterizar os diferentes grupos, serão considerados os aspectos relacionados a morfologia, diversidade, importância da relação desses organismos com a saúde humana e com as funções nos ecossistemas que ocupam.

No ano de 2019, Sina M. Adl, um pesquisador da Universidade de Saskatchewan, no Canadá, junto de colaboradores, propôs o esquema (abaixo) que representa uma visão geral da diversidade de eucariontes e as relações filogenéticas entre esses grupos.



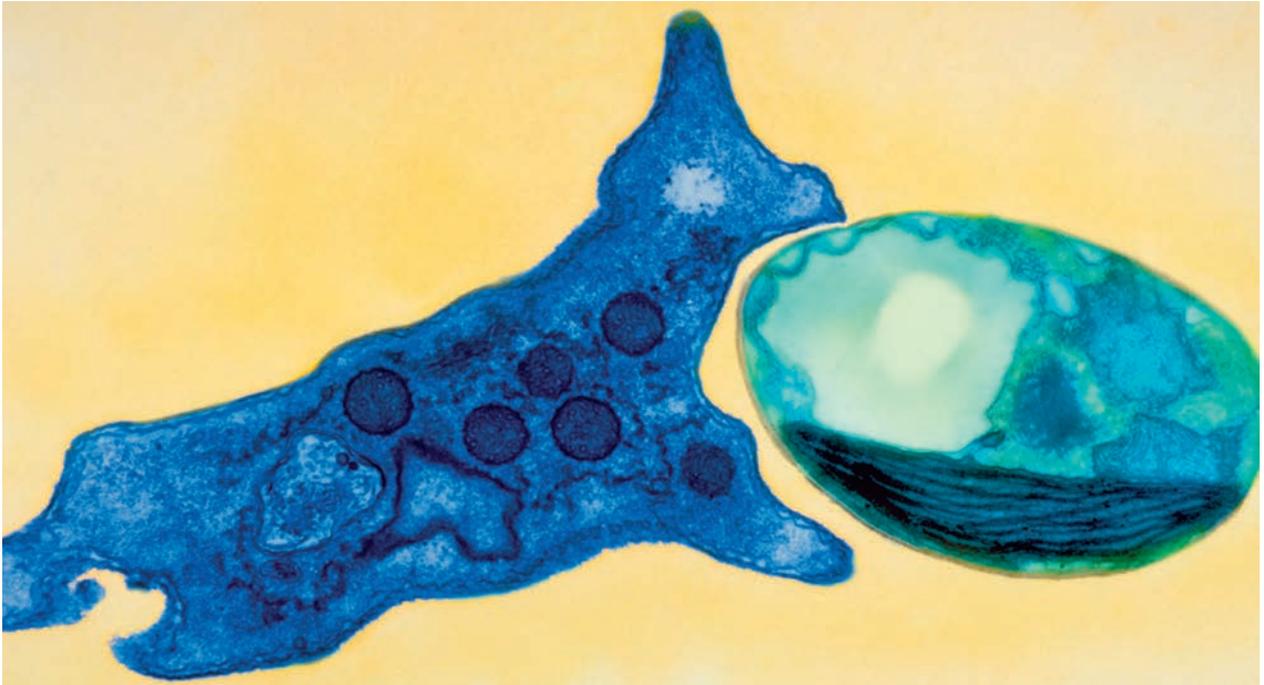
No diagrama, os clados representados são de níveis taxonômicos distintos; alguns deles não representam as categorias clássicas propostas por Linnaeus. Por exemplo: Opisthokonta é um clado que inclui os animais e seus parentes unicelulares mais próximos — incluídos em Holozoa — e fungos — incluídos em Holomycota —; as plantas terrestres estão incluídas em Embryophyta que, junto das algas verdes e vermelhas, formam o clado Archaeplastida. Esses dois clados (Opisthokonta e Archaeplastida) serão estudados nos próximos dois capítulos. Neste apresentamos os demais grupos: Amoebozoa (amebas), Discoba (euglenas, tripanossomas e leishmanias), Metamonada (giárdias), Rhizaria (foraminíferos e radiolários), Alveolata (dinoflagelados, apicomplexos e ciliados) e Stramenopiles (diatomáceas e algas pardas).

Representação da filogenia dos principais grupos de eucariotes proposta por ADL, S. M. et al. 2019.

Fonte: ADL, S. M. et al. Revision on the classification, nomenclature, and diversity of Eukaryotes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, Nova York, v. 66, n. 1, p. 4-119, 2019.

# Amoebozoa

Amoebozoa é um grupo que abrange uma diversidade de organismos eucarióticos conhecidos popularmente como amebas. Os representantes desse grupo compartilham certas características estruturais e funcionais, como a presença de **pseudópodes** – que são extensões temporárias da membrana celular utilizadas para movimentação e captura de partículas orgânicas que serão metabolizadas durante o processo de nutrição do ser vivo.



Biophoto Associates/Science Source/Fotoarena

*Amoeba proteus* e seus pseudópodes que engolfam uma pequena alga verde. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 9 750 vezes.

Seus representantes exibem vários modos de vida, incluindo formas de vida livre, parasitárias e simbióticas. Podem ser encontrados em diversos tipos de habitats, como solo, água doce, ambientes marinhos e até mesmo dentro de outros organismos.

Os representantes de Amoebozoa reproduzem-se por meio de diferentes mecanismos, como fissão binária (divisão celular), esporulação (formação de esporos resistentes) e reprodução sexuada.

São seres vivos que podem se alimentar por fagocitose (capturando partículas orgânicas), por **osmotrofia** e parasitismo de tecidos animais.

## GLOSSÁRIO

**osmotrofia:**  
forma de nutrição que se dá por osmose de nutrientes dissolvidos presentes no ambiente no qual o organismo vive.

## Parasitismo e saúde humana

Algumas espécies parasitas podem desencadear doenças infecciosas nos seres humanos, um exemplo é a *Entamoeba histolytica*, que causa a amebíase. A infecção primária ocorre no intestino grosso e costuma ser assintomática; entretanto, por causa da ulceração das paredes intestinais resultantes da invasão, alguns sintomas como diarreia, dor abdominal e febre podem surgir. Em casos graves, as amebas podem entrar na circulação sanguínea e infectar outros órgãos, como fígado, pulmões, cérebro e baço. *E. histolytica* encistadas são eliminadas nas fezes de pessoas infectadas e transmitidas por meio da ingestão de alimentos e água contaminados, muitas vezes a contaminação ocorre pela ação de moscas e baratas. Geralmente, os sintomas são diarreia, desconforto abdominal, cólicas, febre e fadiga. O tratamento é realizado mediante a prescrição de medicamentos específicos. Entre as medidas preventivas estão a prática de higiene pessoal e dos alimentos, principalmente os consumidos crus, associadas às políticas públicas que possibilitam o acesso a estruturas de saneamento básico que garantem o consumo de água tratada e filtrada, a coleta e destino correto dos resíduos sólidos, bem como a coleta e tratamento do esgoto.

## Bolores limosos

Quando em situações de escassez de alimentos, certas amebas podem formar agregados multicelulares e, eventualmente, originar corpos frutíferos conhecidos como **bolores limosos**. Essas amebas podem se organizar das seguintes formas:

- **celular:** se agregam somente quando um sinal bioquímico é liberado no ambiente, desencadeando mudanças comportamentais e morfológicas que resultam na formação de uma coletividade de indivíduos, trazendo a aparência de um único organismo.
- **plasmoidal:** trata-se de espécies que formam um sincício, isto é, uma estrutura que contém múltiplas células individuais modificadas, envolvidas por uma única membrana, sem paredes celulares.

Corpos frutíferos plasmoidiais de *Physarum polycephalum* formando-se sobre um tronco de árvore.



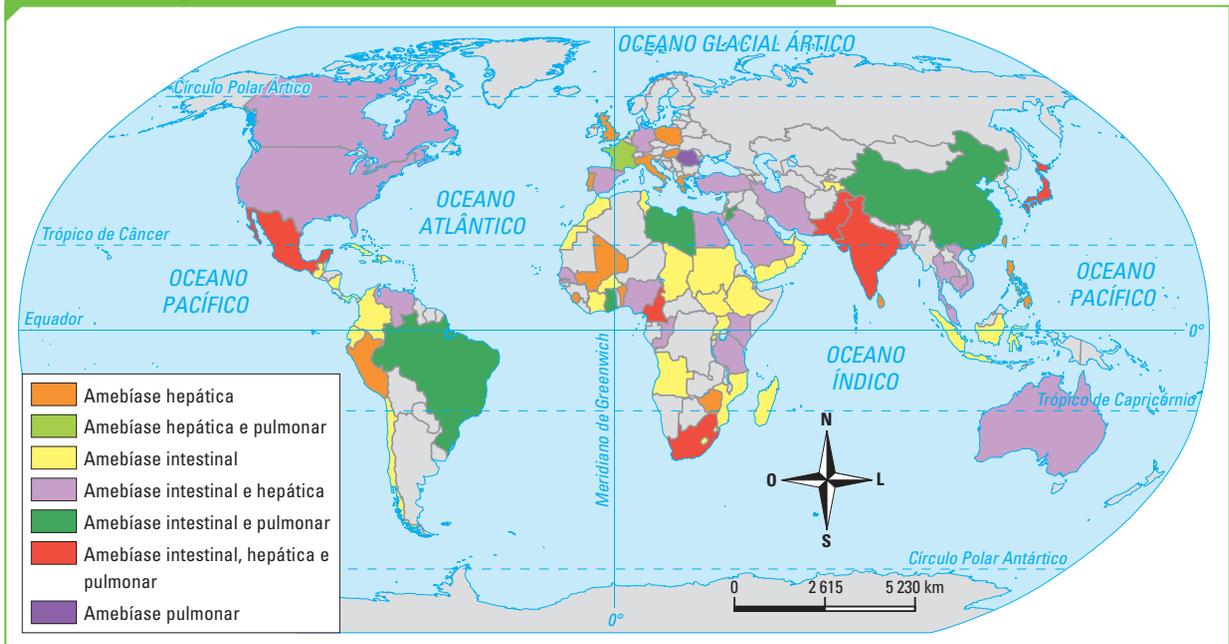
NIGEL DOWNER/SPL/Fotorena

## Atividades propostas



1. *Entamoeba histolytica* é o microrganismo causador da amebíase. Um estudo publicado em 2022 por pesquisadores de instituições francesas, indicou que essa doença é a terceira maior causa de mortes por doença parasitária no mundo. Bangladesh, Índia, Brasil, Colômbia, México e China estão no topo da lista dos países mais afetados. Analise o mapa a seguir, que apresenta os focos endêmicos de amebíases intestinais e extraintestinais no mundo.

### Distribuição global de diversas formas clínicas de amebíase



Ericson Guilherme Luciano

Fonte: NASRALLAH, J. *et al.* Updates on the worldwide burden of amoebiasis: A case series and literature review. *Journal of Infection and Public Health*, [s. l.], v. 15, n. 10, p. 1134-1141, out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.08.013>. Acesso em: 12 set. 2024.

Pesquise e reflita com os colegas as possíveis causas e consequências da prevalência dessa infecção nos países citados no enunciado. Registrem as ideias levantadas e elaborem estratégias para reduzir a incidência da amebíase nesses locais.

## Discoba

O clado Discoba é um grupo diversificado de microrganismos frequentemente caracterizados por possuírem **flagelos**, que são estruturas locomotoras que se movimentam em formato de chicote. Dentro dessa linhagem, encontram-se os organismos da classe Euglenoidea, conhecidos como euglenas, e da classe Kinetoplastea, representados pelos gêneros *Trypanosoma* e *Leishmania*.

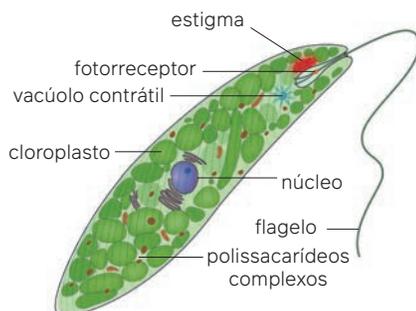
## Euglenoidea

Os principais representantes desse grupo são as euglenas. São organismos eucariontes unicelulares que exibem um padrão de movimento característico que pode ser explicado da seguinte forma: o flagelo impulsiona a célula para frente em um movimento espiralado ou ondulatório.

As euglenas apresentam uma estrutura chamada **estigma** ou mancha ocelar, que barra a luz solar que incide no fotorreceptor, uma estrutura de detecção de luz localizada na base do flagelo. À medida que a célula gira em relação à fonte de luz, a mancha ocelar bloqueia parcialmente a fonte, permitindo que a *Euglena* encontre a luz e se mova em sua direção. Seus cloroplastos permitem a produção de polissacarídeos complexos usados como alimento. No entanto, na ausência de luz, as euglenas se nutrem por osmotrofia, absorvendo substâncias orgânicas presentes no ambiente. Vale destacar que, embora algumas euglenas sejam fotossintetizantes, a maioria é heterotrófica.



*Euglena* sp. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 320 vezes.



Esquema representativo de euglena indicando suas principais estruturas.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

## Kinetoplastea

Os representantes dessa classe também são denominados cinetoplastídeos. Eles apresentam uma única mitocôndria, que contém uma estrutura particular chamada cinetoplasto. O cinetoplasto pode ser caracterizado como uma massa de DNA presente no interior dessa mitocôndria, que é localizada na base do flagelo e proporciona o deslocamento do organismo.

Muitos cinetoplastídeos são parasitas e alguns deles causam doenças graves em animais, incluindo o ser humano. Por exemplo, espécies do gênero *Trypanosoma* causam a doença do sono africana e a doença de Chagas, e espécies do gênero *Leishmania* causam diferentes formas de leishmaniose. Os cinetoplastídeos parasitas geralmente têm ciclos de vida que envolvem diferentes estágios de desenvolvimento, tanto no hospedeiro, quanto nos organismos vetores.

### Saiba mais

**Hospedeiro** é um organismo que abriga outro organismo, como um parasita, dentro ou sobre o seu corpo. Ele fornece o ambiente necessário para o parasita viver e reproduzir.

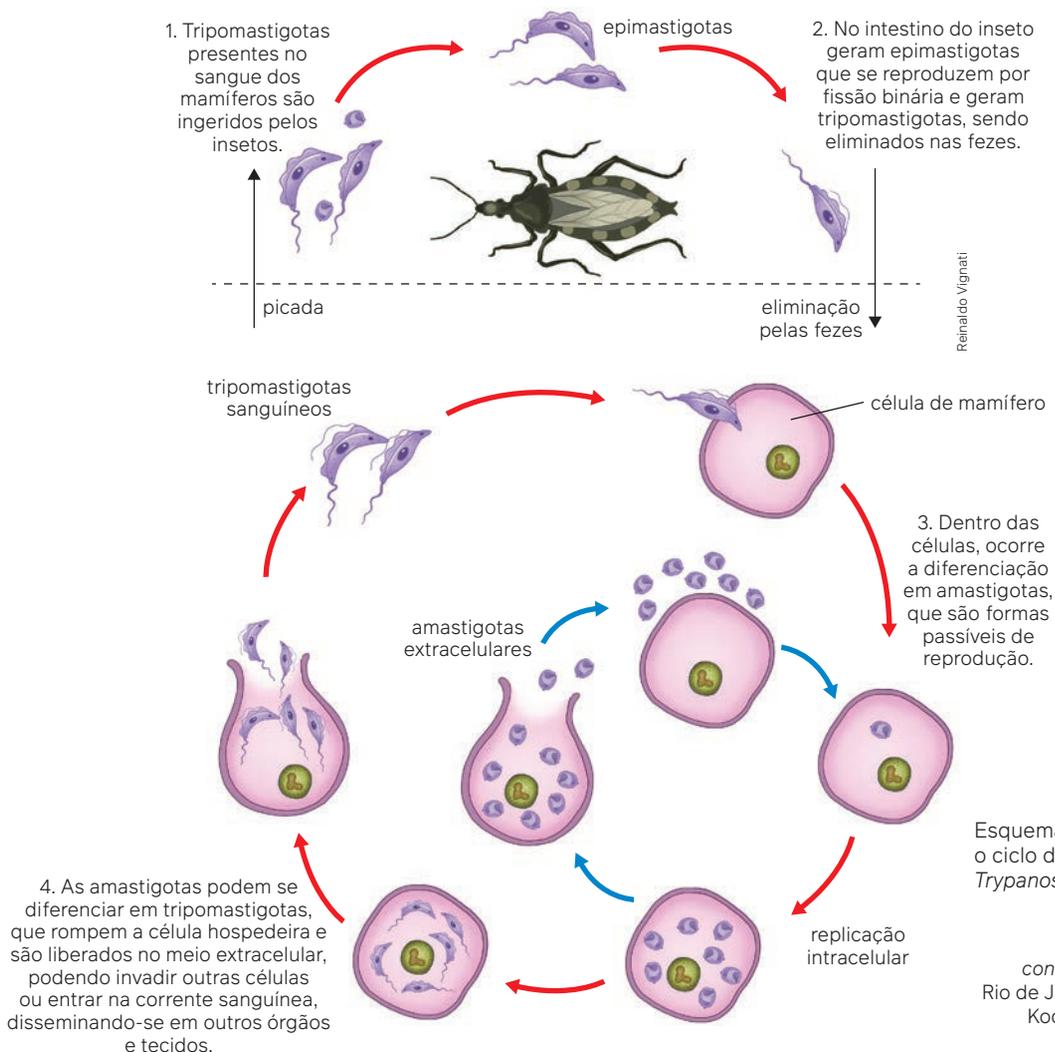
**Vetor** é um organismo que transmite um patógeno de um hospedeiro para outro. Vetores são frequentemente artrópodes, como mosquitos ou carrapatos, que carregam e espalham doenças.

## Doença de Chagas

A doença de Chagas é uma infecção causada pelo parasita *Trypanosoma cruzi*. Essa doença leva o nome do médico brasileiro Carlos Chagas (1879-1934) que a descreveu em 1909. Predomina principalmente nas Américas, com maior prevalência nas áreas rurais da América Latina.

A principal forma de transmissão ocorre por meio da picada de insetos triatomíneos infectados, conhecidos como barbeiros. Esses insetos alimentam-se do sangue de animais vertebrados, incluindo seres humanos, que podem estar infectados por tripanossomas. É assim que os barbeiros adquirem os tripanossomas, transmitindo-os posteriormente para outros hospedeiros durante a alimentação. Os tripanossomas multiplicam-se no trato digestório do inseto. Ao picar uma pessoa, o inseto defeca ao mesmo tempo em que suga o sangue da pessoa para se alimentar. As fezes contaminadas ficam próximas ao local da picada. Ao coçar a ferida, a pessoa espalha as fezes contaminadas para dentro da ferida ou pode contaminar-se no contato dos dedos com membranas mucosas, como as dos olhos e da boca.

O ciclo de vida complexo do *T. cruzi* envolve a alternância entre hospedeiros mamíferos e hospedeiros insetos, que são os vetores da doença. É possível diferenciar três formas de vida do *T. cruzi*: **epimastigota**: forma flagelada que ocorre principalmente dentro do intestino do barbeiro, onde se reproduz por fissão binária; **tripomastigota**: forma flagelada liberada nas fezes do inseto. Não se reproduz, mas pode infectar células musculares e cardíacas do hospedeiro mamífero e se diferenciar na forma amastigota; **amastigota**: são células menores com flagelos bem reduzidos (não visíveis ao microscópio óptico) que se multiplicam por fissão binária no citoplasma das células hospedeiras.



Podem ser caracterizadas duas fases da doença: a aguda ocorre logo após a infecção, geralmente é assintomática ou a pessoa infectada pode apresentar sintomas leves, semelhantes aos da gripe, como febre, fadiga, dores no corpo e inchaço ao redor da ferida da picada; a fase crônica pode se desenvolver anos depois, durante a qual o parasita pode causar danos ao coração, sistema digestório e nervoso. Em alguns casos, o agravamento pode levar à insuficiência cardíaca ou outras complicações potencialmente fatais.

As medidas de prevenção incluem a redução da população de triatomíneos por meio de melhores condições habitacionais, uma vez que o inseto costuma se esconder em frestas, buracos, entulhos etc., o uso de telas nas janelas e portas, aplicação de inseticidas em áreas de intensa ocorrência, higiene na manipulação e processamento de alimentos, além da promoção da educação em saúde pública.

## Se liga

A doença de Chagas pode ser transmitida também por meio do consumo de alimentos infectados por fezes contaminadas do barbeiro, ou ainda quando os insetos contaminados são triturados junto dos alimentos durante o processamento, como na produção do caldo de cana ou do açaí. A transmissão da doença também pode ocorrer por meio de transfusão de sangue ou durante a gestação, quando é transmitida da mãe infectada para o feto.

## Leishmaniose

Leishmaniose é o nome dado a um conjunto de doenças que acometem animais e são causadas por parasitas do gênero *Leishmania*. A leishmaniose apresenta uma variedade de manifestações clínicas. Podem ser diferenciados dois tipos:

- tegumentar ou cutânea: que apresenta como sintomas a presença de ulcerações em regiões descobertas na pele que, em casos de diagnóstico e tratamento tardio, podem evoluir para feridas em regiões mucosas, como a boca, a garganta e o nariz, além de formas mais graves de lesões;
- visceral ou calazar: afeta geralmente crianças de até 10 anos e caracteriza-se por lesões graves em órgãos internos como o baço, o fígado e a medula óssea.

Os casos de leishmaniose são registrados, principalmente, em regiões tropicais e subtropicais do mundo, incluindo partes da África, Ásia, Europa e Américas. É prevalente em áreas com más condições de saneamento básico e habitações precárias, que favorecem a proliferação dos mosquitos transmissores. Mamíferos silvestres e domésticos, como roedores e cães, podem ser reservatórios do parasita, contribuindo para sua persistência e transmissão. A transmissão dos diferentes tipos de leishmaniose se dá por meio da picada de fêmeas de mosquitos flebotomíneos infectados, conhecidos popularmente como mosquitos-palha.

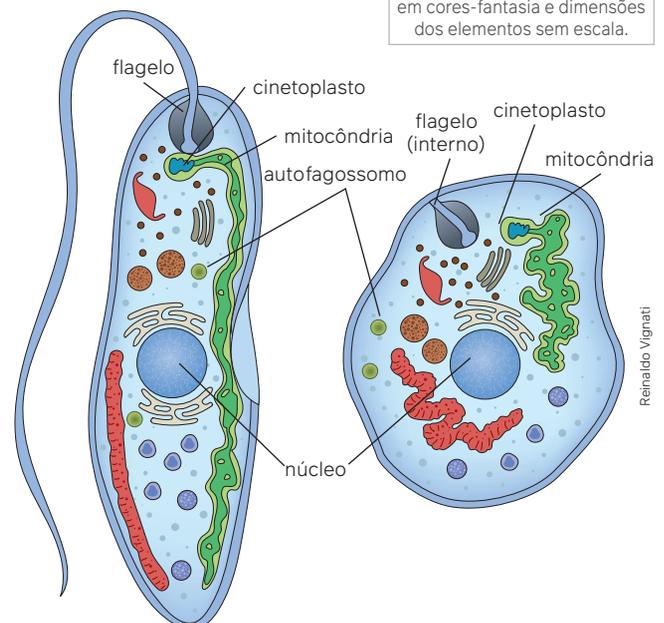
Assim como os tripanosomas, os representantes do gênero *Leishmania* apresentam diferentes formas de vida. A forma **promastigota** é flagelada e vive no intestino do mosquito, sendo transmitida aos animais por meio da picada do inseto. Quando um mosquito infectado pica um hospedeiro, ele injeta o parasita na pele, que se diferencia em uma forma de menor tamanho sem movimento, denominada amastigota. Embora a amastigota não seja flagelada externamente, ela possui um flagelo interno. As **amastigotas** infectam os macrófagos – células imunológicas – dos hospedeiros e se multiplicam por fissão binária, causando danos aos tecidos no processo.

Em regiões com recursos e infraestrutura de saúde limitados, a leishmaniose torna-se um problema de saúde pública. As medidas preventivas incluem o controle das populações dos mosquitos transmissores, o uso de repelentes e mosquiteiros para a proteção contra picadas de flebotomíneos e a melhoria das condições de vida da população. Estudos apontam que a incidência de leishmaniose cresceu com o avanço do desmatamento, fato que pode estar relacionado a migração dos mosquitos para áreas povoadas após a devastação de seus habitats.



Ray Wilson/ Alamy/Fotoarena

Flebotomíneo *Lutzomyia longipalpis*, principal espécie transmissora da leishmaniose no Brasil.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Reinaldo Vignati

Esquema das formas promastigota (à esquerda) e amastigota (à direita) de *Leishmania*.

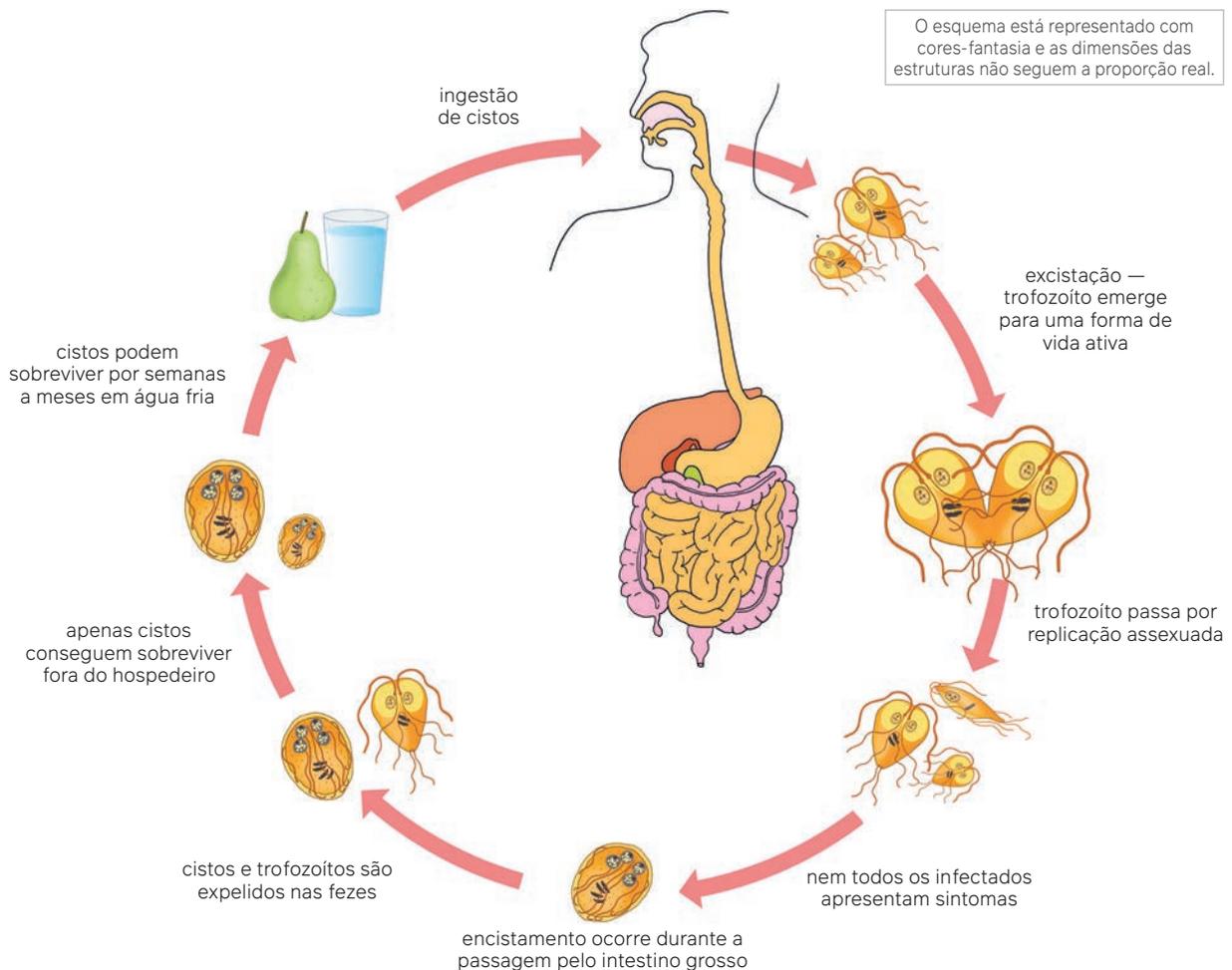
Fonte: LANDFEAR, S. M. New vistas in the biology of the flagellum – *Leishmania* parasites. Pathogens, v. 11, n. 4, p. 447, abr. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-0817/11/4/447>. Acesso em: 12 set. 2024.

## Metamonada

O clado Metamonada inclui organismos flagelados anaeróbicos ou microaerófilos, isto é, que habitam ambientes com baixo teor de oxigênio, muitos dos quais são encontrados no trato digestivo de animais. Um exemplo é a *Mixotricha paradoxa*, uma espécie que vive em mutualismo com cupins. A celulose, molécula presente na madeira que os cupins ingerem, é metabolizada por esses simbiosomas.

Alguns representantes são conhecidos por suas relações parasitárias, como a *Giardia duodenalis*, um parasita intestinal humano que causa a giardíase, uma das infecções de veiculação hídrica mais comuns em todo o mundo. Por estar particularmente associada a fontes de água contaminadas, incluindo as recreativas como piscinas, rios e lagos, as infecções ocorrem por meio da ingestão de água e alimentos contaminados. A prevenção engloba medidas de higiene e saneamento básico, como higienizar os alimentos consumidos crus e só consumir água tratada.

O microrganismo ocorre em duas formas principais: trofozoítos e cistos. Os trofozoítos têm um formato de gota com dois núcleos e múltiplos flagelos. São a forma ativa e móvel que parasita as células do intestino humano. Os cistos são as formas de resistência eliminadas nas fezes das pessoas contaminadas. Observe o ciclo de vida desse organismo:



Ciclo de vida de *Giardia duodenalis*.

Fonte: GIARDIASIS life cycle. In: Department of Public Health. Los Angeles, [20--]. Disponível em: <http://publichealth.lacounty.gov/acd/docs/giardiasislifecycle.pdf>. Acesso em: 12 set. 2024.

Outro representante do clado Metamonada é a espécie *Trichomonas vaginalis*, microrganismo que causa a tricomoníase, uma infecção sexualmente transmissível que afeta o sistema genital humano. Essa espécie vive no lúmen do trato urogenital quando a acidez desses órgãos é alterada, fazendo com que os indivíduos de *T. vaginalis* se multipliquem desproporcionalmente. Por exemplo, o pH vaginal frequentemente apresenta um valor entre 4,0 e 4,5, enquanto em situações de infecções por *T. vaginalis* podem ser registrados valores acima de 6,5. Geralmente a infecção é assintomática em homens, já em mulheres acredita-se que até 50% dos casos sejam assintomáticos. Os sintomas incluem secreção amarelo ou esverdeada de odor desagradável, irritação e coceira.

## SAR

SAR é o acrônimo das primeiras letras dos três grupos — Stramenopiles, Alveolata e Rhizaria — que constituem esse supergrupo eucariótico altamente diversificado. Abrange uma variedade de morfologias e nichos ecológicos, desde formas planctônicas microscópicas até algas pardas de grande porte, como as chamadas *kelps*, que compõem as enormes florestas de algas. O grupo inclui organismos heterotróficos, autotróficos e **mixotróficos**, nos quais a fotossíntese surgiu em várias linhagens por meio de eventos de endossimbiose com algas vermelhas e verdes.

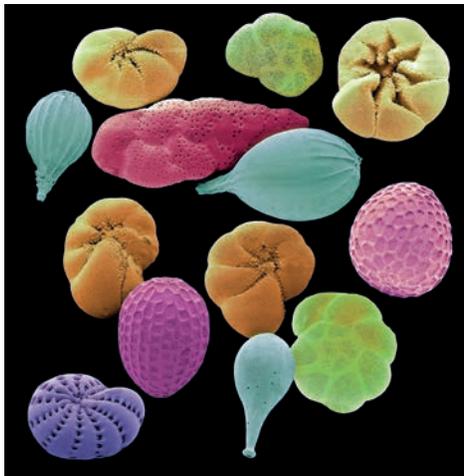
## Rhizaria

O clado Rhizaria inclui microrganismos que apresentam **pseudópodes** de diversos tipos. Esses pseudópodes, como os reticulópodes dos foraminíferos e os axópodes dos radiolários, são geralmente mais extensos e finos do que os das amebas, e podem ser usados para locomoção e captura de partículas utilizadas como alimento. Alguns representantes formam esqueletos ou conchas produzidas com materiais mineralizados ou orgânicos.

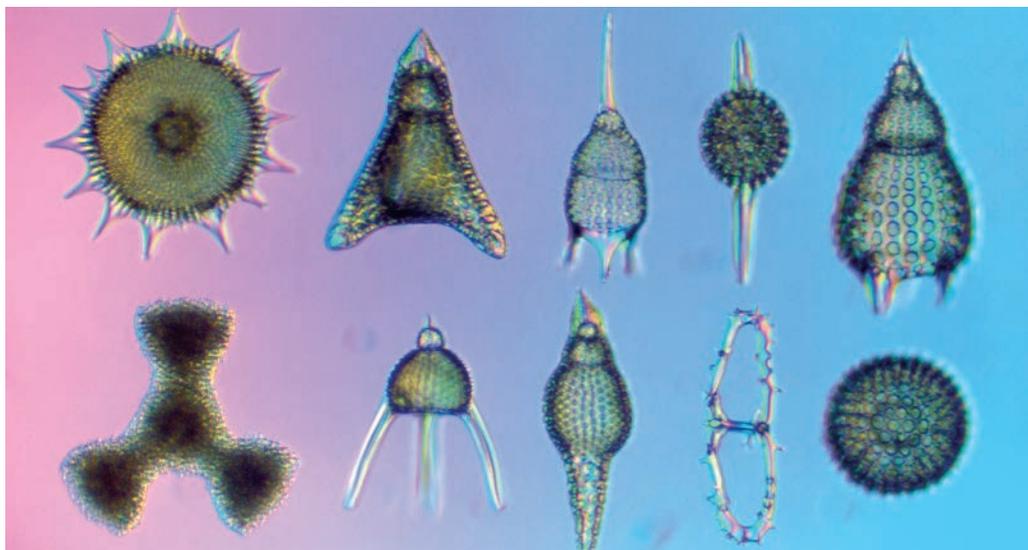
A maioria dos representantes desse clado habita ambientes marinhos e são espécies planctônicas, ou seja, que vivem em suspensão na coluna d'água e são carregadas pelas correntes marítimas. Alguns também são encontrados em habitats de água doce e no solo úmido ou lodoso. Estão envolvidos na ciclagem de carbono e silício, atuando diretamente no clima do planeta.

Os foraminíferos são o grupo mais representativo desse clado. Caracterizam-se por formar conchas incrustadas de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Quando o organismo morre, as conchas calcáreas depositam-se no leito oceânico e emergem nas praias trazidas pelas ondas. Os radiolários são caracterizados por construir elementos intracelulares biomineralizados, muitas vezes silicosos, que são chamados de “esqueletos”, formando estruturas intrincadas que frequentemente são preservadas em sedimentos e rochas.

Representantes de foraminíferos. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 100 vezes.



STEVE GSGCHWEISSNER/SPL/Fotoarena



E. R. Degginger/Science Source/Fotoarena

Representantes de radiolários. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 100 vezes.

## GLOSSÁRIO

### mixotrófico:

organismo que pode obter energia por diferentes fontes, como por fotossíntese ou quimiossíntese e que também pode apresentar características heterotróficas por meio da ingestão de compostos presentes no meio.

## Alveolata

Os alveolados incluem organismos unicelulares que possuem **alvéolos**, pequenas vesículas achatadas localizadas abaixo da membrana celular. Os alvéolos têm diversas funções, tendo como principal o suporte estrutural. O clado Alveolata abrange três grupos principais: **Ciliata**, **Dinoflagelata** e **Apicomplexa**.

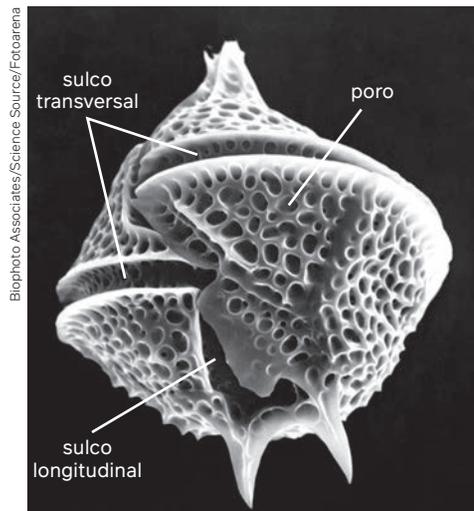
Os Ciliata, ou ciliados, são microrganismos unicelulares que apresentam cílios revestindo a superfície celular. Essas estruturas são utilizadas na locomoção e alimentação para a captura de bactérias e outros microrganismos.

Os Dinoflagelata ou dinoflagelados são microrganismos com uma carapaça constituída por placas de celulose chamada de teca. Geralmente apresentam dois flagelos, um situado na região do sulco longitudinal e outro que se estende ao longo de um sulco transversal localizado na porção mediana da célula. A proliferação excessiva e o rápido crescimento populacional de algumas espécies podem causar fenômenos como a formação de manchas bioluminescentes em mares e maré-vermelha. A maré-vermelha pode ter consequências ambientais significativas, como a produção de toxinas que afetam a vida marinha e a saúde humana, além de impactar atividades pesqueiras e turísticas.



M. I. Walker/Science Source/Fotoarena

Micrografia do ciliado *Paramecium caudatum*. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 150 vezes.



Biophoto Associates/Science Source/Fotoarena

Teca com sulco do dinoflagelado *Gonyaulax digitale*. A floração dessa espécie pode estar relacionada às formações de marés vermelhas. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura. Ampliação aproximada de 8000 vezes.

A presença de dinoflagelados bioluminescentes pode proporcionar espetaculares visões no mar noturno. Ilhas Maldivas, 2023.



Nabyrt/Stockphoto.com



The Asahi Shimbun/Getty Images

Fenômeno da maré-vermelha decorre de uma proliferação intensa de dinoflagelados. Praia de Kamakura, Kanagawa, Japão, 2017.



## O branqueamento de corais

As zooxantelas, popularmente chamadas de microalgas, são dinoflagelados fotossintetizantes que estabelecem relações simbióticas com organismos marinhos como os pólipos de coral. O texto a seguir trata de uma preocupação ambiental relacionada a esses organismos, enfatizando a importância das pesquisas científicas para uma melhor compreensão dessas relações simbióticas.

### Mudanças drásticas de temperatura afetam algas simbiotes de recifes de corais

*Cientistas da USP investigam como o estresse térmico e oxidativo compromete os lipídeos, principais componentes das membranas celulares. Resultados sugerem que lipídeos oxidados podem ser marcadores do fenômeno conhecido como branqueamento de corais*

Algas simbiotes conhecidas como zooxantelas vivem nos tecidos dos corais e são essenciais para a sobrevivência dos recifes, que vêm declinando em decorrência do aquecimento dos oceanos – fenômeno conhecido como branqueamento de corais. Os recifes de corais sustentam mais de 25% da biodiversidade global dos oceanos. Estudos mostram que o estresse oxidativo (aumento no nível de espécies reativas de oxigênio capazes de danificar as estruturas celulares) tem um papel importante no comprometimento das membranas tilacoides (que ficam dentro dos cloroplastos, a organela responsável pela fotossíntese) de algas simbiotes e na consequente quebra da simbiose, que leva ao branqueamento dos corais.



Damoccean/iStockphoto.com

Branqueamento de corais visto em recife.

Os lipídeos, principais componentes das membranas celulares, são suscetíveis ao estresse térmico e oxidativo. [...].

O grupo descobriu que algas simbiotes de corais submetidas a choque térmico remodelam a composição de seu **lipídoma** como estratégia contra o estresse oxidativo causado pelo aumento da temperatura. [...].

“Essas algas simbiotes são dinoflagelados [seres unicelulares caracterizados principalmente pela presença de dois flagelos] e têm parentes muito abundantes no fitoplâncton global. Então esse processo de oxidação que a gente viu pode acontecer em outras espécies de fitoplâncton. Entender como o estado redox das células e das membranas pode ser alterado com o aumento da temperatura global abre portas para tentar compreender as consequências ecológicas disso e buscar soluções mais efetivas”, explica Marina Tonetti Botana, primeira autora de artigo publicado na revista científica *Limnology and Oceanography*.

O estudo foi conduzido durante o mestrado de Botana, sob a orientação do professor Paulo Yukio Gomes Sumida, do Instituto Oceanográfico (IO-USP), e a coorientação do pós-doutorando Marcos Yukio Yoshinaga, do Laboratório de Lipídeos Modificados e Bioquímica Redox do Instituto de Química (IQ-USP). A pesquisa de Yoshinaga conta com a supervisão da professora Sayuri Miyamoto, do Centro de Pesquisa em Processos Redox em Biomedicina (Redoxoma), que é financiado pela FAPESP por meio do programa Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPIDs).

As algas zooxantelas vivem no interior dos tecidos dos corais construtores dos recifes, em uma associação simbiótica: elas fazem fotossíntese e liberam para os corais compostos orgânicos nutritivos; eles, por sua vez, fornecem às algas abrigo e alimentos inorgânicos. Também são as algas que dão cor aos corais.

O branqueamento de corais ocorre quando há quebra dessa simbiose, com a expulsão das microalgas ou a destruição de seus pigmentos, o que torna o tecido dos corais translúcido, sendo possível observar seu esqueleto de carbonato de cálcio. Uma das consequências do branqueamento dos corais é a morte desses animais. Os corais que não morrem podem levar de 15 a 100 anos para se recuperar.

#### GLOSSÁRIO

**lipídoma:** conjunto de lipídios presentes na composição de estruturas celulares.

## Choque térmico

Com o objetivo de investigar alterações agudas nas membranas das microalgas, os pesquisadores usaram culturas *in vitro* de três espécies de simbiontes, que foram submetidas a um aumento repentino de temperatura de 12 °C, por quatro horas. As microalgas *Breviolum minutum* foram mais sensíveis ao calor e não sobreviveram ao choque térmico, enquanto as *Cladocopium goreaui* e *Symbiodinium microadriaticum* foram relativamente mais tolerantes ao aquecimento.

“Fizemos um experimento de estresse térmico extremamente agudo. Um ecossistema de recife de coral costuma ter grandes aumentos de temperatura, de até 4 °C ou 6 °C, mas isso não ocorre no período de quatro horas”, explica Botana. [...]

A análise lipídômica das amostras mostrou que a simbiote sensível ao calor apresentou uma diminuição de glicolipídeos [...]. Apesar de apresentarem adaptações distintas, as duas simbiotes tolerantes ao calor foram caracterizadas pela preservação de lipídios de membrana após choque térmico, principalmente glicolipídeos. Ou seja, as variações nas concentrações de glicolipídeos determinam a sensibilidade ou a tolerância das algas simbiotes ao estresse térmico.

[...]

A composição lipídica das membranas transdutoras de energia, como membranas plasmáticas de bactérias, membranas tilacoides de cloroplastos e membranas internas mitocondriais, é fundamental para a sobrevivência dos organismos.

[...] A mudança de temperatura acarreta uma mudança geral no perfil de permeabilidade da membrana, onde ocorre o transporte de elétrons, principalmente elétrons de alta energia gerados na quebra das moléculas de água pela luz [...] explica Yoshinaga. [...]

AGÊNCIA FAPESP. Mudanças drásticas de temperatura afetam algas simbiotes de recifes de corais. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/mudancas-drasticas-de-temperatura-afetam-algas-simbiotes-de-recifes-de-corais/38870>.

Acesso em: 12 set. 2024.



Banco de coral em ambiente natural. No detalhe, microalgas zooxantelas. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 700 vezes.

## Trocando ideias

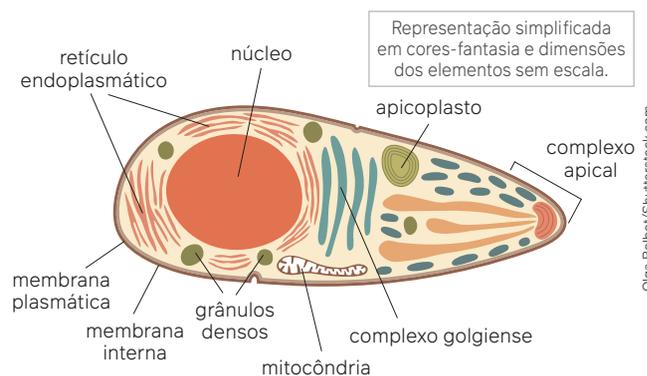


1. Como a colaboração entre as pesquisadoras contribui para uma compreensão mais abrangente das respostas fisiológicas das zooxantelas aos estresses ambientais nos recifes de corais?
2. Como essa pesquisa contribui para a análise das consequências do aquecimento global nos ecossistemas de recifes de corais, e para a conservação desses importantes ambientes marinhos?
3. Pesquise e identifique exemplos de *fake news* (notícias falsas) ou argumentos de desinteresse político global relacionados às mudanças climáticas. Analise criticamente essas informações e identifique as falácias ou distorções nelas contidas. Em seguida, crie uma campanha de conscientização que desminta as informações falsas relacionando em seus argumentos o branqueamento de corais. Utilize materiais visuais e linguagem acessível para comunicar as evidências científicas de forma clara e convincente. Você pode criar infográficos, vídeos curtos, postagens em redes sociais ou produzir um texto curto e informativo.



## Apicomplexa

Os apicomplexos são parasitas intracelulares obrigatórios caracterizados pela presença do complexo apical, estrutura relacionada à penetração na célula hospedeira. No grupo também pode ser observado uma organela exclusiva, o apicoplasto, que sintetiza compostos essenciais para a sobrevivência do organismo. Os representantes desse grupo apresentam ciclos de vida complexos envolvendo hospedeiros vertebrados e invertebrados, alguns exemplos são os agentes causadores da malária e da toxoplasmose.



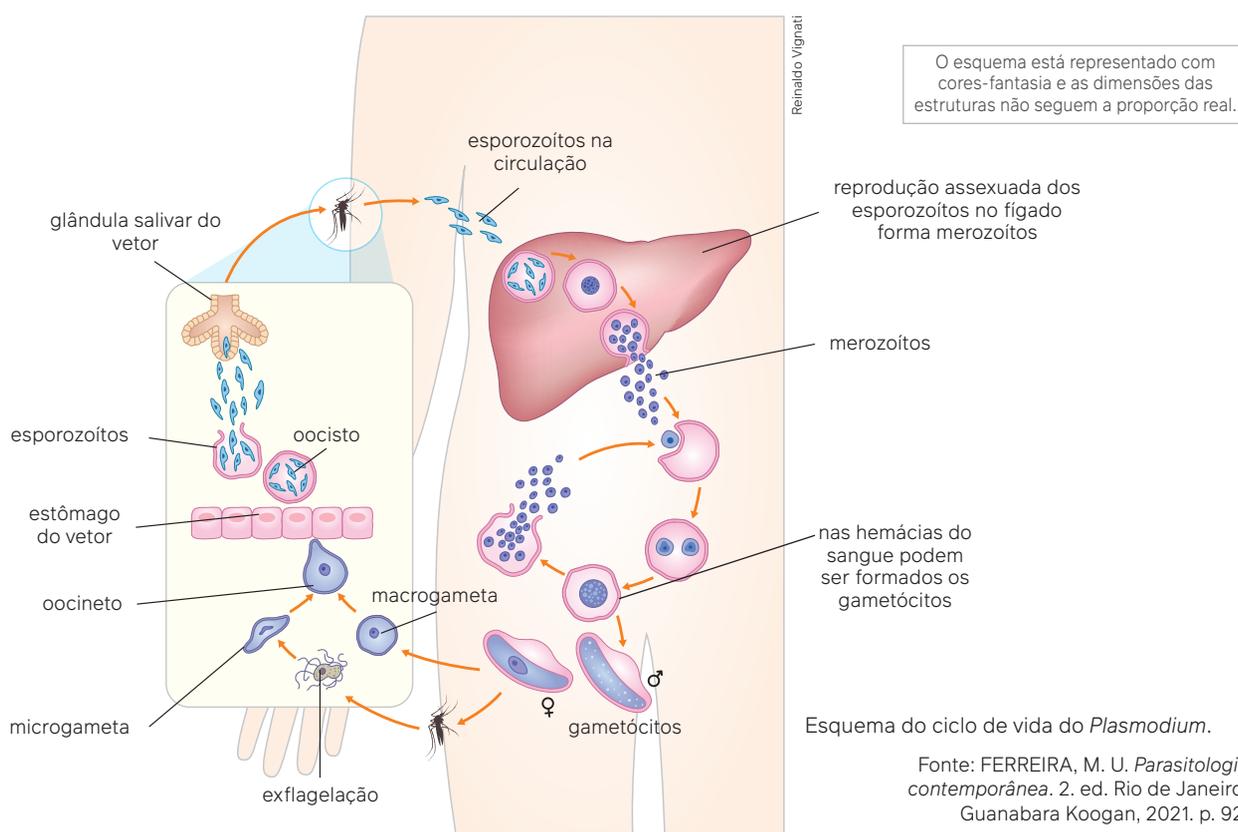
Esquema representativo de um apicomplexa *Toxoplasma gondii*.

## Malária

As espécies do gênero *Plasmodium* — *P. vivax*, *P. falciparum* e *P. malariae* — são as causadoras da malária, uma doença potencialmente fatal, que afeta humanos e animais. A transmissão ocorre por meio da picada de fêmeas infectadas do mosquito *Anopheles*, que depositam os seus ovos em áreas pantanosas ou perto das margens de rios e riachos rasos. Veja a seguir o ciclo de vida do *Plasmodium*.

Ao picar o ser humano, **esporozoítos** presentes nas glândulas salivares da fêmea do mosquito *Anopheles* chegam ao fígado pela corrente sanguínea; o parasita se multiplica assexuadamente formando **merozoítos**. Os merozoítos são liberados e invadem as hemácias; ocorre nova esquizogonia, liberando novos merozoítos na corrente sanguínea. Os merozoítos invadem novas hemácias e alguns podem se diferenciar em gametócitos (reprodução sexuada), formas infectantes para os mosquitos vetores. Os gametócitos masculinos ingeridos pelo mosquito se transformam em microgametas, enquanto os femininos se transformam em macrogametas. A fusão desses gametas forma um zigoto, que se desenvolve em um oocisto dentro do estômago do mosquito. Quando o oocisto se rompe, libera milhares de esporozoítos que migram para as glândulas salivares do mosquito.

As formas gaméticas, ou gametócitos, podem ser ingeridas por mosquitos durante a picada, reproduzindo-se de forma sexuada no interior dos mosquitos e infestando as glândulas salivares do inseto. Dependendo da espécie de *Plasmodium*, podem existir outras formas de vida.



### Se liga

No ciclo de vida parasitário, o **hospedeiro definitivo** é o indivíduo em que o parasita se reproduz de forma sexuada, enquanto o **hospedeiro intermediário** é o indivíduo em que ocorre a reprodução assexuada.

O ciclo de invasão e ruptura dos glóbulos vermelhos leva aos sintomas característicos da malária, incluindo febre, calafrios, fadiga e anemia. A malária é um problema de saúde mundial e ocorre, particularmente, nas regiões tropicais e subtropicais.

As medidas de prevenção abrangem a utilização de mosquiteiros e aplicação de repelentes para evitar as picadas e controlar as populações de mosquitos, além de administrar medicamentos antimaláricos para viajantes que visitam áreas endêmicas. Para tratar a doença de forma eficaz, estão disponíveis medicamentos antimaláricos direcionados às diferentes fases do ciclo de vida do *Plasmodium*. Contudo, a resistência a esses medicamentos emergiu como um desafio significativo em várias regiões.

## Toxoplasmose

Outro representante da linhagem Apicomplexa é o parasita *Toxoplasma gondii*, agente causador da **toxoplasmose**. A doença afeta seres humanos, animais domésticos e silvestres. Nos seres humanos, os sintomas variam de leves a graves e podem ter consequências significativas para mulheres grávidas e para os fetos. A contaminação humana pode ocorrer por diversas vias, incluindo o consumo de carne malcozida ou crua de animais infectados com o *T. gondii* encistado nos tecidos. Também pode ocorrer a ingestão de alimentos ou água contaminada por oocistos e a ingestão acidental de oocistos presentes no ambiente, como ao manusear terra e areia contaminadas ou por exemplo, fezes de gatos infectados.

## #FicaADica

**Ministério da Saúde: Toxoplasmose.** O texto traz informações e dados epidemiológicos sobre a toxoplasmose no Brasil, além de aspectos relacionados ao diagnóstico, sintomas e tratamento. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/t/toxoplasmose>. Acesso em: 12 set. 2024.

## Stramenopiles

No clado Stramenopiles, destacam-se os grupos das diatomáceas (Bacillariophyta) e das algas pardas (Phaeophyta). Acredita-se que essa linhagem de organismos teve sua origem, possivelmente, a partir de eventos de endossimbiose secundária, resultantes da interação entre uma alga vermelha e um organismo flagelado heterotrófico. Assim, os pigmentos fotossintéticos estão contidos em cloroplastos que possuem quatro membranas.

As **diatomáceas** são algas microscópicas unicelulares cujas paredes celulares são compostas de sílica ( $\text{SiO}_2$ ). Essa estrutura chamada frústula apresenta ornamentações variadas que caracterizam a diversidade de organismos encontrada neste agrupamento. As diatomáceas são organismos fotossintetizantes essenciais nos ecossistemas aquáticos, contribuindo significativamente para a produtividade primária global de oxigênio, além de serem fonte de alimento para vários tipos de organismos aquáticos.

As **algas pardas** são um grupo diversificado de organismos fotossintéticos multicelulares. São popularmente conhecidas como algas marrons. A maior parte das espécies ocorre em ambiente marinho. Os organismos apresentam coloração marrom ou verde-oliva devido à presença do pigmento **fucoxantina** em seus cloroplastos. Além da fucoxantina, eles contêm clorofila e outros pigmentos que contribuem para a sua coloração. Veja a seguir alguns exemplos da diversidade morfológica que abriga o grupo das algas marrons:



Jan Hinsch/SPL/Fotorena

Arranjo de diatomáceas. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 130 vezes.



CCAP/www.ccap.ac.uk

*Ectocarpus* é um tipo de talo formado por filamentos microscópicos.



Velvetfish/Stockphoto.com

Florestas de *Kelps* gigantes da espécie *Macrocystis pyrifera* ocorrem na costa oeste do Oceano Pacífico, costa da Califórnia, EUA, 2020.



*Sargassum* é comumente encontrada na zona pelágica, mas é comumente trazida para a areia das praias pelas ondas. Miami (FL), EUA, 2019.



Detalhe das estruturas flutuadoras ou vesículas de ar de *Sargassum*.

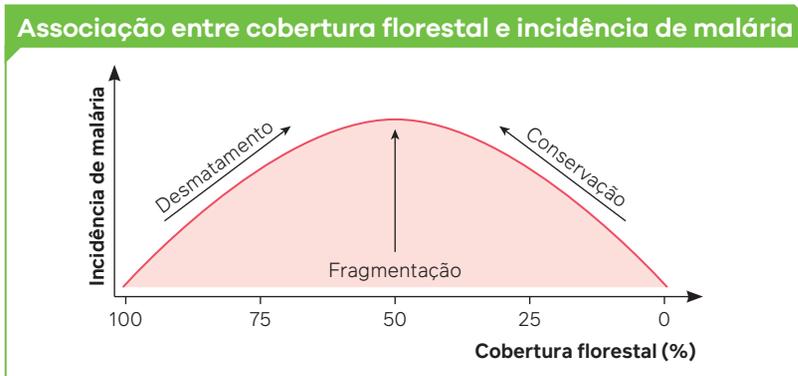
São predominantes em águas temperadas e frias, podendo viver presas a rochas, flutuando nas zonas entre marés e águas mais profundas. Apesar do grupo apresentar um ancestral comum, seus representantes variam de formas microscópicas formadas por pequenos filamentos até tamanhos de grandes dimensões, como os *kelps* localizados na região nordeste do Oceano Pacífico, que podem chegar a mais de 30 metros de comprimento. A forma do corpo é geralmente denominada talo, isto é, apresentam um corpo vegetativo simples que variam desde filamentos microscópicos a estruturas de aspecto laminar. Muitas algas marrons possuem vesículas de ar (flutuadores) que possibilitam a flutuação, como é o caso do gênero *Sargassum*, bastante comum no litoral brasileiro. Algumas espécies do tipo não filamentosas podem apresentar estruturas complexas de suporte, semelhantes a raízes para fixação, além de estipes e lâminas semelhantes a caules e folhas.

As algas pardas têm relevância econômica para o setor alimentício e industrial. Elas são consumidas como alimentos pelo ser humano, especialmente na culinária asiática. Além disso, são coletadas para a obtenção de alginatos. Essas substâncias são empregadas no processamento de alimentos, na produção de fármacos e em diversas outras aplicações industriais.

## Atividades propostas



1. Pesquisas realizadas na Amazônia brasileira indicam que um dos fatores associados ao aumento da incidência da transmissão da malária é o desmatamento.
  - a) O gráfico a seguir descreve o modelo de transmissão elaborado na pesquisa. Analise-o e explique a relação entre a incidência da malária, a fragmentação da paisagem e o desmatamento.



Fonte: LAPORTA, G. Z. Malaria transmission in landscapes with varying deforestation levels and timelines in the Amazon: a longitudinal spatiotemporal study. *Scientific Reports*, [s. l.], v. 11, 19 mar. 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-85890-3#Sec6>. Acesso em: 12 set. 2024.

- b) Além do desmatamento, fatores sociais também influenciam o aumento das taxas de infecção humana e de ocorrência do mosquito. Em grupos, elaborem um plano de política pública de controle da malária para novos assentamentos humanos na Amazônia brasileira. O plano deve conter elementos que contribuam com o desenvolvimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, especialmente com o alcance das Metas 11.1 e 11.4 para o Brasil. Para conhecer as metas e construir argumentos, pesquise na internet sobre os ODS e sobre a problemática da malária na região amazônica.

2. Leia o texto e responda.

[...] As principais causas do aumento do risco de malária em países endêmicos, incluindo o Brasil, são o desmatamento, mudanças nas comunidades de mosquitos, perdas de biodiversidade ligadas à agricultura, projetos de desenvolvimento de infraestruturas como usinas hidrelétricas, piscicultura, atividades de mineração, além da urbanização e invasão de terras indígenas para extração ilegal de madeira e mineração. [...]

MARIZ, F. Desmatamento modifica dinâmica de transmissão e impulsiona malária na Amazônia. *Jornal da USP*, [São Paulo], 4 jan. 2022. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/desmatamento-modifica-dinamica-de-transmissao-e-impulsiona-malaria-na-amazonia/>. Acesso em: 12 set. 2024.

Considerando o que você estudou sobre a malária e a forma de transmissão dessa infecção, explique: por que os fatores apresentados no texto aumentam a incidência da doença?

3. Leia o enunciado e analise a tabela a seguir.

Em um trabalho científico realizado em águas doces do estado de São Paulo, foram levantados os dados de microrganismos, entre eles ciliados, amebas nuas, amebas com carapaça, heliozoários e flagelados heterotróficos.

[...] Listagens de espécies são importantes para o conhecimento da biota de um local, sua ecologia e para dimensionar sua exploração econômica, biotecnológica e conservação. [...]

<b>Gêneros, espécies e diferentes taxa de protozoários de água doce detectados em 75 ambientes no Estado de São Paulo</b>			
<b>Grupos</b>	<b>Número de gêneros</b>	<b>Número de espécies</b>	<b>Número total de diferentes taxa</b>
Ciliados	160	219	338
Tecamebas	20	67	84
Amebas nuas	12	10	17
Heliozoários	8	5	12
Flagelados heterotróficos	18	3	20
Total	218	304	471

[...]

REGALI-SELEGHIM, M. H. *et al.* Checklist dos “protozoários” de água doce do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, [São Carlos], v. 11, n. 1, 15 dez. 2010. p. 389-426. Disponível em: [scielo.br/j/bn/a/cptBgDpdGbGFPjwdFFzryVp/?format=pdf](https://scielo.br/j/bn/a/cptBgDpdGbGFPjwdFFzryVp/?format=pdf). Acesso em 12 set. 2024.

- a) Qual é a linhagem de microrganismos eucariontes mais bem representada nos ambientes estudados? Por quê?
- b) Dê um exemplo de organismo desse clado e descreva algumas de suas principais características.

## Recapitule



Este capítulo abordou a diversidade de microrganismos eucariontes e alguns organismos multicelulares, como as algas pardas, que não formam tecidos especializados. Foram exploradas as características distintivas dos grupos Amoebozoa, Discoba, Metamonada, Rhizaria, Alveolata e Stramenopiles. Além das relações simbióticas e dos impactos na saúde humana, com ênfase nas formas de transmissão e prevenção, o papel ecológico desses organismos também foi destacado, ressaltando sua importância nos ecossistemas.

Para sistematizar os conhecimentos discutidos ao longo deste capítulo, elabore um quadro comparativo das linhagens apresentadas, considerando as suas características principais, incluindo estrutura celular, formas de reprodução e nutrição, ambientes em que vivem, importância econômica e ecológica, além de exemplos e curiosidades.

# Glaucófitas, algas vermelhas, algas verdes e plantas terrestres

Carlo Batistella



Na série *Herbarium*, o artista Carlo Batistella pinta retratos botânicos com técnica realista. O gênero *Platycerium*, retratado nesta pintura, abrange cerca de 18 espécies de samambaias, popularmente conhecidas como chifre-de-veado. *Platycerium XVII*, 2022. Óleo sobre tela, 100 cm X 100 cm.

## ▼ Para refletir

1. Descreva em um parágrafo quais são as principais características que você observa na pintura que abre este capítulo. Compare o seu texto com o de seus colegas.
2. Explore na internet obras de ilustração científica botânica e, após apreciá-las, responda: qual é a importância de integrar Arte e Ciência na documentação botânica?
3. Registre em uma folha de papel à parte o que você sabe sobre as algas e as plantas. Em seguida, dialogue com colegas para se inteirar do conhecimento do grupo, tecendo considerações e revendo sua percepção, se for o caso.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Explorar as linhagens de Archaeplastida a partir de suas características ancestrais e evolutivas.
- Interpretar as relações filogenéticas das plantas terrestres derivadas da presença de tecidos condutores, sementes e flores.
- Investigar a diversidade vegetal da comunidade, incluindo as plantas alimentícias não convencionais, a partir de atividades e pesquisas dirigidas.
- Reconhecer a dinâmica interativa das plantas com os ambientes por meio de suas características morfofisiológicas e por suas respostas a estímulos do ambiente.

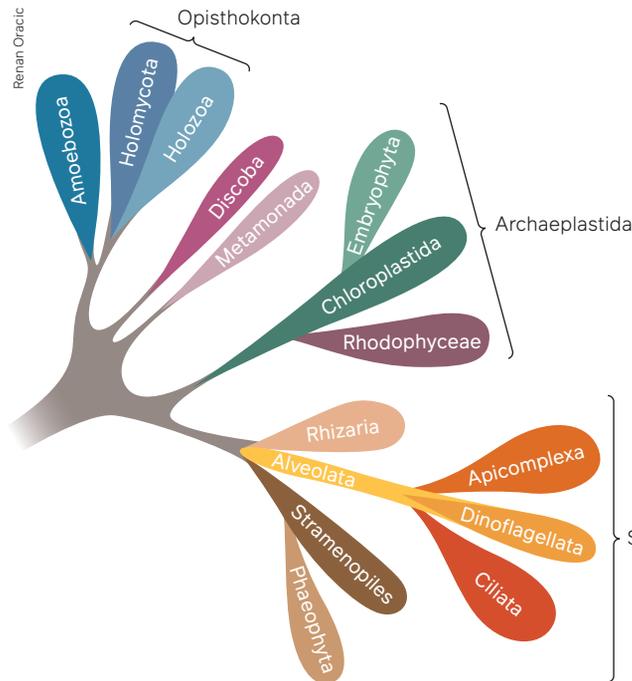
## GLOSSÁRIO

### plastídeos:

organelas celulares encontradas em células de plantas e de algas, responsáveis pela realização de diversas funções, como a fotossíntese, armazenamento de nutrientes e pigmentação.

# O clado Archaeplastida

O clado Archaeplastida (do grego antigo *arkhaios*, “velho”, e *plastida*, **plastídeos**) é uma linhagem do domínio Eukarya, que inclui um grupo diversificado de seres vivos fotossintéticos. A linhagem é caracterizada pela presença de plastídios originados de **endossimbiose primária**, sendo o principal deles o **cloroplasto**. Estudos filogenéticos sugerem que o clado deve ter divergido dos demais eucariotos no período Paleoproterozoico tardio, isto é, por volta de 1,6 bilhão de anos atrás. As linhagens mais conhecidas são Glaucophyta, Rhodophyceae (algas vermelhas), Chloroplastida (algas verdes) e Embryophyta (plantas terrestres).



Representação da filogenia dos principais grupos de eucariotos.

Fonte: ADL, S. M. et al. Revision on the classification, nomenclature, and diversity of Eukaryotes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, Nova York, v. 66, n. 1, p. 4-119, 2019.

## Glaucophyta

Glaucophyta (do grego *glaucos*, azul-esverdeado, e *phyton*, planta), ou simplesmente glaucófitas, são um grupo basal de algas microscópicas, tipicamente unicelulares e de formato esférico ou elipsoidal, cujos representantes apresentam algumas características similares às dos procariontes, como a presença de peptidoglicano nas **cianelas** (plastídeos). Isso reforça a história evolutiva de endossimbiose com cianobactérias na linhagem Archaeplastida.

Trata-se de um grupo relativamente pequeno, composto de apenas algumas espécies conhecidas (cerca de 13 espécies distribuídas em quatro gêneros). As glaucófitas são encontradas principalmente em habitats de água doce, como lagos e rios, frequentemente associados a ambientes mais frios, incluindo regiões polares e áreas montanhosas, onde prosperam em baixas temperaturas e condições de muita luz.



Microscopia de contraste de interferência diferencial de células vegetativas de glaucófitas do gênero *Glaucocystis*. Observe que as células imóveis são envolvidas por uma parede celular dentro de uma parede celular mãe expandida. Ampliação de 591 vezes.

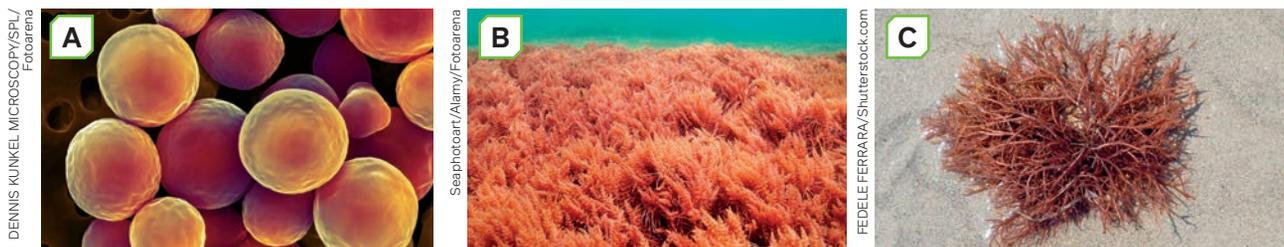
Michael Abbey/Science Source/Fotoarena

### Saiba mais

Uma característica distintiva dessas algas é a presença de uma parede celular complexa, que inclui uma parede celular própria e uma parede celular mãe expandida. Essa estrutura dupla oferece proteção adicional às células, especialmente em condições ambientais adversas. Essa adaptação pode proporcionar vantagens em termos de sobrevivência e reprodução, especialmente em ambientes onde a resistência estrutural é benéfica.

## Rhodophyceae

Rhodophyceae são popularmente conhecidas como algas vermelhas, um grupo diversificado de organismos fotossintéticos (mais de 7 mil espécies) que habitam principalmente ambientes marinhos, ainda que algumas poucas espécies habitem água doce. As algas vermelhas podem ser unicelulares ou multicelulares, exibindo várias tonalidades de vermelho – do brilhante ao arroxeado ou acastanhado. Seus cloroplastos possuem os pigmentos clorofila a, carotenoides e ficobilinas. As paredes celulares das algas vermelhas são compostas de celulose e polissacarídeos complexos, incluindo o ágar e carragenina, que têm uso comercial para fins de culturas biológicas e indústria alimentícia.

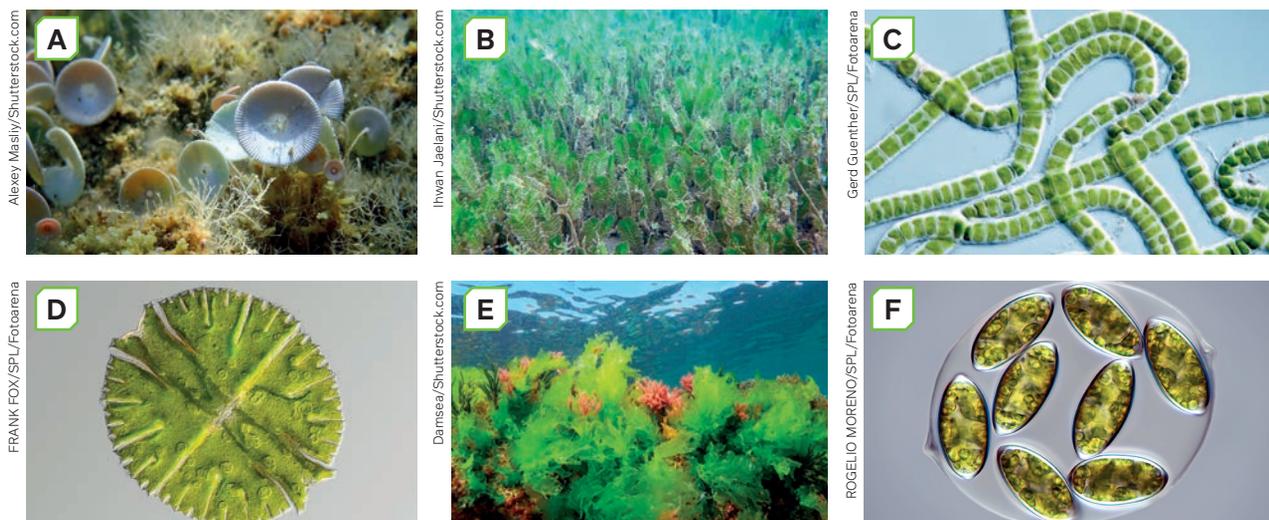


Exemplos de algas vermelhas unicelulares e multicelulares. (A) *Cyanidium caldarium*. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 800 vezes. (B) *Asparagopsis armata*. (C) Alga vermelha do gênero *Gracilaria*.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

## Chlorophyta

As algas verdes, também conhecidas como Chlorophyta, são um grupo diversificado de organismos fotossintéticos (mais de 8 mil espécies), principalmente aquáticos, encontrado em água doce, oceanos e ambientes terrestres úmidos. Algumas espécies flutuam livremente, enquanto outras se fixam em superfícies. As algas verdes podem ser unicelulares ou multicelulares.



Exemplos de algas verdes unicelulares e multicelulares. (A) *Acetabularia acetabulum*. (B) Campo marinho de algas do gênero *Caulerpa*. (C) *Klebsormidium* sp. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 200 vezes. (D) *Micrasterias rotata*. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 400 vezes. (E) *Ulva lactuca*. (F) Colônia da alga unicelular *Oocystis solitaria*. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 200 vezes.

As algas verdes podem se reproduzir por vários meios, incluindo reprodução assexuada por fissão binária, fragmentação e reprodução sexuada, que envolve a formação de gametas (células reprodutivas). Várias espécies de *Chlorophyta* vivem em **simbiose** com uma gama de eucariotos, incluindo fungos (formando líquens), ciliados, cnidários e moluscos.

Os líquens são formados por um fungo e um organismo fotossintético, geralmente uma alga verde ou uma cianobactéria. Tamanho aproximado 5 cm de diâmetro.

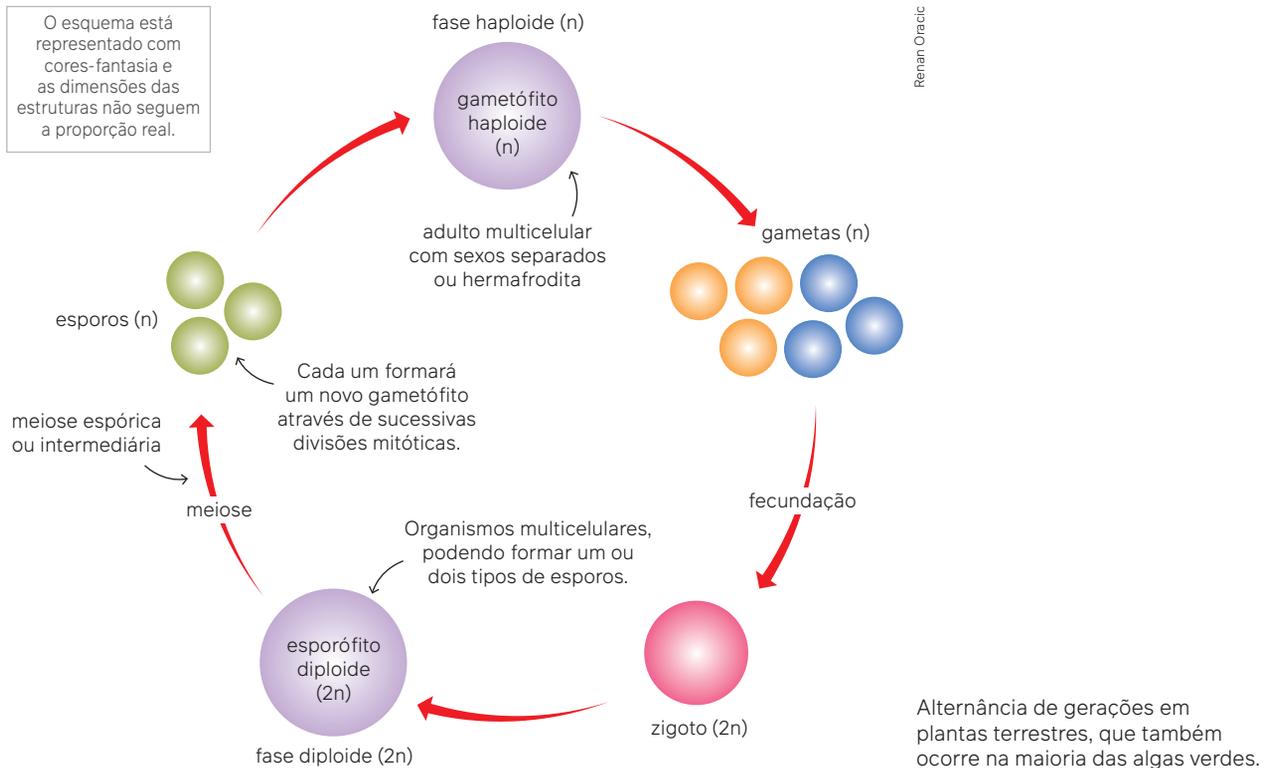


Marimaria/Shutterstock.com

# Embryophyta

Todas as plantas terrestres são organismos eucarióticos multicelulares, cuja história evolutiva nos habitats terrestres remonta a mais de 470 milhões de anos. As plantas terrestres compartilham várias características importantes que as distinguem de seus ancestrais – organismos unicelulares similares a certas algas verdes microscópicas atuais –, incluindo a presença de estruturas especializadas, como uma **cutícula** em suas superfícies, que evita a perda de água.

O ciclo de vida das plantas terrestres é caracterizado pela alternância de gerações (ciclo diplobionte), que inclui fases haploides ( $n$ ) e diploides ( $2n$ ). A fase haploide é denominada **gametófito**, que produz gametas (anterozoides e oosfera), enquanto a fase diploide é denominada **esporófito**, que produz esporos por meiose. O termo *Embryophyta*, como também são chamadas as plantas terrestres, deriva dessa característica distintiva, visto que a nutrição do esporófito embrionário – em seus estágios iniciais de desenvolvimento multicelular – ocorre dentro dos tecidos do gametófito.



## Atividades propostas



1. Em duplas, discutam sobre como as glaucófitas podem ajudar a explicar a evolução dos cloroplastos e as relações filogenéticas do grupo Archaeplastida. Exponham suas ideias às demais duplas, ouçam o que elas têm a dizer e, juntos, elaborem uma explicação.
2. Considerando o que você aprendeu, avalie as afirmações a seguir:
  - I. O processo de endossimbiose primária foi fundamental para a formação dos cloroplastos nos organismos do clado Archaeplastida.
  - II. As algas vermelhas e verdes, juntamente com as plantas terrestres, compartilham um ancestral comum que possuía cloroplastos originados de endossimbiose secundária.
  - III. O clado Archaeplastida inclui organismos fotossintéticos que possuem pigmentos como clorofila a e ficobilinas, que conferem colorações específicas aos seus cloroplastos.

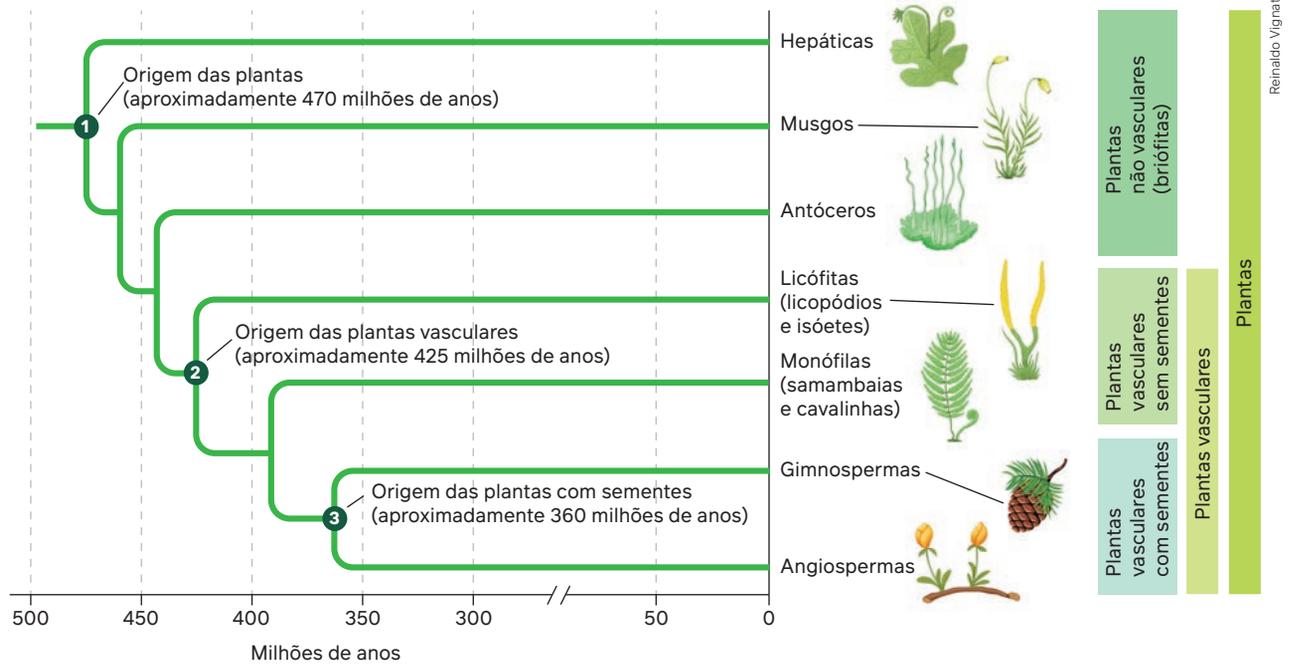
Está correto o que se afirma em:

- |                     |                      |               |
|---------------------|----------------------|---------------|
| a) I e II, apenas.  | c) II e III, apenas. | e) I, apenas. |
| b) I e III, apenas. | d) I, II e III.      |               |

# A conquista do ambiente terrestre

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

A conquista do ambiente terrestre se deu por uma série de características relacionadas à sustentação, absorção e transporte de água e nutrientes, além de estratégias reprodutivas com menor dependência da água. Os principais eventos evolutivos na linhagem das plantas são as origens de tecidos vasculares e de sementes.



Filogenia de plantas terrestres mostrando os principais grupos.

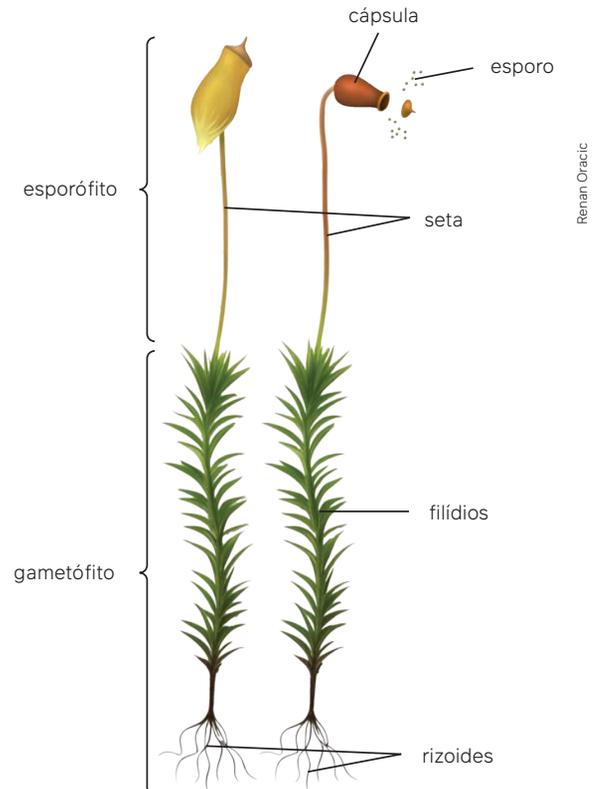
Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 675.

## Plantas não vasculares

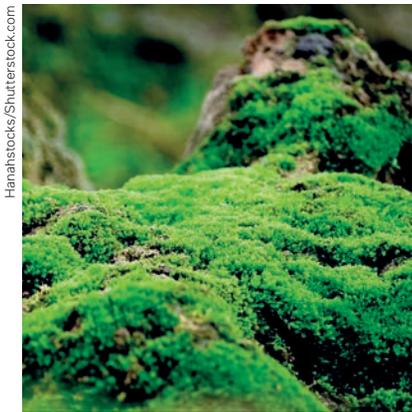
As plantas não vasculares são caracterizadas pela ausência de tecidos especializados para o transporte de água e nutrientes, o que significa que a distribuição desses recursos ocorre diretamente de célula a célula. Este grupo inclui as **briófitas**, que são encontradas principalmente em ambientes úmidos, como florestas, pântanos e margens de rios, e conseguem tolerar baixos níveis de luz. As briófitas não possuem estruturas como raízes, caules ou folhas verdadeiras, que são típicas das plantas vasculares. Entre os principais representantes das plantas não vasculares estão as hepáticas e os antóceros. É importante notar que o termo "briófitas" refere-se a um conjunto específico dentro das plantas não vasculares, mas não designa um grupo que compartilhe um ancestral comum exclusivo.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

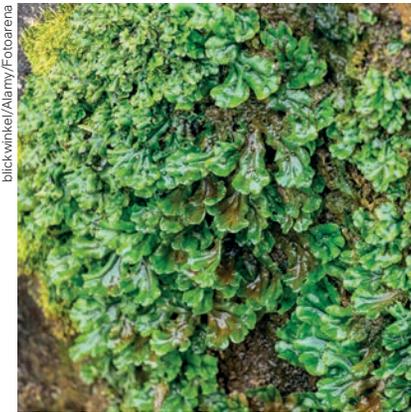
Partes constituintes de uma briófitas típica. Nas plantas não vasculares, a fase gametofítica é fotossintética e duradoura. O esporófito é uma estrutura menor, de vida curta, tipicamente semelhante a uma haste, que cresce sobre o gametófito.



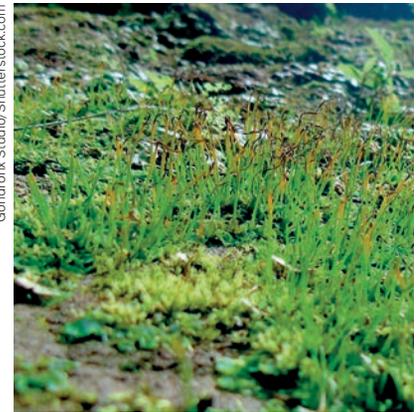
Embora as plantas não vasculares não possuam raízes propriamente ditas, elas têm rizoides, estruturas que servem principalmente para ancorar a planta ao substrato. Enquanto a absorção de água e íons ocorre diretamente por difusão em todo o organismo, os rizoides ajudam a estabilizar o solo e prevenir a erosão. Algumas espécies de briófitas são sensíveis a mudanças na qualidade do ar e nos níveis de poluição, sendo utilizadas como bioindicadores para avaliar a saúde ambiental e a qualidade do ar.



Musgos.



Hepáticas.



Antóceros.

## Plantas vasculares

As **plantas vasculares**, também chamadas de traqueófitas, são aquelas cujo transporte de água, de nutrientes e de matéria orgânica é realizado por tecidos especializados, os tecidos vasculares. O **xilema** é o tecido que transporta água e minerais das raízes para outras partes da planta, enquanto o **floema** é o tecido que transporta compostos orgânicos, como açúcares, por toda a planta. As plantas vasculares podem ser classificadas em dois grupos distintos, tendo em vista a ausência e a presença de sementes. As que não produzem sementes são um grupo parafilético denominado **pteridófitas**; as que produzem sementes são um grupo monofilético denominado **espermatófitas**.

### Pteridófitas

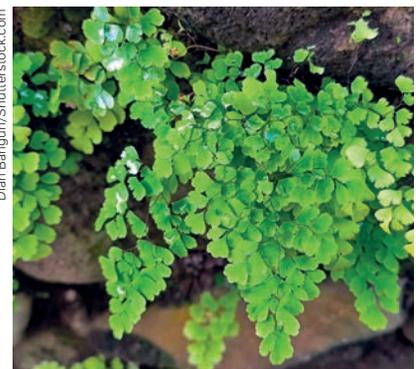
As **pteridófitas** são encontradas em uma variedade de habitats, incluindo florestas, pântanos e até mesmo afloramentos rochosos, estabilizando os solos, reduzindo a erosão e fornecendo abrigo para vários organismos. Destacam-se neste grupo as samambaias, as cavalinhas e as avencas. Algumas samambaias são usadas ornamentalmente em jardins, e outras têm uso medicinal. As cavalinhas foram usadas historicamente para limpar painéis e frigideiras devido à sua textura abrasiva. Os xaxins são samambaias que podem atingir porte arbóreo, nativos de várias regiões do mundo, sendo muito apreciados para jardinagem e paisagismo.



Xaxim.



Samambaia.



Avenca.

Nas pteridófitas, a fase visível (duradoura) é o esporófito diploide ( $2n$ ), que produz esporos por meiose em estruturas denominadas **soros**, aglomerados de esporângios (estruturas que geram e contêm esporos) que podem ser facilmente observadas nas folhas de samambaias, por exemplo. O gametófito haploide ( $n$ ) é menor e menos visível, produzindo gametas (anterozoides e oosfera) por meio da mitose. Sua fertilização ocorre quando o anterozoide do gametófito fertiliza uma oosfera formando um zigoto diploide, que se desenvolve em um novo esporófito. Assim como nas plantas não vasculares, sua fecundação depende de água.

## Espermatófitas

As **espermatófitas** – grupo dominante de plantas terrestres – são plantas vasculares com sementes. Suas sementes são estruturas complexas que abrigam, protegem e nutrem o embrião dessas plantas. Nas espermatófitas, os tecidos vasculares são bem desenvolvidos, e os gametas masculinos são protegidos por estruturas denominadas **grãos de pólen**, os gametófitos masculinos. Esses grãos de pólen podem ser dispersados pelo vento ou por animais, principalmente insetos, facilitando a fertilização das flores. Essa adaptação viabilizou a fertilização independente da água. As espermatófitas podem ser subdivididas em gimnospermas (plantas com sementes, sem flores) e angiospermas (plantas com sementes, com flores).

### Gimnospermas

As **gimnospermas** incluem coníferas (como pinheiros, abetos e araucárias), cicadáceas, ginkgos e gnetófitos. Muitas delas apresentam folhas adaptadas em forma de agulhas ou escamas. Elas produzem estruturas reprodutoras denominadas estróbilos ou cones, que podem ser masculinos ou femininos. Somente os estróbilos femininos envolvem as sementes, enquanto os masculinos produzem o pólen. O termo gimnospermas vem do grego “*gymnos*”, que significa nu, e “*sperma*”, que significa semente, referindo-se ao fato de que suas sementes não são envolvidas por um fruto. Um exemplo é o pinhão das araucárias, que é consumido por diversos animais, incluindo galinhas azuis, e também é apreciado na culinária. As gimnospermas apresentam crescimento do caule tanto em altura quanto em espessura, como evidenciado pelas sequoias gigantes da América do Norte, que podem ultrapassar 100 metros de altura.

A geração de esporófitos (diploides) produz esporos haploides ( $n$ ) por meiose. As partes femininas (que recebem o prefixo mega) produzem megásporos nos megasporângios, enquanto as partes masculinas (que recebem o prefixo micro) produzem micrósporos nos microsporângios. Os megásporos originam os megagametófitos, que produzem os gametas femininos, enquanto os micrósporos dão origem aos microgametófitos, também conhecidos como grãos de pólen, que geram os gametas masculinos. A transferência do pólen da estrutura reprodutiva masculina para a estrutura reprodutiva feminina é chamada de **polinização**. Após a polinização, realizada principalmente pelo vento ou pela água, o grão de pólen desenvolve um tubo polínico, que cresce dentro do próprio grão de pólen e forma um caminho para que o gameta masculino fertilize a oosfera. Esse processo ocorre independentemente da água. O zigoto resultante da fertilização desenvolve-se em um embrião protegido, a semente, que se transforma em um novo esporófito.

Adilson Sochodolak/Shutterstock.com



A



Roberta Fonseca/Shutterstock.com

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

Paradise art risk/Shutterstock.com



B



NATTANAN KLDENPRATHOM/Shutterstock.com

Representantes de gimnospermas e suas respectivas estruturas reprodutivas. (A) Araucária. (B) Cica.

## Angiospermas

As **angiospermas** são plantas vasculares com sementes que produzem flores, suas estruturas reprodutivas. É o grupo mais diversificado e disperso das plantas, incluindo representantes arbóreas, arbustivas, herbáceas e gramíneas. As angiospermas coevoluíram com agentes polinizadores e dispersores, como artrópodes e vertebrados, que promovem o transporte de grãos de pólen de uma flor para outra, mas também pela dispersão de frutos e sementes.



Vídeo

Polinização:  
Coevolução de  
plantas e animais



Girassol.

Flor da cebola.

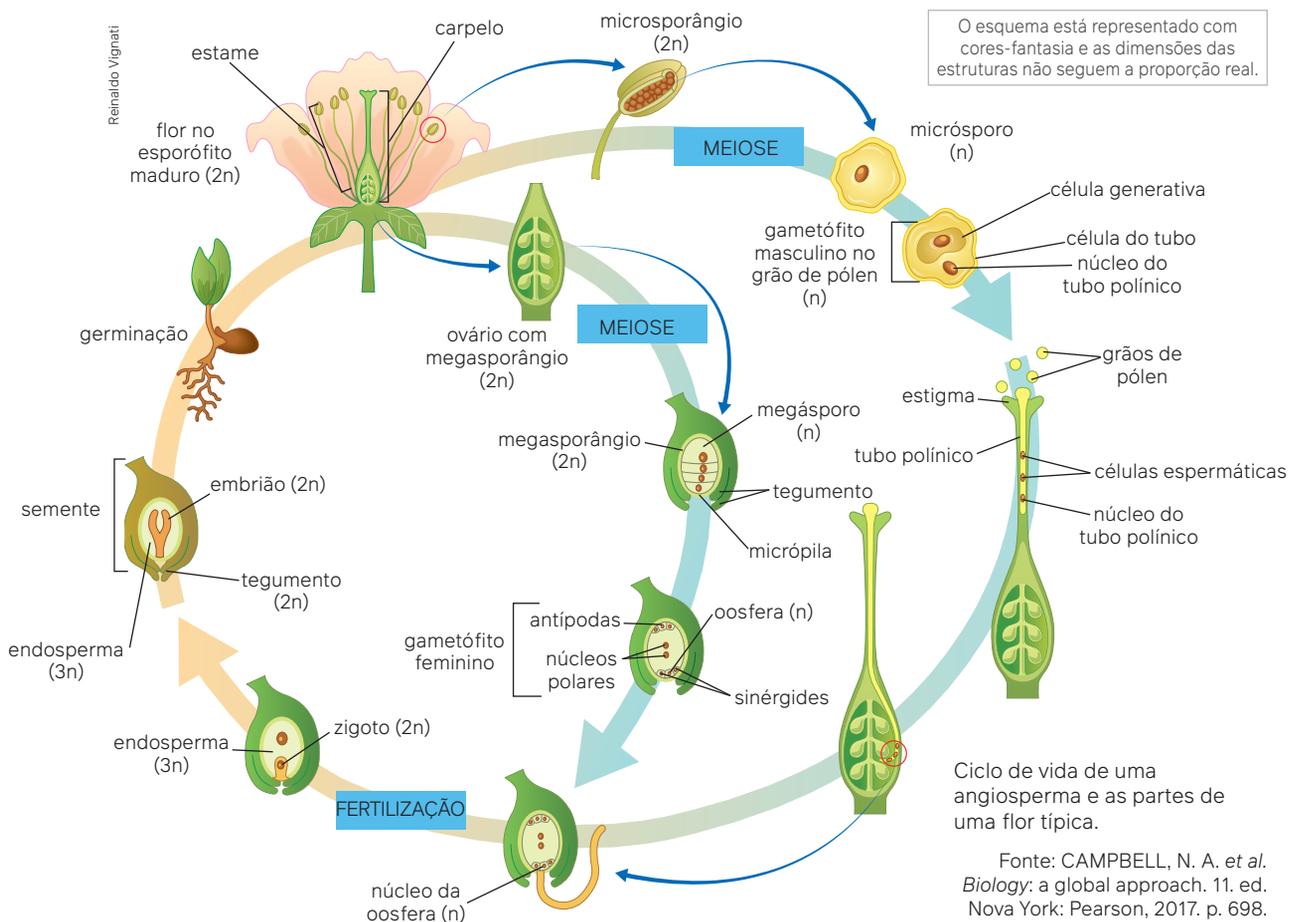
Hibisco.

A fase dominante no ciclo de vida das angiospermas é o esporófito diploide ( $2n$ ), que produz as flores. Dentro das flores, os esporângios geram esporos por meiose, os quais se desenvolvem em gametófitos. O gametófito masculino, ou grão de pólen, produz os gametas masculinos, enquanto o gametófito feminino, que está contido no óvulo, desenvolve o gameta feminino. No gametófito feminino, geralmente há uma oosfera e dois núcleos polares. A polinização em angiospermas pode ocorrer por meio de vários mecanismos, incluindo vento, insetos, aves e outros animais.



Diversas espécies animais têm uma íntima relação com as angiospermas, onde circulam e obtêm seus alimentos, promovendo a polinização das flores.

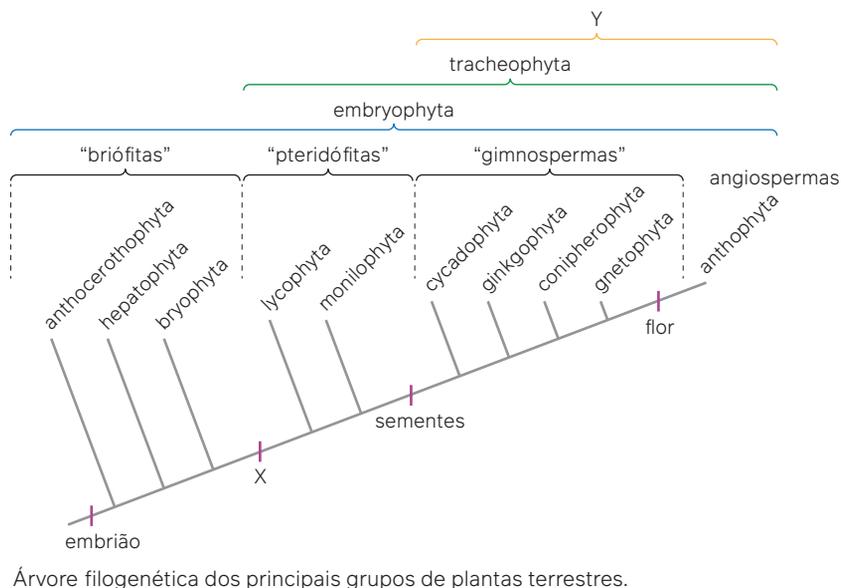
Assim que o grão de pólen atinge o estigma da flor, abertura que possibilita sua entrada na parte feminina, forma-se um tubo polínico, que desce pelo estilete e entra no óvulo com o megasporângio. A meiose esporica, nessa estrutura, forma quatro megásporos haploides ( $n$ ), mas apenas um deles sobrevive, dando origem ao gametófito feminino, protegido por dois tegumentos. Este, por sua vez, resultará em sete células (duas sinérgides, três antípodas, a oosfera e a célula central – com dois núcleos polares). A fertilização dupla ocorre quando uma das células espermáticas do grão de pólen fertiliza a oosfera, resultando na formação de um zigoto diploide ( $2n$ ); e a outra célula espermática normalmente se funde com os dois núcleos polares no gametófito feminino formando uma célula triploide ( $3n$ ), que forma o endosperma, um tecido rico que nutre o embrião em seu desenvolvimento inicial. Além do endosperma, a semente possui um tegumento protetor e, em muitos casos, está envolvida por um fruto, que também contribui para sua proteção e dispersão. As sementes podem ser dispersadas pelo vento, pela água, por animais ou por mecanismos da própria flor, que podem envolver a liberação explosiva de sementes. Em condições adequadas, a semente germina e o embrião se desenvolve em uma nova planta esporófito.



## Atividades propostas



- Observe a árvore filogenética ao lado e responda às questões.
  - Qual é a principal característica das traqueófitas, indicada por "X" na árvore filogenética ilustrada?
  - Identifique e descreva uma característica evolutiva que diferencia as angiospermas das pteridófitas, conforme indicado na árvore.
  - Como é chamado o clado que une angiospermas e gimnospermas na árvore filogenética como "Y"?
  - Suponha que um colega tenha dito a seguinte frase: "As pteridófitas formam um grupo monofilético". Você concordaria com a frase dele? Justifique.



- Escolha um dos grupos de plantas terrestres estudados e, consultando a literatura da área, elabore um esquema que represente: as fases de vida, meiose e mitose, gametas, fecundação, desenvolvimento e ploidia. Compartilhe sua produção com os colegas.



## Explorando a diversidade vegetal da comunidade

Nesta atividade, você vai investigar a diversidade vegetal da comunidade usando como método a escolha guiada, identificação e herborização de plantas. Para a escolha das plantas que decidir investigar, tenha como orientação as ideias de diversidade, representatividade e precisão no preparo das suas **exsicatas**, espécimes de plantas secas que foram cuidadosamente coletadas, prensadas, secas e preservadas para estudo científico e conhecimento da biodiversidade. As exsicatas são normalmente armazenadas em herbários, que são coleções ou repositórios especializados para arquivo de plantas preservadas.

### Material:

- ramos de uma variedade de espécies vegetais;
- folhas absorventes (como jornais) e papelão;
- elásticos, cordas ou barbantes;
- cartolina;
- lupas;
- guias ou chaves de identificação de plantas (livros ou recursos *on-line*);
- cadernos e utensílios de escrita;
- câmera ou *smartphone* (opcional).

### Procedimento

1. Em grupos, atentando-se às orientações do professor, escolham, nas imediações de suas casas e/ou escola, dez plantas para coletar ramos e preparar exsicatas. É importante que, no montante escolhido, haja pelo menos um exemplar dos quatro grupos estudados (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas). Se for possível, registrem imagens de cada planta (desenho ou fotografia), de modo que seja possível usar outros atributos representados para a identificação de cada grupo. Se a planta estiver em flor, as chances de identificá-la aumentam. Se houver alguém que entenda sobre plantas, registrem, com autorização dessa pessoa, as suas impressões.
2. Em sala de aula, preparem as exsicatas. Vocês devem prensar os ramos entre duas folhas absorventes, intercaladas por folhas de papelão. Ajuste os ramos e as folhas no papel, deixando pelo menos uma folha da planta virada ao contrário para que se possa visualizar o verso. Se tiver flores, ajuste-as também. Elaborem um código para registro das pessoas que coletaram o material e para identificar as características registradas.
3. Empilhe as folhas entre o papelão e aperte-as com elásticos, cordas ou barbantes. Levem o material à estufa. Caso não tenham estufas, coloque-as sobre livros ou outros pesos e as mantenha em local seco.
4. Com o material seco, cada estudante deverá montar as suas exsicatas, elaborando um cartão de identificação, contendo: nome da espécie, nome da pessoa que coletou, grupo taxonômico (família), local, data da coleta, detalhes do hábitat e quaisquer outros dados que julgar pertinentes. Para identificação, utilize lupas, livros, chaves de identificação, aplicativos e/ou páginas da *internet*, como a *Flora Brasiliensis*.

### Trocando ideias



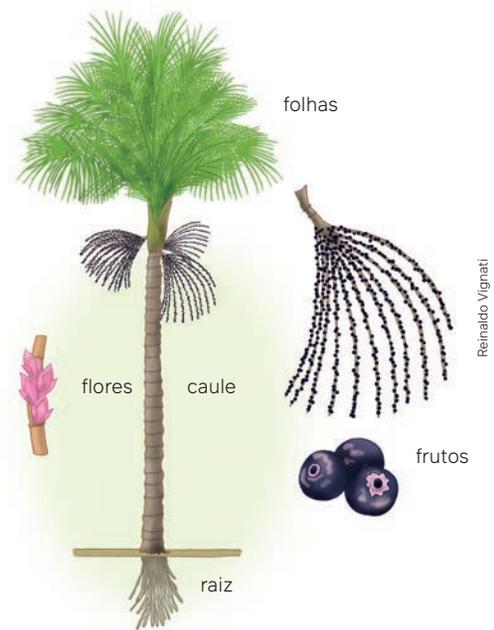
1. Elabore uma descrição de cada espécie, contendo identificação, detalhes e representações (desenhos e/ou imagens).
2. Troque as suas exsicatas com as dos colegas e analise-as com cuidado. Confira se as identificações propostas estão de acordo com o que foi aprendido no capítulo. Aproveite para refletir sobre seu material e descreva o que poderia ter feito de diferente.
3. Considerando toda a produção da turma, quais padrões de diversidade vegetal são possíveis identificar?
4. Proponham, coletivamente, um cladograma para representar a diversidade registrada. Planejem uma forma de divulgar, para a comunidade escolar, o conhecimento sobre a diversidade vegetal.
5. O que você considerou mais difícil de realizar nesta atividade? Por quê?
6. Escreva um breve texto explicando por que as coleções de herbário são essenciais para a pesquisa botânica e para a conservação da biodiversidade vegetal.

# Morfofisiologia vegetal

A morfofisiologia vegetal é o campo de estudo que se concentra em características morfológicas e fisiológicas, bem como nas respostas ao ambiente que permitem às plantas prosperarem em terra, onde enfrentam desafios como disponibilidade limitada de água, temperaturas oscilantes e condições de luz variáveis. Veremos, a seguir, algumas dessas características presentes nas plantas vasculares com sementes, especialmente as angiospermas.

Representações desta página simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Principais órgãos de uma angiosperma representados na palmeira juçara (*Euterpe edulis*).

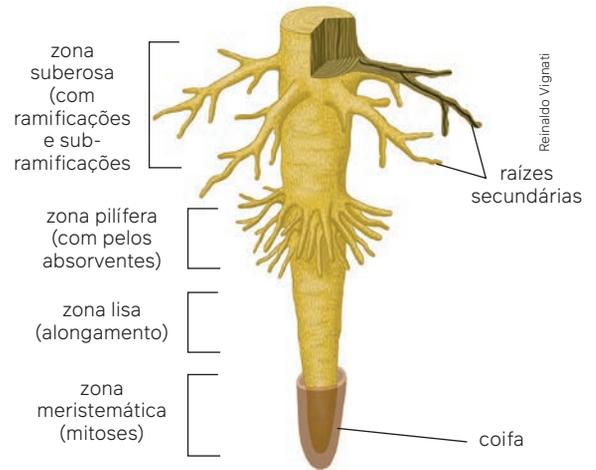


## Raízes

As raízes são órgãos que normalmente crescem no solo e possibilitam a fixação da planta, além da absorção de água e nutrientes. Algumas raízes armazenam carboidratos, água e outros compostos, como a mandioca, o inhame, a batata-doce e a cenoura. As raízes do tipo **pivotantes** crescem a partir de uma raiz principal (originada da radícula), e dela partem outras raízes laterais, ou secundárias. As raízes **adventícias**, também chamadas de fasciculadas, não possuem uma raiz principal, ou primária, mas várias raízes que partem da base do caule ou de outras partes da planta, como das folhas e galhos.

A estrutura típica das raízes é formada por zona suberosa, onde ocorre a ramificação e o engrossamento das raízes; zona pilífera, região com pelos absorventes que aumentam a capacidade de absorção de água e nutrientes do solo; zona lisa, responsável pelo alongamento da raiz e zona meristemática, região que produz novas células, cresce em direção ao solo e é protegida pela coifa.

Algumas raízes não crescem abaixo do solo e, por isso, são chamadas de raízes aquáticas ou aéreas, como as raízes do aguapé, os pneumatóforos em manguezais, as raízes tabulares que fornecem maior estabilidade em árvores e as raízes sugadoras em plantas parasitas.



Esquema representativo da estrutura de uma raiz típica.



Alguns tipos de raízes de angiospermas são: (A) a mandioca, (B) o aguapé com raízes aquáticas, (C) o mangue-vermelho com pneumatóforos e (D) a sumaúma com raízes tabulares.

## Saiba mais

**Meristemas** são tecidos especializados responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas, em tamanho e espessura. Essas regiões das plantas são caracterizadas por um intenso e contínuo processo de divisão celular mitótica, que gera novas células para as plantas. Os meristemas apresentam células indiferenciadas, ou seja, células totipotentes, que podem se especializar em outros tipos de célula, formando os diversos tecidos e órgãos que constituem uma planta madura.

Os meristemas primários estão localizados nas pontas dos caules e raízes, sendo responsáveis pelo crescimento primário, que envolve o alongamento das estruturas da planta. Os meristemas secundários se desenvolvem nas regiões laterais da planta, sendo responsáveis pelo crescimento secundário, que envolve o espessamento dos caules e raízes.

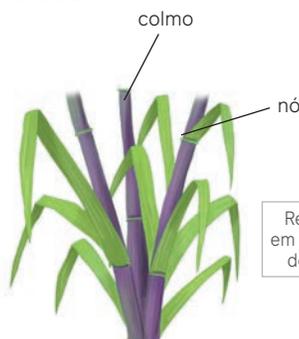
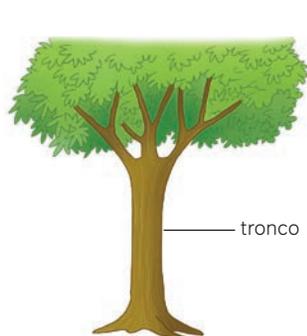
## Caules

Os **caules** são órgãos vegetais que se estabelecem, geralmente, acima do solo e fornecem suporte estrutural para folhas, flores e frutos. Essas estruturas têm como principal função o transporte de água, nutrientes e açúcares por toda a planta. No ápice do caule, localiza-se a **gema apical**, constituída por meristemas – tecidos responsáveis pelo crescimento em extensão. As folhas e outras estruturas das plantas, como ramos, flores e frutos, normalmente emergem de **nós**, onde estão localizadas as **gemas laterais** (ou axilares). Alguns caules podem armazenar carboidratos e água, como ocorre em cactos e algumas suculentas, além de tubérculos, como as batatas, e bulbos, como as cebolas.

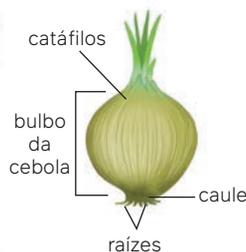
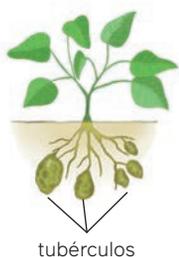
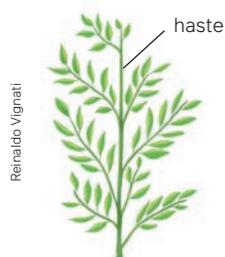


Nigel Cattlin/NaturePL/Fotorena

Caule de bétula branca (*Betula pendula*), evidenciando um nó (indicado pela seta) e dois entrenós (indicados por círculos). É possível observar no nó uma folha com a gema axilar.



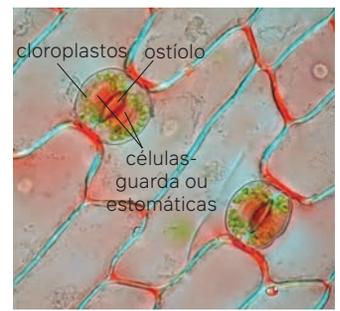
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Os caules podem ser aéreos ou subterrâneos e variar em tipos, tais como tronco, estipe, colmo, haste, tubérculos, rizoma e bulbo.

## Folhas

As **folhas** são os principais órgãos responsáveis pela fotossíntese e variam quanto ao tipo de nervura, formato, disposição no caule etc. Em plantas terrestres, uma parte considerável da epiderme da folha é recoberta pela **cutícula**, uma camada impermeabilizante que evita a perda de água; contudo, as folhas também transpiram e trocam gases com o ambiente por meio de pequenas estruturas chamadas **estômatos**. As folhas podem ser simples ou compostas, subdivididas em estruturas denominadas **folíolos**.



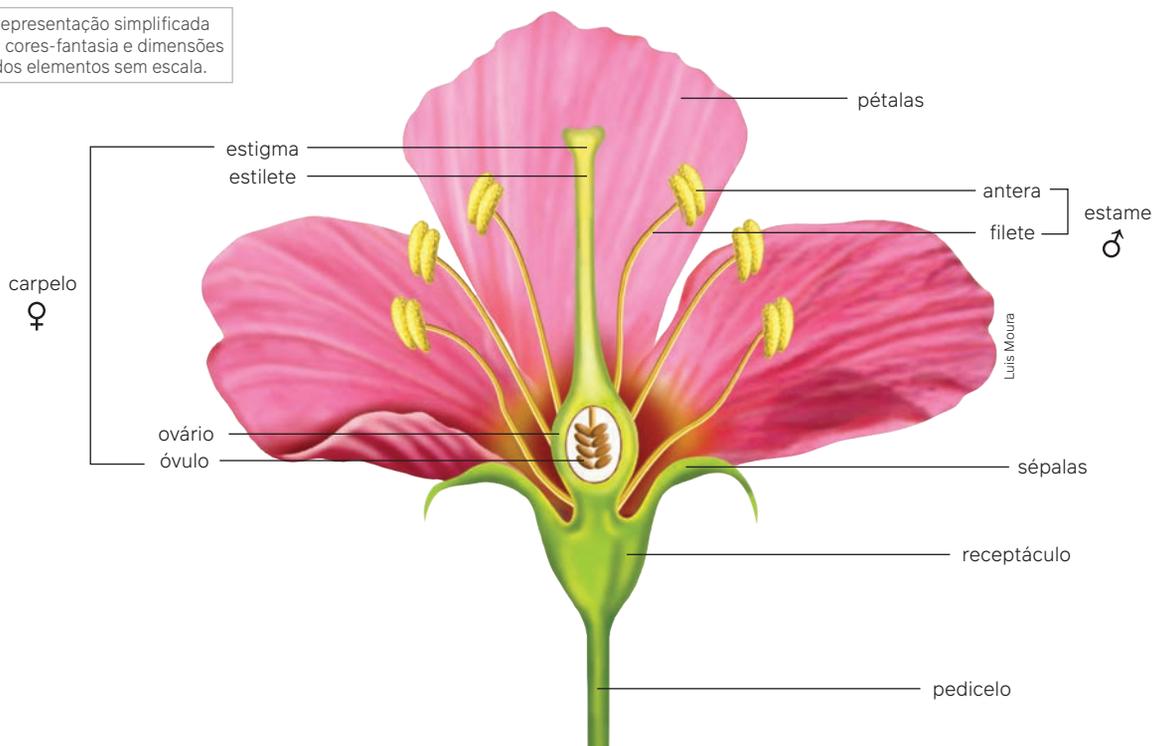
Os estômatos são formados por duas células-guarda, cujo grau de turgor possibilita a abertura/ fechamento do ostíolo, o poro por onde a planta troca gases com o ambiente. Fotografia obtida por meio de microscópio óptico. Ampliação aproximada de 225 vezes.

Tipos de folhas.

## Flores

As **flores**, estruturas reprodutivas das angiospermas, são compostas de sépalas, pétalas, estames (órgãos reprodutores masculinos) e pistilos (órgãos reprodutores femininos).

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Partes de uma flor hermafrodita.

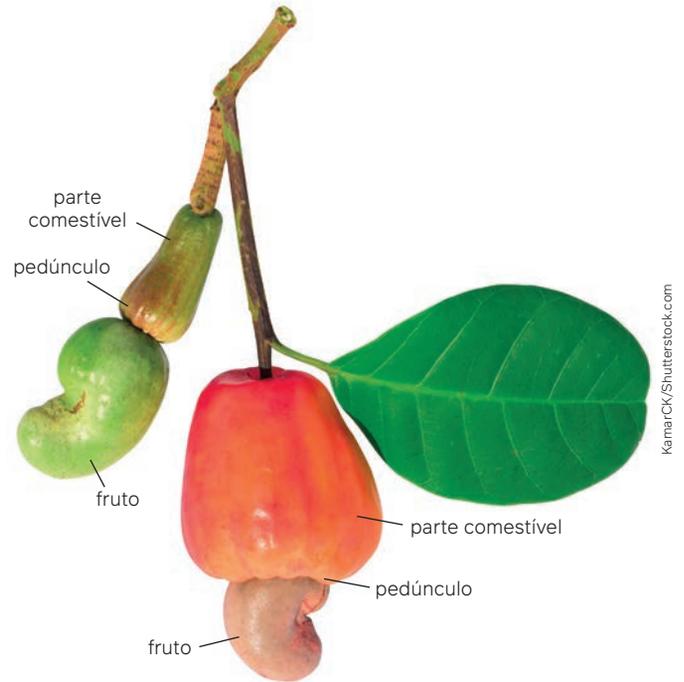
Flores hermafroditas são aquelas que apresentam estames e pistilos na mesma flor, como ocorre com a flor do hibisco, do abacateiro, do maracujá, da pitaya, por exemplo. Em geral, flores hermafroditas possuem mecanismos que evitam a autofecundação, importante meio para garantir a variabilidade genética, como a maturação das estruturas reprodutivas em tempos diferentes. As flores podem também apresentar apenas estames ou apenas pistilos. Plantas que possuem flores estaminadas (ou masculinas) e pistiladas (ou femininas) no mesmo indivíduo são chamadas de monoicas; e plantas que possuem flores estaminadas em um indivíduo e flores pistiladas em outro indivíduo são chamadas de dioicas. São exemplos de plantas monoicas: abóbora, melancia e milho. Algumas plantas, como o mamoeiro, podem possuir plantas com flores masculinas, plantas com flores femininas e plantas com flores hermafroditas.

## Frutos

Os **frutos** protegem as sementes, podendo ser dispersados para longe da planta-mãe por meio de vento, água ou animais. Após a fecundação, os óvulos se modificam, formando as sementes, e o ovário se hipertrofia, originando os frutos. O fruto é constituído pelo pericarpo, que é a parede desenvolvida do ovário, e pelas sementes.

Os frutos podem ser carnosos e secos. Frutos carnosos podem ser do tipo baga (com várias sementes), como a laranja, a uva, o tomate, a melancia, ou, ainda, como a drupa (com uma só semente fundida ao endocarpo), como a ameixa, a manga, o pêssigo e a azeitona. Os frutos secos podem ser deiscentes, ou seja, se abrirem naturalmente quando maduros, como ocorre com as leguminosas como a ervilha, o feijão e o ipê, ou indeiscente, que não se abrem quando maduros, como o milho, o trigo, o girassol.

Há ainda os pseudofrutos, que são estruturas originadas de outras partes da flor, não dos ovários como os frutos verdadeiros. Eles podem se originar do pedúnculo da flor, como é o caso do caju, ou do receptáculo da flor, como a maçã e a pera. O morango é um exemplo de um pseudofruto composto, originado do receptáculo de uma única flor com vários ovários.

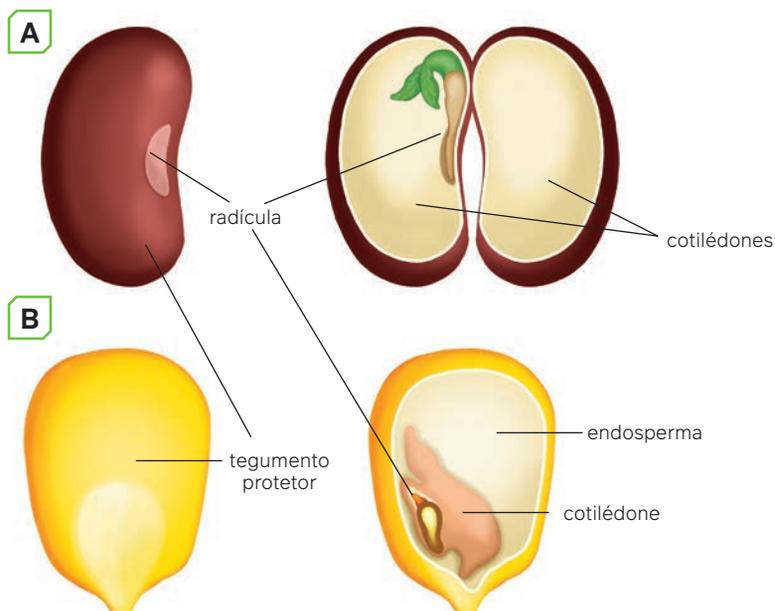


Caju é um pseudofruto simples no início do seu desenvolvimento e já maduro.

## Sementes

As **sementes** são a estrutura que contém o embrião, compostas basicamente de tegumento protetor, endosperma e embrião. O tegumento protetor é a camada externa, ou casca, que protege o embrião de ressecamento, insetos, fungos e bactérias. O endosperma é um tecido rico em amido, proteínas e óleo, que nutre o embrião em seu desenvolvimento inicial. Em condições adequadas, o embrião germina, originando uma nova planta.

As sementes podem ser dispersas pelo vento (anemocoria), pela água (hidrocoria), por animais (zoocoria) ou por mecanismos explosivos (barocoria).



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Nas angiospermas, destacam-se dois tipos de sementes: (A) as que possuem dois cotilédones (dicotiledôneas), e (B) as que possuem apenas um (monocotiledôneas). Os cotilédones armazenam nutrientes absorvidos do endosperma.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 881.

## Plantas alimentícias não convencionais (PANCs)

Às vezes são consideradas como “mato” que surgem nos canteiros, mas essas hortaliças são comestíveis e ricas em nutrientes.

As PANCs são alimentos que produzem efeitos benéficos à saúde do consumidor e compõem pratos típicos com grande importância na cultura das regiões.

Atuam como alimentos funcionais.

Fáceis de cultivar e de baixo custo tecnológico.

Resistentes a pragas e doenças.

Apropriadas para a agricultura familiar.

[...]

São espécies vegetais com uma ou mais partes alimentícias, espontâneas ou cultivadas, nativas ou exóticas. Muitas dessas espécies influenciam a culinária e a cultura locais, numa tradição passada de geração a geração – por isso também chamadas de hortaliças “tradicionais”. Algumas são cosmopolitas, dispersas mundo a fora e muitas vezes classificadas equivocadamente como plantas “daninhas”. O resgate e a multiplicação dessas plantas contribuem para a preservação do patrimônio genético que vem sendo realizado pela Embrapa desde 2006. Ações de promoção e valorização das PANCs são igualmente importantes para a segurança e soberania alimentar e nutricional no Brasil.

[...]

Conhece pratos típicos com PANCs?

Ora-pro-nóbis em Minas Gerais: nos pratos à base de frango caipira ou carnes, em especial costelinha.

Vinagreira no Maranhão: no famoso arroz de cuxá.

Jambu no Amazonas e Pará: nos famosos tacacá e pato no tucupi ou no tambaqui no tucupi.

Inhame capixaba ou o inhame-cará no Recôncavo Baiano e Zona da Mata da Paraíba, Pernambuco e Alagoas: em variados pratos, inclusive no famoso pão brote.

Araruta na Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo: como base de quitandas e do mingau.

Língua-de-vaca ou cariru (talinum) na Bahia e Alagoas: no famoso efó.

Bertalha no Rio de Janeiro: no refogadinho de bertalha com ovos.

Crem ou raiz forte no Paraná e Santa Catarina: como tempero para diversos pratos.

Taioba em Minas Gerais: no prato angu com taioba.

EMBRAPA. *Plantas alimentícias não convencionais (PANCs)*. Brasília, DF: Sebrae, [20--]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/46878777/Cat%C3%A1logo+Digital+Embrapa+Sebrae+Plantas+aliment%C3%ADcias+n%C3%A3o+convencionais+%28PANCs%29/51283329-42c7-5418-4f57-8b71d19843c3>. Acesso em: 4 jun. 2024.



Nino Bautz/Shutterstock.com



Jobz Fotografia/Shutterstock.com

A taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) é um exemplo de PANC.

### Trocando ideias



1. Quais são os benefícios das PANCs?
2. Considerando as características apresentadas no texto, por que as PANCs são apropriadas para a agricultura familiar?
3. Converse com os colegas sobre os pratos típicos apresentados no texto. Quais você já conhecia? Você já experimentou algum? Relate o que achou, caso tenha experimentado.
4. Coletivamente, elaborem uma lista das PANCs conhecidas pela turma.
5. Pesquise com os familiares ou pessoas próximas, de diferentes idades, informações sobre as PANCs que eles conhecem. Registre o nome da planta, que parte dela é consumida, tradições culturais e receitas. Apresente sua pesquisa para os colegas e, juntos, elaborem um livro de receitas virtual que possa ser compartilhado com a comunidade. Além das receitas, coloquem fotos que ilustrem os alimentos mencionados.



- Há um número crescente de espécies de animais polinizadores que estão ameaçados de extinção como consequência de desmatamento, uso indiscriminado de agrotóxicos e alterações climáticas. É importante adotar medidas para prevenir as possíveis consequências econômicas, na redução da produção de alimentos e o desequilíbrio dos ecossistemas. Entre as espécies cultivadas no Brasil que dependem de polinização animal, destacam-se o maracujá, a maçã, a acerola e a castanha-do-brasil.

Escolha uma planta angiosperma citada acima e pesquise como ocorre a polinização nessa planta específica e quais polinizadores são essenciais para o seu processo reprodutivo. Prepare um breve relatório explicando a importância dos polinizadores para essa planta e as consequências de sua ausência.

## Tecidos vegetais

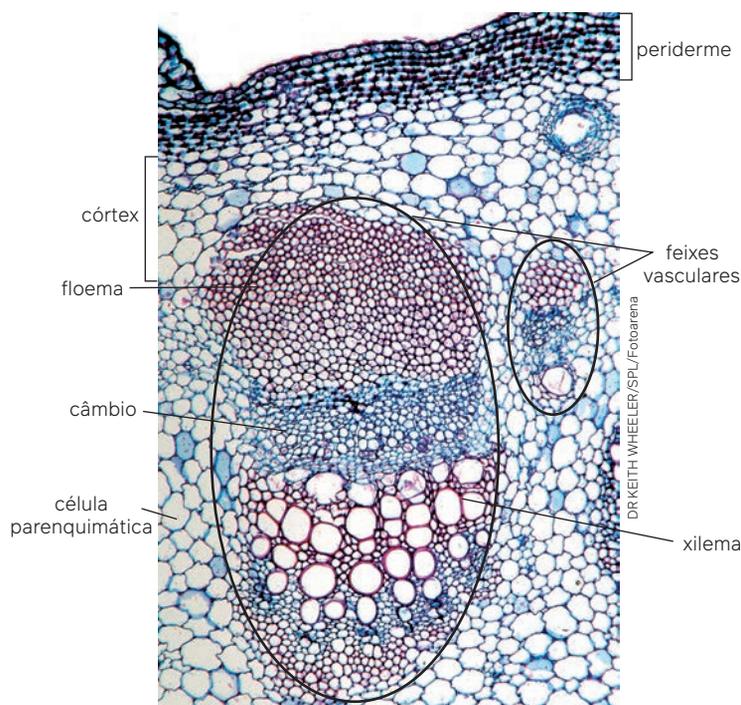
Podemos subdividir os tecidos vegetais em três tipos: dérmico, conjuntivo e vascular.

O **tecido dérmico** forma a camada protetora dos órgãos das plantas (raízes, caules e folhas). A **epiderme** – camada mais externa de tais órgãos – pode apresentar estômatos, pelos e tricomas. Os pelos são estruturas epidérmicas que ajudam na proteção contra herbivoria e na redução da perda de água. Os tricomas são estruturas especializadas da epiderme que podem desempenhar várias funções, como defesa contra insetos, redução da transpiração e secreção de substâncias. Nas raízes e caules de algumas plantas, a epiderme pode ser substituída pela **periderme**, um tecido secundário, composto de **súber**, **felogênio** e **feloderme**. A cortiça se forma em algumas plantas lenhosas, constituída de células mortas, com paredes celulares espessas e suberizadas. A suberina é uma substância cerosa que torna as células da cortiça impermeáveis à água e aos gases, proporcionando proteção contra a dessecação e agentes patogênicos. Por baixo da periderme, localiza-se o felogênio, um meristema responsável pela produção de novas células da cortiça. A camada mais interna da periderme é a feloderme, composta de células vivas.

O **tecido conjuntivo** constitui a maior parte dos órgãos da planta e desempenha múltiplas funções, incluindo o **parênquima**, tecido de preenchimento cujas células podem estar envolvidas na fotossíntese, armazenamento e regeneração de órgãos vegetais; **colênquima**, tecido cujas células fornecem suporte flexível às partes em crescimento da planta, como caules jovens e pecíolos; e **esclerênquima**, tecido cujas células possuem paredes celulares espessas e rígidas, que fornecem suporte estrutural para partes maduras da planta, como os caules lenhosos.

O **tecido vascular** pode ser de dois tipos: xilema e floema. O tecido meristemático que origina tais células é denominado **procâmbio**. O crescimento secundário de plantas lenhosas é acompanhado pela atividade do **câmbio vascular**, um tecido meristemático cilíndrico que produz xilema e floema secundários.

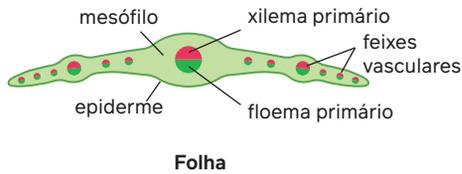
As células do xilema transportam água e minerais das raízes por toda a planta, têm paredes celulares espessas e podem ser lignificadas. A lignina é um polímero orgânico complexo, cuja composição fornece suporte estrutural e rigidez às paredes celulares das plantas. Nas gimnospermas, a principal célula do xilema é a **traqueíde**, uma célula longa e afilada. As traqueídes têm pontuações, que são pequenas aberturas nas paredes celulares que permitem a passagem de água e solutos entre as células. Essas pontuações facilitam o transporte de água e nutrientes pelo xilema, apesar das traqueídes serem células geralmente fechadas. Nas angiospermas, a principal célula do xilema são os **elementos do vaso**, células empilhadas com paredes celulares perfuradas. O movimento da água pelo xilema é impulsionado pela transpiração. A água que evapora da superfície da folha provoca uma pressão negativa, ou tensão, que impulsiona a ascensão da água por meio dos vasos condutores do xilema, um fenômeno denominado **capilaridade**.



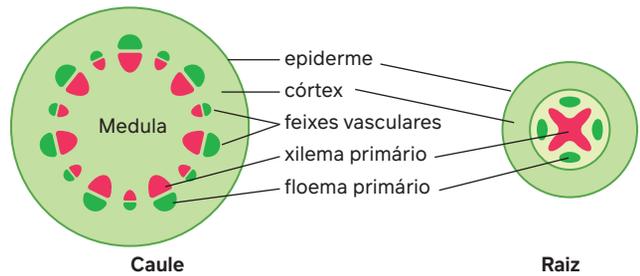
Fotomicrografia de corte histológico transversal de caule com crescimento secundário. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 35 vezes.

## Distribuição dos tecidos primários na folha, no caule e na raiz de eudicotiledôneas.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Folha



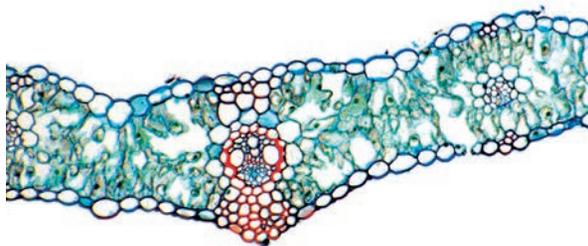
Caule

Raiz

Reinaldo Vignati

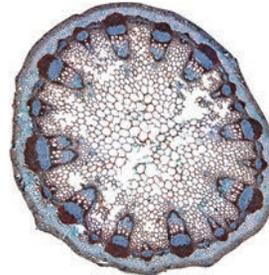
Mesófilo: camada de células no interior das folhas, responsável pela fotossíntese.

Córtex: camada de tecido que fica entre a epiderme e o cilindro vascular em raízes e caules.



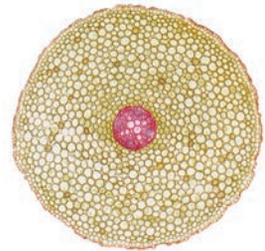
Dr Keith Wheeler/SPL/Fotoarena

Micrografia óptica de uma seção da nervura central de uma folha de trigo (*Triticum aestivium*). Ampliação aproximada de 100 vezes.



Dr Keith Wheeler/SPL/Fotoarena

Micrografia óptica de uma seção do caule primário de uma planta Dália (*Dahlia* sp.). Ampliação aproximada de 13 vezes.

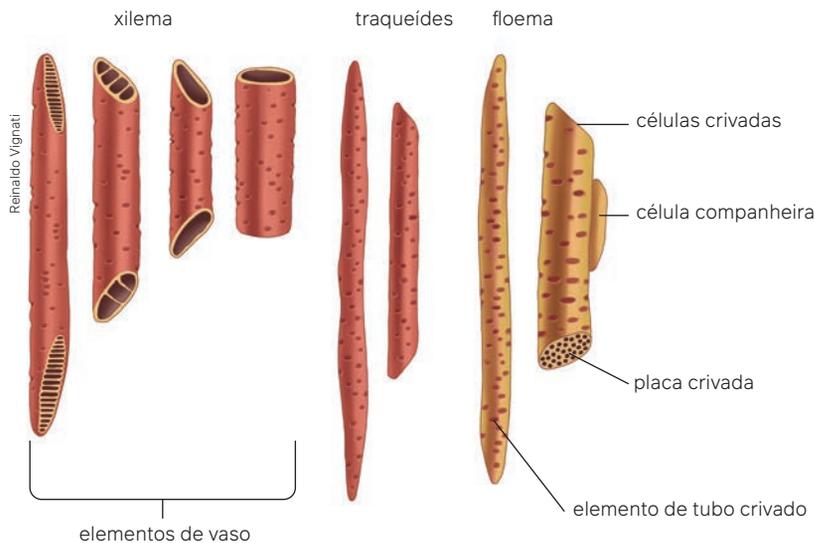


Steve Gschmeissner/SPL/Fotoarena

Micrografia óptica de uma seção de raiz. Ampliação aproximada de 50 vezes.

Fonte: EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Raven: biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 1005. *E-book*.

As células do floema transportam compostos orgânicos (açúcares) produzidos dos órgãos fotossintéticos, principalmente das folhas, para outras partes da planta. As células do floema estão vivas. O transporte do floema é bidirecional, permitindo o movimento dos açúcares tanto para cima quanto para baixo, movimentos que possibilitam alocação de recursos em resposta às mudanças nas demandas metabólicas da planta, por exemplo, para armazenamento de nutrientes em caules e raízes. Nas gimnospermas, a principal célula do floema são as **células crivadas**, e nas angiospermas, os **elementos de tubo crivado**. Estas últimas estão intimamente associadas às células companheiras, que fornecem suporte metabólico a esse tecido vascular.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Tipos de células de xilema e floema.

Fonte: EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Raven: biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 1013-1017. *E-book*.

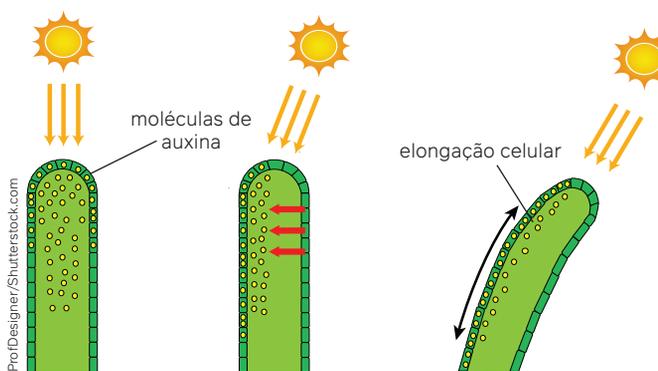
## Respostas a estímulos ambientais

### ► Ciências da Natureza

A ação da força da gravidade é abordada com outros enfoques nos **capítulos 2, 3 e 9** do volume de **Física** desta coleção.

As plantas são organismos incrivelmente dinâmicos, capazes de responder a diversos estímulos ambientais, como luminosidade, gravidade, temperatura e estresse hídrico. Essas respostas estão principalmente relacionadas à ação de **fitormônios**, ou hormônios vegetais, que regulam vários aspectos do crescimento, desenvolvimento e respostas das plantas aos estímulos ambientais.

O **fototropismo** é uma resposta que envolve o crescimento direcional de partes de plantas em relação a fontes de luz. Ocorre principalmente no ápice do caule, por meio da ação do fitormônio **auxina**, que, estimulado pela incidência luminosa, se redistribui para o lado sombreado da planta, fazendo com que as células se alonguem e se curvem em direção à luz. As auxinas, localizadas no ápice do caule, exercem um efeito dominante sobre as gemas laterais, que são os locais de desenvolvimento dos ramos, portanto, ao realizar um corte (poda) no ápice do caule, geralmente ocorre o estímulo para o desenvolvimento de ramos laterais nas plantas.



Exemplo de experimento que mostra o fototropismo.

O fototropismo em plantas possibilita que os caules cresçam em direção à luz.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

### Se liga

**Fitormônios** são compostos químicos essenciais para controlar processos como divisão celular, alongamento, diferenciação, florescimento e resposta a estresses ambientais nas plantas.

Outras substâncias que detectam mudanças na qualidade da luz (especialmente luz vermelha) são os **fitocromos** – uma classe de proteínas fotorreceptoras encontradas em plantas, mas também em algumas bactérias e fungos. Os fitocromos estão envolvidos em processos como germinação de sementes, fotomorfogênese (alongamento do caule, expansão das folhas e produção de clorofila em resposta à luz) e respostas para evitar ambientes sombreados. Além disso, os fitocromos influenciam no momento da floração em muitas espécies de plantas. Dependendo do fotoperíodo (duração do dia), essas proteínas podem promover ou inibir a floração, regulando a expressão dos genes envolvidos nesse fenômeno.

O **geotropismo** (gravitropismo) é uma resposta também influenciada pela concentração de auxinas. As raízes apresentam geotropismo positivo, crescendo para baixo em direção à atração gravitacional, enquanto os caules apresentam geotropismo negativo, crescendo contra a gravidade. Essas respostas ajudam as raízes a encontrarem água e nutrientes no solo, e os brotos crescem em direção à luz.

Outro fitormônio vegetal importante é a **giberelina**, que estimula a germinação das sementes, a divisão e o alongamento celular. As giberelinas são produzidas no meristema apical do caule, nas sementes e nos frutos. A divisão celular também é estimulada pela ação das **citocinas**, principalmente no crescimento dos ramos laterais, uma ação oposta à da auxina no que se refere à dominância apical.

O **ácido abscísico** (ABA) é um fitormônio que atua de forma oposta aos demais fitormônios, pois ele inibe o crescimento. É ativado em resposta ao estresse hídrico, induzindo o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a perda de água pela transpiração foliar. Além disso, o ABA está envolvido no controle da dormência de sementes e em outros processos relacionados à adaptação da planta a condições de estresse. O **etileno** é um fitormônio liberado na forma gasosa que, com a auxina, é responsável pela queda das folhas e pelo amadurecimento dos frutos.

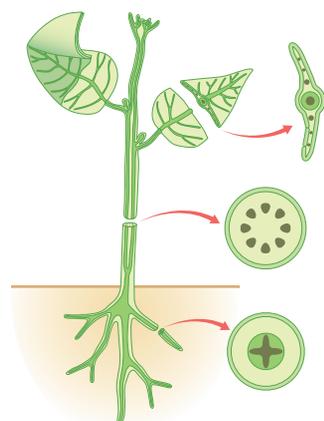


1. Observe a ilustração ao lado, que representa os diferentes órgãos das plantas e os principais tecidos que os compõem. Elabore uma legenda para cada um desses órgãos e tecidos, descrevendo suas funções.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema que representa três tecidos das plantas.

Fonte: CAMPBELL, N. A. *et al. Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 815.



Reinaldo Vignati

2. Acompanhe o desenvolvimento de três tipos diferentes de vegetais em água: batata-inglesa (caule tuberoso), cebola (caule bulboso) e batata-doce (raiz tuberosa). Para iniciar, prepare três frascos transparentes com água e adicione uma colher de hipoclorito de sódio a cada um. Espete cada vegetal com dois palitos de dentes e coloque-os nos frascos, garantindo que parte do vegetal fique submersa. Lave os frascos a cada três dias. Registre o processo de desenvolvimento com fotografias e esquemas, observando as diferenças nas estruturas e crescimento dos vegetais. Proponha hipóteses sobre o que você espera observar para cada tipo de vegetal e explique suas observações ao final, compartilhando seus resultados com os colegas.



Modo de preparo do material.

Dotra

3. Observe as imagens a seguir. Elas indicam o desenvolvimento de duas espécies de angiospermas. Identifique a que grupos pertencem e explique como você chegou a esta conclusão.



Aneest/Stockphoto.com



Александр Древичий/Stockphoto.com

## Recapitule



Neste capítulo, foi abordado o clado Archaeplastida, destacando as principais linhagens e relações de ancestralidade e parentesco. No contexto das plantas terrestres, foram destacadas as novidades evolutivas, como tecidos condutores, sementes, flores e frutos. Também foi explorada a morfofisiologia, incluindo a variedade de órgãos e tecidos vegetais, além dos movimentos e fitormônios, caracterizando o dinamismo das relações que as plantas estabelecem com o ambiente. Refletindo sobre os estudos deste capítulo, escolha uma das formas de vida abordadas e elabore um esquema ilustrando suas características morfofisiológicas e uma ficha catalográfica. Compartilhe seu esquema com colegas e, se possível, componham um livro para compartilhar os conhecimentos com outras turmas/anos escolares.



LFRabanedo/Shutterstock.com

Uma lesma terrestre (*Arion ater*) alimentando-se de um cogumelo.

### ▼ Para refletir

1. A imagem de abertura mostra uma interação entre um animal e um fungo, representantes dos dois principais grupos abordados neste capítulo. Descreva essa relação e mencione outros tipos de interações possíveis entre os dois grupos citados.
2. Suponha que uma colega tenha feito a seguinte pergunta: “Sabia que nós, seres humanos, somos mais aparentados com uma micose do que com uma ameba?”. O que você responderia? Comente com colegas.
3. Liste ao menos 15 animais que você conhece. Classifique-os segundo os critérios que preferir. Agora, compare com a lista e a classificação de seus colegas e discuta as semelhanças e diferenças entre os animais que você listou e os critérios que utilizou para classificá-los.

### Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

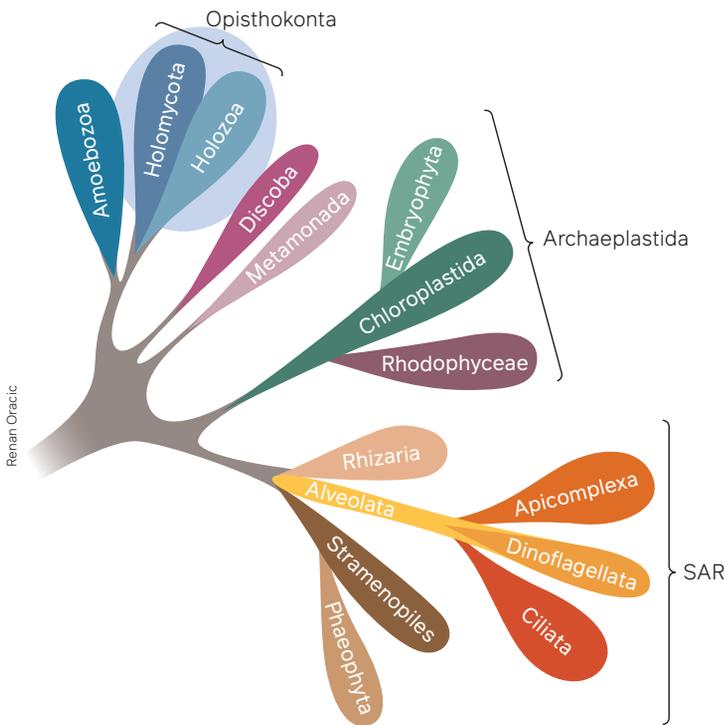
- Explorar as duas principais linhagens de Opisthokonta (fungos e animais), a partir de suas características ancestrais e relações de parentesco.
- Reconhecer diferentes grupos de fungos e suas relações com aspectos econômicos, alimentares e medicinais.
- Analisar os impactos da proliferação do fungo *Bd* na população de anfíbios e propor medidas para controlar sua invasão em ecossistemas brasileiros.
- Interpretar as relações filogenéticas entre as linhagens de animais a partir de variações no desenvolvimento embrionário e as características derivadas.

# O clado Opisthokonta

O clado Opisthokonta (do grego antigo *opísthios*, posterior, e *kontós*, flagelo) é uma linhagem do domínio Eukarya, que inclui, entre outros organismos, dois grandes grupos de seres vivos: fungos (Holomycota) e animais (Metazoa). Uma característica comum desse clado é a ocorrência de células que se movem impulsionadas por um único flagelo posterior (como o espermatozoide animal), um traço distintivo que confere o nome ao grupo. Em outros grupos de eucariontes, as células flageladas se movem utilizando um ou mais flagelos anteriores. Embora seja uma característica que define o grupo, algumas linhagens – como a maioria dos fungos –, perderam as células flageladas.

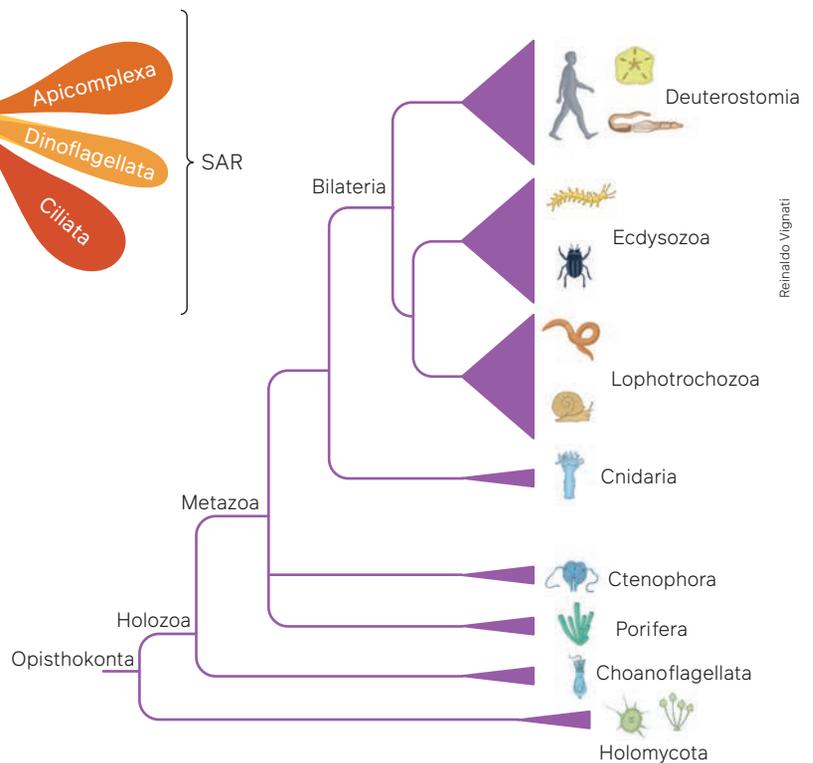
A linhagem mais antiga de Opisthokonta sugere que animais e fungos desenvolveram, de maneira independente, a multicelularidade complexa a partir de um ancestral comum unicelular. No clado Holomycota estão incluídos organismos unicelulares e multicelulares que se alimentam por absorção de nutrientes, ou osmotrofia. Acredita-se que esse estilo de vida se originou mais tarde, após a divergência dessa linhagem eucariótica. Dessa linhagem, abordaremos o grupo dos fungos.

O clado Holozoa inclui animais e seus parentes unicelulares mais próximos. Acredita-se que os animais compartilhem um ancestral comum com os coanoflagelados, um grupo de microrganismos unicelulares que podem formar colônias ocasionalmente. A principal característica de Holozoa é uma estrutura semelhante a um colar que reveste o flagelo, envolvida na captura de partículas de alimentos. Embora muitos grupos tenham perdido esse traço, é possível observá-lo nos coanócitos, que são um tipo de célula presente em esponjas-do-mar (poríferos), e nos coanoflagelados. Do clado Holozoa, abordaremos apenas o grupo dos animais (Metazoa).



Os esquemas estão representados com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Principais linhagens de eucariontes com destaque para o clado Opisthokonta.



Relações filogenéticas entre os principais grupos de Opisthokonta.

Fonte: PAPS, J. What Makes an Animal? The Molecular Quest for the Origin of the Animal Kingdom. *Integrative and comparative Biology*. Oxford, v. 58, n. 4, p. 654-665, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/icb/article/58/4/654/5020172>. Acesso em: 19 set. 2024.



1. Historicamente os fungos foram estudados relacionados às plantas, no entanto, estudos filogenéticos ampliaram a compreensão sobre a história evolutiva desses organismos e, atualmente, sabemos que são mais aparentados dos animais. Por que você acredita que esses organismos foram estudados com as plantas? Argumente acerca do que aproxima e distancia esses três grupos de eucariontes.

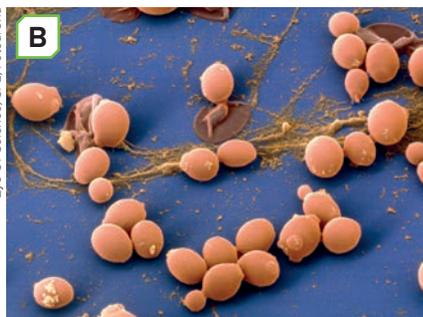
## Os fungos

Fungos são organismos que podem ser unicelulares ou multicelulares. São heterótrofos que absorvem moléculas dissolvidas no ambiente, digeridas pela secreção de enzimas que decompõem moléculas complexas. Tais enzimas possibilitam aos fungos se nutrirem de uma ampla gama de fontes alimentares. Os fungos são considerados **decompositores**, pois têm a capacidade de decompor a matéria orgânica. Eles desempenham um papel crucial na reciclagem de nutrientes no solo ao degradar restos de plantas e animais. Além disso, os fungos podem ser classificados como sapróbios (decompositores), parasitas, mutualistas ou até mesmo predadores, destacando a diversidade de suas interações ecológicas.

Os fungos unicelulares habitam frequentemente ambientes úmidos, incluindo seiva vegetal, lâmina-d'água e tecidos animais, alimentando-se de nutrientes solúveis, tais como açúcares e aminoácidos. As principais formas de vida unicelulares são as leveduras.



Steve Gschmeissner/SPL/Fotoarena



Eye Of Science/SPL/Fotoarena

Fotomicrografia de fungos unicelulares. (A) *Saccharomyces cerevisiae*, levedura muito utilizada na indústria de alimentos e bebidas, e (B) *Candida albicans*, fungo que causa a candidíase, uma infecção que acomete a pele e as mucosas. Fotografias obtidas por microscópio eletrônico de varredura e colorizadas artificialmente. Ampliação aproximada de 1650 vezes (A) e 1851 vezes (B).

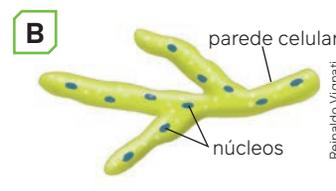
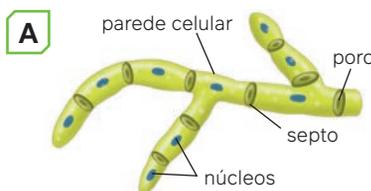
A maioria dos fungos, no entanto, é multicelular, composta de minúsculos filamentos denominados hifas, que crescem no substrato do qual se alimentam. Uma rede de hifas entrelaçadas é denominada micélio. Alguns fungos tipicamente unicelulares, inclusive, podem desenvolver hifas, como ocorre em *Candida albicans*. As paredes celulares dos fungos, incluindo as hifas, são compostas de **quitina**, um polissacarídeo resistente. As hifas podem ou não ser divididas por paredes transversais denominadas septos. Quando possuem septos, geralmente têm poros grandes o suficiente para permitir que ribossomos, mitocôndrias e até mesmo núcleos migrem entre as células.



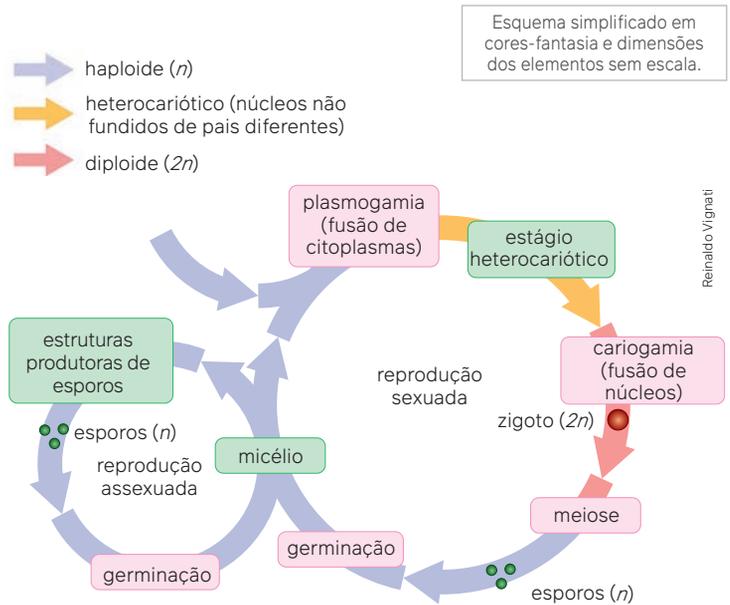
As hifas crescem no substrato do qual se alimentam, formando essas redes ou micélios. No detalhe, micélio de fungo crescendo. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 138 vezes.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Esquema de hifa septada (A) e hifa cenocítica (B).



A maioria dos fungos se propaga produzindo uma grande quantidade de esporos, que são dispersos principalmente pelo vento, mas também pela água, insetos ou outros animais e sementes. No geral, os fungos se reproduzem de forma assexuada e sexuada, mas há linhagens que se reproduzem apenas por um dos dois tipos de reprodução. Na reprodução sexuada, as hifas de micélios diferentes se fundem, promovendo a fusão de citoplasmas, ou plasmogamia. Os micélios são haploides ( $n$ ), e a fusão do citoplasma não implica automaticamente na fusão dos núcleos. Em vez disso, partes do micélio fundido podem conter núcleos que coexistem e são geneticamente distintos, o que é conhecido como a fase da vida heterocariótica. Em muitas espécies, essa fase pode persistir por anos. Eventualmente, a fusão dos núcleos (cariogamia) pode ocorrer, resultando na formação de um zigoto diploide ( $2n$ ). O esquema ao lado mostra o ciclo de vida desses organismos.



Ciclo de vida de um fungo genérico.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 710.

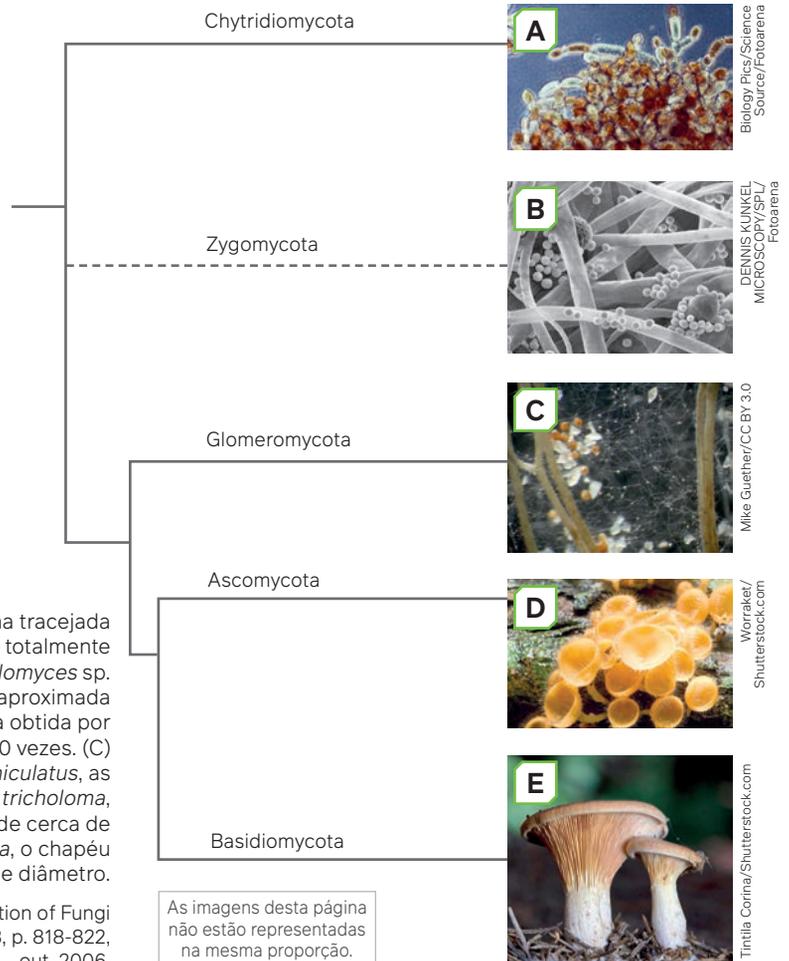
## Principais grupos e características

Entre os fungos, destacam-se cinco linhagens, demonstradas na árvore filogenética:

O grupo Chytridiomycota contempla os quitrídios, fungos predominantemente aquáticos, que apresentam esporos flagelados. São unicelulares ou multicelulares, formando hifas cenocíticas independentes, ou seja, não formam micélios. Destaca-se a espécie *Batrachochytrium dendrobatidis*, que provoca a quitridiomicose, uma doença que ataca a pele e interfere no batimento cardíaco dos anfíbios, provocando a morte. Calcula-se que o fungo tenha causado a extinção de mais de 200 espécies, sendo que 15 delas estariam presentes no Brasil.

Filogenia das principais linhagens de fungos. A linha tracejada indica uma relação filogenética incerta, ainda não totalmente esclarecida pela comunidade científica. (A) *Allomyces* sp. Fotografia obtida por microscópio óptico. Ampliação aproximada de 47 vezes. (B) *Lichtheimia corymbifera*. Fotografia obtida por microscópio eletrônico. Ampliação aproximada de 220 vezes. (C) *Gigaspora margarita* em associação com *Lotus corniculatus*, as hifas podem medir 3-9  $\mu\text{m}$  de diâmetro. (D) *Cookeina tricholoma*, o asco (estrutura arredondada) mede cerca de 12-18  $\mu\text{m}$ . (E) *Paralepista gilva*, o chapéu pode chegar a medir cerca de 3-12 cm de diâmetro.

Fonte: JAMES, T. Y. et al. Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature*, [s. l.], v. 443, n. 7113, p. 818-822, out. 2006.



O grupo Zygomycota contempla fungos que geralmente habitam o solo e prosperam em detritos orgânicos de animais e plantas. Formam hifas cenocíticas ou esparsamente septadas. Esses fungos produzem esporos sexuais chamados zigósporos, que são esporos grandes e resistentes formados pela fusão de hifas de diferentes indivíduos. Esses zigósporos não possuem flagelos, ao contrário dos esporos flagelados dos quitrídios, que são móveis e aquáticos. O gênero *Rhizopus* é bem conhecido, incluindo espécies que podem causar rápida degradação de frutas, vegetais e pães, como o bolor preto do pão. A *Rhizopus oryzae* é uma espécie usada na fermentação do *tempeh*, um alimento tradicional da Indonésia. A espécie *R. oligosporus* é utilizada na fermentação de vários produtos à base de soja, como *sufu* (tofu fermentado) e *oncom*, populares na culinária do sudeste asiático.

O grupo Glomeromycota contempla fungos simbióticos obrigatórios, que formam associações mutualísticas com as raízes das plantas, denominadas **micorrizas arbusculares**. As hifas cenocíticas penetram nas células das raízes das plantas formando arbuscúlos, que são estruturas ramificadas altamente especializadas que aumentam a superfície de contato entre o fungo e a planta. Os fungos ajudam as plantas a adquirirem nutrientes essenciais do solo, especialmente o fósforo. As plantas fornecem aos fungos carboidratos produzidos por meio da fotossíntese. As micorrizas podem aumentar a área de absorção superficial das raízes das plantas de 100 a 1000 vezes. Para melhorar a produção agrícola, pode ser realizada a inoculação artificial de micorrizas.

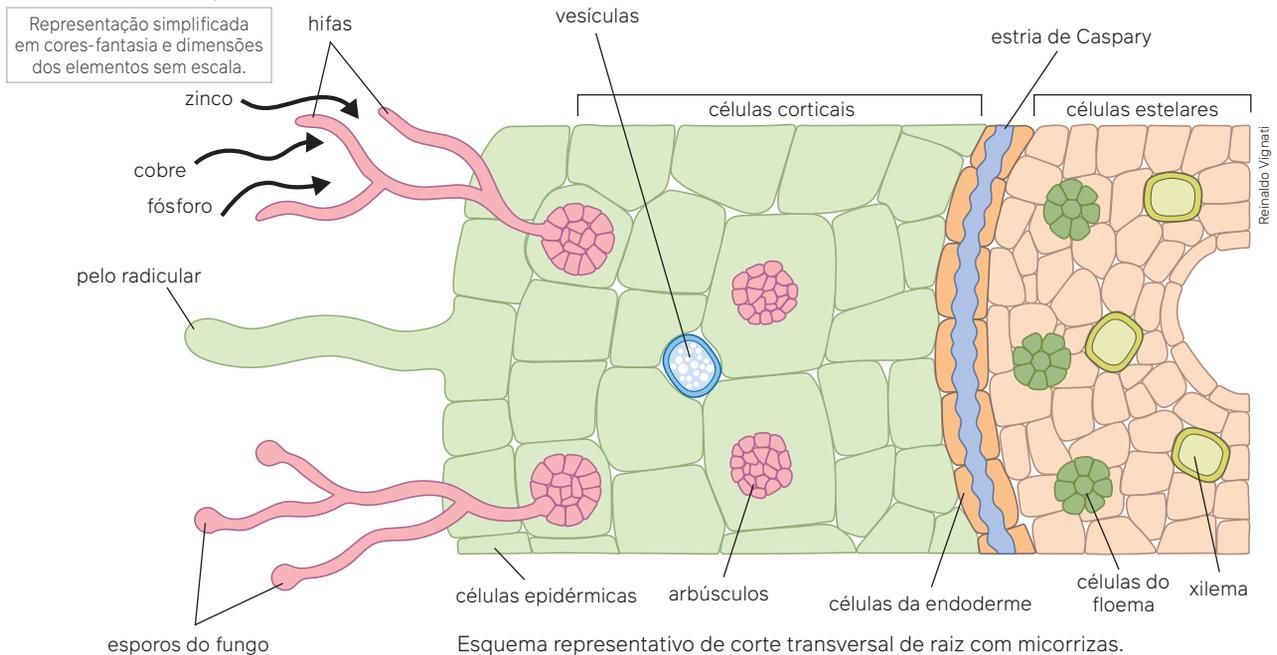
As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.



*Rhizopus stolonifer* causa podridão mole e aquosa na polpa de frutos e produz esporos em abundância na sua parte externa. O disco do micélio mede cerca de 0,5 cm de diâmetro.



Associação micorrízica entre fungo (hifas de coloração esbranquecidas) e raízes de morangueiro (*Arbutus unedo*).



## #FicaADica

**Brilhos na floresta**, de ISHIKAWA, N. K. *et al.* (Editora INPA, 2019). Traduzida para quatro idiomas (português, inglês, japonês e indígena Nheengatu), esta obra, no formato de e-book, mergulha nos mistérios e maravilhas dos fungos bioluminescentes da Floresta Amazônica, que somente podem ser vistos no escuro. Disponível em: [https://ppbio.inpa.gov.br/fungos\\_noticias](https://ppbio.inpa.gov.br/fungos_noticias). Acesso em: 13 set. 2024.

O grupo Ascomycota contempla fungos tipicamente septados, correspondendo ao maior número de espécies e sendo encontrados em diversos ambientes. Esses fungos podem se reproduzir assexuadamente através da formação de conídios (esporos formados por mitose). Eles também se reproduzem sexualmente, formando ascósporos dentro de estruturas especializadas chamadas ascos. Destacam-se *Saccharomyces cerevisiae*, que são usados na panificação e fabricação de cerveja, diversos bolores utilizados na produção de queijos e salames, e as trufas, altamente valorizadas na culinária *gourmet*. Outra espécie de destaque é *Claviceps purpurea*, que causa o esporão-do-centeio, cujo consumo pode provocar o ergotismo em mamíferos, uma doença que pode ocasionar confusões mentais, convulsão, gangrena e, eventualmente, a morte. A ergotamina é o principal alcaloide produzido por esse fungo, a partir do qual foi sintetizado o ácido lisérgico (LSD), uma substância alucinógena que tem sido pesquisada para o tratamento de distúrbios mentais, incluindo ansiedade, depressão e transtornos de estresse pós-traumático.

## Se liga

Na produção de pães, o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) liberado pelas leveduras durante o processo de fermentação é aproveitado para expandir a massa, enquanto o álcool etílico produzido evapora durante o cozimento no forno. Lembre-se que, durante a fermentação, os fungos consomem glicose como fonte de alimento, resultando na produção de álcool etílico (etanol), na liberação de gás carbônico e em energia que sustentam os processos vitais desses fungos.



As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

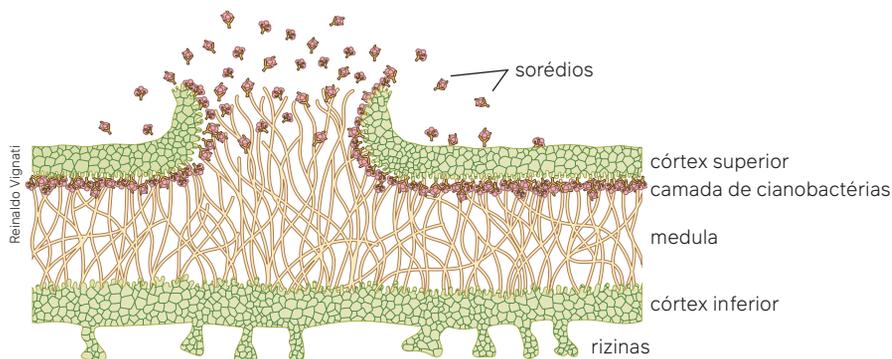
(A) Pote com *levain*, fermento produzido a partir da atividade metabólica de cepas de levedura, principalmente *Saccharomyces*; (B) Trufas, ascomicetos comestíveis.

Quase metade dos ascomicetos conhecidos (cerca de 13 mil espécies) formam associações simbióticas mutualistas com populações de organismos fotobiontes (geralmente algas unicelulares ou filamentosas, ou ainda cianobactérias) chamados **liquens** ou fungos liquenizados. Os liquens mais simples compõem um emaranhado de hifas entrelaçadas com colônias de algas ou cianobactérias. Já os mais complexos formam camadas internas delimitadas, constituídas por hifas corticais (externa e interna), uma camada de organismos fotobiontes e a medula.



Líquen do tipo crostoso.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Detalhe de um líquen estratificado, mostrando a liberação de sorédios, que consistem em cianobactérias envolvidas por hifas.

Fonte: EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Raven: biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 610-614. E-book.

*Penicillium* é um gênero diverso de fungos ascomicetos utilizados na produção de diversos tipos de queijo e até de medicamentos. Nos queijos, ele altera o seu sabor e textura, como o queijo azul (*Penicillium roqueforti*) e o queijo camembert (*Penicillium camemberti*). Já nos medicamentos, o membro mais famoso do gênero é o *Penicillium chrysogenum*, o qual sintetiza a penicilina, o primeiro antibiótico amplamente utilizado para tratar eficazmente infecções bacterianas.

O grupo Basidiomycota contempla fungos que produzem estruturas reprodutivas denominadas basidiocarpos, como os cogumelos, sendo encontrados em uma ampla variedade de habitats, incluindo florestas, pastagens e matéria orgânica em decomposição. Formam hifas septadas e basídio, uma estrutura que produz esporos sexuais conhecidos como basidiósporos. Muitas espécies são comestíveis, como champignon, shitake e shimeji, por exemplo, enquanto outras são tóxicas ou alucinógenas, como os cogumelos *Amanita muscaria* e *Psilocybe cubensis*. Algumas espécies também podem formar líquens.



Espécies comestíveis de basidiomicetos. Da esquerda para a direita: shimeji, champignon, shitake e portobello.



Espécies de cogumelos alucinógenos: *Psilocybe cubensis* (à esquerda) e *Amanita muscaria* (à direita).

## Ciência por fora



### Declínio dos anfíbios

O texto que você lerá a seguir aborda um estudo envolvendo 38 instituições globais, incluindo a Unicamp. Esse estudo revelou que a origem do fungo letal *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*), relacionado ao declínio global de anfíbios, é o Leste Asiático. Leia o texto e responda às questões .

#### Cientistas desvendam origem de fungo letal causador de extinção de anfíbios

*Pesquisa publicada na Science revela que proliferação do patógeno, iniciada há cerca de cem anos, coincidiu com a expansão global do comércio da carne de rã*

[...]

O fato de o estudo reunir cientistas de diferentes países possibilitou a análise de amostras do patógeno de todo o mundo para resolver a origem espaço-temporal do fungo. Os cientistas sequenciaram os genomas de 234 amostras de *Bd*, das quais eles identificaram quatro principais linhagens genéticas do fungo. Um deles foi encontrado apenas na Coreia do Sul, em sapos nativos da região e cujo genoma mais se assemelha ao ancestral de todos os *Bd* modernos.

“A linhagem virulenta do *Bd*, que causou declínios por todo planeta, surgiu há cerca de 100 anos. Por conta de diferenças nos métodos de análises moleculares, as estimativas anteriores apontavam números muito discrepantes, que variavam entre 100 e 25 mil anos”, elucida Felipe Toledo, professor do Instituto de Biologia (IB) da Unicamp e autor do estudo. Ao invés de remontar a milhares de anos, como se pensava anteriormente, o alcance da doença se expandiu enormemente entre 50 e 120 anos atrás, coincidindo com a rápida expansão global do comércio intercontinental.

De acordo com os pesquisadores, para além do consumo de carne de rã, o comércio de animais de estimação contribuiu diretamente para disseminar o patógeno em todo o mundo. “O problema tem também contribuição antrópica [atividades humanas]; e continua acontecendo – o que pode ser muito ruim, pois existem diferentes linhagens do fungo, inclusive isto pode implicar no surgimento de linhagens híbridas ainda mais severas”, alerta Toledo.

A introdução de espécies que não são nativas da região são as chamadas de espécies exóticas. Quando proliferam sem controle são consideradas exóticas invasoras e elas representam ameaças para espécies nativas e para o equilíbrio dos ecossistemas. Como é o caso da rã-touro (*Lithobates catesbeianus*) que ficou amplamente conhecida por ser consumida em restaurantes em todo mundo. A rã-touro está no Brasil desde 1935, quando os primeiros casais foram importados dos Estados Unidos para dar início a criações comerciais destinadas, principalmente, à produção de carne. Entretanto, hoje a rã-touro também está presente fora dos ranários comerciais e em muitos locais do país, alimentando-se de desde pequenos invertebrados até aves, mamíferos e outros anfíbios. A distribuição da espécie no país é grande, especialmente na Mata Atlântica, mas seus efeitos na natureza ainda devem ser mais estudados.

[...]

As linhagens de fungos que estão espalhadas na Mata Atlântica estão muito próximas da linhagem ancestral da Coreia do Sul. “Não sabemos se o fungo foi do Brasil para a Ásia, ou da Ásia para o Brasil. Já sabemos que existem híbridos no Brasil, mas com muito poucos dados sobre sua patogenicidade e virulência”, complementa Toledo, que atua no Departamento de Biologia Animal do IB-Unicamp.

O grupo de pesquisa da Unicamp já identificou mais de 200 espécies infectadas no país, mas este número pode ser maior. “Na Mata Atlântica estimo que de 20% a 40% dos indivíduos de todas as espécies podem estar infectadas com o fungo. E neste bioma já catalogamos mais de 600 espécies”, infere Toledo.

DE CASTRO, P. D. Cientistas desvendam origem de fungo letal causador de extinção de anfíbios. *Jornal da Unicamp*, Campinas, 11 maio 2018. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/ju/noticias/2018/05/11/cientistas-desvendam-origem-de-fungo-letal-causador-de-extincao-de-anfibios>. Acesso em: 18 jun. 2024.

## Trocando ideias



1. Como foi possível identificar espacial e temporalmente a origem do fungo letal *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) em anfíbios?
2. Quais as implicações da presença do *Bd* na natureza para a população de anfíbios, especialmente na Mata Atlântica?
3. O que você propõe para controlar a disseminação da doença? Troque ideias com os colegas.
4. No Brasil, *Batrachochytrium dendrobatidis* é uma das espécies microbianas que não devem constar na formulação de agrotóxicos biológicos ou de biorremediadores. Você acredita que essa proibição é suficiente para controlar a propagação deste fungo? Justifique.
5. Causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, a ferrugem do cafeeiro é uma doença registrada pela primeira vez no Brasil em 1970, que até hoje é um problema para a cafeicultura. Hoje em dia, o controle da doença requer a aplicação de dois a três fungicidas. Você acredita que esse seria um bom caminho para lidar com o *Bd* em anfíbios? Justifique.
6. Elabore uma lista de recomendações de medidas sanitárias e ambientais para evitar a disseminação do *Bd*.

## Atividades propostas



1. O processo de descoberta da penicilina é geralmente descrito como fruto do acaso. Em duplas, pesquisem o assunto e avaliem se concordam ou não com essa afirmação. Em sala de aula, discutam suas pesquisas e conclusões acerca do assunto com os colegas e, ao final, elaborem um argumento coletivo consensual.
2. Leia as afirmações a seguir e classifique-as como **verdadeira** ou **falsa**:
  - a) Fungos são organismos autótrofos, por isso são capazes de decompor a matéria.
  - b) O micélio é composto pelo conjunto de hifas.
  - c) Todos os fungos conhecidos são multicelulares.
  - d) Na plasmogamia, as hifas de micélios diferentes se fundem e ocorre a fusão dos citoplasmas.
  - e) O gás carbônico produzido pelas leveduras durante a fermentação ajuda a massa do pão a crescer.

3. O Brasil já foi o maior produtor de cacau do mundo. Hoje contribui com apenas 4% da produção mundial. Um dos motivos foi a infecção dos cacauzeiros pelo fungo *Moniliophthora perniciosa*, conhecido popularmente como “vassoura-de-bruxa”, que vem atacando as plantações desde 1989. Considerando a forma de reprodução e dispersão dos fungos, explique os motivos de ser difícil controlar a infestação de lavouras por vassoura-de-bruxa.

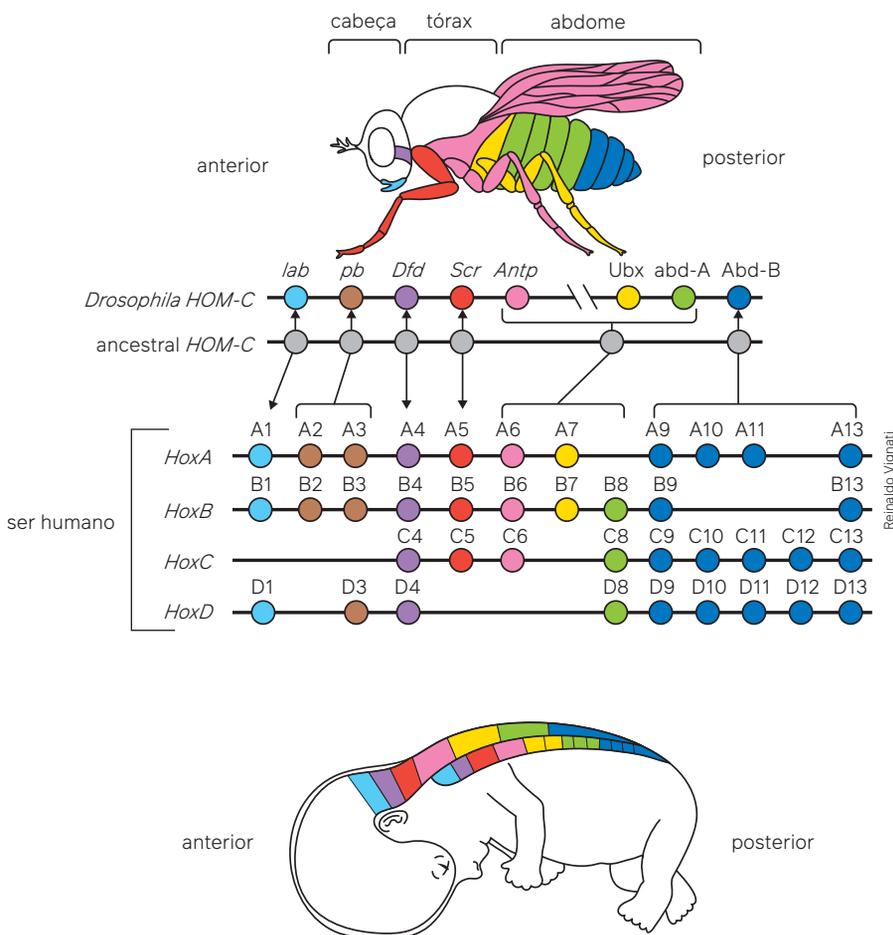
## Os animais

Os animais, também chamados de metazoários ou **Metazoa**, são organismos multicelulares e heterotróficos, que se alimentam a partir da ingestão e digestão no interior do corpo. Estima-se que este grupo tenha surgido há 770 milhões de anos.

Diferentemente das células de plantas e fungos, as células dos animais não possuem parede celular, e sim algumas proteínas, como o colágeno, que fornecem suporte estrutural e conectam umas células às outras. As células da maioria dos animais estão organizadas em tecidos, que são grupos de células semelhantes e que atuam como uma unidade funcional.

A maioria dos animais se reproduz de forma sexuada, com dominância da fase diploide ( $2n$ ). As células gaméticas (espermatozoides e óvulos) são haploides ( $n$ ) e derivadas da meiose. No geral, um espermatozoide pequeno e flagelado fertiliza um óvulo maior e imóvel, formando um zigoto diploide. Este zigoto sofre sucessivas divisões celulares mitóticas durante o desenvolvimento embrionário até a formação de indivíduos adultos, com tecidos bastante diferenciados.

Embora a morfologia dos animais adultos seja bastante variável, os genes que controlam o desenvolvimento são bastante conservados, ou seja, são semelhantes para uma ampla gama de táxons. Especialmente os genes homeoboxes, que são um conjunto de genes que regulam a expressão de outros genes, regulando o padrão corporal e a formação de estruturas corporais durante o desenvolvimento embrionário. Durante o desenvolvimento animal, formam-se camadas de células embrionárias — endoderme, mesoderme e ectoderme — que originam os tecidos e órgãos no organismo adulto. Essas camadas permitem a formação da cavidade gastrovascular ou intestino, essencial para a ingestão, digestão e absorção de alimentos. Essa característica é exclusiva dos eumetazoários ou *Eumetazoa*, uma subdivisão de *Metazoa*, que será detalhada na sequência.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

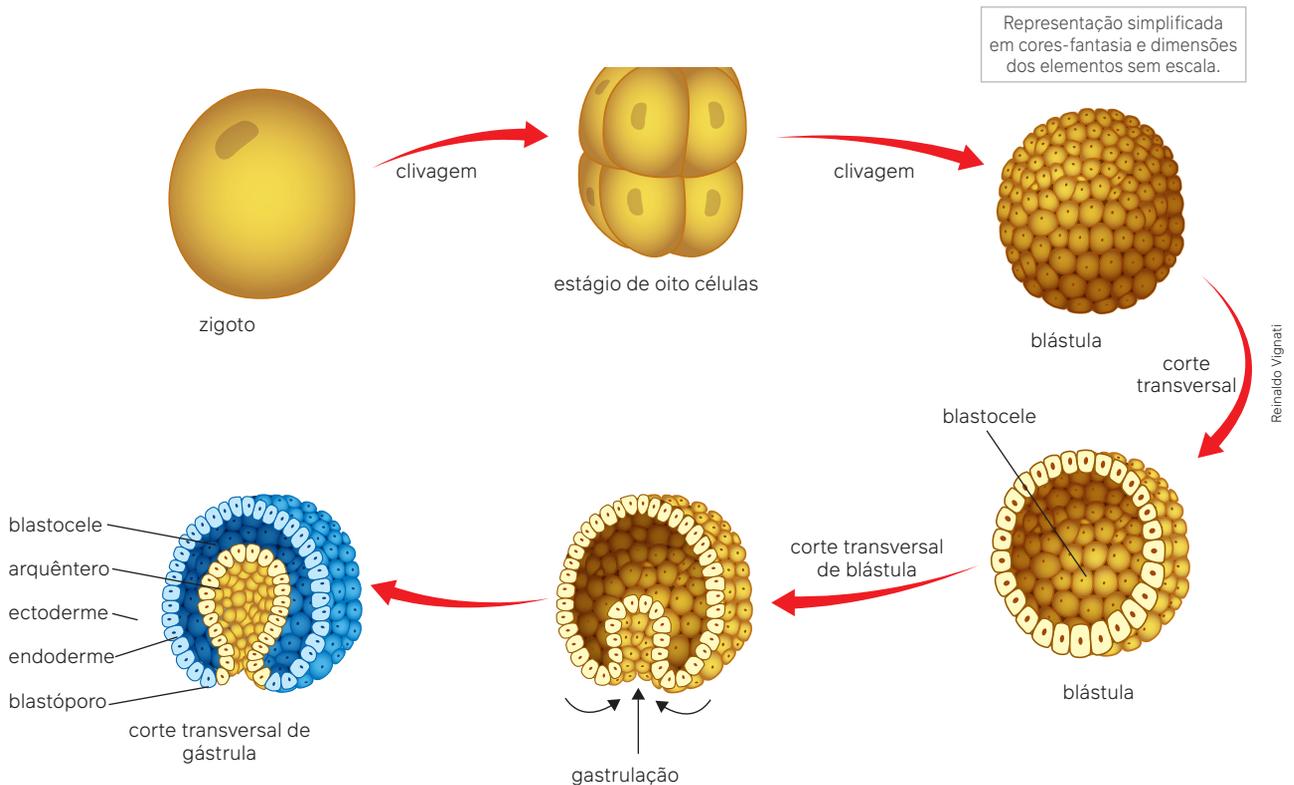
Esquema representativo dos genes homeoboxes *HOM* de *Drosophila* e *Hox* de mamíferos. As cores representam os padrões de expressão no corpo do respectivo animal.

Fonte: MARK, M.; RIJLI, F.; CHAMBON, P. Homeobox Genes in Embryogenesis and Pathogenesis. *Pediatric Research*, [s. l.], v. 42, p. 421-429, out. 1997. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/pr19972506>. Acesso em: 19 set. 2024.

## Embriologia animal

A embriologia animal é o ramo da Biologia que estuda o desenvolvimento embrionário dos animais a partir de características morfológicas e fisiológicas, atentando para as homologias e especificidades nos diferentes grupos. O desenvolvimento embrionário, nos estágios iniciais, é suprido por uma reserva nutritiva presente no óvulo, denominada **vitelo**, cuja quantidade e distribuição na célula varia nos diferentes grupos animais.

O desenvolvimento embrionário é dividido em três etapas principais: **segmentação**, gastrulação e organogênese. A segmentação é a etapa inicial que ocorre após a fecundação quando o zigoto passa pelo processo de clivagem, ou seja, sofre sucessivas divisões por mitose. As células resultantes das clivagens são chamadas de blastômeros e formam a **mórula**, um conjunto maciço de células. As células da mórula continuam a se dividir e se organizam até formar a **blástula**, também chamada de blastocisto em mamíferos placentários, como os seres humanos, fase na qual pode ser observada uma cavidade interna, denominada blastocele.



Desenvolvimento embrionário inicial em animais.

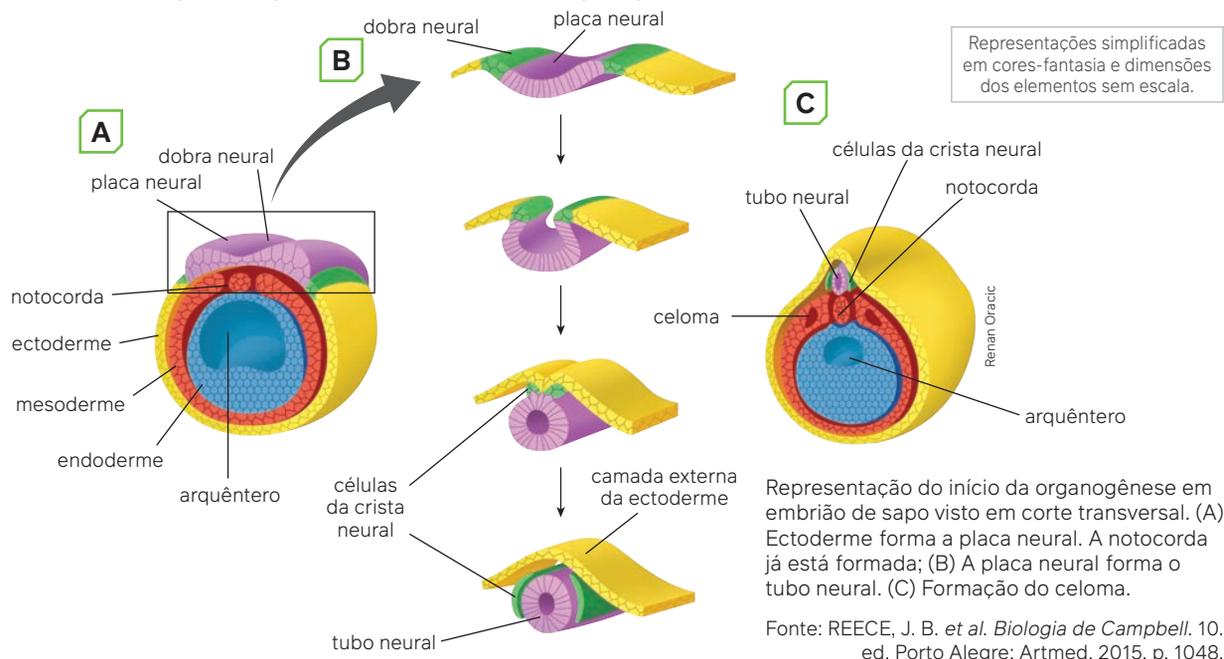
Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 735.

A **gastrulação** é uma etapa em que ocorrem sucessivas divisões celulares, combinadas ao dobramento e expansão da blastocele no interior do embrião. Como resultado, forma-se a gástrula com seus folhetos embrionários: a **endoderme** (interna) e a **ectoderme** (externa). Nos animais triblásticos, forma-se uma terceira camada de células denominada **mesoderme**. A cavidade da gástrula é denominada **arquêntero**, que se comunica com o exterior por meio de uma abertura denominada **blastóporo**. O blastóporo irá originar a boca nos **protostômios**, e o ânus nos **deuterostômios** (equinodermos e cordados).

A **organogênese** é a etapa em que ocorre a compartimentalização do corpo e o desenvolvimento dos órgãos. Nos cordados, as células ectodérmicas iniciam o processo de diferenciação, formando a placa neural e, posteriormente, forma-se um sulco longitudinal que dará origem ao **tubo neural**. Um grupo de células mesodérmicas se diferenciam e formam a **notocorda** na região dorsal do embrião. A notocorda é um cordão fibroso que ajuda na sustentação do corpo do embrião.

Nessa fase, forma-se o celoma, cavidade completamente revestida pela mesoderme, nos animais celomados, e o pseudoceloma, cavidade parcialmente revestida pela mesoderme, nos animais pseudocelomados. Essas cavidades proporcionam suporte mecânico, compartimentalização e maximizam a relação superfície/volume, que tornam as trocas de substâncias mais eficientes. A mesoderme e a endoderme darão origem aos diversos tecidos e órgãos internos. A ectoderme dará origem principalmente aos órgãos do sistema nervoso e à epiderme (parte mais superficial da pele).

Observe na imagem a seguir como se dá o início da organogênese tomando como exemplo um vertebrado, o sapo.



## Ciclos de vida

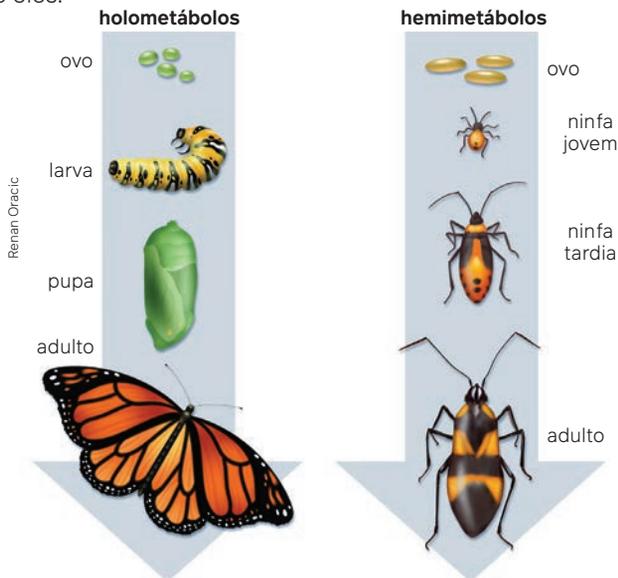
Nos animais que se reproduzem sexualmente, a fusão dos gametas inicia um novo ciclo de vida. Neste caso, os gametas masculino e feminino podem ser produzidos pelo mesmo indivíduo que é, portanto, hermafrodita ou monoico, ou por indivíduos distintos, em que um têm estruturas reprodutoras femininas e o outro têm estruturas reprodutoras masculinas. O hermafroditismo é comum em invertebrados marinhos, como anelídeos e moluscos, mas na maioria dos animais, o sexo é separado.

A **determinação sexual** nos animais é variável. Em alguns artrópodes, como os insetos sociais, as fêmeas podem ser diploides ( $2n$ ) e os machos haploides ( $n$ ) – um sistema conhecido como haplodiploidia. Cupins, formigas e abelhas seguem esse ciclo de vida. Em outras palavras, ovos não fertilizados desenvolvem machos haploides, enquanto ovos fertilizados formam fêmeas diploides.

Em outros animais, a determinação sexual envolve cromossomos sexuais estruturalmente distintos. Na heterogamia masculina, presente em alguns dos vertebrados, como nos seres humanos, os machos portam cromossomos sexuais X e Y, e as fêmeas, XX. Na heterogamia feminina, presente em muitos crustáceos, as fêmeas portam cromossomos Z e W, enquanto os machos ZZ. Os cromossomos sexuais heterogâmicos têm pouca homologia genética, portanto, quase não há permuta (*crossing-over*) entre eles.

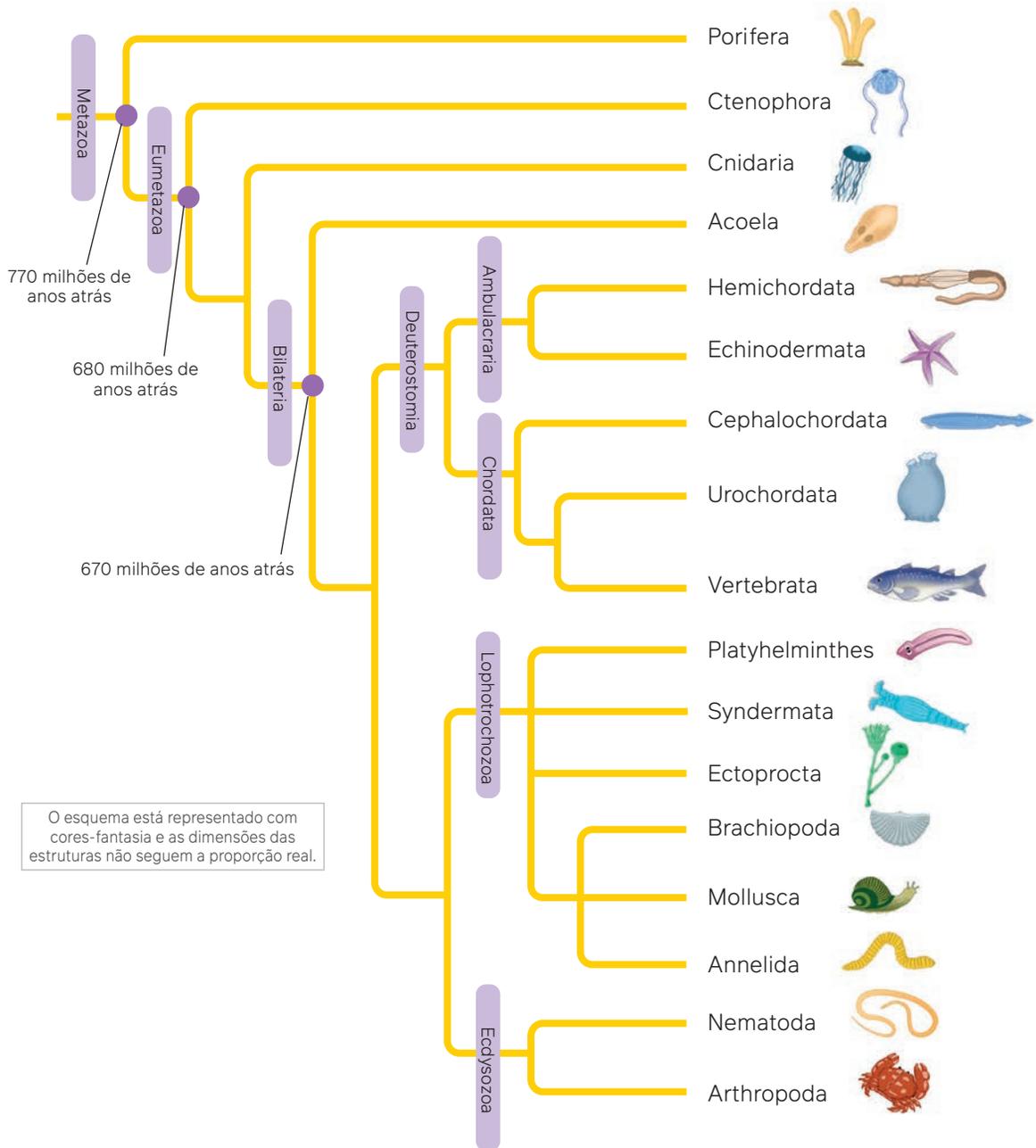
Os animais, de modo geral, apresentam um dos dois padrões de desenvolvimento descritos a seguir.

- **Desenvolvimento indireto:** o ciclo de vida inclui um estágio larval, em geral, com padrão corporal e hábitos muito diferentes dos adultos. Para atingir a fase adulta, a larva precisa passar por metamorfose, que pode ser bem drástica. É o que se observa em insetos holometábolos (borboletas, mosquitos e besouros), em anfíbios e em equinodermos.
- **Desenvolvimento direto:** o ciclo de vida não inclui larvas livres, e os embriões são protegidos por incubação ou encapsulamento, até que possam emergir nas formas juvenis. É o que se observa em insetos ametábolos (traças) ou hemimetábolos (grilos, gafanhotos e libélulas). Exemplos de animais vertebrados incluem mamíferos, répteis e aves.



# Principais grupos e características

Acredita-se que os animais tenham divergido dos demais grupos de Holozoa por volta de 770 milhões de anos atrás em ambientes aquáticos. No entanto, os registros fósseis mais antigos desses organismos pertencem à biota Ediacarana, com cerca de 560 milhões de anos, e foram descobertos nas Colinas Ediacara, na Austrália. O grupo basal de animais são os poríferos, conhecidos popularmente como esponjas-do-mar, conforme ilustrado na árvore filogenética dos principais grupos vivos de animais.



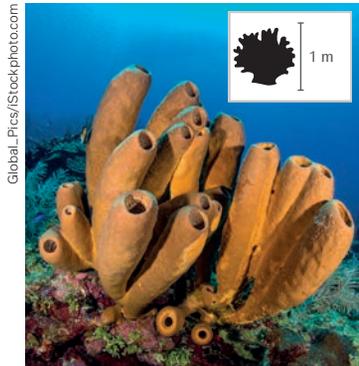
Reinaldo Vignati

Filogenia de animais que vivem na atualidade.

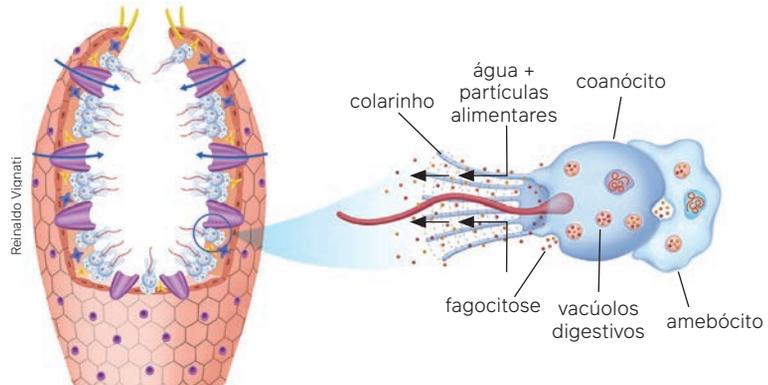
Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 735.

As **esponjas-do-mar** são animais muito simples que habitam predominantemente os oceanos. Sendo organismos tipicamente sésseis, filtram alimentos da água que circula pela sua cavidade gástrica, denominada espongiocele. O movimento flagelar dos coanócitos, na camada interna das esponjas, cria fluxos contínuos de água através dos numerosos poros em seu corpo, até o ósculo, uma abertura na parte anterior.

As partículas de alimento se aderem ao muco que reveste o colar dos coanócitos, sendo engolfadas por fagocitose e digeridas ou transferidas para outras células. Os **amebócitos** são células totipotentes, ou seja, que podem dar origem a outras células da esponja, transportar nutrientes e produzir materiais para fibras esqueléticas (espículas).



Esponja-do-mar.



Esquema da anatomia de uma esponja-do-mar, com detalhe dos coanócitos.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 735.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

## Eumetazoa

Estima-se que o clado Eumetazoa, ou eumetazoários, tenha surgido há 680 milhões de anos. Ele corresponde aos animais que apresentam tecidos organizados em camadas embrionárias. A clivagem, processo de divisão celular que ocorre durante os primeiros estágios do desenvolvimento embrionário, gera dois estágios multicelulares: a blástula, uma esfera de células cuja cavidade é denominada blastocele, e a gástrula, um estágio embrionário decorrente de um processo de dobra no embrião, que produz novos folhetos (camadas de células) embrionários e cavidades – ectoderme, folheto mais externo; endoderme, folheto mais interno; arquêntero, uma cavidade entre a endoderme e a ectoderme.

Os animais que possuem apenas essas duas camadas (endoderme e ectoderme) são denominados **diploblásticos**. Os principais representantes são os Cnidaria, um grupo exclusivamente aquático, representado por pólipos (sésseis), como as anêmonas-do-mar e os corais, e por medusas (móveis), como as águas-vivas.

Os cnidários são animais de simetria radial, com um lado superior onde está localizada a boca e um lado inferior. A boca é rodeada por tentáculos que contêm cnidoblastos, células especializadas que possuem nematocistos, estruturas usadas para ataque e defesa.

No ciclo de vida típico dos cnidários, ocorre uma fase larval natante, chamada plânula, que se desenvolve em pólipos. Estes pólipos podem se reproduzir assexuadamente por brotamento, formando clones ou colônias. Alguns pólipos se transformam em medusas, que são formas natantes. As medusas liberam gametas no mar, onde ocorre a fertilização, resultando em uma nova plânula. É importante destacar que nem todos os cnidários apresentam essa alternância de gerações entre pólipos e medusas. Espécies notáveis incluem a caravela, conhecida por causar queimaduras em praias, e o coral-sol, uma espécie invasora no litoral brasileiro.



As caravelas flutuam e capturam suas presas com seus tentáculos.



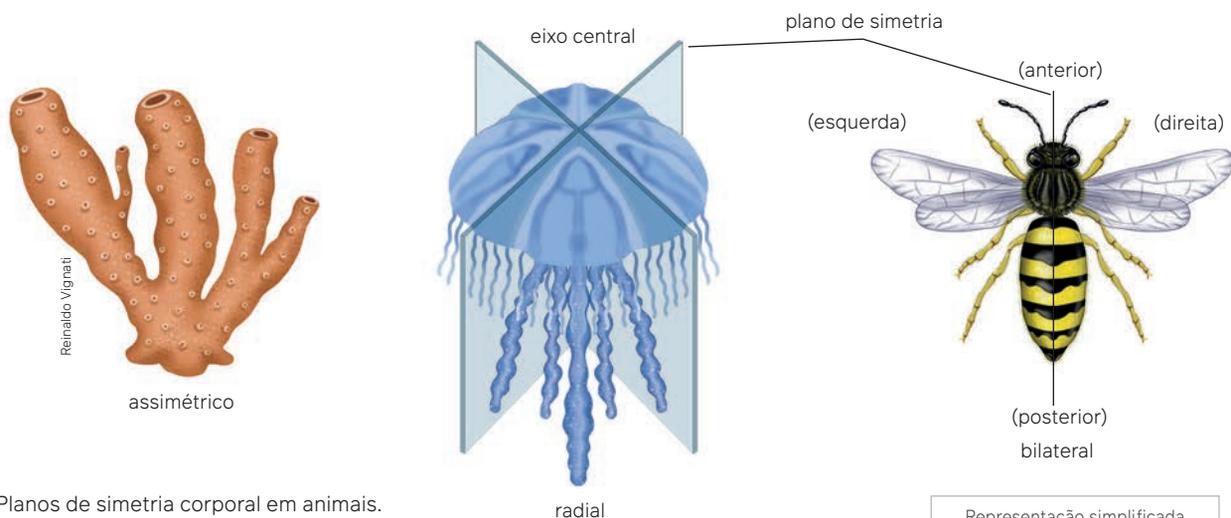
Colônias de pólipos de coral-sol podem se reproduzir rapidamente a partir de um pequeno fragmento.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

## Bilateria

Todos os animais com simetria bilateral, ou **Bilateria** (670 Ma), são triploblásticos, ou seja, além do ectoderme e endoderme, apresentam um terceiro folheto embrionário: a mesoderme. A terceira camada de células dará origem aos músculos, além de também originar a maioria dos outros órgãos entre o trato digestivo e a cobertura externa do animal. Um animal com simetria bilateral apresenta dois planos de orientação principais: *frente-trás* e *cima-embaixo*. Isso significa que o corpo é dividido em duas metades simétricas por um plano sagital, criando um lado dorsal (superior) e um lado ventral (inferior), além de lados esquerdo e direito. Também possui uma extremidade anterior (frontal) e uma extremidade posterior (traseira).

Outra característica comum de animais bilaterais é a presença de equipamento sensorial concentrado na sua extremidade anterior, incluindo um sistema nervoso central na cabeça. Com base em certos aspectos do desenvolvimento inicial relacionados ao destino do blastóporo, um poro que surge na fase de gástrula, os animais bilaterais podem ser classificados em: **deuterostomados** e **protostomados**.



Planos de simetria corporal em animais.

## Deuterostomia

A linhagem de organismos deuterostomados, ou *deuterostomia* (do grego: lit. 'segunda boca'), são animais cujo blastóporo deu origem ao ânus na fase embrionária. Os principais grupos da linhagem dos cordados incluem os equinodermos (como estrelas-do-mar), cefalocordados (ou anfioxos), urocordados (ou ascídias) e os craniados (que englobam os vertebrados, como peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

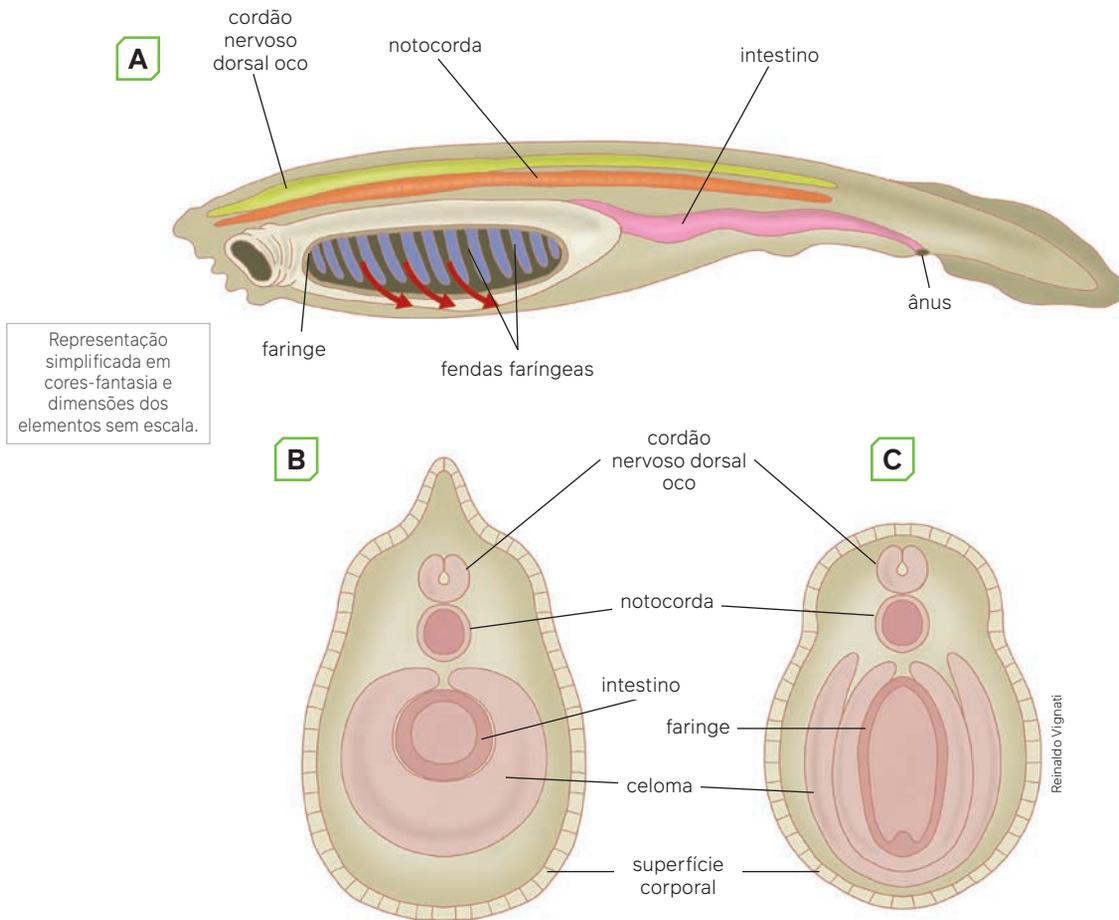
Os grupos **equinodermos** e **hemicordados** compõem uma linhagem denominada Ambulacraria. Entre os equinodermos, destacam-se estrelas-do-mar, pepinos-do-mar e ouriços-do-mar, todos marcados pela presença de um esqueleto calcário interno derivado da mesoderme, espinhos revestindo o corpo e um tubo digestivo completo. Esses animais têm alta capacidade de regeneração e se movimentam e se alimentam por meio de um sistema de canais aquosos exclusivo do grupo, o sistema ambulacrário.



Representantes do filo Echinodermata. Da esquerda para a direita: estrela-do-mar com braço em regeneração; pepino-do-mar; ouriço-do-mar.

## Cordados

O outro clado de deuterostômios são os cordados, ou **Chordata**, que se distinguem pela presença, em pelo menos uma fase da vida, da notocorda (com funções de suporte e desenvolvimento para o tubo neural), fendas faríngeas (respiração e alimentação) e uma cauda muscular pós-anal (locomoção).



Esquema representativo de um cordado genérico, em corte longitudinal (A), em corte transversal na região posterior à faringe (B), em corte transversal na região da faringe (C).

Fonte: KARDONG, K. V. *Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution*. 6. ed. Amsterdã: Elsevier, 2012. p. 51.

Entre os **cefalocordados**, destaca-se o anfioxo, um animal marinho de corpo alongado e notocorda persistente ao longo de toda a vida. Entre os **urocordados**, destacam-se as ascídias, animais marinhos sésseis e coloniais. Apresentam uma fase larval com todas as características dos cordados, que desaparecem na fase adulta.

Em alguns grupos de cordados, a notocorda origina um sistema nervoso central, que inclui o cérebro (cefalização) e medula espinhal. As fendas faríngeas são aberturas que conectam a cavidade faríngea do animal com o ambiente externo, tendo evoluído a partir de um sistema de filtração ancestral. Essas estruturas deram origem tanto às brânquias internas quanto aos órgãos respiratórios encontrados nos vertebrados (pulmões).



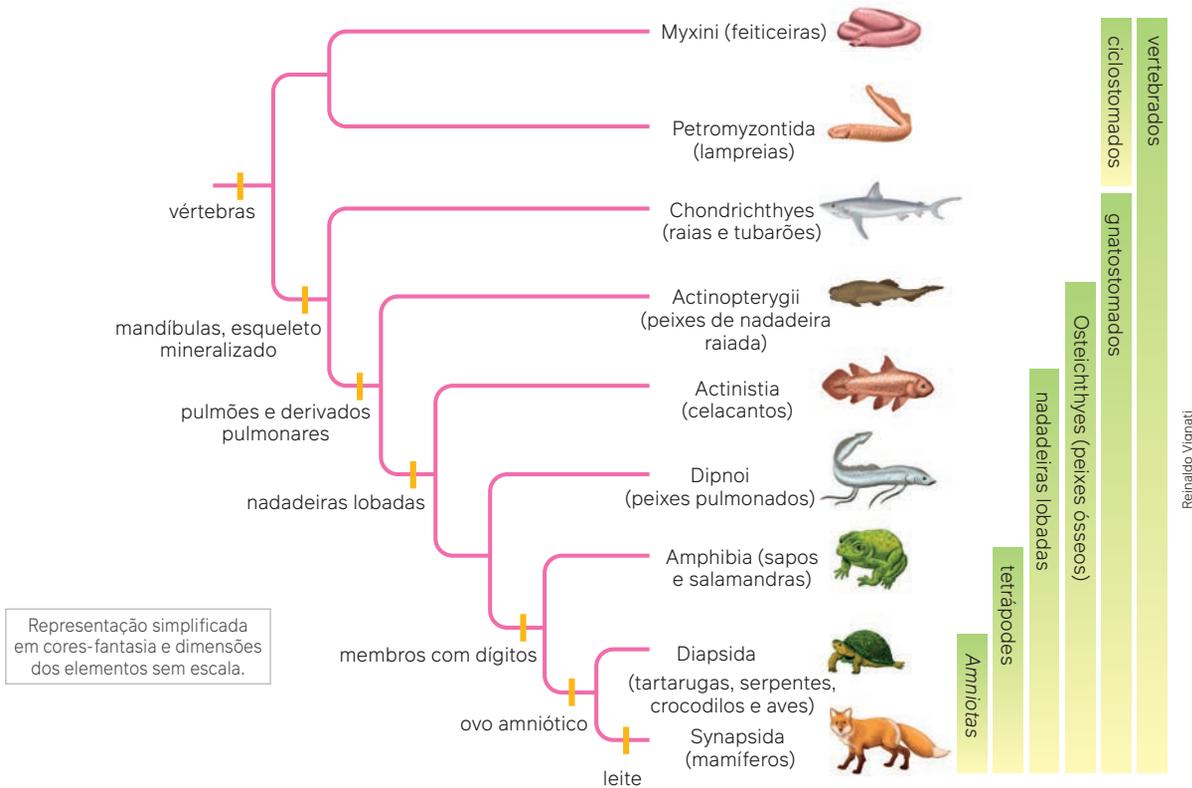
Ascídia (*Clavellina caerulea*), exemplo de urocordado.



Anfioxo (*Branchiostoma*), representante dos cefalocordados.

## Vertebrados

Os **vertebrados**, ou Vertebrata, representam a vasta maioria da diversidade de cordados e são caracterizados pela presença de uma coluna vertebral, que é uma estrutura óssea ou cartilaginosa que protege a medula espinhal e suporta o corpo. Este grupo possui um esqueleto interno (endoesqueleto) que também suporta e protege a notocorda na fase larval. A filogenia a seguir apresenta as relações de parentesco entre os vertebrados.



Árvore filogenética simplificada de Vertebrata.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2018. p. 771.

Myxini e Petromyzontida são grupos que não possuem mandíbulas e que têm poucos representantes, principalmente as feiticeiras e lampreias. Esses animais apresentam corpo cilíndrico e alongado com nadadeiras pouco desenvolvidas e seu esqueleto é cartilaginoso.

Os demais grupos de vertebrados se diversificaram a partir de um ancestral comum mandibulado (gnatostomados) e com esqueleto interno mineralizado.

Nos Chondrichthyes (raias e tubarões), esse esqueleto é cartilaginoso, enquanto, nos Osteichthyes (peixes ósseos e tetrápodes), o esqueleto é ósseo. Os Osteichthyes, por sua vez, se diversificaram em animais com pulmões (respiração aérea) ou com derivados pulmonares (bexiga natatória). Em várias linhagens basais de Osteichthyes, os animais possuíam pulmões, que complementavam as trocas gasosas realizadas nas brânquias. Essa evidência sugere que os pulmões surgiram nessas linhagens e em algumas linhagens posteriores, e que as bexigas natatórias evoluíram a partir dos pulmões. A bexiga natatória é uma estrutura presente em diversos grupos de peixes. É repleta de gás e permite um maior controle da flutuabilidade na coluna d'água.

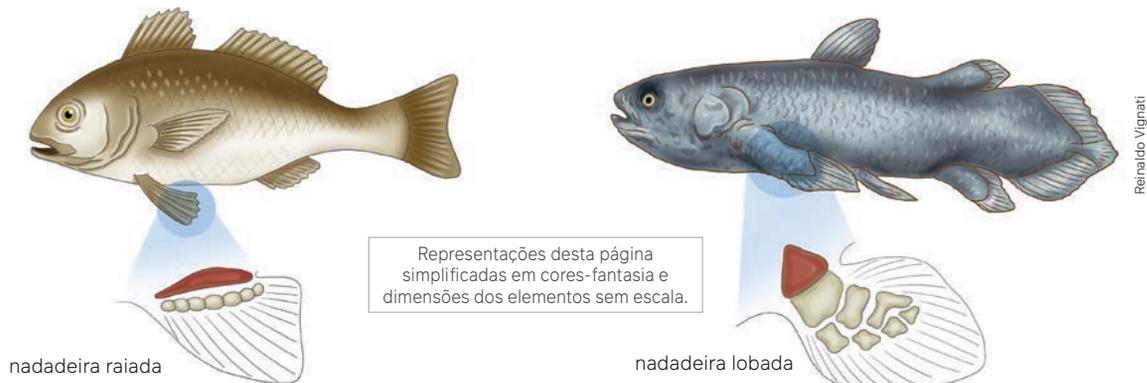


Imagem de um fóssil de *Dunkleosteus*, um gnatostomado basal.



Tubarão-branco (*Carcharodon carcharias*) é um representante dos Chondrichthyes.

É importante destacar que chamamos de peixes um grupo de organismos que não compartilham um ancestral comum exclusivo. É possível observar pelas relações filogenéticas traçadas que existem peixes cartilagineos (Chondrichthyes), peixes ósseos de nadadeira raiada (Actinopterygii) e peixes ósseos de nadadeira lobada (Actinistia e Dipnoi).



Peixes da classe Actinopterygii possuem nadadeiras suportadas por raios paralelos, por isso são chamadas de nadadeiras raiadas. Actinistia e Dipnoi possuem nadadeiras lobadas suportadas por um eixo esquelético do qual se estendem raios.

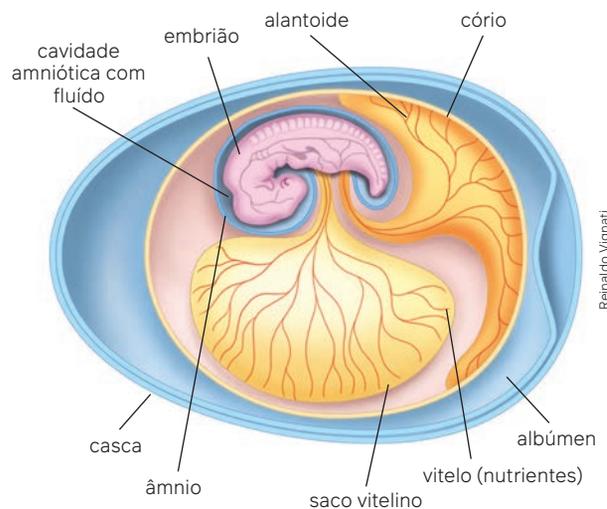
Os **tetrápodes** são vertebrados que possuem quatro membros. Os tetrápodes mais basais são os Amphibia, possivelmente a primeira linhagem de tetrápodes a conquistar o ambiente terrestre. Anfíbios são animais ectotérmicos, o que significa que eles utilizam fontes externas de calor para regular sua temperatura corporal. Sua pele é lisa e úmida, repleta de glândulas mucosas, o que ajuda na troca de gases e na manutenção da umidade. Embora a temperatura corporal dos anfíbios possa variar com a temperatura do ambiente, em alguns casos, esses animais podem ter temperaturas relativamente constantes devido a comportamentos que regulam sua exposição ao calor. Muitas espécies apresentam ciclo de vida que inclui uma fase larval e dependente da água, e uma fase adulta terrestre. As larvas respiram através de brânquias, enquanto os adultos usam os pulmões ou a pele para respirar. Exemplos de anfíbios incluem salamandras, sapos, pererecas e rãs.

Os demais tetrápodes produzem ovo amniótico. Os ovos amnióticos possuem **anexos embrionários** que protegem o embrião do ambiente externo, permitindo a colonização bem-sucedida do meio terrestre. Os anexos embrionários incluem o âmnio, o cório, o alantóide e o saco vitelino. O **âmnio**, formado pela mesoderme e ectoderme, envolve o embrião, criando uma cavidade repleta de fluido que, além de fornecer proteção mecânica, mantém uma temperatura estável e possibilita a troca gasosa com o ambiente. O **cório** é uma membrana externa que envolve o âmnio e estabelece uma ligação com a parede uterina (em mamíferos placentários) ou com a casca do ovo (em répteis e aves). Sua função inclui a facilitação da troca de gases, nutrientes e excretas entre o embrião e o meio externo. O **saco vitelínico** armazena nutrientes provenientes do vitelo, um anexo altamente vascularizado. A **alantoide** é uma projeção do arquêntero que acumula excretas nitrogenadas, como ureia ou ácido úrico, produzidas pelo embrião.

Esses tipos de ovos são uma adaptação importante para a vida em ambientes terrestres, já que são capazes de resistir ao ressecamento.



Representante dos anfíbios, a salamandra *Pseudotriton montanus* é endêmica da região leste dos Estados Unidos.



Representação esquemática dos anexos embrionários de um ovo amniótico.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 787.

Os **diapsídeos** são um grupo de animais cujos embriões se desenvolvem dentro de ovos com casca coriácea ou calcária. Esse grupo compreende a linhagem de **lepidossauros** (lagartos, serpentes e tuataras), répteis ectotérmicos caracterizados pela presença de escamas epidérmicas e línguas bifurcadas; e a linhagem dos **arcossauros**, que incluem tartarugas, crocodilianos, dinossauros e aves. As aves são endotérmicas, controlando a temperatura internamente por mecanismos próprios. Os crocodilianos são tradicionalmente classificados como ectotérmicos, regulando sua temperatura através do ambiente externo. Contudo, há debates sobre possíveis características endotérmicas em certos crocodilianos e outros répteis, especialmente em condições específicas.



As jararacas (gênero *Bothrops*) são lepidossauros da fauna brasileira.



O jacaré-de-papo-amarelo e as araras são representantes brasileiros da linhagem dos arcossauros.

A única linhagem viva de Synapsida são os mamíferos (animais que produzem leite em glândulas mamárias nas fêmeas, apresentam pelos e dentes, e são endotérmicos). São muito conhecidos popularmente, uma vez que os seres humanos e animais domesticados, como gatos e cachorros, fazem parte do grupo. Três linhagens se destacam: os **monotremados**, como o ornitorrinco, que são mamíferos que botam ovos; os **marsupiais** (como os cangurus e os gambás), que completam o seu desenvolvimento embrionário fora do organismo materno; e os **placentários** (como cachorros, antas, iraras, macacos-aranha, gatos, elefantes, focas e baleias-jubarte, entre outros), cujo desenvolvimento embrionário ocorre no interior do corpo da mãe.



Os ornitorrincos são monotremados.



Os gambás são marsupiais.



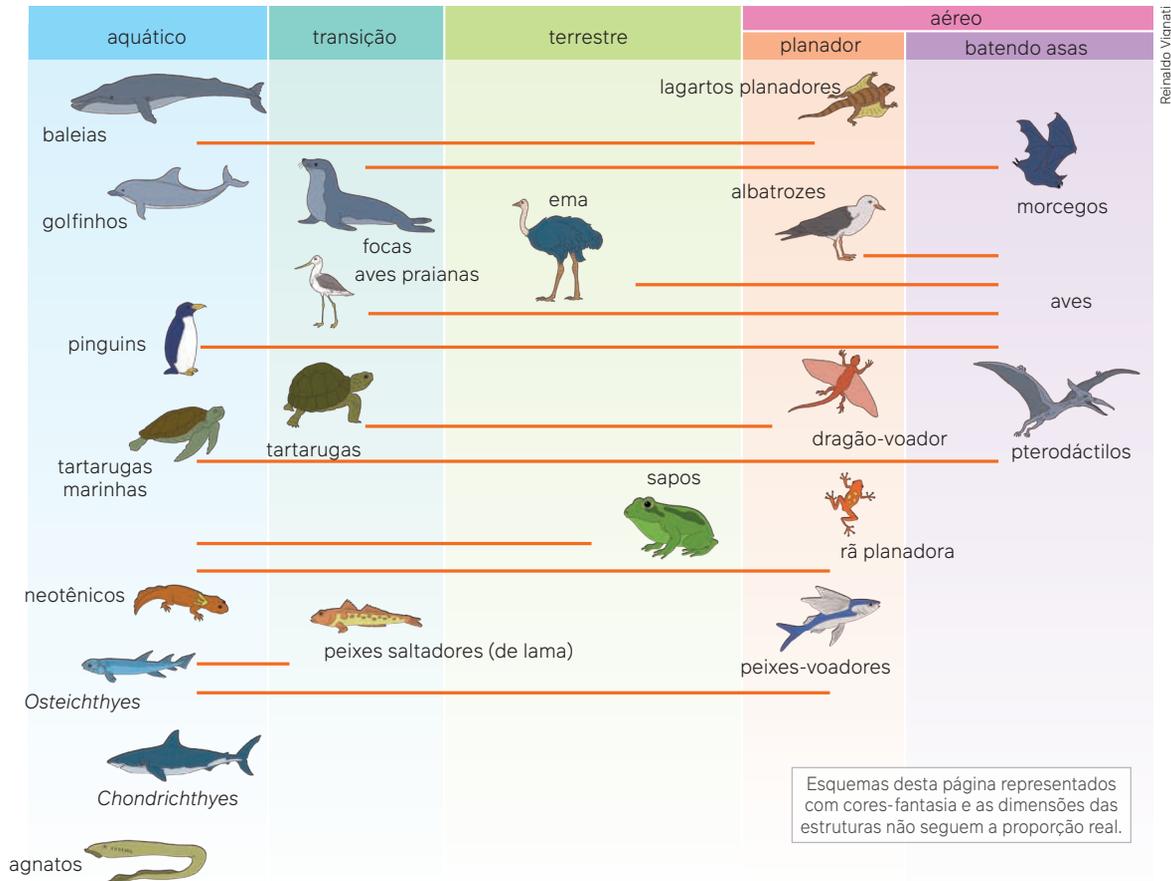
Os leões marinhos são placentários.



Os morcegos são placentários.



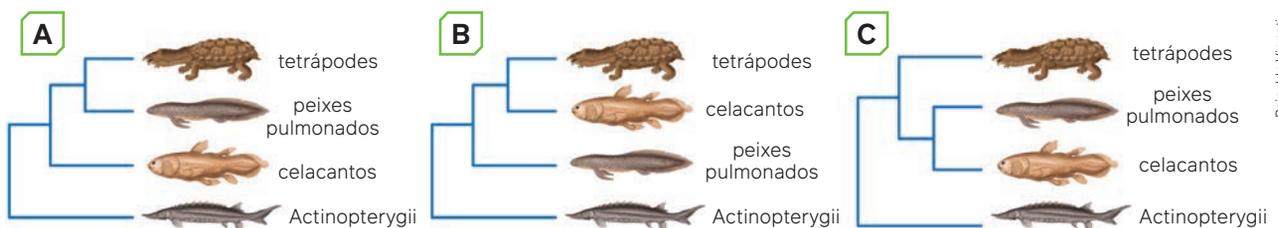
1. Muitas vezes, dentro de um mesmo grupo, há animais que habitam ambientes distintos. Observe o esquema e, utilizando os exemplos representados, elabore um texto argumentativo acerca desse assunto, relacionando características e adaptações aos respectivos ambientes.



Ambientes ocupados por algumas espécies de deuterostomados.

Fonte: KARDONG, K. V. *Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution*. 6. ed. Amsterdã: Elsevier, 2012. p. 16.

2. Nos estudos das relações filogenéticas entre os diferentes grupos de seres vivos, nem sempre as relações de parentesco são completamente esclarecidas. Observe, a seguir, algumas hipóteses de relações evolutivas entre tetrápodes, celacantos, actinoptérigeos e peixes pulmonados.



Árvores filogenéticas das hipóteses das relações de parentesco no clado Sarcopterygii.

Fonte: BRINKMANN, H. Complete Mitochondrial Genome Sequences of the South American and the Australian Lungfish: Testing of the Phylogenetic Performance of Mitochondrial Data Sets for Phylogenetic Problems in Tetrapod Relationships. *Journal of Molecular Evolution*, Berlin, v. 59, n. 6, p. 834-848, 2004.

- a) Descreva as hipóteses de relações filogenéticas representadas.
- b) Pesquise as evidências que sustentam cada uma das hipóteses. Em seguida, argumente: Quem são os parentes vivos mais próximos de tetrápodes – celacantos, peixes pulmonados ou ambos? Justifique sua resposta com base nas evidências.

3. Uirajara é o nome dado ao fóssil de dinossauro que foi retirado de forma ilegal do Brasil em 1995 e repatriado em 2023. Esse é o primeiro fóssil de dinossauro não aviário com estruturas semelhantes a penas encontrado na América do Sul. Há inúmeros casos similares a esse, em que os fósseis de um determinado país foram saqueados de seu local de origem por países colonizadores. Pense no assunto e discuta com os colegas como devem ser os espaços para receber esses exemplares e o que pode ser feito para repatriar outras relíquias da nossa biodiversidade. Para embasar as suas respostas, pesquise a respeito da campanha de repatriação do Uirajara.

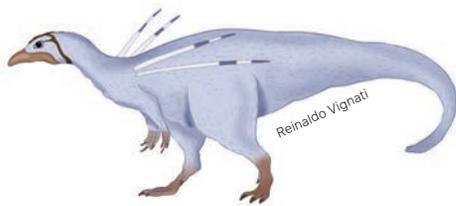


Ilustração artística do animal *Uirajara jubatus* (à esquerda) e imagem de um fóssil desta mesma espécie (à direita). Trata-se de um Sauropsida encontrado na bacia do Araripe, que engloba os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco.

## Lophotrochozoa e Ecdysozoa

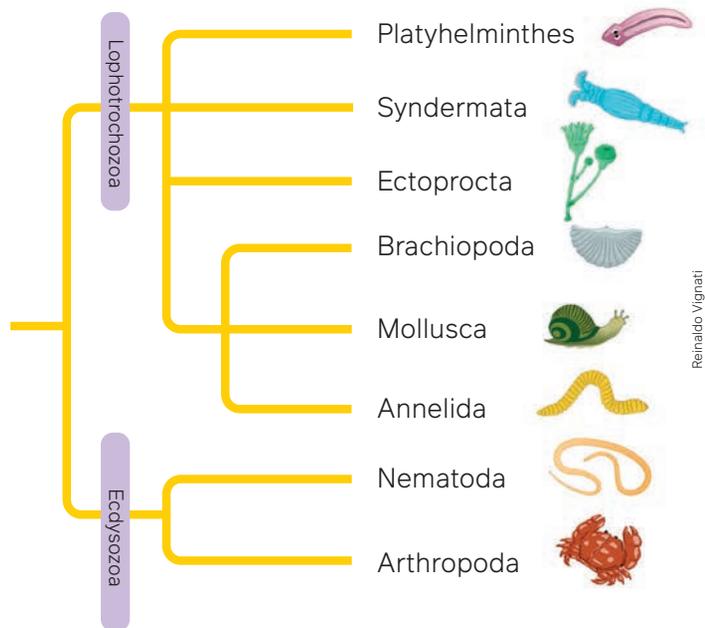
Diferentemente dos deuterostomados, os Lophotrochozoa e Ecdysozoa são duas linhagens de animais triploblásticos que, na fase embrionária, o blastóporo origina a boca (protostômios). Em alguns grupos, o corpo é organizado em segmentos repetidos chamados de **metâmeros**, uma adaptação que proporciona versatilidade na movimentação corporal, já que os segmentos corporais podem se mover independentemente uns dos outros. A metameria é observada em anelídeos e artrópodes. A **ecdise** é o processo biológico pelo qual artrópodes e nematóides crescem e se desenvolvem. Durante a ecdise, o animal descarta sua cutícula externa ou exoesqueleto rígido e secreta uma nova cutícula mais macia, que permite o crescimento e o aumento de tamanho.

A característica distintiva dos **lofotrocozoários** é a presença de uma estrutura alimentar chamada de **lofóforo**, que é uma coroa de tentáculos ciliados utilizados na alimentação. Além disso, muitas espécies passam por uma fase larval chamada de **trocófora**.

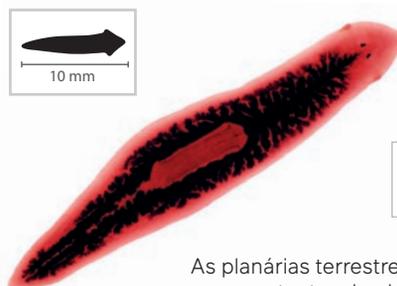
Esse grupo abrange uma diversidade de habitats aquáticos e terrestres e desempenha papéis ecológicos importantes em muitos ecossistemas. Destacam-se os seguintes grupos:

- **Platelmintos:** Animais não segmentados e com corpos achatados na região dorsoventral, tubo digestivo incompleto, além de serem **acelomados**, ou seja, não possuem uma cavidade corporal entre a cavidade digestiva e a parede externa do corpo. As espécies podem ser de vida livre (planárias) ou parasitária, como as tênias, que causam a teníase e a cisticercose, e o *Schistosoma mansoni*, que causa a esquistossomose.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



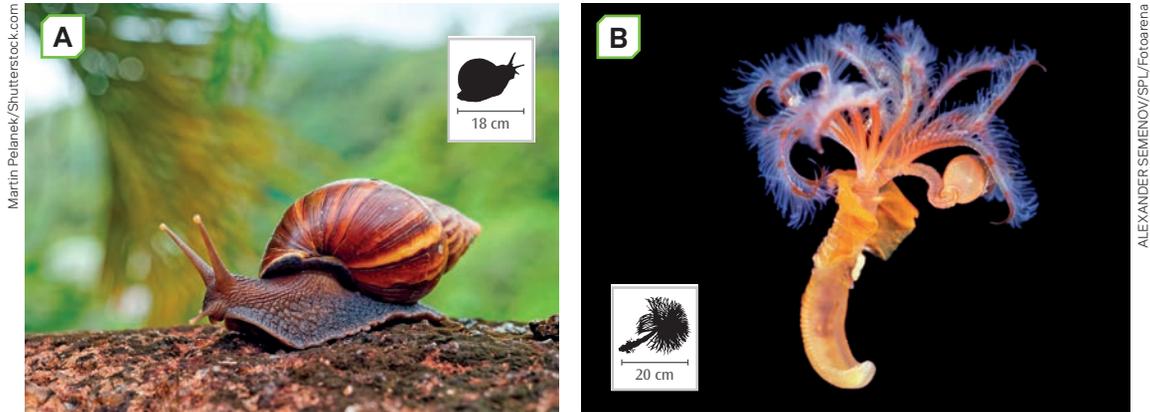
Árvore filogenética simplificada dos principais representantes de Lophotrochozoa e Ecdysozoa.



As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

As planárias terrestres são representantes de platelmintos.

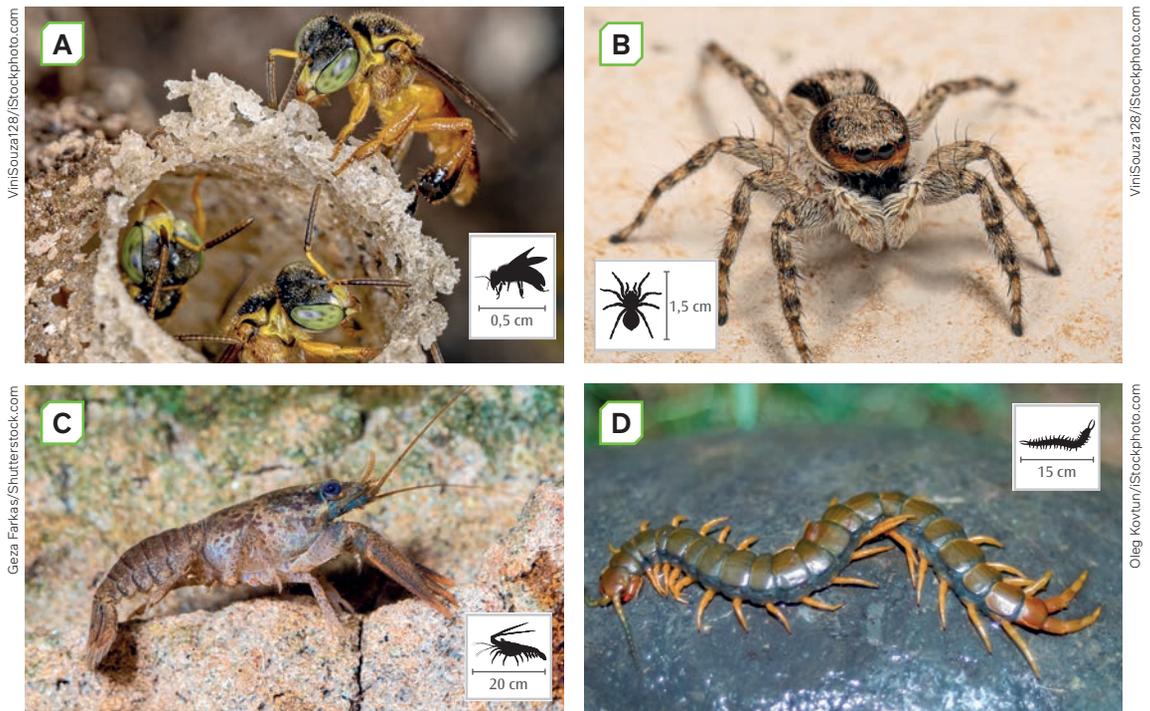
- **Moluscos:** Animais de corpo mole, tubo digestivo completo, celomados, frequentemente protegidos por conchas calcárias, como caramujos, lulas, polvos, mexilhões, lesmas, ostras e caracóis.
- **Anelídeos:** Animais segmentados (metameria), celomados, que podem se locomover por meio de cerdas, tubo digestivo completo, como poliquetas, minhocas e sanguessugas.



(A) O caramujo-africano, espécie invasora no Brasil, é representante dos moluscos. (B) Poliqueta, representante dos anelídeos.

A característica distintiva dos ecdisozoários é a ecdise, que é o processo de troca de sua cutícula externa ou exoesqueleto à medida que crescem. Para os artrópodes, a cutícula é rígida e chamada de exoesqueleto, enquanto para os nematóides, é uma camada mais flexível chamada cutícula. A ecdise é essencial para permitir o crescimento e o desenvolvimento desses animais. Destacam-se os seguintes grupos.

- **Artrópodes:** Grupo mais diversificado e numeroso de animais, inclui insetos, aracnídeos, crustáceos e miriápodas. Os artrópodes são caracterizados por seus corpos segmentados (metameria) e apêndices articulados.



Representantes de artrópodes: (A) colmeia de abelha jataí, (B) aranha papa-moscas, (C) lagostim e (D) lacraia.

- **Nematóides:** Animais vermiformes não segmentados, cilíndricos, alongados e **pseudocelomados** (ou blastocelomados) que apresentam uma cavidade derivada da blastocel que fica intercalada entre camadas de células mesodérmicas e endodérmicas. Encontram-se em como solo, água e organismos. Alguns nematódeos podem causar doenças em plantas e animais, como a lombriga (*Ascaris lumbricoides*) e a filária (*Wuchereria bancrofti*).

## Atividades propostas



1. Escolha um dos grupos de animais protostômios (Lophotrochozoa e Ecdysozoa) e elabore uma apresentação de slides, contemplando imagens e esquemas representativos, tipo de alimentação, ambiente em que vivem, interação com outras espécies, características singulares, curiosidades e relações com os seres humanos. Socializem as pesquisas e dialoguem com colegas sobre a diversidade de animais.

## Recapitule



Neste capítulo foram definidos os principais grupos de Opisthokonta e discutimos suas características. Abordou-se os principais grupos de fungos e suas características, como a osmotrofia e a produção de hifas, além de corpos de frutificação em algumas linhagens. Foi destacado o papel dos fungos na decomposição, na produção de alimentos e na pesquisa, bem como seu impacto negativo, podendo provocar doenças em pessoas e animais, sendo especialmente danoso para os anfíbios. O capítulo também abordou os principais grupos de animais a partir da análise de representações filogenéticas, características embrionárias, ecológicas e evolutivas.

Para finalizar, convidamos você a elaborar um mapa conceitual representando os principais grupos de organismos estudados, incluindo características, modo de vida, relações com os seres humanos e exemplos. Troque seu mapa com os colegas para conhecer outras formas de representar esse grupo.

## Planeje e resolva



### A visão midiática e contemporânea sobre a biodiversidade

A representação da biodiversidade na mídia e na cultura contemporânea se reflete, frequentemente, na megafauna de biomas bastante divulgados, como a savana africana, cujos animais como os leões, os elefantes e as girafas são amplamente retratados. Essa seleção de espécies atrativas é conhecida popularmente como “fofofauna”, e também abrange animais carismáticos como o mico-leão-dourado, o tatu-bola e a capivara. Geralmente, são selecionados animais que capturam a atenção do público e alimentam narrativas de aventura e exotismo. No entanto, essa abordagem pode, muitas vezes, negligenciar a vasta diversidade existente nos diferentes tipos de ecossistema, omitindo informações sobre a mesofauna e a microfauna, bem como a rica variedade de plantas e microrganismos dos ambientes retratados.

A mídia influencia na formação de nossas percepções da biodiversidade, moldando o imaginário coletivo mediante imagens, narrativas e representações. As redes sociais, os documentários, as reportagens, os filmes e as obras de arte subsidiam a construção do que se entende acerca das diferentes formas de vida, influenciando como as percebemos e as valorizamos. No entanto, essa visão pode parecer tendenciosa, privilegiando apenas aspectos esteticamente atraentes ou dramaticamente impactantes. A consequência é o risco de se perpetuar ideias limitadas sobre a importância e a interconexão de todas as formas de vida em um ecossistema.

As redes sociais, influenciadores digitais e programas de natureza tendem a divulgar uma visão antropocêntrica, retratando os seres vivos como recursos a serem conquistados ou dominados, reforçando ideias de superioridade humana.

Essas representações promovem uma percepção distorcida e equivocada de que, na natureza, apenas animais com aparência e ações carismáticas ou esteticamente “fofinhos” são vistos com prioridade de atenção e proteção. Como resultado, a sociedade tende a desconsiderar organismos de tamanhos menores ou de aparência menos atrativa, subestimando suas funções ecológicas e a necessidade de sua conservação. Em última instância, esse fenômeno pode vir a se refletir na ausência de políticas ambientais inclusivas e de comportamentos individuais incompatíveis com a conservação da biodiversidade.

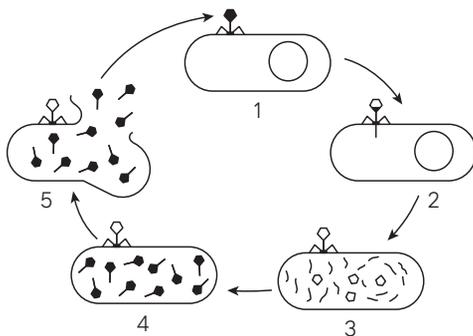
### Agora é com você!



Pesquise como os seres vivos são retratados nas mídias que você tem acesso e reflita acerca de como essas representações influenciam a visão da comunidade escolar com relação a temas que envolvem o conceito de biodiversidade. Considere as possíveis distorções, as visões estereotipadas, as percepções equivocadas sobre as interações humanas com a natureza ou a negligência de elementos essenciais para a preservação da biodiversidade.



- (Enem – 2019) Na família Retroviridae encontram-se diversos vírus que infectam aves e mamíferos, sendo caracterizada pela produção de DNA a partir de uma molécula de RNA. Alguns retrovírus infectam exclusivamente humanos, não necessitando de outros hospedeiros, reservatórios ou vetores biológicos. As infecções ocasionadas por esses vírus vêm causando mortes e grandes prejuízos ao desenvolvimento social e econômico. Nesse contexto, pesquisadores têm produzido medicamentos que contribuem para o tratamento dessas doenças. Que avanços tecnológicos têm contribuído para o tratamento dessas infecções virais?
  - Melhoria dos métodos de controle dos vetores desses vírus.
  - Fabricação de soros mutagênicos para combate desses vírus.
  - Investimento da indústria em equipamentos de proteção individual.
  - Produção de vacinas que evitam a infecção das células hospedeiras.
  - Desenvolvimento de antirretrovirais que dificultam a reprodução desses vírus.
- (Udesc – 2014) Com base na figura, em relação à reprodução viral, assinale (V) para verdadeira e (F) para falsa.



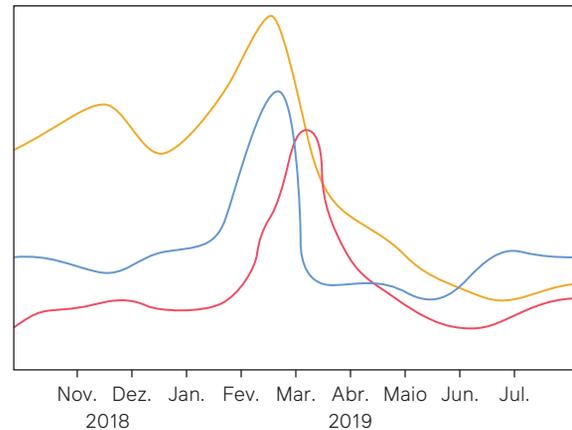
UDESC/2014

- ( ) A figura representa o ciclo lisogênico de um vírus.  
 ( ) No ciclo lítico e lisogênico o DNA viral é incorporado ao DNA da célula hospedeira.  
 ( ) Na etapa 2, o vírus insere seu material genético interrompendo o metabolismo bacteriano.  
 ( ) Na etapa 3, ocorre a síntese de proteínas que irão compor os capsídeos.  
 ( ) O ciclo lítico sempre resulta na morte da célula hospedeira.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo.

- V – F – F – V – V
- F – V – V – V – F
- F – F – V – V – V
- F – V – V – F – V
- V – F – V – F – V

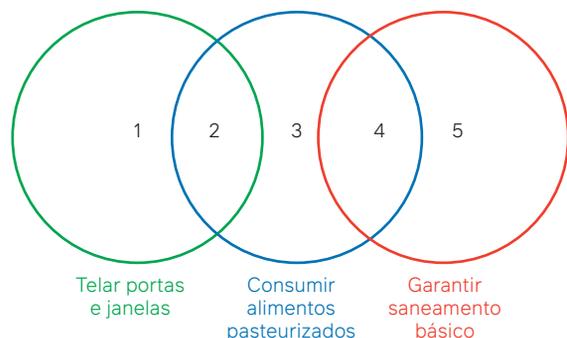
- (Fuvest-SP – 2020) Ao investigarem as razões para um evento de maré vermelha que ocorreu em uma região costeira do Brasil, os cientistas e técnicos encontraram uma relação entre a pluviosidade na área, o tratamento e destino de esgotos domésticos nos municípios vizinhos e a abundância de algumas espécies de microalgas com toxinas (nocivas à saúde humana) do grupo dos dinoflagelados, segundo o gráfico abaixo.



FUVEST-SP/2020

- Abundância de dinoflagelados (célula/litro de água do mar)
- Pluviosidade (mm de chuva)
- Contagem de coliformes fecais (CF/litro de água do mar)

- Qual é o mês de ocorrência da maré vermelha?
  - Como esse aumento da concentração de dinoflagelados pode chegar na dieta de uma pessoa e como ela pode evitar uma intoxicação?
  - Pelo demonstrado no gráfico, qual a razão para o rápido aumento na abundância de dinoflagelados no evento de maré vermelha? E para seu rápido declínio?
- (FGV-SP – 2021) Na figura, os círculos representam medidas profiláticas contra doenças humanas parasitárias. As áreas numeradas correspondem a doenças que podem ser adquiridas.



FGV-SP/2021

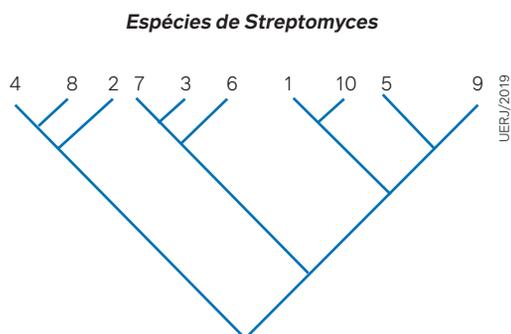
As áreas da figura que correspondem a todas as medidas profiláticas contra os protozoários *Entamoeba histolytica*, *Plasmodium falciparum* e *Trypanosoma cruzi*, respectivamente, são

- a) 5, 1 e 4.                    c) 4, 3 e 5.                    e) 3, 5 e 1.  
b) 3, 2 e 1.                    d) 4, 1 e 2.

5. (Famerp-SP – 2019) A leishmaniose visceral humana é uma doença que afeta o baço e o fígado, provocando problemas imunológicos e quadros hemorrágicos. Em casos mais graves, pode causar a morte. Uma pessoa pode adquirir essa doença quando
- a) é picada por fêmeas do mosquito *Lutzomyia* sp.  
b) entra em contato com fezes contaminadas de percevejos.  
c) nada em águas contaminadas com cercárias.  
d) anda descalça em solos úmidos com larvas de vermes.  
e) ingere verduras contaminadas com ovos de parasitas.
6. (Fuvest-SP – 2021) Considere três espécies de plantas (X, Y e Z) e suas características:
- A planta X não possui flores, mas é polinizada pelo vento. Além disso, não possui frutos, mas suas sementes são dispersas por aves.
  - A planta Y não possui flores, nem sementes, nem frutos.
  - A planta Z possui flores e é polinizada por aves. Além disso, possui frutos e suas sementes são dispersas por aves.

A que grupos pertencem as plantas X, Y e Z, respectivamente?

- a) Pteridófitas, angiospermas e gimnospermas.  
b) Gimnospermas, pteridófitas e angiospermas.  
c) Pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.  
d) Angiospermas, gimnospermas e pteridófitas.  
e) Gimnospermas, angiospermas e pteridófitas.
7. (Uerj – 2019) Pesquisas identificaram um potente antibiótico produzido pelo fungo *Streptomyces* sp. 3, mas que possui elevado custo de comercialização. A partir de sequências genéticas de espécies de *Streptomyces* relacionadas à produção de antibióticos foi elaborado o cladograma abaixo.



Com base no cladograma, identifique as duas outras espécies de fungos que devem ser priorizadas nos estudos para a produção desse antibiótico. Aponte, ainda, a vantagem da utilização do cladograma na busca de espécies para a produção do medicamento.

8. (Unicamp-SP – 2021) Na análise de dois fósseis de animais adultos coletados na região dos Campos Gerais (Paraná), destacaram-se as seguintes características:

**Fóssil 1:** Simetria radiada, esqueleto com espinhos e sulco ambulacral.

**Fóssil 2:** Simetria bilateral, esqueleto e dois pares de antena.

Considerando as características descritas, assinale a alternativa que indica animais dos mesmos filões dos fósseis 1 e 2, respectivamente.

- a) Ouriço-do-mar e mexilhão.  
b) Hidra e camarão.  
c) Estrela-do-mar e caranguejo.  
d) Lampreia e caramujo.
9. (UEL-PR – 2019) Além da simetria, os tecidos embrionários e a origem das cavidades corporais podem auxiliar na compreensão das principais relações evolutivas existentes entre os diferentes grupos animais.
- Com base nos conhecimentos sobre as tendências evolutivas nos grupos animais, assinale a alternativa correta.

- a) Uma das principais vantagens da organização segmentada da musculatura, chamada de metameria, é a de conferir aos animais que a possuem uma versatilidade muito grande na movimentação corporal.  
b) Na maioria dos animais que compõem o grupo dos poríferos, o celoma, tecido de origem endodérmica, reveste a superfície corporal, conferindo uma adaptação evolutiva em ambientes com pouca disponibilidade de água.  
c) Com base na presença e no tipo de cavidade corporal, os animais diblásticos podem ser classificados em protostômios, por possuírem sistema digestório completo, e deuterostômios, nos quais o mesmo sistema é incompleto.  
d) As esponjas são animais filtradores que captam partículas alimentares da água por meio das células flageladas que as conduzem para a boca, indicando, em termos evolutivos, que esses animais possuem tecidos corporais e um sistema digestório incompleto.  
e) As anêmonas, por serem triblásticas, apresentam na escala evolutiva zoológica um sistema digestório completo, ou seja, uma abertura por onde o alimento entra e outra por onde saem os resíduos da digestão.



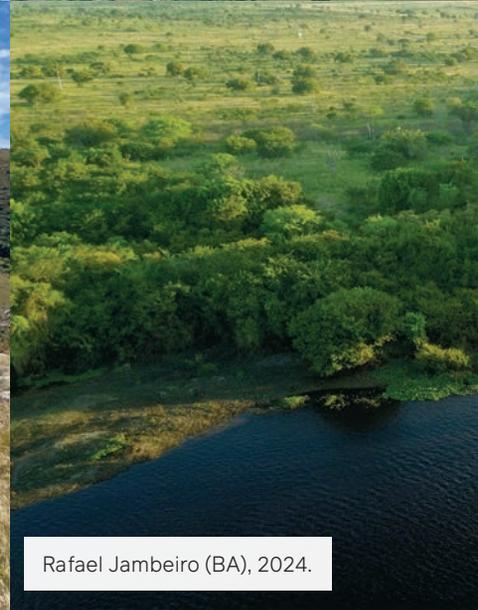
Porto no Rio Negro. Manaus (AM), 2024.



Cassilândia (MS), 2024.



Campos do Quiriri. Região Serrana Nordeste de Santa Catarina (SC), 2022.



Rafael Jambeiro (BA), 2024.



Cuiabá (MT), 2024.



Cambará do Sul (RS), 2023.

# Ecologia e conservação

A **Ecologia** pode ser definida como o estudo das interações entre os organismos e o ambiente. Os estudos de Ecologia investigam desde as relações entre os seres vivos até os processos que influenciam na distribuição e abundância das espécies. A Ecologia também atua na gestão ambiental, que envolve a proteção, o uso sustentável e o manejo dos recursos naturais, visando proteger a biodiversidade e os ecossistemas.

O primeiro capítulo, “Interações entre os seres vivos e o ambiente”, aborda como as populações e comunidades são constituídas, interagem e se modificam ao longo do tempo. No segundo capítulo, o foco está no estudo de “Ecossistemas”. Aborda-se a diversidade de ecossistemas do planeta, incluindo a complexa e dinâmica relação entre os fatores abióticos e bióticos. O “Fluxo de energia e ciclo da matéria” nos ecossistemas são estudados no terceiro capítulo. Por fim, no quarto capítulo, ao se discutir sobre a “Conservação da biodiversidade”, são apresentadas as estratégias e as práticas recomendadas para conservar a biodiversidade e os ecossistemas diante dos desafios ambientais.

## ▼ Para começar

1. Que tipos de interações entre seres humanos e meio ambiente você reconhece nas imagens de abertura desta unidade?
2. Como essas diferentes relações impactam a conservação da natureza e o bem-estar humano?
3. O texto de abertura apresenta uma breve descrição sobre as temáticas que serão abordadas nos capítulos desta unidade. O que você sabe sobre esses assuntos?
4. O Brasil é um país de dimensões continentais que apresenta diferentes tipos de ecossistema e realidades culturais. Que ações você sugere para a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais em nosso país?



Vinicius R. Souza/Shutterstock.com



Joa Souza/Shutterstock.com



Juliasuzin/Shutterstock.com

# Interações entre os seres vivos e o ambiente



Fernando Calmon/Shutterstock.com



Matyas Rehak/Shutterstock.com



Fabio Colombini



Andre Dib/Pulsar Imagens

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

(A) Bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) se alimenta de uma lagartixa; (B) Mamangava (*Bombus morio*) poliniza uma flor de maracujazeiro; (C) Tronco de árvore com epífitas, no caso orquídeas e bromélias; e (D) Malhada de queixadas (*Tayassu pecari*) buscando alimento no campo.

## ▼ Para refletir

1. Reúna-se com um colega e, juntos, descrevam as relações entre os seres vivos que aparecem nas imagens desta página. Em seguida, compartilhe com outra dupla suas conclusões.
2. Além dos diferentes tipos de interação representados nas imagens, registre no caderno outros exemplos de interação ecológica que você conhece.
3. Em consenso com a sua dupla, definam um conceito para populações e comunidades ecológicas.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Identificar e diferenciar os conceitos de hábitat e de nicho ecológico, com base na análise de mecanismos de sobrevivência, reprodução, interações entre espécies, comportamentos e distribuição geográfica.
- Explicar como a dinâmica populacional é influenciada por parâmetros como taxa de natalidade, mortalidade, imigração e emigração.
- Reconhecer a importância dos conceitos de abundância e densidade populacional para a pesquisa em ecologia e conservação da biodiversidade.
- Examinar a relação entre a taxa de respiração e a produtividade nos diferentes estágios de sucessão das comunidades ecológicas.
- Reconhecer e analisar os diferentes tipos de interação entre os seres vivos, como competição, predação, mutualismo e parasitismo.

## Dinâmica da vida

O significado da palavra **interação** envolve as ideias de relação, reciprocidade, influência, compartilhamento e contato entre dois ou mais corpos. Em Biologia, esse conceito pode ser aplicado ao compreender que todos os seres vivos, a qualquer tempo, interagem com outros seres vivos (biótico) e/ou com o ambiente (abiótico) em que vivem, de forma **dinâmica**. Por exemplo, ao se fixar em um substrato, como uma rocha ou um casco de barco, uma craca interage com o ambiente e com os seres vivos que o ocupam. Os organismos competem por espaço na rocha. As algas e outros organismos fotossintetizantes captam a energia solar, nutrientes e água para produzir compostos orgânicos. Outros organismos nutrem-se desses compostos orgânicos ao se alimentar de algas. A matéria orgânica retorna ao ambiente por meio do processo de decomposição realizado por bactérias e fungos.



Nick Upton/Alamy/Fotarena

Cracas, moluscos e algas incrustadas em uma rocha na zona entre marés interagem entre si e com o ambiente que ocupam. Lapas (*Patella vulgata*) e cracas (*Balanus perforatus*) fixadas em rochas expostas na maré baixa.

## Hábitat e nicho ecológico

Em Ecologia, o termo **hábitat** refere-se ao local de ocorrência de uma espécie. Essa região possui condições ambientais, como clima, solo, vegetação e disponibilidade de recursos específicas, que são consideradas adequadas para sustentar a vida e permitir a reprodução dessa espécie. Portanto, a distribuição das espécies está restrita ao tipo de hábitat que elas podem ocupar. Espécies que vivem bem em florestas tropicais podem ter a sobrevivência prejudicada em ambientes áridos ou com climas amenos, porque estão adaptadas a ambientes úmidos e temperaturas mais altas. As espécies têm diferentes tolerâncias aos fatores ambientais e à disponibilidade de recursos. Espécies com baixa tolerância a mudanças em um ou mais fatores ambientais geralmente têm uma distribuição mais restrita, enquanto aquelas com alta tolerância possuem uma distribuição mais ampla e são conhecidas como generalistas. Por outro lado, algumas espécies podem obter inclusive vantagem em ambientes diferentes do seu hábitat natural devido à ausência de predadores ou de competidores. Em algumas situações, tais espécies (invasoras e/ou exóticas) podem se disseminar e alterar consideravelmente a dinâmica dos ecossistemas.

### Saiba mais

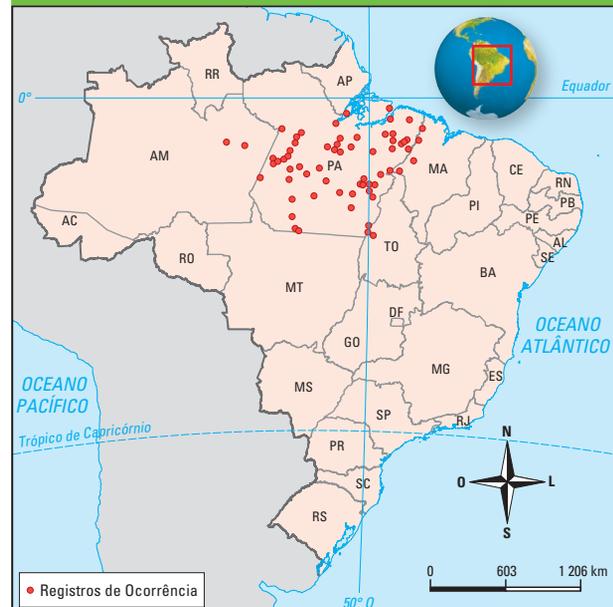
Uma espécie é considerada **endêmica** quando habita uma região geográfica restrita. A ave jacupiranga (*Penelope pileata*) é endêmica da região Norte do Brasil, distribuindo-se em maior parte no estado do Pará e no entorno das divisas desse estado com o Amazonas, Maranhão, Amapá e Tocantins. Sua restrição de distribuição a essa região se deve, em parte, ao fato de essa espécie habitar florestas nativas amazônicas relativamente pouco impactadas, especialmente matas de terra-firme. No entanto, observa-se uma drástica redução nas populações dessa ave devido à perda de seu hábitat, causada pelo desmatamento.



André Cardoso

Jacupiranga (*Penelope pileata*) macho. A diferenciação do sexo dessa espécie se dá pela coloração avermelhada da íris dos machos em comparação à íris marrom das fêmeas.

### Distribuição geográfica da ave jacupiranga (*Penelope pileata*)



Erlison Guilherme Luciano

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Livro vermelho da Fauna Brasileira ameaçada de extinção. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; ICMBio, 2018. p. 37. v. 3.

O conjunto de interações adaptativas de uma espécie em seu hábitat é denominado **nicho ecológico**. Essas interações são o amplo conjunto de fatores de um organismo que lhe garante a sobrevivência: local em que vive, tipo de alimento, onde e como obtém recursos, como se reproduz, quais os hábitos e as estratégias de defesa e proteção etc. Em outras palavras, nicho ecológico é um modo de vida único e particular de cada espécie no hábitat em que vive.

Existe ainda a diferenciação entre o nicho fundamental e o nicho realizado de uma espécie. O nicho fundamental se refere a todas as condições e recursos teoricamente disponíveis para uma espécie na ausência de competição com outras espécies. Por outro lado, o nicho realizado é o conjunto de condições e recursos que uma espécie ocupa de fato, uma vez que as interações bióticas (como competição, predação etc.) limitam sua distribuição e o uso ideal de recursos.

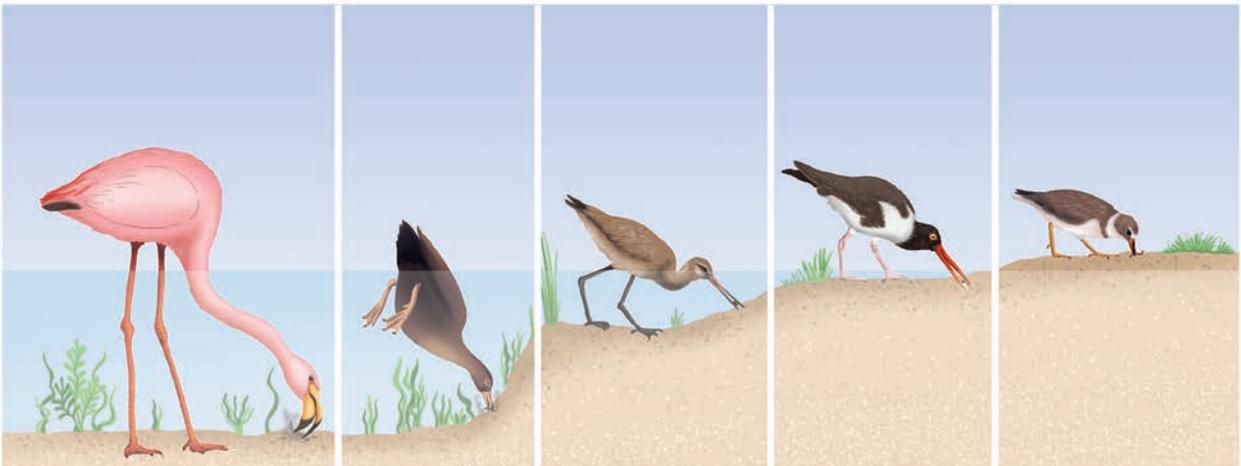


A ema (*Rhea americana*) é a única espécie de aves não voadoras nativas da América do Sul no gênero *Rhea* e na ordem Rheiformes, o que lhe confere um nicho bastante peculiar. Na imagem ao lado, uma mãe ema com filhotes no Pantanal. Miranda (MS), 2022.

## Atividades propostas



1. A ilustração a seguir apresenta diferentes espécies de aves que habitam uma grande lagoa no Parque Nacional da Lagoa do Peixe (RS). Sabendo que hábitat e nicho ecológico são conceitos frequentemente confundidos, escreva um parágrafo explicando a diferença entre eles com base na cena representada.



Reinaldo Vignati

Representação de diversas espécies de aves encontradas no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Rio Grande do Sul.

2. Sobre as inter-relações entre os organismos vivos e o ambiente, é correto afirmar que:
  - a) nicho ecológico é sinônimo de hábitat.
  - b) nicho ecológico é o conjunto de interações entre espécies.
  - c) hábitat corresponde ao conjunto de recursos, fatores abióticos e bióticos, que garantem a sobrevivência e a reprodução de uma espécie.
  - d) hábitat é o mesmo que ecossistema: é o lugar onde a espécie vive.
  - e) todas as respostas estão incorretas.

## Populações

**Populações** são grupos de indivíduos de uma mesma espécie que compartilham uma mesma área geográfica no mesmo espaço de tempo. A população é uma unidade organizacional da Ecologia. Nesse nível, os indivíduos se reproduzem, assegurando a continuidade dessa unidade ao longo do tempo. Populações com alta diversidade genética têm maior chance de sobreviver a eventos de seleção intensa.

É importante considerar que a abrangência geográfica de uma população inclui todas as áreas que seus indivíduos ocupam durante sua vida, inclusive locais de migração. Um bom exemplo são as baleias jubarte, animais que vivem em torno de 45 anos e migram sazonalmente mais de 16 mil km, partindo de regiões mais frias, que apresentam maior disponibilidade de alimento, para águas tropicais, ou subtropicais, com a finalidade de procriação.

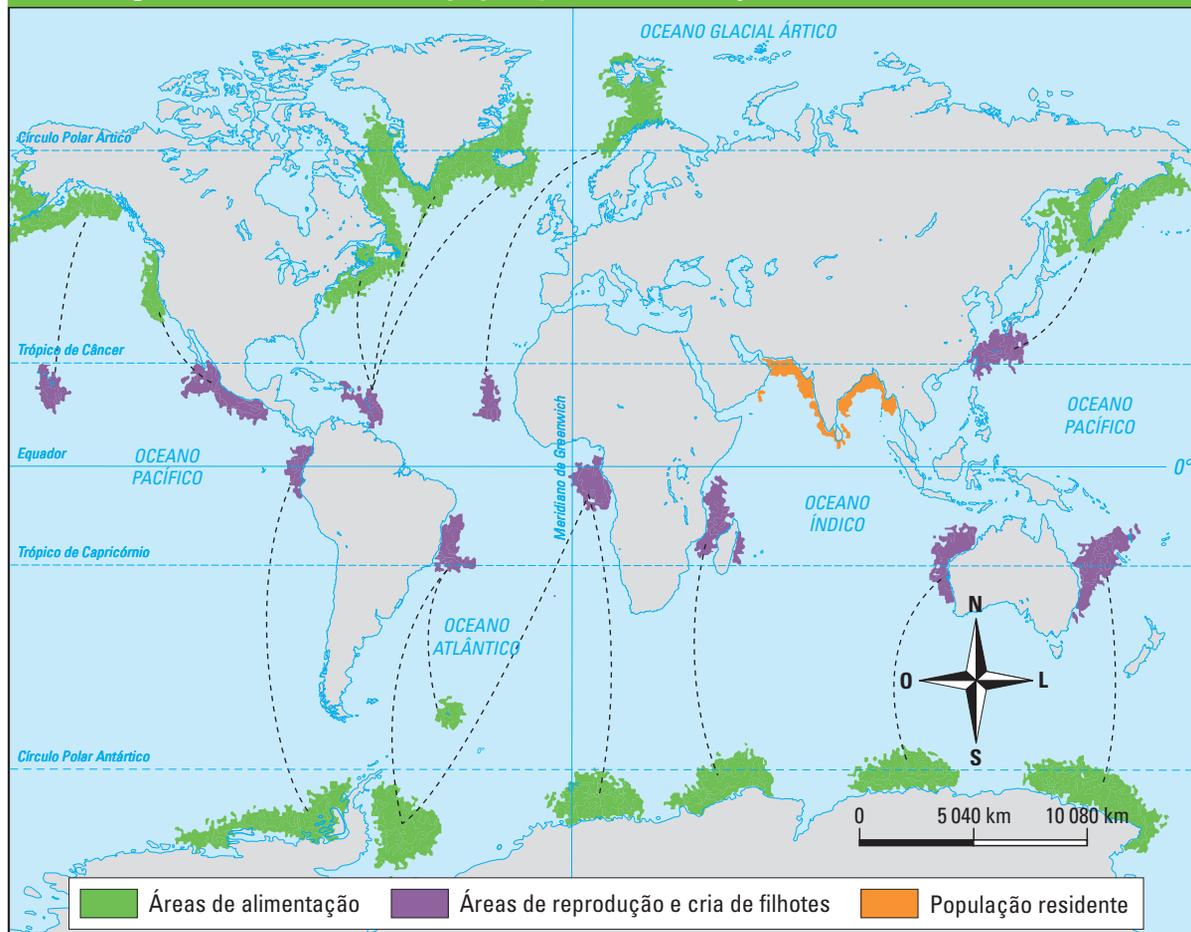
A estrutura e o funcionamento de populações podem ser mensurados por meio de parâmetros como taxa de natalidade e mortalidade, densidade, distribuição etária e geográfica, entre outros. No caso das baleias jubarte, estima-se que existam 135 mil indivíduos em praticamente todos os mares e oceanos do planeta, ou seja, são animais de distribuição mundial. No entanto, as baleias jubarte já estiveram seriamente ameaçadas de extinção devido à caça ostensiva da indústria baleeira. Na década de 1960, essa espécie teve suas populações drasticamente reduzidas, contabilizando cerca de 5 mil indivíduos. Só foi possível reverter o perigo iminente de extinção dessa espécie devido a uma série de esforços de cooperação internacional, que contou com a criação de legislações específicas e de áreas de proteção, de pesquisa e monitoramento, além da educação ambiental.



Marcos Ameno/Pulsar Imagens

População de baleias jubarte no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Caravelas (BA), 2016.

### Rotas migratórias conhecidas de populações de baleias jubarte



Ericson Guilherme

Fonte: SANTOS, M. C. O. *Baleias e golfinhos do litoral paulista: estórias que contam uma bela história*. São Paulo: LABCMA, 2021. [E-book]. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/1083/989/3646>. Acesso em: 24 jun. 2024.

A distribuição fragmentada de habitats, por exemplo, os aglomerados savânicos em meio a um ambiente de campo, faz com que as populações se dividam em grupos menores, conhecidos como **subpopulações**, que migram e se reproduzem com menos frequência do que em habitats homogêneos.

## Abundância e densidade populacional

Na pesquisa ecológica, as populações são frequentemente descritas com base nos seus limites e tamanho. Um conceito importante para esse tipo de estudo é o de **abundância** – número total de indivíduos de uma espécie encontrados em uma área. Para algumas espécies, como a do bugio ruivo (*Alouatta guariba*), macaco que vive em uma parte do Brasil e da Argentina, a abundância pode ser calculada contando o número total de indivíduos, considerando que são animais que vivem em grupos e podem ser avistados com facilidade. Algumas visitas ao território que os bugios ocupam seriam suficientes para avistar os indivíduos e quantificar sua abundância. Para outras populações, como espécies gramíneas em um fragmento de campo ou amebas em lagoas, o cálculo de abundância pela contagem total torna-se praticamente impossível. Nesses casos, podemos estimar a abundância dessas populações por meio de técnicas de amostragem e cálculo de **densidade populacional**.

No caso das plantas, como as gramíneas, um exemplo de técnica de amostragem é a divisão da área total em parcelas iguais (unidade de área). Com isso, selecionam-se algumas parcelas, aleatoriamente, para se fazer a contagem das plantas. Para estimar a abundância de toda a área, primeiro calcula-se a média dos valores de **densidade** (número total de plantas) encontrados nas parcelas amostradas, depois, multiplica-se a densidade média pelo número total de parcelas. O resultado desse cálculo proporcionará uma estimativa da abundância por unidade de área, ou seja, é uma avaliação que considera não só o número de indivíduos, mas a área em que estão distribuídos. Estimativas como essa são mais precisas conforme maior for o número de parcelas amostradas e menor for a heterogeneidade do ambiente.



Luisiana Carneiro

Para calcular a densidade e a abundância da diversidade vegetal de um ambiente pode-se recorrer ao método de amostragem por parcelas.

Existem situações nas quais o avistamento das espécies é mais difícil. Esses casos requerem outros métodos de estimativas populacionais, como a marcação e recaptura, para isso utiliza-se o anilhamento em aves ou a inserção de *chips* em répteis e mamíferos.

Vale ressaltar que os cálculos de abundância expressam a população em determinado momento, entretanto, as populações são dinâmicas, ou seja, seus tamanhos variam no tempo e espaço. O que determina essa dinâmica, entre outros fatores, são as taxas de natalidade, mortalidade e migração.

Quando, por motivos diversos (desastres, mudanças climáticas, doenças etc.) ocorre uma redução acentuada no tamanho de uma população, diz-se que ela sofre o efeito de **gargalo populacional**, que pode levar à diminuição drástica da diversidade genética. Quanto menor a população, menor será sua capacidade de sobrevivência ao longo do tempo.



Tales Azzi/Pulsar Imagens

O anilhamento é uma técnica utilizada para pesquisa e conservação na qual se insere, na pata de um indivíduo, geralmente uma ave, um anel numerado para marcação e identificação. Na imagem, biólogos realizam anilhamento em filhote de atobá na Ilha de Alcatrazes. São Sebastião (SP), 2019.



## Qual será o destino das antas?

As antas historicamente ocupavam diversos habitats na América do Sul. No entanto, um estudo de 2022 estimou que restam cerca de 48 populações, ocupando apenas 1,78% de sua distribuição original. As maiores abundâncias de antas foram registradas em Misiones, Argentina, e nos estados brasileiros do Paraná e Rio Grande do Sul, com o maior número de populações em São Paulo e Paraná. A caça e o desmatamento foram considerados as principais causas de declínio dessas populações, considerando o isolamento populacional a principal ameaça de extinção a essa espécie. Leia o texto a seguir, onde são apresentadas as justificativas para incluir a anta na lista de espécies vulneráveis brasileiras.

### *Tapirus terrestris* (Linnaeus, 1758)

[...] Nacionalmente, a anta brasileira foi listada como Vulnerável à Extinção com base em reduções passadas superiores a 30% em abundâncias populacionais, bem como declínios superiores a 30% na área de ocupação, extensão de ocorrência e qualidade do habitat, sobretudo nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. Considerando-se que a redução de população da Mata Atlântica pode atingir pelo menos 50% nas três próximas gerações ou 33 anos, que 80% das populações do Cerrado têm baixa probabilidade de sobrevivência a longo prazo, que deve ocorrer uma perda de habitat de 15,5% no Pantanal, nas próximas três gerações, e que mesmo na Amazônia já se têm verificado extinções locais da espécie, estimou-se as populações de anta brasileira continuarão a declinar durante as três próximas gerações ou 33 anos, levando a reduções adicionais em área de ocupação, extensão de ocorrência e qualidade do habitat, bem como aumentos em níveis de exploração atuais. Não existem evidências de emigração ou imigração diferencial de indivíduos desta espécie entre o Brasil e os países vizinhos, portanto a categoria da espécie não é alterada quando se aplica a avaliação regional. [...]



Ericson Guilherme

Fonte: VARELA, D. et al. *Tapirus terrestris*. IUCN The RedList, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/21474/45174127>. Acesso em: 24 jun. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Livro vermelho da Fauna Brasileira ameaçada de extinção*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; ICMBio, 2018. v. 2.

## Trocando ideias



1. De acordo com as informações do texto, as populações de antas estão se encaminhando para um gargalo populacional? Justifique.
2. Considerando as variáveis tempo e espaço, argumente com seus colegas se a abundância seria o melhor parâmetro para mensurar de forma representativa as populações dessa espécie.
3. As antas são chamadas de “jardineiras das florestas”. Pesquise o que isso significa e explique quais riscos ambientais podem ocorrer em decorrência da redução populacional dessa espécie.
4. Buscando reverter o declínio das populações de anta no Brasil, que medidas poderiam ser implementadas em instâncias locais, regionais e internacionais?

## Abundância relativa e ciclos de vida

Para saber se uma população está aumentando ou diminuindo, um indicador utilizado é a **abundância relativa**. Para isso, realiza-se o cálculo do número de indivíduos de uma espécie em relação ao número total de indivíduos na comunidade. É um dado mais complexo de ser calculado, uma vez que depende do mapeamento da comunidade como um todo, ou seja, de todo o conjunto de populações de diferentes espécies que interagem e vivem na mesma área. Para viabilizar essa contagem, geralmente são selecionados alguns grupos de organismos para serem avaliados. Essa seleção é realizada pelo método de coleta a ser utilizado ou pelo objetivo específico do estudo.

Outro fator que deve ser considerado para compreender a dinâmica das populações são os **ciclos de vida**. Algumas espécies têm ciclos de vida relativamente curtos, que considera desde o momento em que o ovo é depositado, incluindo a eclosão do indivíduo, o desenvolvimento e a morte quando adulto. A borboleta bela-dama (*Vanessa cardui*) leva em torno de 14 a 29 dias para completar seu ciclo de vida, que considera desde o momento em que o ovo é depositado, incluindo a eclosão do indivíduo, o desenvolvimento e a morte quando adulto. Por outro lado, as populações humanas, em alguns países, têm expectativa de vida que supera os 80 anos, algumas sequoias, por exemplo, podem viver mais de 4 mil anos.

## Ciência por fora



## Ciência cidadã e abelhas

[...]

As iniciativas de ciência cidadã para o monitoramento da biodiversidade podem se utilizar de métodos de coleta de dados estruturados, ou seja, que necessitam da determinação de uma área ou de um período de tempo específico para a coleta de dados; ou métodos oportunistas, ou seja, baseados no encontro ‘ao acaso’ com a espécie de abelha e obtenção de um registro pontual (foto, áudio ou vídeo), sem uma preocupação específica com a regularidade, no tempo ou no espaço, dos registros.

Uma iniciativa que pode ser citada é o *Great Sunflower Project*, sediado nos Estados Unidos. Esse projeto, iniciado em 2008, incentiva voluntários/as a plantar girassóis, observá-los e relatar a quantidade e tipos de abelhas que visitam essas flores por um determinado tempo (LeBuhn et al., 2013), ou seja, utiliza um protocolo estruturado. Os dados coletados contribuem para uma melhor compreensão dos fatores que afetam as populações de abelhas e suas interações com plantas específicas.

Na Europa, o projeto *BeeWalk*, do *Bumblebee Conservation Trust* (2021), incentiva voluntários/as a realizar pesquisas mensais de abelhas ao longo de uma rota fixa (protocolo estruturado), contribuindo para um banco de dados nacional sobre as tendências populacionais de abelhas em todo o Reino Unido, o que facilita os esforços de conservação direcionados.

Já a contagem de polinizadores nativos da Austrália oferece uma oportunidade semelhante para o envolvimento dos cidadãos e cidadãs, com foco em todos os tipos de polinizadores, incluindo abelhas. Os/as participantes são convidados/as a observar uma planta com flor por dez minutos e registrar os insetos visitantes (protocolo estruturado). [...] Aqui no Brasil, um protocolo semelhante de coleta de dados é utilizado pelo projeto FIT Count (*Flower-Insect Timed Count* – em português, Contagem Cronometrada de Visitantes Florais) [...].

Todos esses projetos destacam o papel vital da ciência cidadã nos esforços de conservação das abelhas. Eles oferecem uma vantagem dupla: geram dados valiosos que informam as estratégias de conservação e promovem o engajamento e, potencialmente, a conscientização do público sobre a importância das abelhas. No entanto, como acontece com todas as iniciativas de ciência cidadã, há desafios a serem enfrentados, tais como garantir a qualidade dos dados, manter o envolvimento dos/as participantes e traduzir os dados em estratégias de conservação.

[...]

GHILARDI-LOPES, N. P.; ALEXANDRE, G. F.; MADALENA, C. VERULI, V. P. A ciência cidadã desvendando a biodiversidade de abelhas nativas sem ferrão nas Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. In: SILVA, R. L. F. et al. (org.). *Educação Ambiental em Unidades de Conservação: fundamentos e práticas*. São Carlos: Diagrama Editorial, 2023. p. 73-74.

## Trocando ideias



1. Como a participação em projetos de ciência cidadã relatados no texto tem contribuído para expandir o conhecimento científico sobre a dinâmica de populações de abelhas?
2. Qual é o potencial da ciência cidadã para empoderar as pessoas e influenciar na tomada de decisões sobre a conservação das espécies? Justifique.
3. De que forma a popularização dos dispositivos móveis, como os *smartphones*, e o uso de tecnologias como GPS têm facilitado a participação de pessoas em projetos de ciência cidadã?
4. Elabore, com três colegas, uma proposta de ciência cidadã relevante para a sua comunidade. Em seguida, discutam-na com a turma.

## Dinâmica e flutuações populacionais

Para acompanhar a dinâmica de populações, coletam-se parâmetros básicos, como o número de indivíduos, idade, tamanho e estágio do desenvolvimento, em períodos variados (horas, dias, meses e anos).

Com esses dados, cria-se uma tabela de vida que mostra não apenas esses parâmetros mas também outros indicadores importantes, como taxa de sobrevivência e fecundidade. Para mensurar as flutuações nas populações são elaboradas curvas de crescimento. Para isso, além da abundância, utilizam-se os seguintes indicadores:

- Taxa de natalidade: o número de indivíduos que nascem em um período específico. Uma taxa de natalidade alta geralmente indica que a população está crescendo rapidamente.
- Taxa de mortalidade: o número de indivíduos que morrem em um período específico. Uma taxa de mortalidade alta pode indicar problemas na sobrevivência dos indivíduos da população.
- Migração: movimento de indivíduos de um local para outro, geralmente em resposta a mudanças sazonais, disponibilidade de recursos ou para fins de reprodução.

Esses indicadores permitem projetar tendências e tamanhos populacionais passados e futuros, ajudando a entender a saúde e a dinâmica das populações ao longo do tempo.

## Crescimento exponencial e capacidade de suporte

Eventos graduais, como a alteração na disponibilidade de recursos devido às variações climáticas sazonais, bem como interações com outras populações da comunidade, podem acarretar mudanças na abundância e nas taxas de crescimento das populações. Além disso, eventos pontuais, como desastres ambientais, também podem ter um impacto drástico nas populações.

Quando as condições ambientais são favoráveis, as populações tendem a aumentar, podendo alcançar um crescimento **exponencial**. No crescimento exponencial, a população dobra de tamanho em intervalos regulares, resultando em um aumento acelerado. Um exemplo histórico é o crescimento da população humana após a Revolução Industrial, que se tornou exponencial devido à melhoria na disponibilidade de alimentos e na qualidade de vida.

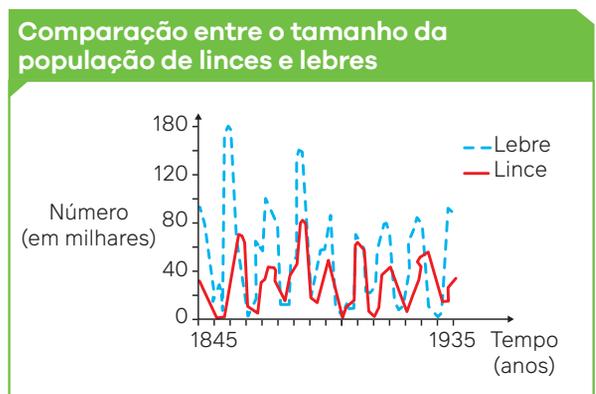
Os fatores que influenciam as populações podem ser classificados como **independentes** ou **dependentes**. Fatores independentes são aqueles que afetam a população independentemente de sua densidade, como clima e luminosidade. Por outro lado, fatores dependentes são influenciados pela densidade populacional, como a disponibilidade de alimentos e espaço.

Estudos ecológicos mostram que, com o aumento da densidade populacional, a taxa de natalidade tende a diminuir e a taxa de mortalidade a aumentar. Essas condições desfavoráveis podem intensificar a emigração de parte da população em busca de sobrevivência, reduzindo o tamanho da população original. Por outro lado, quando a densidade populacional diminui, a taxa de natalidade pode aumentar, e as taxas de mortalidade e emigração podem diminuir.

Além disso, em alguns casos, duas populações podem ser reguladas pela interação mútua entre elas, como mostrado no gráfico ao lado. Nele, é possível perceber que as populações de linces e lebres flutuaram de maneira sincronizada, sendo controladas, portanto, pela interação interespecífica (entre espécies), e não apenas pela relação da população com sua própria densidade.

Para entender como as populações crescem e flutuam ao longo do tempo, podemos considerar duas situações principais descritas a seguir.

Primeiro, imagine uma população que se estabelece em um novo hábitat onde não havia indivíduos dessa mesma espécie anteriormente. Isso pode ocorrer em locais afetados por perturbações, como erupções vulcânicas, ou quando um patógeno, como uma bactéria, invade um novo organismo. Nesses casos, a população geralmente experimenta um crescimento exponencial inicial no qual o número de indivíduos aumenta rapidamente. Com o tempo, entretanto, o crescimento começa a desacelerar e eventualmente se estabiliza. Esse padrão é devido à **capacidade de suporte** do ambiente, que é o número máximo de indivíduos que o ambiente pode sustentar com os recursos disponíveis. A capacidade de suporte é o número máximo de indivíduos que o ambiente pode sustentar, dado que recursos como alimento, água e espaço se tornam limitados.



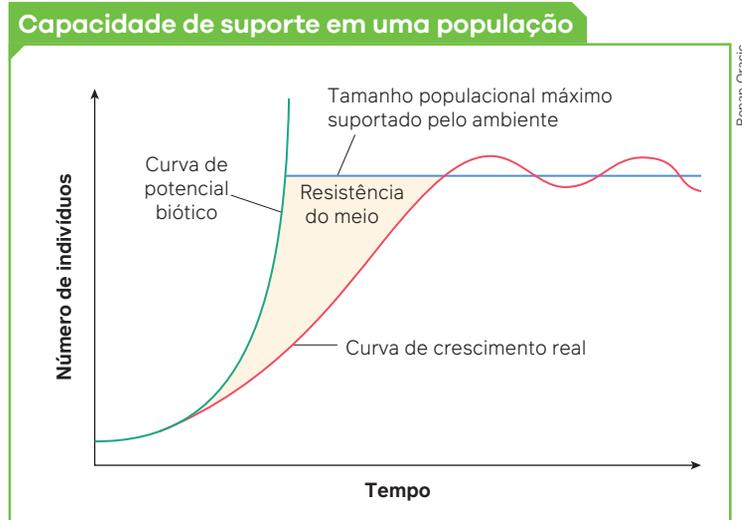
Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1 200.

À medida que a população se aproxima dessa capacidade, seu crescimento diminui e eventualmente se estabiliza.

Em uma segunda situação, considere uma população que já estava estabelecida em determinado território há muitos anos. Nesse caso, a população tende a manter um tamanho relativamente estável, com pequenas variações ao longo do tempo, desde que não ocorram grandes mudanças no ambiente. No entanto, se houver grandes flutuações na disponibilidade de recursos ao longo dos anos, isso pode levar a maiores oscilações no tamanho da população.

O gráfico ao lado sintetiza essa dinâmica populacional. Observe que a resistência do ambiente impede que a população continue a crescer indefinidamente, o que se reflete na curva de crescimento conhecida como **curva de potencial biótico**. Quando a população atinge a capacidade de suporte, a abundância de indivíduos se estabiliza e a taxa de crescimento se aproxima de zero.

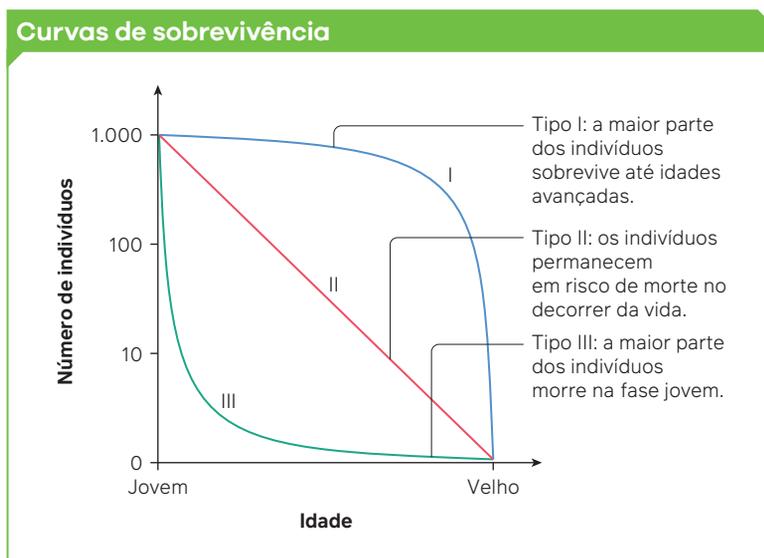
Outro fator que interfere na dinâmica populacional são as formas de reprodução. As **estratégias reprodutivas K e r** representam diferentes abordagens evolutivas para maximizar o sucesso reprodutivo. Organismos que adotam a estratégia r produzem muitos descendentes, oferecem pouco ou nenhum cuidado parental e, geralmente, têm uma vida curta. Um exemplo dessa estratégia são os camundongos, que têm prole numerosa e maturidade reprodutiva rápida. Esses organismos prosperam em ambientes instáveis onde a capacidade de colonizar rapidamente é vantajosa. Em contraste, os organismos que seguem a estratégia K produzem poucos descendentes, investem significativamente em cuidado parental, e têm uma vida longa. Um exemplo é a baleia jubarte, que tem apenas um filhote por vez e dedica muitos anos ao cuidado e proteção de sua prole. As baleias investem significativamente no cuidado parental e são adaptadas a ambientes estáveis, onde a sobrevivência de cada descendente é essencial.



Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1 193.

## Curvas de sobrevivência

Os dados de sobrevivência podem ser representados por meio de gráficos denominados **curvas de sobrevivência**. Estudos realizados com diversas espécies sugerem que as curvas de sobrevivência podem ser classificadas em três tipos, conforme mostra o gráfico a seguir. Considerando os inúmeros fatores limitantes, como recursos alimentares, competição (intraespecífica e interespecífica) e predação, é possível afirmar que as populações não crescem indefinidamente.

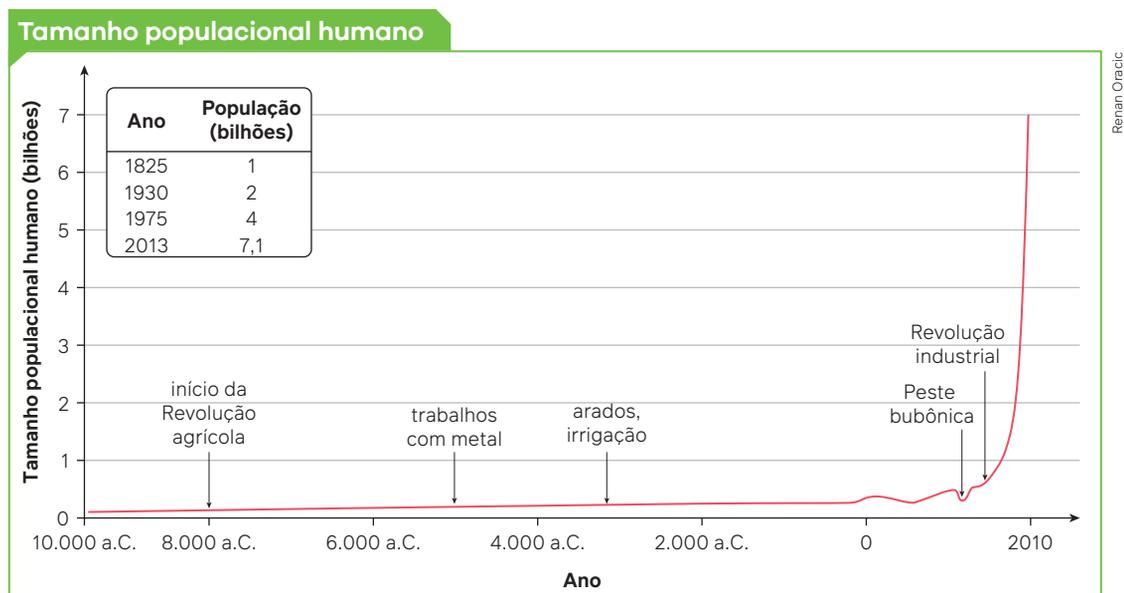


### GLOSSÁRIO

**curva de potencial biótico:** número de descendentes que uma espécie poderia produzir se estivesse em circunstâncias ideais e com recursos ilimitados.

Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 230.

Um exemplo notável de crescimento é o da população humana, que em 2022 atingiu 8 bilhões de pessoas. Com a taxa atual de crescimento de 2% ao ano, a população poderia teoricamente chegar a 26 bilhões em 2080. No entanto, sabemos que esse número é praticamente inviável devido às limitações e demandas dos recursos disponíveis.



Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 227.

## Atividades propostas



- O exemplo das baleias jubarte revela como as populações variam no tempo e espaço, estando sujeitas às pressões ambientais e humanas, relacionadas a interesses comerciais variados, que podem rapidamente extinguir uma espécie do planeta. Reflita com os colegas:
  - Qual é a contribuição das ações que ocorrem no território brasileiro em relação à conservação das baleias jubarte?
  - Qual é o papel das legislações na proteção da biodiversidade?
  - O que pode ser feito – em nível local, regional e global – para preservar essa espécie das ameaças de extinção?
- Considere a seguinte situação hipotética: Uma ecóloga amostrou, aleatoriamente, 15 parcelas de 100 m/100 m de uma área de 15 km<sup>2</sup> e obteve os seguintes números de densidade de uma planta de seu interesse.

Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Densidade	230	56	19	85	87	89	0	0	16	453	210	0	15	12	26

- Calcule a densidade média e estime a abundância da população de plantas da área.
  - Você considera que esse cálculo seja uma boa estimativa da abundância dessa espécie? Converse com os colegas sobre os números absolutos e relativos encontrados.
- Considerando a taxa de crescimento atual da população humana ao ano, qual seria a estimativa da população global em 2100? Argumente com os colegas sobre suas ideias a respeito do que ocorrerá com a população humana em um futuro próximo.
  - A tabela a seguir apresenta dados esperados em experimentos realizados com três culturas de *Paramecium caudatum* e *Paramecium aurelia* durante três semanas. Em tais experimentos, as amostras devem ser mantidas exatamente nas mesmas condições ambientais, acompanhando seu crescimento populacional. Na cultura A, mantém-se apenas *Paramecium aurelia*. Na cultura B, as duas espécies: *Paramecium caudatum* e *Paramecium aurelia*. Na cultura C, mantém-se apenas *Paramecium caudatum*.

Analise a tabela e responda às questões.

		Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 7	Dia 9	Dia 11	Dia 13	Dia 15	Dia 17	Dia 19	Dia 21
<b>Culturas separadas (placas de Petri A e C)</b>	<i>P. aurelia</i>	12	155	522	740	902	841	982	802	947	904	861
	<i>P. caudatum</i>	10	101	218	288	292	254	262	220	257	222	201
<b>Culturas juntas (placa de Petri B)</b>	<i>P. aurelia</i>	15	145	330	523	541	605	643	718	602	660	700
	<i>P. caudatum</i>	8	78	83	80	75	66	32	15	7	0	0

\*Tabela elaborada com dados hipotéticos apenas para fins didáticos.

- Represente os dados da tabela em dois gráficos de linhas, um com as culturas separadas e outro com as culturas juntas, indicando no eixo x o tempo (em dias) e, no eixo y, o tamanho da população.
- Descreva o que ocorreu nas populações A, B e C.
- Sabendo que se trata de duas espécies que competem diretamente por alimentos, o que os resultados revelam sobre como a competição interespecífica afeta o crescimento populacional?
- Pesquise sobre o princípio de Gause e explique se os resultados apoiam ou refutam tal princípio. Discuta com os colegas.



## Comunidades

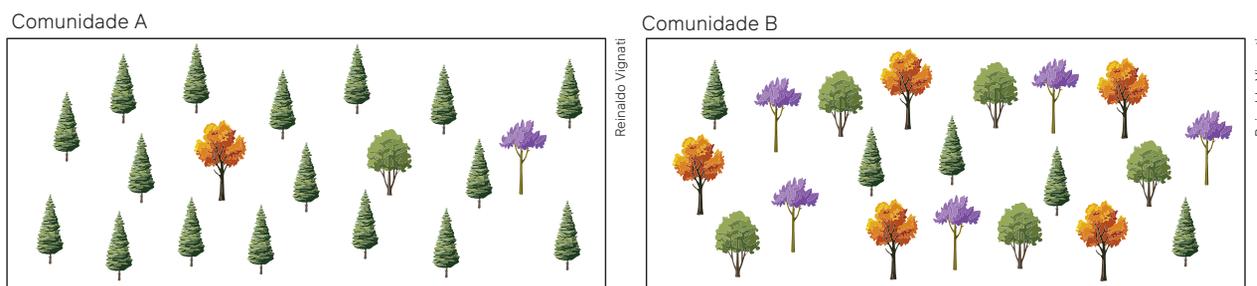
Trata-se do conjunto de populações de diferentes espécies que coexistem e interagem em um mesmo ambiente em determinado período. Recifes de corais são comunidades compostas de anêmonas, esponjas-do-mar, corais, algas, moluscos, peixes variados, entre tantas outras formas de vida que habitam esse ecossistema.



Alex Mustard/Nature/Fotoarena

Comunidade de seres vivos de um recife de coral caribenho. Parque Nacional Jardins da Rainha, Cuba, 2020.

As comunidades estão sujeitas a mudanças no tamanho e na abundância das populações no decorrer do tempo. É o que acontece, por exemplo, no Cerrado quando ocorre um evento de queima por fogo natural. Nesses eventos, indivíduos de diferentes espécies (animais, plantas, fungos) são removidos da comunidade. No entanto, com o passar do tempo, novos indivíduos colonizam esse espaço. Algumas espécies, inclusive, se beneficiam do impacto causado pelo fogo, como é o caso das sempre-vivas (família Eriocaulaceae), plantas conhecidas pela beleza de suas inflorescências. O fogo pode estimular a capacidade reprodutiva da maior parte de espécies dessa família de plantas, além de reduzir a vegetação do entorno que poderia competir por espaço e nutrientes. Veja a seguir um exemplo de duas comunidades hipotéticas de plantas com o mesmo número de espécies (riqueza de espécies). Na comunidade A, a abundância de uma espécie é maior em relação às demais; assim, pode-se dizer que tal comunidade tem baixa equitabilidade de espécies. Na comunidade B, a abundância das espécies é similar; assim, pode-se dizer que tal comunidade tem alta equitabilidade de espécies.



As duas comunidades hipotéticas de plantas têm o mesmo número de espécies, mas diferentes abundâncias relativas.

Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 363.

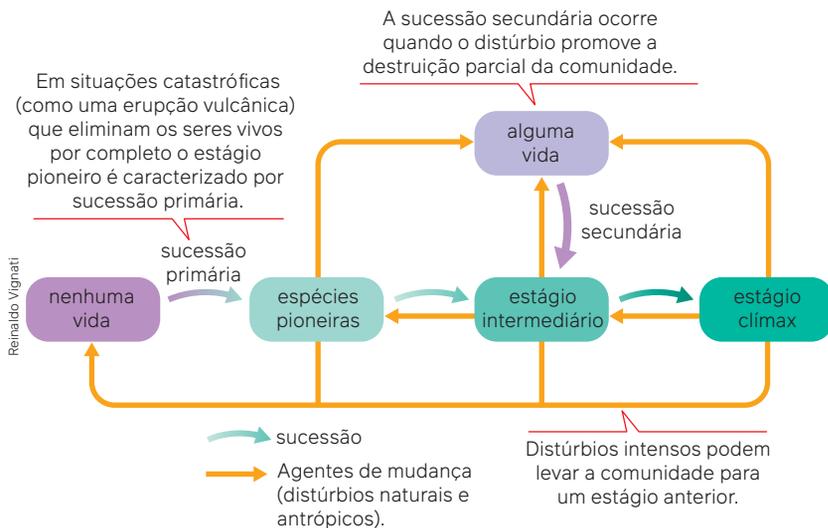
## Sucessão ecológica

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

A sequência de estágios de desenvolvimento de uma comunidade ao longo do tempo é denominada **sucessão ecológica**. Essa mudança é decorrente tanto de alterações no ambiente (físicas e químicas), quanto de interações de competição e coexistência que acontecem nas populações. São, portanto, mudanças que interferem no fluxo de energia, na estrutura das espécies e nos processos comunitários ao longo do tempo.

Por exemplo, uma nova clareira que se abre na floresta ou que se torna disponível para colonização – seja por um evento catastrófico como um vendaval, tempestade ou atividade vulcânica, seja pela ação humana, como uma área de pastagem abandonada ou construção de uma barragem – dá início a um novo processo de sucessão. A sequência total de comunidades que colonizam esse ambiente é chamada de **estágios de sucessão**. Dois importantes parâmetros podem ser utilizados para caracterizar esses estágios: a produtividade (P) e a taxa de respiração (R).

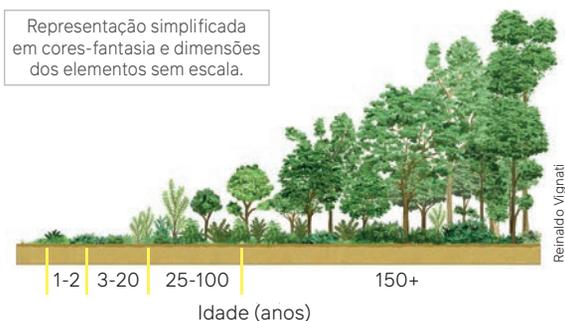
No início da sucessão, a área é ocupada por espécies pioneiras, normalmente organismos com altas taxas de crescimento, pequenos tamanhos, ciclos de vida curtos e alta produção e dispersão de sementes. São também espécies capazes de resistir a grandes estresses fisiológicos, já que o ambiente pode ser pobre em nutrientes e água, além de grande insolação. Chamamos esse estágio de **sucessão primária**, sendo o balanço entre produtividade e respiração dado pela seguinte relação:  $P > R$ .



Diferentes estágios sucessionais na comunidade.

Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 383.

Na **sucessão secundária**, uma comunidade se restabelece, resultando em uma configuração diferente da original, porém com riqueza e abundância de espécies semelhantes. Isso ocorre porque as espécies que sobreviveram à perturbação, além das sementes presentes no solo ou oriundas da dispersão, podem recolonizar a área e estabelecer interações similares às anteriores, embora a ordem e a proporção das espécies possam variar. O final da sucessão é chamado de estágio clímax, sendo o balanço entre produtividade e respiração dado pela seguinte relação:  $P = R$ .



(A) Área de Mata Atlântica desmatada. Santo Antônio do Pinhal (SP), 2015. (B) Área de Mata Atlântica em processo de regeneração. Santo Antônio do Pinhal (SP), 2017.

## Relações ecológicas

As relações ecológicas podem ser **intraespecíficas**, entre indivíduos da mesma espécie, ou **interespecíficas**, entre indivíduos de espécies diferentes. Essas relações influenciam a dinâmica populacional e a estrutura das comunidades, afetando a sobrevivência e a evolução das espécies envolvidas.

As comunidades ecológicas são estruturadas por relações ecológicas, que podem ser categorizadas em neutras (0), positivas (+) ou harmônicas e negativas (-) ou desarmônicas. Veja o quadro a seguir.

Tipos de relações ecológicas			
Tipo de interação	Espécie 1	Espécie 2	Natureza geral da interação
<b>Competição</b>	-	-	ambas as populações podem ser prejudicadas
<b>Amensalismo</b>	-	0	uma população é prejudicada e a outra não é afetada
<b>Mutualismo</b>	+	+	ambas as populações se beneficiam de sua associação
<b>Comensalismo</b>	+	0	uma população se beneficia e a outra não é afetada
<b>Parasitismo, predação e herbivoria</b>	+	-	uma população se beneficia e prejudica a outra

\* Neutros (0), positivos (+) e negativos (-)

Fonte: ODUM, E.; BARRET, G. W. *Fundamentos de Ecologia*. 5. ed. Ciudad de México: Cengage Learning Editores, 2008. p. 284.

## Competição

A **competição** é um tipo de interação (-/-) que ocorre quando indivíduos competem por um recurso que limita a sobrevivência e a reprodução. Os recursos podem ser alimentos, água, luz e espaço. Alimento, luz e água são exemplos de recursos necessários para a realização das atividades metabólicas dos organismos. O espaço ocupado também pode ser considerado um tipo de recurso. Por exemplo, no caso de organismos sésseis, o espaço é essencial para fixação e crescimento. Do ponto de vista da mobilidade, os organismos podem competir por melhores ambientes para caçar, abrigar-se ou atrair parceiros.

A competição pode ocorrer entre organismos da mesma espécie (intraespecífica), sendo um importante regulador do tamanho populacional: quanto maior a densidade de indivíduos, maior será a competição e maior a mortalidade. A competição frequentemente afeta mais um competidor do que o outro, determinando a abundância e a distribuição das populações de ambas as espécies.

Alterações no ambiente físico ou interação com outras espécies podem afetar o resultado de uma competição. A presença de perturbações periódicas, como a ausência ou a remoção de um competidor, possibilita que as populações com quem competiam persistam.

A braquiária é uma planta invasora e compete com plantas nativas por nutrientes do solo, luz e água. São João Batista do Glória (MG), 2020.

Tim Laman/NaturePL/Fotoarena



A ave-do-paraíso (*Parotia sefilata*) em ritual de acasalamento, no qual os machos competem por uma fêmea, realizando movimentos que no momento da corte alteram a disposição das penas.

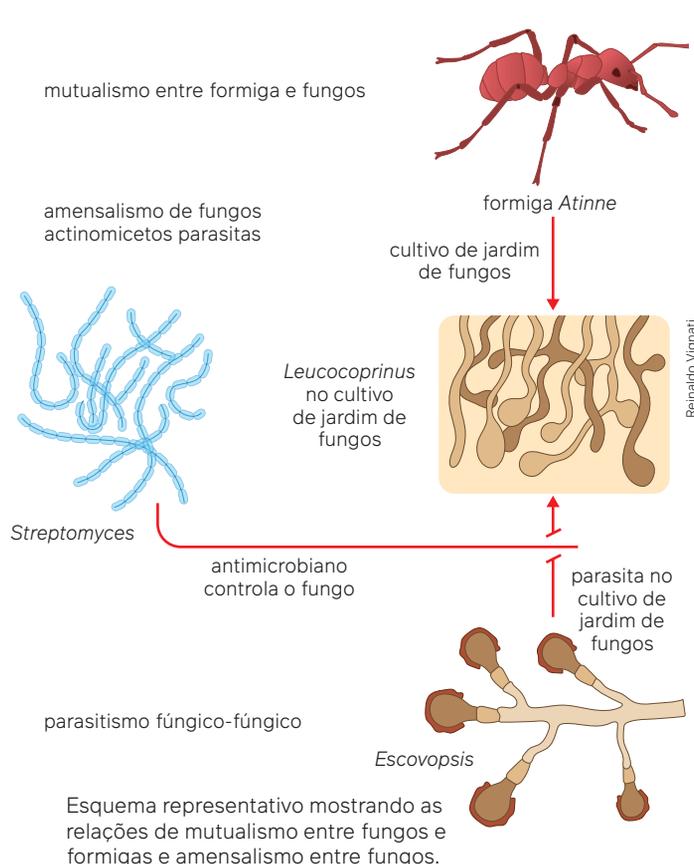


Thomas Vita Neto/Pulsar Imagens

## Amensalismo

O **amensalismo** é um tipo de interação em que uma espécie acarreta danos a outra sem quaisquer custos ou benefícios recebidos para si própria (-/0). Trata-se de uma relação assimétrica e unidirecional, que pode ocorrer pela liberação de um composto específico por um organismo que tem um efeito negativo sobre outro. Um exemplo clássico de amensalismo é a produção microbiana de antibióticos que podem inibir ou matar outros microrganismos suscetíveis. As formigas do gênero *Attine* têm por comportamento cultivar um jardim de fungos *Leucocoprinus* para sua própria alimentação, onde pode crescer uma bactéria do gênero *Streptomyces*, que produz um composto antimicrobiano inibidor do crescimento do fungo *Escovopsis*, que na ausência do antibiótico poderia dizimar seu jardim fúngico. Essa relação de amensalismo, que é maléfica para um dos fungos e indiferente para o outro, possibilita que a formiga mantenha uma colônia saudável e ativa.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



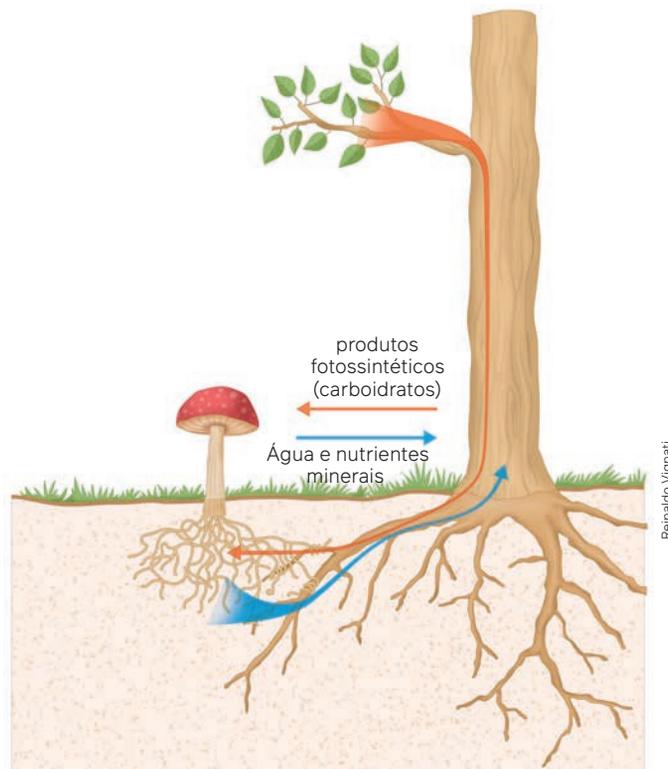
## Mutualismo e comensalismo

**Mutualismo** é um tipo de interação interespecífica que beneficia (+/+) ambas as espécies. São interações comuns na natureza, por exemplo, a digestão da celulose nos sistemas digestórios de cupins e mamíferos ruminantes que é realizada por microrganismos.

Insetos e aves que polinizam flores e dispersam sementes também são mutualísticos, tendo em vista que se beneficiam do néctar e nutrientes das flores e frutos, contribuindo para a reprodução e distribuição das plantas. Outra importante relação mutualística são as micorrizas, associações entre fungos e plantas. Nessa associação, a planta fornece carboidratos para o fungo, enquanto este fornece nutrientes limitantes, como o fósforo e o nitrogênio, para a planta. As micorrizas aumentam a capacidade das plantas de absorver água do solo e resistir a doenças e estresses ambientais, como a seca. Para que uma interação seja considerada um mutualismo, os benefícios para cada parceiro devem exceder os custos.

O **comensalismo** é uma interação entre espécies que beneficia apenas uma das espécies, mas não prejudica nem ajuda a outra (+/0). Assim como o mutualismo, são interações muito comuns, por exemplo, os cupins, que se alimentam de detritos deixados por outros organismos, sem afetá-los.

Outro exemplo são as aves que se alimentam de insetos perturbados pelo movimento de mamíferos ou animais herbívoros maiores. Na maioria das vezes, os herbívoros não são afetados pelas aves e até podem obter algum benefício quando, por exemplo, essas aves se alimentam de carrapatos e outros ectoparasitas presentes sobre a pele deles.



Esquema representativo das trocas de produtos fotossintéticos, água, nutrientes e sais minerais realizadas entre micorrizas (fungos) e plantas.

Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

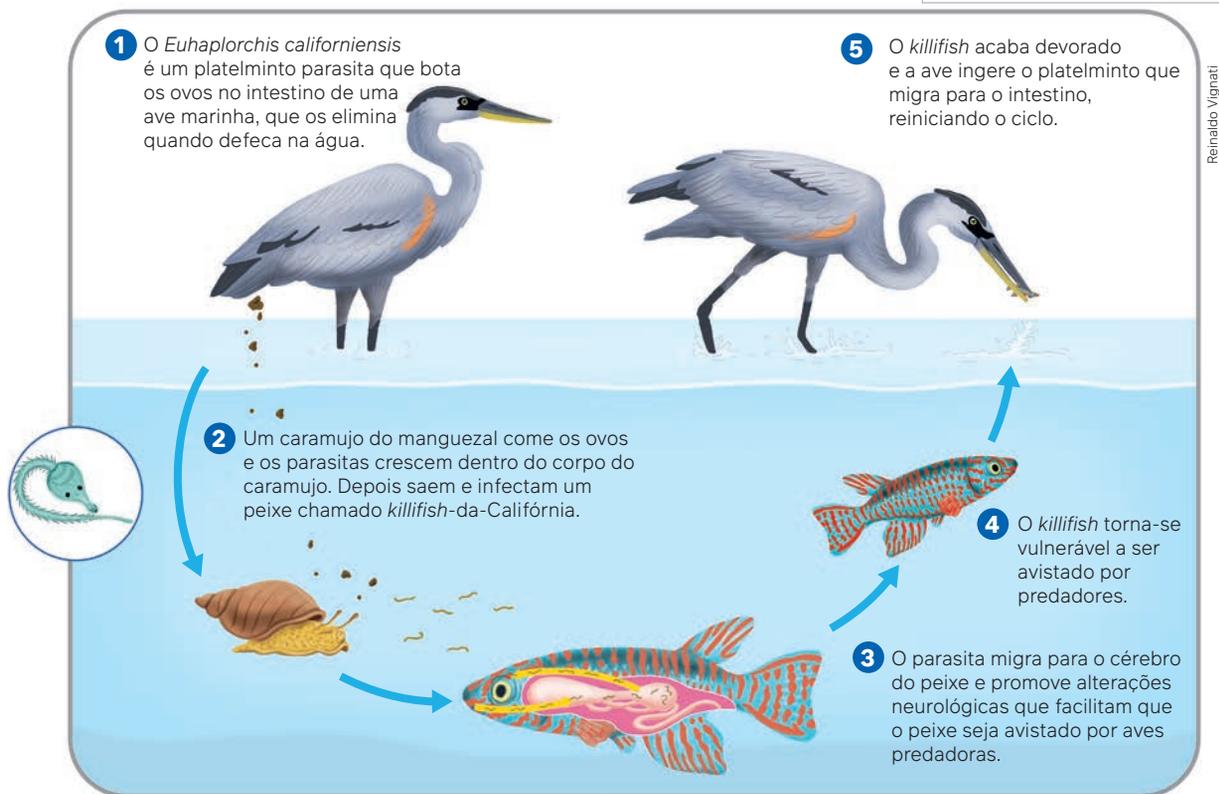
Epífitas são plantas que crescem sobre outras plantas, não apresentando nenhuma conexão interna com a planta. As plantas epífitas obtêm nutrientes e um ambiente de crescimento vantajoso, enquanto as árvores hospedeiras não são afetadas.



## Parasitismo, predação e herbivoria

Trata-se de interações (+/-) entre espécies na qual uma delas se alimenta da outra, afetando sua população de forma negativa. No **parasitismo**, os parasitas obtêm seus nutrientes de outros organismos, vivendo dentro ou fora deles. Tênia, carrapatos e piolhos são alguns exemplos de organismos parasitas. As estratégias dos parasitas são variadas. Tênia têm ventosas para aderir às paredes do intestino. Carrapatos e piolhos vivem fora dos organismos, ora aderidos, ora circulando no ambiente. Algumas vespas põem ovos sobre ou dentro de hospedeiros vivos, e as larvas que nascem se alimentam do corpo do hospedeiro até matá-lo. Interações como essa são mais comuns do que se imagina. Veja a seguir um exemplo dessas relações:

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Esquema do ciclo de vida do platelminto *Euhaplorchis californiensis*.

A **predação** ocorre desde grandes mamíferos a minúsculos animais, como os rotíferos que são visíveis apenas quando observados com auxílio de microscópio. Alimentar-se e evitar a predação são características essenciais para muitas espécies. Para os predadores, as adaptações são essenciais para sentir, perseguir, matar e capturar presas. Um exemplo é a harpia, uma águia de grande porte nativa das zonas tropicais da América. Essa ave de rapina localiza seu alimento, que pode incluir pequenos mamíferos e aves, utilizando uma combinação de visão aguçada e habilidades de voo. A harpia é conhecida por suas garras poderosas e sua capacidade de capturar presas grandes em relação ao seu tamanho corporal. Jarraracas-ilhoas, por sua vez, encontram suas presas com um par de órgãos sensíveis ao calor, localizados entre os olhos e as narinas.

Para quem é presa em potencial, é importante ter características que contribuam para que não sejam capturadas, como capacidade de se esconder no ambiente, fugir e viver em rebanhos ou cardumes. Alguns animais produzem substâncias tóxicas que afastam os possíveis predadores. É o caso dos dendrobates, anfíbios anuros coloridos encontrados nas florestas tropicais americanas, principalmente na Floresta Amazônica, cujas toxinas são utilizadas por povos indígenas nas pontas de suas flechas para caça. Animais com defesas químicas como essas geralmente exibem coloração vibrante, ou aposemática, que serve de alerta para que predadores potenciais também evitem tais presas de cores vivas.

A **herbivoria** ocorre quando animais se alimentam de algas e plantas diversas. Herbívoros podem ser de pequeno porte, como insetos, principalmente lagartas, gafanhotos e besouros até grandes mamíferos, como o peixe-boi-da-Amazônia que se alimenta apenas de algas, aguapés e capim aquático, chegando a pesar 300 kg. Algumas plantas possuem toxinas ou espinhos, que funcionam como defesa. Os herbívoros também possuem características – como o olfato, os sensores táteis e os dentes especializados – que os possibilitam avaliar se determinado alimento é palatável, tóxico ou não.



Uma harpia (*Harpia harpyja*) pronta para se alimentar de coelho.



1. Observe a imagem a seguir:



João Prudente/Pulsar Imagens

“Ilhas de solo” são áreas de topo de morros onde a vegetação típica do Alto Montana consegue se desenvolver, como a Amarílis, também conhecida por açucena (*Hippeastrum*). Serra do Lopo, Extrema (MG), 2010.

Uma leve depressão, desprovida de solo e plantas, se abre na rocha. Esse ambiente seria hostil para a maioria dos organismos. No entanto, organismos, como líquens e musgos adaptados à exposição ao vento, chuva e insolação, começam a crescer nesses ambientes. Inicia-se um processo de intemperismo na rocha que, com o passar do tempo, associado ao desenvolvimento e à decomposição dessas formas de vidas, formou-se uma pequena camada de solo, ainda pobre em nutrientes, mas que possibilita a fixação de outras espécies.

- a) A que processo o texto se refere?
  - b) Descreva a continuidade desse processo.
2. O controle biológico é uma estratégia que utiliza seres vivos, conhecidos como “inimigos naturais”, para regular populações de pragas agrícolas e insetos transmissores de doenças. Predadores que, geralmente, possuem uma ampla variedade de presas podem se adaptar facilmente a diferentes fontes de alimento. Por outro lado, os parasitas são mais especializados, já que dependem de uma ou poucas espécies hospedeiras para sobreviver. Suponha que você queira realizar o controle biológico de uma espécie invasora em seu jardim, qual tipo de controle biológico você utilizaria: parasitas ou predadores? Argumente sobre sua escolha.
  3. Liste exemplos de relações ecológicas que você conhece ou acompanha nas mídias. Reúna-se com três colegas para discutir essas interações e elaborar hipóteses sobre os fatores que influenciam suas dinâmicas. Apresentem as conclusões para a turma, ampliando o conhecimento sobre as interações entre espécies.

## Recapitule



Neste capítulo, foram apresentados os conceitos fundamentais para identificar as interações entre os seres vivos e o ambiente. Os mecanismos que influenciam no crescimento e na distribuição das populações foram abordados, considerando desde as taxas de natalidade e mortalidade até os processos de imigração e emigração. Os conceitos de abundância e densidade populacional foram estudados de modo que se compreenda a importância da utilização desses instrumentos como ferramentas para a pesquisa em Ecologia e conservação da biodiversidade. Os processos de sucessão ecológica foram apresentados evidenciando como as comunidades biológicas se desenvolvem e se modificam ao longo do tempo, promovendo, ainda, a reflexão sobre a taxa de respiração e produtividade. Para sistematizar o que você estudou, elabore um mapa conceitual incluindo os termos: populações, comunidades, interações ecológicas, sucessão ecológica e crescimento populacional.



Representação artística do bioma Pantanal e sua fauna diversa e flora exuberante.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são as reais.

## ▼ Para refletir

1. Converse com os colegas sobre a imagem de abertura. Quais seres vivos representados na imagem vocês conhecem? O que eles estão fazendo? Como é o ambiente em que eles vivem?
2. O que está mal representado? Se pudessem mudar a ilustração, o que fariam? Por quê?
3. Considerando os níveis de organização da vida que você conhece, qual nível está representado na imagem?
4. De que maneira os organismos desta imagem se relacionam uns com os outros e com o ambiente físico?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Reconhecer componentes dos ecossistemas, como clima, circulação atmosférica, solo e água, além de sua relação com os seres vivos.
- Descrever os ecossistemas terrestres e aquáticos a partir de padrões e relações entre os componentes abióticos e bióticos.
- Reconhecer como atividades antrópicas podem afetar a função e estrutura dos ecossistemas e biodiversidade.
- Investigar e socializar informações acerca de diferentes biomas brasileiros quanto aos seus ambientes físicos, representantes da biodiversidade e ameaças.
- Investigar variações na diversidade e densidade de animais em diferentes tipos de solo.

# Sistemas adaptativos complexos

Os organismos se mantêm vivos por meio de processos biológicos que monitoram as condições internas, como a umidade, temperatura e acidez, e fazem os ajustes necessários para manter um estado de equilíbrio interno, um nível de controle que denominamos **homeostase**. Uma importante função homeostática é a remoção de substâncias nocivas do organismo, por exemplo, a troca de gases que os animais pulmonados realizam com a atmosfera, o que promove a eliminação de gás carbônico, uma substância tóxica para esse tipo de célula. Basta um aumento de concentração de gás carbônico interno para haver, no organismo, um estímulo para tornar a respiração mais rápida e profunda, removendo o gás carbônico até que a concentração retorne a uma situação de equilíbrio. Chamamos esses tipos de controle de *feedbacks*, reações a estímulos, ou efeitos retroativos.

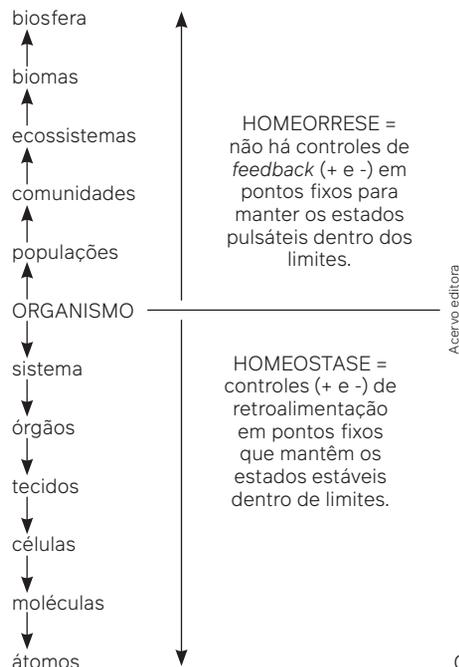
Os controles por *feedback* ocorrem no nível de átomos a organismo, exercendo regulação genética, hormonal e neuronal. Acima do nível de organismo, os controles são menos precisos e resultam em estados variáveis, ou **homeorrese**. Em outras palavras, nos níveis de população e acima dele, não há controles em pontos estáveis como os *feedbacks*, mas ocorre um equilíbrio dinâmico e complexo, que é pulsátil e caótico. Pulsátil, pois existem padrões de aumento e diminuição de certos eventos ou fenômenos no decorrer do tempo; caótico, pois esses padrões podem ser afetados por uma série de fatores que tornam o sistema imprevisível. Isso pode ser observado, por exemplo, em populações de animais que experimentam flutuações periódicas em seus números, mas também são influenciados por uma variedade de fatores ambientais e ecológicos que podem levar a mudanças imprevisíveis nessas populações ao longo do tempo.

Outro exemplo de equilíbrio dinâmico é a variação de concentração de gás carbônico na atmosfera na evolução do planeta, que sempre interferiu na temperatura da Terra e no nível dos mares. Tal variação está sujeita, entre outras questões, ao sequestro de carbono pelos organismos fotossintetizantes. O sequestro de carbono é o processo pelo qual plantas, algas e outros organismos fotossintetizantes absorvem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera e o utilizam para a produção de energia e crescimento. Além disso, as recentes **atividades antrópicas**, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, têm alterado significativamente as dinâmicas do clima global e dos ecossistemas, direcionando essas mudanças para uma situação que pode ser irreversível para a sobrevivência de parte da vida no planeta.

## GLOSSÁRIO

### atividades antrópicas:

atividades realizadas pelos seres humanos e que têm um impacto no meio ambiente. Exemplos incluem a agricultura, a urbanização, a exploração de recursos naturais, a poluição atmosférica e da água, o desmatamento e a introdução de espécies não nativas em ecossistemas.



Homeorrese, homeostase e níveis de organização biológica.

Fonte: ODUM, E. P.; BARRET, G. W. *Fundamentos de ecologia*. 5. ed. Ciudad de México: Cengage Learning Editores, 2008. p. 6.

## #FicaADica

**Nosso planeta**, Silverback Films, 2019. A série documental traz, em oito episódios, imagens da natureza ao redor do mundo. Narrada pelo ambientalista David Attenborough, a produção traz uma temática diferente a cada episódio, mostrando a vida no gelo, em florestas tropicais, no oceano, no deserto, e muito mais. A obra foca também nas mudanças climáticas, mostrando o quanto a vida de diferentes organismos está ameaçada, sobretudo pelas atividades antrópicas.

Podemos definir um **sistema** como sendo um conjunto de elementos que se relacionam entre si de maneira ordenada e contribuem para determinado objetivo. Os sistemas dinâmicos, com seus componentes e fluxos, estão sujeitos às interações entre organismos, e destes com o ambiente, moldando e limitando a biodiversidade no tempo e espaço. Essa rede dinâmica de interações, aliada ao comportamento imprevisível de seus componentes, que se adapta a um ambiente em constante mudança, pode ser definida como um **sistema adaptativo complexo**.

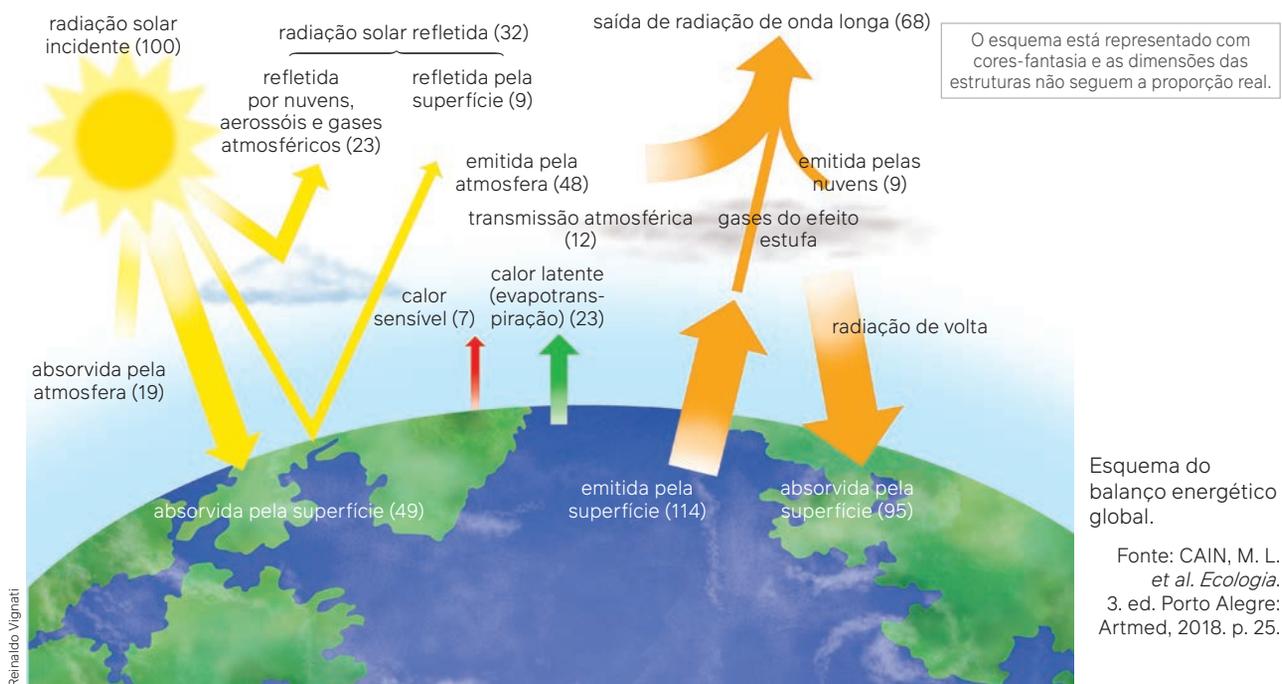
Quando nos referimos aos **ecossistemas**, estamos falando de sistemas caracterizados pela interação e interdependência entre componentes **abióticos** e **bióticos**. Os componentes abióticos de um ecossistema são os fatores ambientais, como temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes, luminosidade, composição química do solo, entre outros; enquanto os bióticos são todas as formas de vida que habitam, interagem entre si e com os componentes abióticos de um ecossistema. Os componentes abióticos e bióticos estão interligados em redes complexas de interações, o que ocorre por meio da obtenção e fluxo de energia e ciclo da matéria, garantindo estabilidade e autossuficiência ao sistema, independentemente de sua dimensão.

As interações entre os componentes de um ecossistema, como o fluxo de energia e o ciclo da matéria, podem ser observadas em pequenas escalas (a relação entre bromélias-tanque e seus habitantes) e em escalas maiores (interações entre organismos oceânicos). Uma das interações mais representativas dos ecossistemas são as cadeias alimentares, que mostram a transferência de energia dos produtores (geralmente plantas) para os consumidores primários (herbívoros), depois para os consumidores secundários (carnívoros que se alimentam dos herbívoros) e assim por diante.

Para explorar a fundo a classificação dos ecossistemas, é importante identificar alguns elementos e processos determinantes para a dinâmica dos fenômenos ecológicos, como o clima, circulação atmosférica, radiação solar e composição química do ar, solo e água.

## Clima e circulação atmosférica

A temperatura média da Terra decorre de um equilíbrio entre os ganhos de energia provenientes da radiação solar e as dissipações de energia. Parte da radiação solar é absorvida pela superfície terrestre, e parte é refletida por nuvens, aerossóis e gases atmosféricos. A transferência de energia também ocorre por movimentos de correntes de ar e água e por evaporação da água, ou fluxo de calor latente, mas nem tudo que é emitido ou refletido se perde, uma vez que os gases do efeito estufa absorvem e irradiam de volta a radiação infravermelha para a superfície. Veja o infográfico a seguir sobre esse balanço energético.

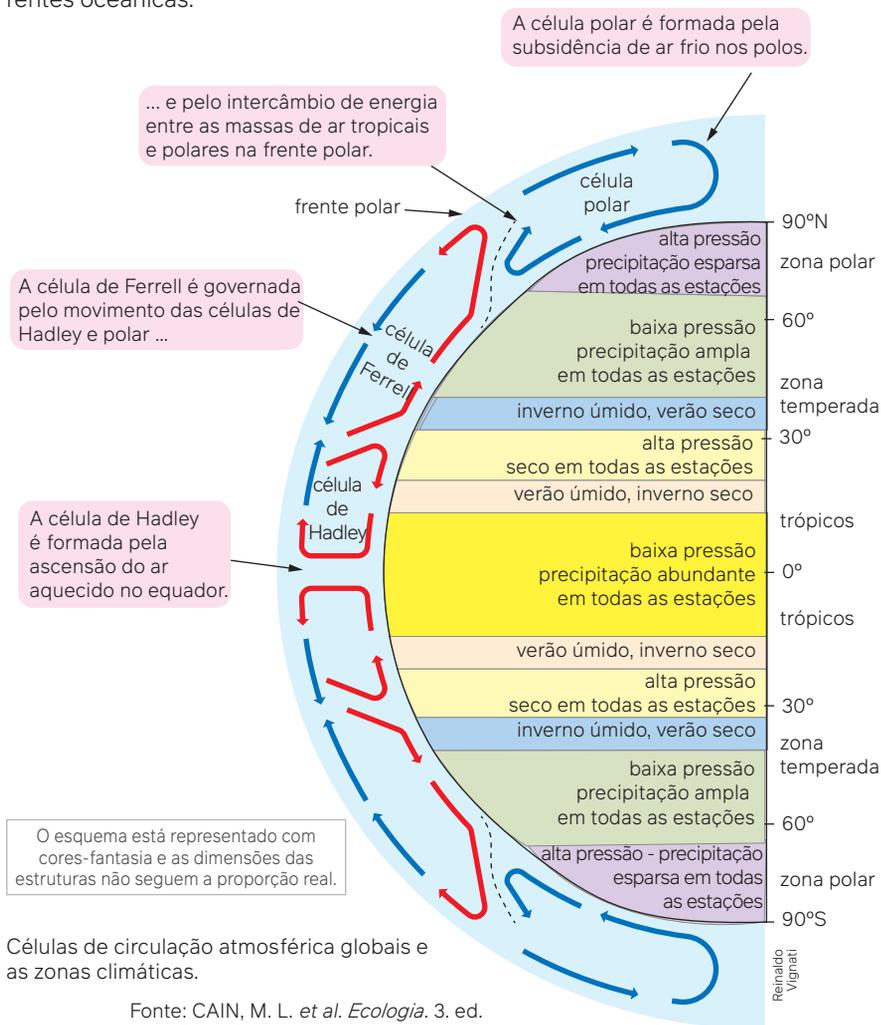


Observe que a espessura das setas no infográfico está relacionada aos valores de energia daquele respectivo fenômeno: quanto maior a espessura, maiores os valores; já quanto mais finas as setas, menores os valores. Outro ponto importante é a direção da seta que conecta a fonte ao potencial destino daquele fluxo de energia, indicando qual é a direção desse fluxo. Nesse infográfico, as cores foram utilizadas para agrupar fluxos de energia relacionados aos fenômenos mais conectados.

## Saiba mais

O **efeito estufa** ocorre quando gases na atmosfera, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e vapor de água, retêm parte do calor irradiado pela superfície terrestre, aumentando a temperatura da superfície. Sem o efeito estufa, a Terra seria muito fria para sustentar a vida como a conhecemos. Contudo, atividades antrópicas têm aumentado a concentração desses gases na atmosfera, intensificando o efeito estufa. Esse aumento provoca o aquecimento global, resultando em mudanças climáticas adversas, como elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos e impactos na biodiversidade.

O **clima** é determinado pelas variações diárias e sazonais de temperatura e precipitação, que resultam das mudanças na radiação solar. Essas mudanças ocorrem devido aos movimentos de rotação e translação da Terra e à inclinação do eixo terrestre. Outros fenômenos que resultam de diferenças na radiação solar ao longo da superfície terrestre – e, por consequência, interferem na dinâmica dos ecossistemas – são a luminosidade, os ventos e as correntes oceânicas.



Células de circulação atmosférica globais e as zonas climáticas.

Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 27.

nas células de circulação atmosférica, determinando o padrão de ventos predominantes na superfície terrestre e, por consequência, na delimitação de zonas climáticas. Tais condições fazem dos trópicos uma região de baixa pressão e com precipitação abundante em todas as estações do ano, o que garante grande abundância de água, diferente de outras regiões do planeta.

A incidência de luz solar é maior na linha do equador, e menos variável ao longo do ano que em outras regiões. Conforme nos afastamos em direção aos polos, a incidência solar vai diminuindo, e isso interfere nos componentes bióticos dos ecossistemas distribuídos no planeta. Ambientes com maior disponibilidade de luz são considerados mais produtivos porque a maior incidência de luz aumenta a atividade fotossintética, permitindo que mais formas de vida prosperem. Essa condição também contribui para a formação de massas de ar mais quentes. Por serem menos densas, as massas de ar quente ascendem, abrindo espaço para massas de ar mais frias ocuparem a superfície, gerando ciclos de massas de ar quente/fria que se movimentam nas diferentes latitudes do planeta.

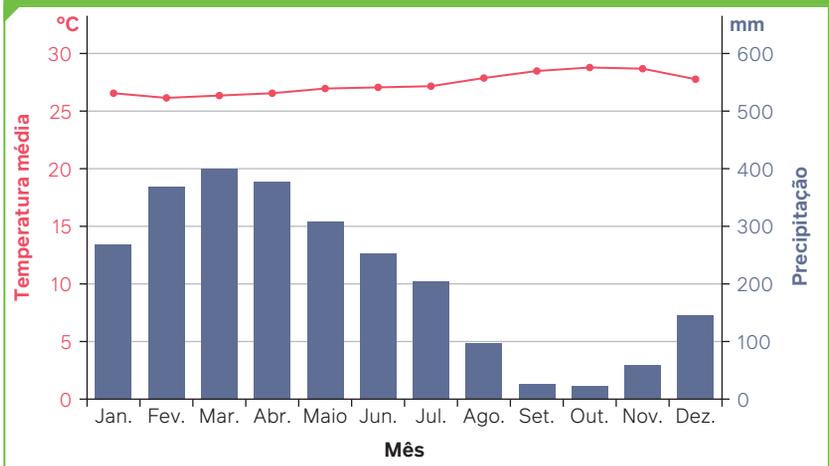
É bom lembrar que a maior parte da superfície do planeta é coberta por oceanos, e que a diferença na capacidade calorífica entre os oceanos e continentes também interfere

## Se liga

Infográficos como esse nos ajudam a compreender certos padrões climáticos no planeta, mas ocorrem variações regionais e locais a depender do tipo de relevo próximo, quantidade de massa de ar, proximidade dos polos e trópicos, salinidade e acidez dos oceanos, concentração de oxigênio, perturbações antrópicas etc.

A periodicidade das variações ambientais compõe o que chamamos de **estações**. Ao longo da Linha do Equador, a incidência de radiação solar varia pouco ao longo do ano. É o caso da cidade de Macapá (AP), onde a variação de temperatura é baixa e podem ser distinguidos dois tipos de estações anuais: uma seca (de julho a dezembro) e outra chuvosa (de janeiro a junho). Já em regiões temperadas, geralmente é possível identificar quatro estações, com maior variação de temperatura, quando comparada com as regiões tropicais.

### Médias dos valores de temperatura (em °C) e de precipitação (em mm) na cidade de Macapá (AP), registradas entre 1991 e 2020



Renan Oracic

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Gráfico climatológico*. [S. l.]: INMET, [20--]. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/AP/82098>. Acesso em: 9 set. 2024.

Andre Dib/Pulsar Imagens



Tarcisio Schneider/Pulsar Imagens

Vista de drone da praia fluvial Ilha do Amor no Rio Tapajós, mostrando a paisagem durante o período de cheia em agosto e durante a forte estiagem em outubro, quando a praia emerge, transformando completamente o cenário. Santarém (PA), 2023.

Além das variações de longo prazo, o clima também deve ser caracterizado por sua variabilidade a curto prazo. Ambientes como desertos, por exemplo, têm variações de temperatura diárias que podem superar os 50 °C, limitando muito as formas de vida que podem ocorrer ali.

## Se liga

O clima da Terra oferece condições de temperatura que podem variar dos -89,2 °C da Antártida aos 56,7 °C do deserto do Mojave, na Califórnia, mas a temperatura média da superfície do planeta gira em torno de 14 °C, uma temperatura favorável à existência de vida.

É importante destacar a diferença entre clima e tempo: enquanto o tempo refere-se às condições atmosféricas em curto prazo, geralmente variando de horas a alguns dias, como a temperatura, a precipitação e o vento em um dia específico, o clima representa o padrão dessas condições ao longo de um período mais longo, geralmente de 30 anos ou mais.

O clima também é influenciado pela altitude, diminuindo cerca de 1 °C a cada 200 m de altitude, provocando também alteração no regime de chuvas. Por este motivo, regiões montanhosas, ainda que próximas à Linha do Equador, possuem baixas temperaturas e, em alguns casos, neve – como ocorre com o Nevado Huascarán, no Peru, e o Monte Kilimanjaro, na Tanzânia. Outra questão que deve ser levada em consideração quando pensamos no clima é o tempo geológico. Foram necessários bilhões de anos para que a Terra atingisse o padrão climático atual, tendo passado por diversas variações climáticas com períodos de aquecimento e resfriamento, que influenciaram na distribuição das populações e comunidades que habitaram o planeta.



## Hibernação e torpor

Leia o texto a seguir sobre os estados de torpor e hibernação, ampliando sua percepção a respeito da diversidade de respostas das espécies às variações ambientais. Em seguida, responda às questões propostas.

[...] Alguns animais dão uma resposta extraordinária às alterações ambientais – a hibernação. A hibernação é um conjunto de estratégias fisiológicas escolhidas para enfrentar um ambiente muito hostil e adverso, como grandes mudanças de temperatura, falta de comida ou de água. Em geral, o estado de hibernação se caracteriza por uma diminuição da temperatura do corpo, decréscimo da pulsação e da pressão arterial, diminuição do metabolismo e de toda a atividade do animal. A palavra hibernação vem do latim *hibernare*, que significa ‘passar o inverno’.

[...]

A hibernação de animais de sangue frio (peixes, répteis e anfíbios) é chamada de brumação. Ao contrário dos animais de san-

gue quente (que, antes de hibernarem, se empanturram de alimentos), eles não precisam se alimentar antes de brumar. Quando está muito frio, colocam-se em um lugar que tenha sol, abaixam a temperatura corporal aproximando-a da temperatura ambiente, diminuem o ritmo metabólico, a respiração e as batidas cardíacas. Se está muito quente, as alterações fisiológicas se repetem, só que desta vez, o animal procura um lugar fresco e à sombra. Este último caso também é chamado de estivação. Entre exemplos de animais que brumam estão algumas espécies de serpentes, tartarugas, jacarés, sapos, peixes, abelhas e até o pequeno caracol.

Entre os animais endotérmicos que hibernam, o destaque fica para os mamíferos, principalmente aqueles de pequeno porte. São esquilos, morcegos, porcos-espinhos, gambás e marmotas. Estas últimas, famosas por, supostamente, conseguirem prever se o próximo inverno será muito rigoroso ou não, hibernam por 5 meses. Neste período perdem um quarto do seu peso, diminuem seus batimentos cardíacos de 100 para apenas 10 batimentos por minuto e sua temperatura corporal de 37 para apenas 2 graus Celsius!

Quando falamos em hibernação, a imagem imediata que nos vem à cabeça é a de um urso. Essa é uma percepção comum – o urso como modelo de hibernação. É, porém, equivocada. Hoje, a maioria dos biólogos prefere caracterizar como torpor! Isto porque a temperatura corporal dos ursos cai apenas 5 °C durante a “hibernação” e as batidas cardíacas diminuem de 50 para 20 por minuto (muito pouco quando comparamos, por exemplo, com a marmota). Os ursos são animais enormes (que pesam entre 400 e 700 kg) e muito fortes – a mordida de um urso pardo pode esmagar uma bola de boliche. Antes do inverno eles precisam engordar muito (cerca de 1,5 kg por dia!) para queimar calorias durante a dormência. Mas, é uma obesidade saudável. Saem do inverno bem “fit”, com um peso 30 % menor.

O único primata conhecido que hiberna é um lêmure anão encontrado na ilha de Madagascar [...]. Sua temperatura corporal, que é de 37 °C diminui para 16 °C. Seu batimento cardíaco despenca de 180 para apenas 8 batidas por minuto. Eles podem hibernar por até 7 meses!

[...]

ONODY, R. N. Hibernação, torpor e sono – Distinguir os animais que hibernam daqueles que passam por um estado de torpor diário. *Instituto de Física de São Carlos*, São Carlos, 23 maio 2022. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/hibernacao-torpor-e-sono-distinguir-os-animais-que-de-fato-hibernam-daquelles-que-passam-por-um-estado-de-torpor-diario/>.

Acesso em: 23 jun. 2024.



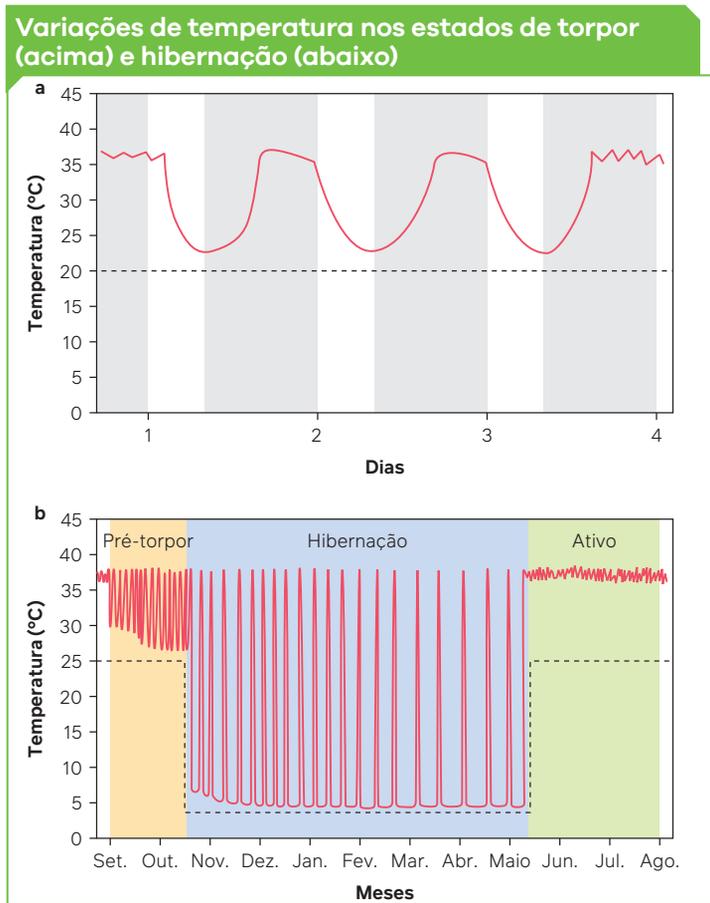
O teiú é um animal nativo da América do Sul que hiberna.

Gerson Gerloff/Pulsar Imagens

## Trocando ideias



1. Observe os gráficos a seguir:



- a) Diferencie os estados de torpor e hibernação quanto aos estímulos e mudanças fisiológicas.
- b) Como esses parâmetros se alteram para que as espécies adentrem aos estados de torpor e hibernação?
- c) Quais tipos de variação de temperatura observadas nos gráficos diferenciam os estados de torpor e hibernação? Comente com colegas.
- d) Como a compreensão da hibernação e suas adaptações fisiológicas em diferentes espécies pode inspirar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias para enfrentar desafios ambientais e de saúde humana?
- e) Quais são os potenciais impactos das mudanças climáticas e da degradação ambiental na capacidade dos animais de hibernar e brumar? Como isso pode afetar os ecossistemas e a biodiversidade em geral?

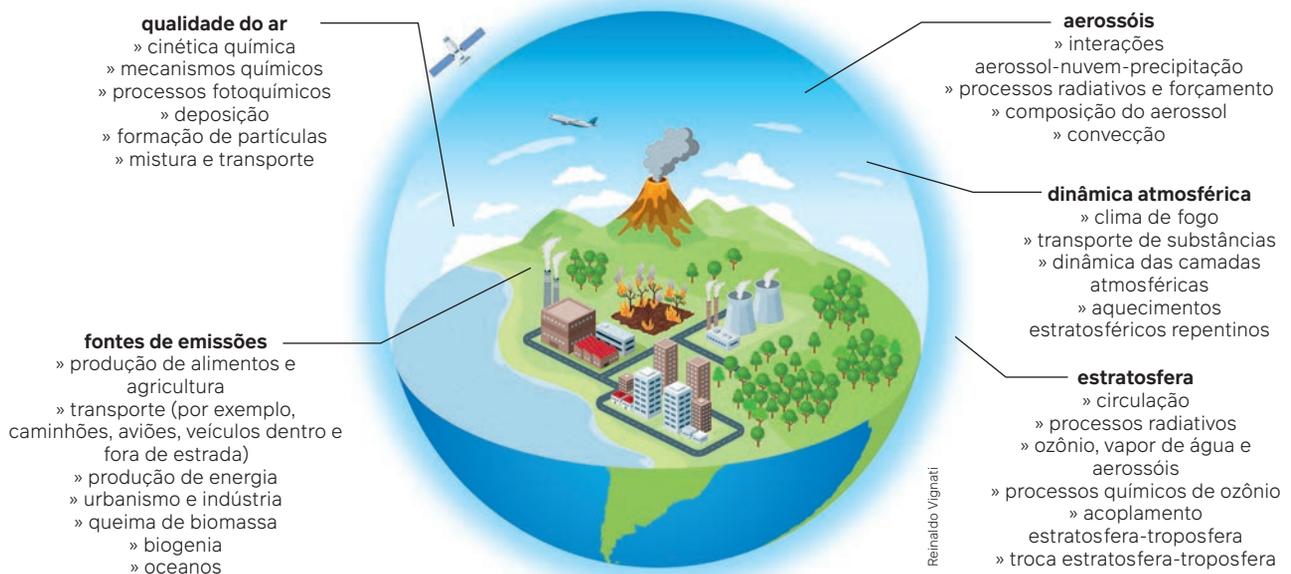
## #FicaADica

**Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Site em que é possível encontrar informações acerca dos fenômenos atmosférico-oceânicos *El Niño* e *La Niña*, entre outros. Esses fenômenos são decorrentes de mudanças na temperatura do Oceano Pacífico e impactam de forma significativa o clima mundial, uma vez que alteram os indicadores de temperatura e precipitação. No Brasil, o fenômeno *El Niño* provoca secas nas regiões Norte e Nordeste e maior volume de chuva na região Sul; já o *La Niña* favorece a formação de chuvas nas regiões Norte e Nordeste e secas na região Sul. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/#>. Acesso em: 26 jun. 2024.

**Pesquisa Fapesp: Dança da chuva**, de Maria Guimarães, dez. 2014. Reportagem sobre os rios voadores, que aborda como a floresta Amazônica regula o clima de boa parte do continente sul-americano. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/danca-da-chuva/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

## Composição química do ar, solo e água

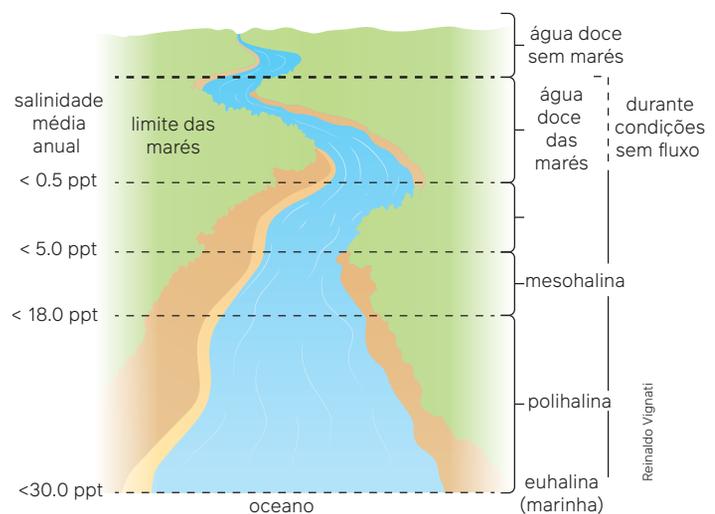
Os organismos estão imersos em uma rede complexa de compostos químicos. A composição química do ar é uma mistura complexa de gases, incluindo principalmente nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ), argônio (Ar) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), junto de pequenas quantidades de outros gases, como hélio (He), neon (Ne), metano ( $CH_4$ ), ozônio ( $O_3$ ). A proporção específica de cada componente pode variar ligeiramente dependendo de fatores como altitude, localização geográfica, condições climáticas e biodiversidade, influenciando diretamente a respiração, fotossíntese e equilíbrio térmico dos ecossistemas. Outros fatores que interferem na composição química do ar estão descritos no infográfico.



Infográfico que ilustra a complexa interação entre a química atmosférica e o clima, destacando diversas fontes de emissão e seus impactos.

Fonte: ATMOSPHERIC Chemistry & Climate Research at the NOAA Chemical Sciences Laboratory. CSL-NOAA, Boulder, [20-]. Disponível em: <https://csl.noaa.gov/research/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

A água é um dos fatores abióticos que mais impactam os processos biológicos dos seres vivos, uma vez que tanto o composto em si quanto substâncias dissolvidas nele participam de inúmeros processos metabólicos celulares. A **salinidade** deriva da variação dos compostos iônicos dissolvidos na água, que são provenientes de fontes como erupções vulcânicas e decomposição mineral. A salinidade de um ambiente varia em decorrência de processos de aporte de água (derretimento de gelo marinho e regime de precipitação), da taxa de evaporação da água e do aporte de sais (provenientes da precipitação e decomposição mineral). A salinidade é medida pela quantidade de sais dissolvidos na água, geralmente sendo expressa em partes por trilhão (ppt) ou porcentagem (%). Observe, no infográfico, a variação de salinidade em uma região estuarina, sujeita à influência da entrada de água marinha pelo regime de marés e de água doce trazida pelos rios.



A salinidade estuarina aumenta lentamente à medida que nos afastamos das fontes de água doce e nos aproximamos do oceano.

Fonte: MEASURING Salinity of Water. *Horiba*, Quioto, 28 out. 2016. Disponível em: <https://www.horiba.com/deu/water-quality/applications/water-wastewater/measuring-salinity-of-water/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

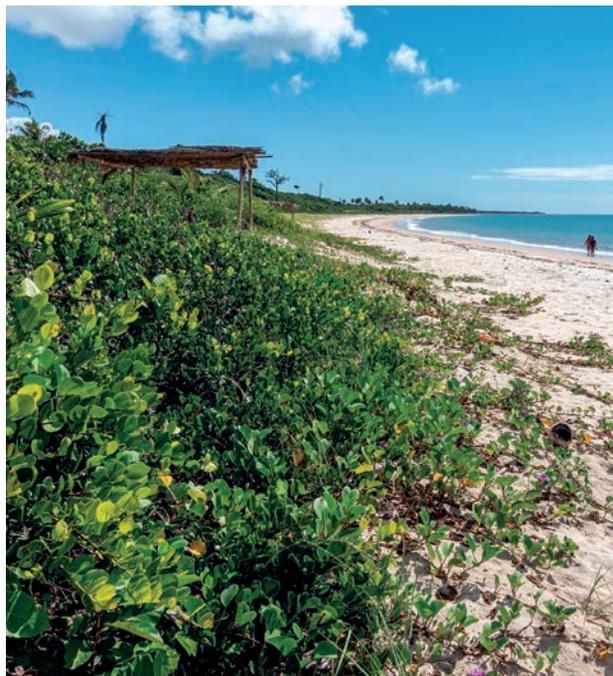
As representações desta página são simplificadas e os elementos estão em cores-fantasia e sem escala.

O **solo** é o substrato para fixação e obtenção de nutrientes por organismos produtores (fotossintetizantes) e serve como ambiente de vida para uma série de microrganismos e animais. A composição química do solo, sua estrutura, padrões de drenagem e relevo variam, afetando diretamente os tipos de organismos que se desenvolverão nesse ambiente. Cada tipo de solo possibilita a colonização por um grupo de seres vivos. Algumas espécies de plantas possuem adaptações que lhes permitem viver, por exemplo, em ambientes rochosos, desenvolvendo suas raízes em frestas de afloramentos, em solos ácidos, pobres em nutrientes, originando uma fitofisionomia chamada de **campo rupestre**. Outras plantas estão adaptadas a sobreviver em solos arenosos, pobres em nutrientes, ácidos e com alta concentração de sais, como os solos das restingas.

Luciana Whitaker/Pulsar Imagens



Afloramentos rochosos com predominância de vegetação herbácea. Matias Cardoso (MG), 2022.



Luciano Queiroz/Pulsar Imagens

Vegetação herbácea sobre dunas. Prado (BA), 2024.

A interação do solo com os organismos vivos não se restringe à fixação e provisão de abrigo e nutrientes. Os organismos vivos são fatores de formação de solo, ou seja, ele é continuamente alterado pelos organismos vivos, seja causando fissuras que contribuem para o intemperismo, seja alterando sua composição química.

A **acidez** e a **alcalinidade** da água e do solo também influenciam diretamente a atividade metabólica e a disponibilidade de nutrientes para os organismos. Nos oceanos, esses parâmetros são relativamente estáveis por causa da composição química da água. No entanto, o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  está levando à acidificação dos oceanos, reduzindo a disponibilidade de carbonato de cálcio, o que afeta negativamente os organismos marinhos que dependem desse composto para construir suas conchas e esqueletos, como corais, moluscos e alguns tipos de plâncton. Em ecossistemas terrestres e de água doce, as variações são mais comuns, sendo influenciadas pela composição das rochas, decomposição de matéria orgânica e emissões de poluentes ácidos decorrentes das atividades antrópicas.

Ainda, as formas de vida terrestres estão imersas em uma camada de ar (atmosfera) que, além de impactar o clima global, também afeta diretamente a fisiologia dos seres vivos. A maioria dos organismos requer oxigênio para seus processos metabólicos, no entanto, algumas bactérias e arqueias vivem em ambientes sem oxigênio, que são tóxicos para a maioria das formas de vida do planeta. A concentração de oxigênio na atmosfera tem permanecido estável em cerca de 21% nos últimos 65 milhões de anos, embora diminua com a altitude. Em ambientes aquáticos e solos, as concentrações de oxigênio variam, sendo mais baixas em ambientes profundos e alagados, mas mais altas em ecossistemas de água doce com correntes.

## GLOSSÁRIO

**acidez:** refere-se à concentração de íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) em uma solução, que determina o pH. Uma solução com um pH abaixo de 7 é considerada ácida.

**alcalinidade:** refere-se à capacidade de uma solução de neutralizar ácidos, que está relacionada à concentração de íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ). Uma solução com um pH acima de 7 é considerada alcalina ou básica.



## A fauna do solo

Nesta atividade, será analisada a fauna do solo, ou fauna edáfica, classificada em três grupos: microfauna, mesofauna e macrofauna. Essas formas de vida contribuem para ciclagem de nutrientes, trocas gasosas e sustentam as cadeias alimentares, agindo diretamente na integridade física, química e biológica do solo.

Esta atividade é composta de dois momentos: coleta de material em campo e análise em sala de aula.

### Material:

- folha de papel A4;
- luvas e pá de jardinagem;
- sacos plásticos;
- fita adesiva e caneta;
- um copo;
- peneira com funil;
- álcool 70%;
- pinças;
- fonte de luz (lâmpada 40W);
- lupas;
- pratinhos;
- balança.

### Procedimento

1. Dividam-se em grupos de cinco estudantes, de maneira que cada grupo seja responsável pelo estudo de uma área com vegetação: uma praça, um bosque, um parque, uma mata ciliar ou uma área florestal qualquer.
2. No ambiente escolhido, caso haja folhas, frutos e sementes sobre o solo (serrapilheira), façam a coleta desse material, delimitando a área no formato de uma folha de papel A4. Coloque o material em um saco plástico, e anotem o local de coleta. Em seguida, colete uma amostra do solo dessa área, não ultrapassando 5 cm. Arma- zene a amostra de solo em outro saco plástico também identificado.
3. Em sala de aula, para a análise da serrapilheira, pesem o material coletado. Com pinças ou luvas, vasculhem o ma- terial e identifiquem a diversidade de tipos de folhas e as condições de decomposição do material (inteiros, pela metade, em pedacinhos, esfarelados). Coletem com a pinça os animais encontrados e disponham-nos em prati- nhos; observem com a lupa e elaborem ilustrações. Com um guia de identificação de fauna edáfica, identifique-os.
4. Para a análise das amostras de solo, será improvisado um funil de Berlese. Previamente, preparem um suporte para colocar a lâmpada, que será posicionada sobre o material coletado.
5. Análise do solo: observem e registrem a textura, a umidade, a cor e a presença de partículas de matéria orgânica. Adicio- nem uma amostra de solo na peneira com funil e posicionem sobre um copo com álcool 70%. Mantenham a lâmpada acesa sobre a amostra por 24 horas. O propósito desta técnica é afugentar os animais do calor e da luz, que cairão no álcool. No dia seguinte, colem os animais do copo com álcool, ob- servem com auxílio da lupa e os identifiquem.
6. Elaborem um relatório final, destacando o ambiente em que as amostras foram coletadas, as condições da serrapilheira e do solo, a quantidade e a diversidade de animais encontrados na ser- rapilheira e no solo. Procurem relacionar os animais identificados.
7. Apresente seu resultado aos outros grupos, assista à apresentação dos demais e juntos elaborem uma tabela coletiva com os resultados de cada um. Depois, responda às perguntas do Trocando ideias.



Representação esquemática do funil de Berlese.

Reinaldo Vignati

### Trocando ideias

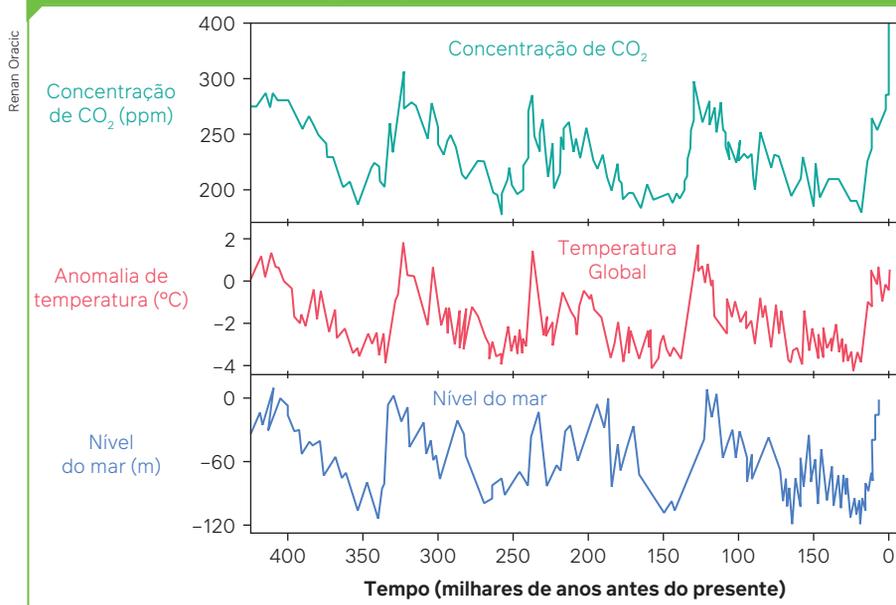


1. Que animais foram encontrados na sua pesquisa? Onde foi localizada a maior diversidade e quantidade, no solo ou na serrapilheira?
2. Dos ambientes pesquisados pela turma, qual apresentou maior diversidade de animais? E maior densidade?
3. De acordo com os resultados encontrados, elaborem hipóteses para explicar as diferenças e semelhanças observadas.
4. Considerando as discussões com os demais grupos, o que poderia ser melhorado em relação à metodologia utilizada?



1. Analise os gráficos a seguir, que apresentam variações nas concentrações de CO<sub>2</sub>, temperatura global e nível do mar no decorrer de milhares de anos. Quais relações podem ser estabelecidas entre as curvas do gráfico? Discuta com os colegas.

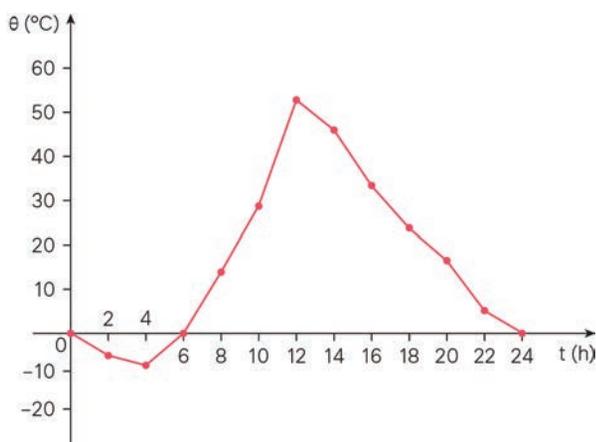
## Concentração de gás carbônico, anomalia de temperatura e nível do mar no tempo geológico



Fonte: HANSEN, J. E.; SATO, M. Climate Sensitivity Estimated From Earth's Climate History. Columbia University, Nova York, 2012. Disponível em: [https://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120508\\_ClimateSensitivity.pdf](https://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120508_ClimateSensitivity.pdf). Acesso em: 31 jul. 2024.

2. Observe, a seguir, o gráfico de variação diária da temperatura no deserto do Saara. Elabore uma hipótese sobre as implicações que essa variação pode ter na biodiversidade que habita esse deserto. Comente com os colegas.

## Variação diária da temperatura no deserto do Saara



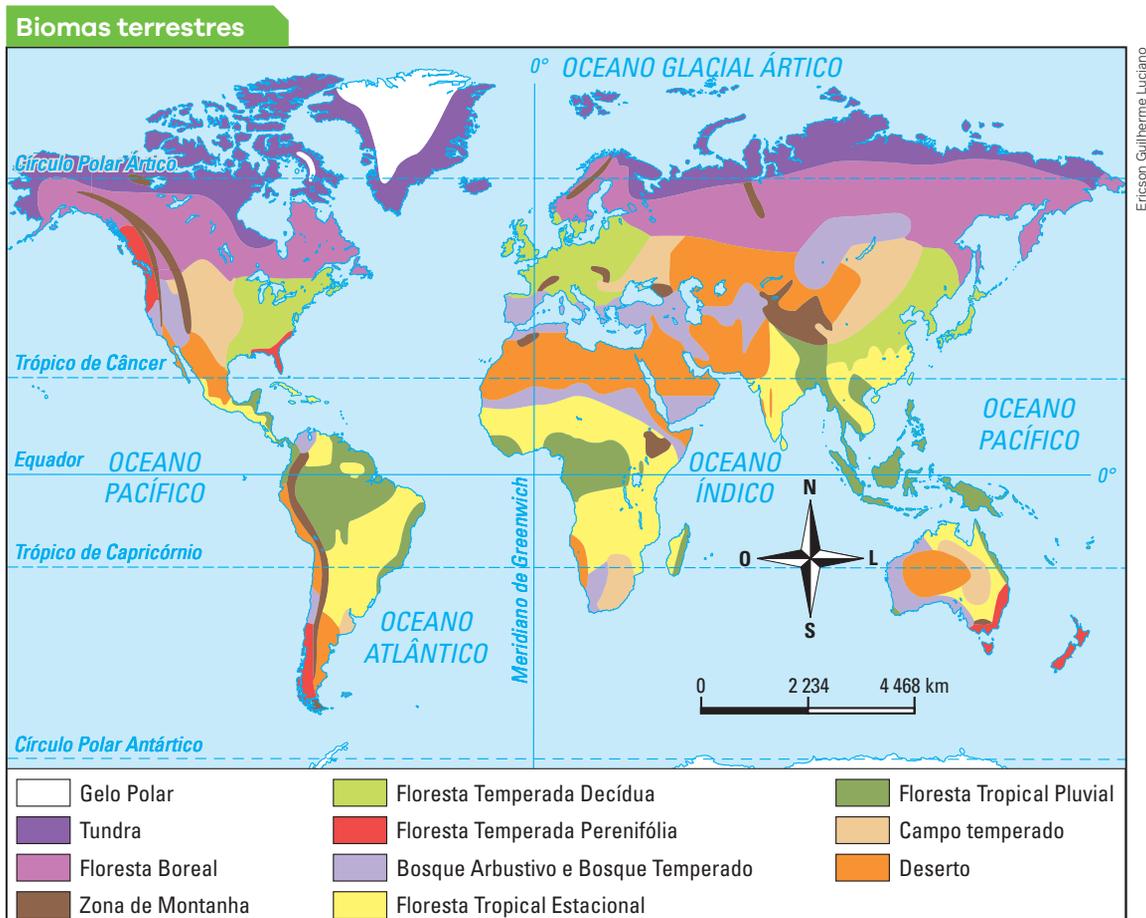
Fonte: MASIELLO, G.; SERIO, C.; AMOROSO, M.; VENAFRA, S. Study on space-time constrained Parameter Estimation from Geostationary data. *Research Gate*, Napoly, Jan. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/274071616\\_Study\\_on\\_space-time\\_constrained\\_Parameter\\_Estimation\\_from\\_Geostationary\\_data](https://www.researchgate.net/publication/274071616_Study_on_space-time_constrained_Parameter_Estimation_from_Geostationary_data). Acesso em: 19 jul. 2024.

3. Localize-se no esquema de circulação atmosférica apresentado na página 316 e verifique se a zona climática em que você vive corresponde ao que está descrito. Pesquise na internet – em ambientes destinados a informar sobre o clima – dados a respeito da temperatura e precipitação anual, influência das massas de ar e correntes oceânicas no clima de onde vive. Investigue portais que informem dados atuais do clima e séries históricas da região. Em seguida, debata com os colegas que padrões e variações climáticas são característicos da região em que vivem.

# Classificação de ecossistemas

Por mais que exista vida em quase todos os ambientes, do oceano profundo às mais altas montanhas, os organismos que habitam cada localidade são muito variados. Ainda assim, podemos detectar alguns padrões na biodiversidade estudando os ecossistemas terrestres e aquáticos, que são comunidades biológicas, modeladas pelo ambiente físico no qual elas são encontradas.

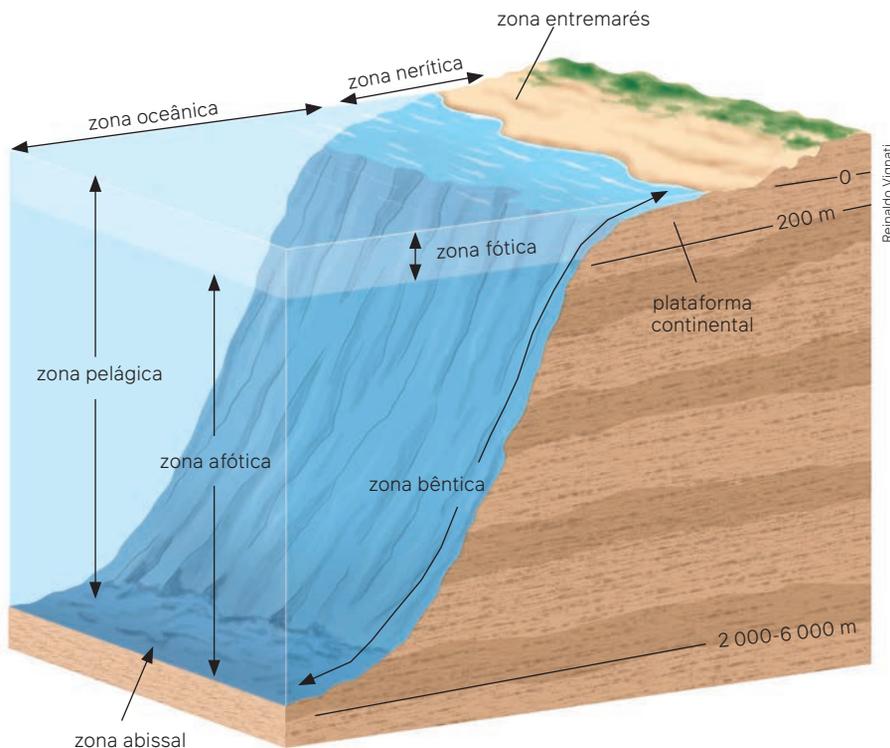
Os **ecossistemas terrestres** podem ser classificados em diversos tipos, que variam de acordo com fatores como clima, topografia, solo e vegetação predominante. Os ecossistemas também podem ser classificados pelas suas características estruturais e funcionais. A vegetação e as principais características físicas estruturais formam a base para a classificação abrangente dos ecossistemas terrestres em **biomas**, um nível de organização intermediário entre ecossistema e biosfera. Essa classificação de larga escala é relevante também para a gestão do uso da terra e a conservação dos recursos naturais. Algumas políticas socioambientais podem ser mais eficazes quando planejadas e executadas nessa escala, no entanto, é bom lembrar que um bioma é composto de vários ecossistemas e que propostas de restauração também são eficazes em áreas menores.



Fonte: CAI, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018, p. 55.

Os ecossistemas aquáticos são classificados quanto à sua estrutura geológica e física (como estagnação e fluência de água, proximidade da plataforma continental, águas profundas e continentais). Em ecossistemas aquáticos continentais e lênticos, as plantas aquáticas, incluindo macrófitas, contribuem para a regulação do ambiente, influenciam a qualidade da água e fornecem habitat e alimento para diversas formas de vida.

Os **ecossistemas marinhos** cobrem aproximadamente 70% da superfície da Terra, sendo compostos dos oceanos e suas conexões. Os principais fatores que determinam o tipo de vida que habita os oceanos são ondas, marés, correntes, salinidade, temperatura, pressão e intensidade luminosa. As zonas biológicas marinhas variam com a profundidade do oceano, disponibilidade de luz e estabilidade do substrato do fundo. Em ambientes marinhos mais profundos, plantas e algas começam a ser mais raras em decorrência da diminuição de luminosidade, por outro lado, outros organismos se fazem presentes, como tubarões, águas-vivas, poliquetas e, nos mais profundos oceanos, os peixes abissais.



**Carrusel de imagens**  
Ecosistemas terrestres e aquáticos

Esquema representativo dos ecossistemas marinhos classificados em zonas, de acordo com a incidência luminosa, distância da costa e profundidade.

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology: a global approach*. ed. 11. ed. Nova York: Pearson, 2017. p. 1209.

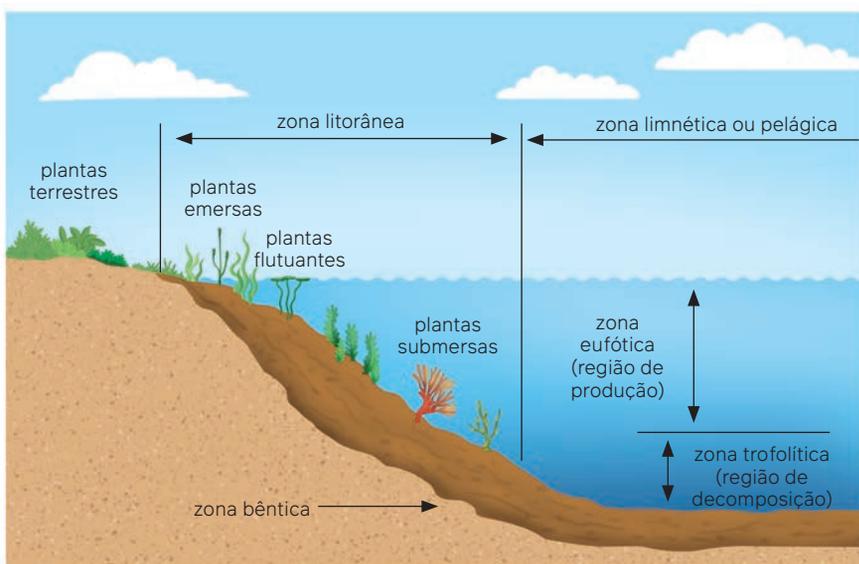
Os principais tipos de ecossistemas marinhos são mar aberto e águas profundas; águas costeiras; estuários e mangues.

Os **ecossistemas de água doce** são vastos reservatórios de água doce e um recurso essencial para os seres humanos. Assim como nos ecossistemas marinhos, as águas doces podem ser divididas em zonas de acordo com a profundidade, corrente, disponibilidade de luz e estabilidade do substrato do fundo.

Os ecossistemas de água doce podem ser classificados em lagos e lagoas; rios e riachos; pântanos e brejos.

Nos ecossistemas aquáticos as microalgas desempenham um papel crucial nos oceanos, sendo responsáveis por grande parte da fotossíntese e produção de oxigênio, além de formar a base da cadeia alimentar marinha. Elas influenciam a saúde dos oceanos e a biodiversidade marinha.

Os ambientes estuarinos, como manguezais e pântanos, são vitais para a manutenção da biodiversidade. Eles fornecem habitat e alimento para muitas espécies e atuam como filtros naturais, protegendo os oceanos de poluentes e sedimentos. No entanto, ações humanas, como o desmatamento, a urbanização e a poluição decorrente de atividades industriais e agrícolas, estão impactando negativamente esses ambientes.



Os esquemas desta página estão representados com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Esquema das zonas de comunidades bióticas lacustres.

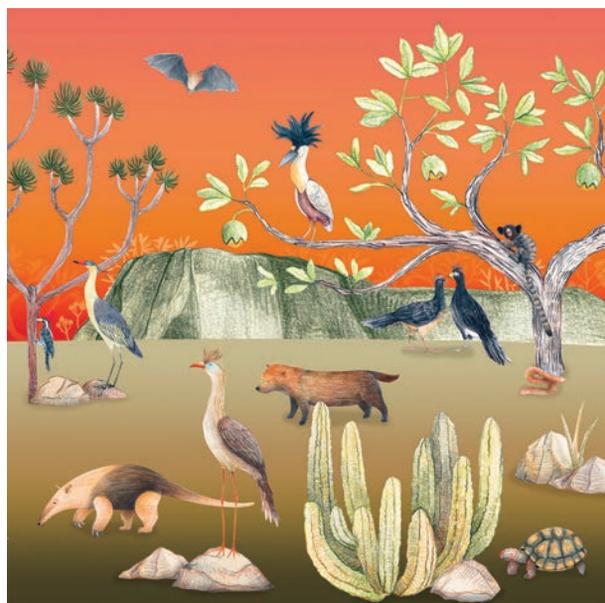
Fonte: PARÂMETROS bióticos. *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, [20-]. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/bio.htm>. Acesso em: 26 jun. 2024.



### Biomias brasileiros: características e ameaças

O Brasil é formado por seis biomas de características distintas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Cada um desses ambientes abriga diferentes tipos de vegetação e de fauna. Como a vegetação é um dos componentes mais importantes da biota, seu estado de conservação e de continuidade definem a existência ou não de habitats para as espécies, a manutenção de serviços ambientais e o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência de populações humanas. Para a perpetuação da vida nos biomas, é necessário o estabelecimento de políticas públicas ambientais, a identificação de oportunidades para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade.

ARAÚJO, P. Biomias. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. [Brasília, DF]: MMA, [20--]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomias.html>. Acesso em: 26 jun. 2024.



Manu Alvez e Rafa Mayer

Representação artística do bioma brasileiro Cerrado. Manu Alvez e Rafa Mayer, *Manual dos Bichos: cerrado*, 2024. Lápis de cor e técnica digital.

#### Material:

- equipamentos eletrônicos conectados à internet.

#### Procedimento

1. Na primeira etapa, vocês vão desenvolver uma pesquisa bibliográfica. Trata-se de uma metodologia de pesquisa que, no lugar de realizar um experimento ou observação em campo, a investigação é feita em trabalhos já publicados acerca do assunto. Neste caso, a proposta é analisar as informações encontradas em artigos e livros, por exemplo, para responder seu problema ou comprovar sua hipótese. Vocês devem investigar as características dos ecossistemas e a biodiversidade de um bioma brasileiro. Organizem-se em seis grupos, de modo que cada grupo fique responsável por pesquisar um bioma. Vocês devem pesquisar a fauna e a flora, o clima (temperatura e precipitação), os tipos de solo, entre outras características. Façam suas buscas em fontes confiáveis da internet, como os portais do Ministério do Meio Ambiente, ONGs, *site* do Mapbiomas e publicações de universidades e institutos de pesquisa. Pesquisem também quais são as principais ameaças socioambientais que esse bioma vem enfrentando, e quais tipos de ações devem ser tomadas para evitar/remediar esses problemas.
2. Na segunda etapa, vocês devem planejar e realizar um evento para socializar as pesquisas com a turma, lembrando de levar em consideração um tempo para as apresentações e um tempo para discussão. Para apoiar essa investigação e preparo das discussões, utilizem como base as questões a seguir.

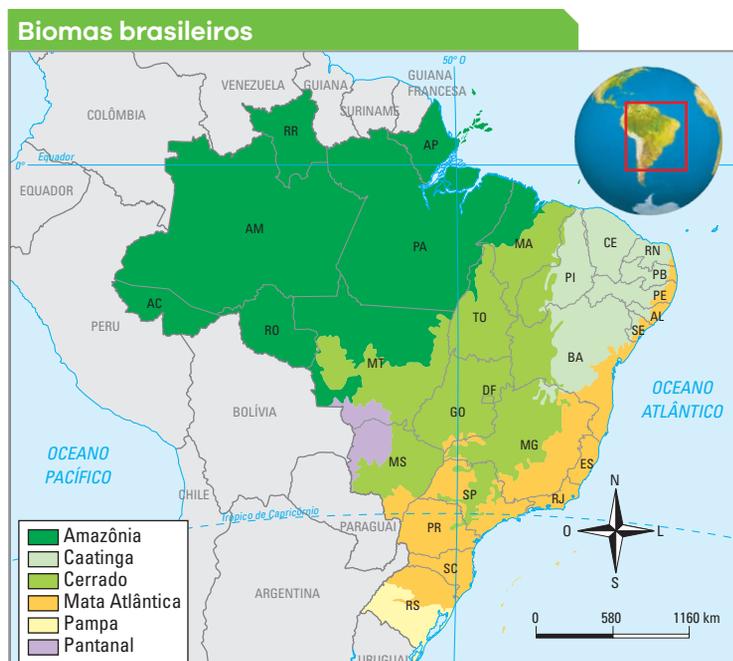
#### Trocando ideias



1. Como a biodiversidade desse bioma é retratada em buscas na internet? São fontes confiáveis? Alguma dessas espécies foi escolhida para representar uma causa ambiental? Que outros seres vivos poderiam/deveriam ser retratados neste bioma? Por quê?
2. Como vocês caracterizariam o bioma investigado em cinco minutos de fala, considerando a localização geográfica, vegetação dominante e o clima? Quais aspectos das espécies investigadas deveriam ser apresentados à turma no tempo disponível?
3. Quais são as principais ameaças às espécies do bioma? O que pode ser feito para enfrentar essas ameaças? Como a investigação realizada pode ajudar a responder questões de ameaças às espécies?



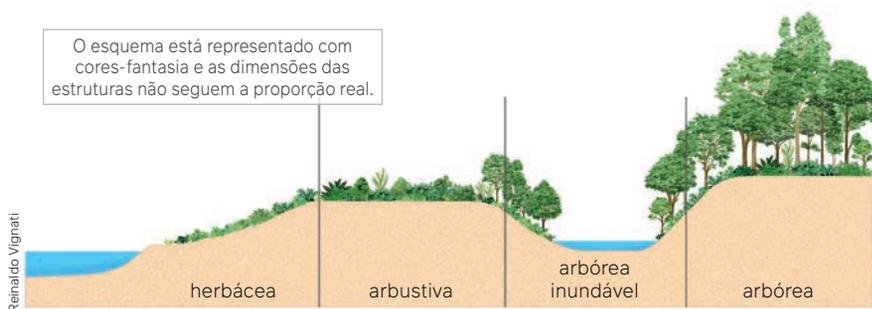
- O mapa a seguir indica os seis biomas brasileiros.



Fonte: IBGE. Atlas geográfico escolar. Rio de Janeiro: IBGE, [20--]. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/brasil/3043-diversidade-ambiental/biomos.html>. Acesso em: 7 set. 2024.

- Identifique e descreva dois biomas brasileiros que têm predominância de vegetação arbórea e explique como o clima e o solo influenciam a composição vegetal desses biomas.
  - Escolha um bioma e investigue como as condições climáticas e geográficas influenciam a cultura e as tradições locais, incluindo a culinária e as festividades. Forneça exemplos de alimentos típicos e celebrações que são características dessa região.
- A restinga é um ecossistema costeiro, de origem marinha, que inclui as praias e as dunas e que é protegida por lei em função de sua sensibilidade. O estabelecimento da vegetação ocorre lentamente, uma vez que o substrato arenoso dificulta sua fixação, além de haver a dessecação e a carência de nutrientes. O tipo de vegetação varia ao longo do perfil do ecossistema, indo de formação herbácea, arbustiva, chegando até a vegetação arbórea, geralmente de até 20 m de altura.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Fonte: MELO JÚNIOR, J. C. F.; BOEGER, M. R. T. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaiaí, Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea*, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 207-232, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/MdVvk35TrV3qcFPfXgMyPJbJ/?lang=pt>. Acesso em: 31 jul. 2024.

- Em duplas, reflitam sobre suas experiências pessoais com a área litorânea, seja visitando pessoalmente, seja pela televisão ou em sites e aplicativos da internet. Vocês já viram vegetação de restinga em alguma praia? Quais as suas condições?
- Entre os processos de degradação da restinga, a especulação imobiliária é um problema em todo o litoral do Brasil. Pesquisem mais sobre o ecossistema e elaborem um material de sensibilização para a conservação da restinga. Antes de começar, identifiquem o público-alvo do material.

3. Leia o quadrinho a seguir.



Alves/Acervo do Cartunista

Fonte: ALVES. *Cerrado em quadrinhos*. São Paulo: Nemo, 2015.

Discuta com um colega sobre a sua interpretação do quadrinho e ouça o que essa pessoa tem a dizer. Em seguida, responda:

- Entre as características do Cerrado destacam-se os solos pobres em nutrientes devido à lixiviação e baixa retenção de água na superfície, além da alta suscetibilidade ao fogo. Pesquise quais adaptações das plantas do cerrado lhes permitem viver neste ambiente.
  - O que poderia ser planejado, em termos locais, regionais e globais, para diminuir os impactos nesse bioma?
4. Costões rochosos são regiões de transição entre os meios terrestres e marinhos, apesar disso são considerados ambientes mais marinhos do que terrestres, pois seus organismos estão predominantemente relacionados ao mar. Os costões são formados por estruturas rochosas que se estendem desde o assoalho oceânico até alguns metros acima do nível do mar. [...] Um conjunto de processos químicos, físicos e biológicos modela a fisiografia desses ambientes, como batimento de ondas, ventos, chuvas, erosão e incrustação. E os organismos que vivem nesses ambientes precisam estar adaptados a tais condições. Os costões rochosos apresentam a maior densidade e diversidade de macrofauna dentre os ambientes de entremarés. Eles oferecem substrato adequado para fixação de um grande número de larvas de invertebrados fazendo com que haja um grande adensamento e um número diverso de espécies.

CARICCHIO, C. Costões Rochosos. *Zona Costeira*, Salvador, [20--]. Disponível em: <http://zonacosteira.bio.ufba.br/costaorochoso.html>. Acesso em: 17 set. 2024.

Leia as afirmações a seguir sobre os costões rochosos, identifique se são verdadeiras ou falsas e corrija as alternativas falsas.

- Organismos que habitam os costões rochosos estão adaptados à variação diária de temperatura e salinidade e à força das ondas que batem sobre as rochas.
- Na maré baixa, os organismos mais acima da linha de maré baixa, sofrem dessecação devido à exposição ao Sol e ao ar.
- Devido ao estresse que o costão rochoso sofre, ele se torna um ecossistema com baixa densidade de indivíduos.

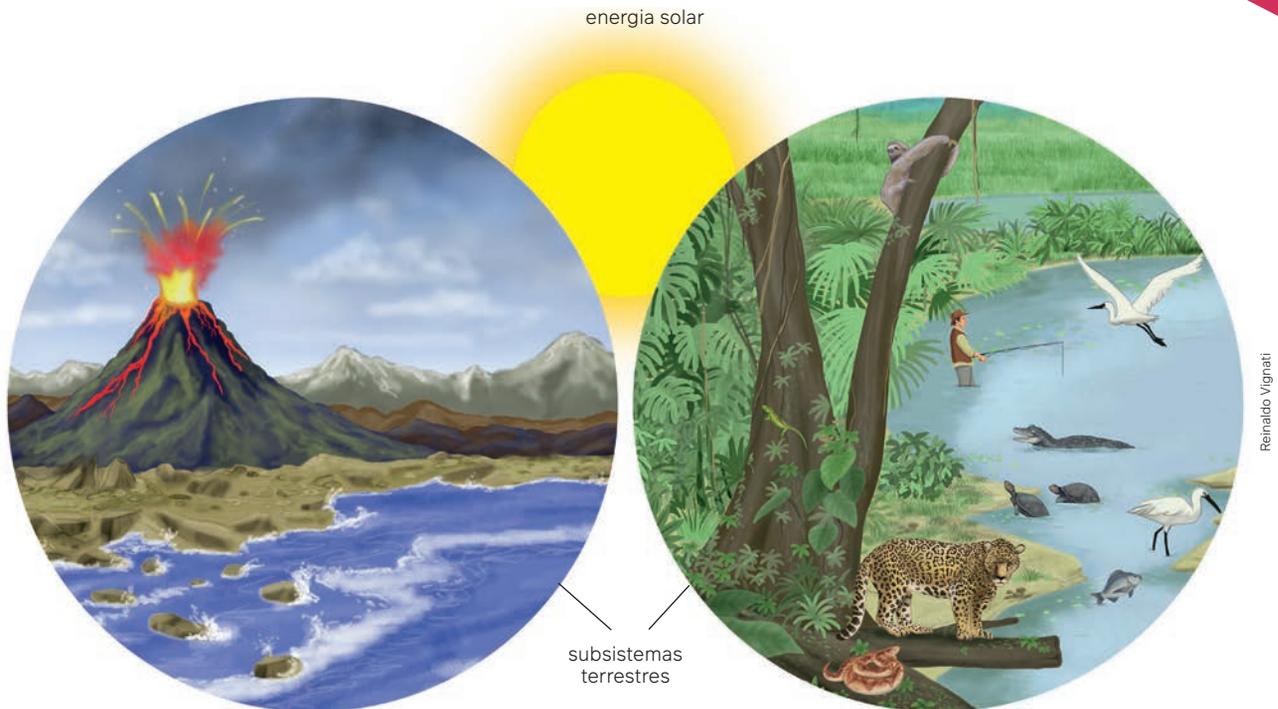
## Recapitule



Este capítulo explorou os componentes dos ecossistemas, desde o clima até a circulação atmosférica, solo e água, e sua interação com os seres vivos. Foram apresentados os ecossistemas terrestres e aquáticos, atendendo para os padrões e relações entre os elementos abióticos e bióticos que os compõem, refletindo acerca de como as intervenções humanas podem impactar a função e estrutura desses sistemas naturais. Ao reconhecer a importância desses temas, buscamos promover uma compreensão mais ampla e uma atitude mais consciente em relação à conservação dos ecossistemas e biomas.

Para finalizar, elabore um texto que analise exemplos específicos e reais de como as atividades antrópicas impactam a estrutura e a função dos ecossistemas, utilizando conceitos abordados no capítulo.

# Fluxo de energia e ciclo da matéria



Reinaldo Vignatti

No planeta Terra, fatores abióticos e bióticos se relacionam determinando processos climáticos, como ciclo hidrológico e ciclos biogeoquímicos.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Fonte: USGS. *Biogeochemical cycling diagram showing climatic processes, hydrologic.* USA: USGS, 13 out. 2016. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/biogeochemical-cycling-diagram-showing-climatic-processes-hydrologic>. Acesso em: 19 jun. 2024.

## ▼ Para refletir

1. Observe a imagem de abertura e explique aos colegas que relações você estabelece entre a geosfera e a biosfera.
2. Como você explica a relação entre a sua alimentação e o fluxo de energia nos ecossistemas?
3. Por que é tão importante que os elementos químicos, como o carbono e o nitrogênio, sejam reciclados na natureza?
4. De que maneira as atividades humanas, como o desmatamento e a poluição, podem afetar a integridade dos ecossistemas?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Compreender o fluxo de energia nos ecossistemas, explicando de onde vem a energia que sustenta a vida, como ela é transferida entre os diferentes níveis tróficos e o papel das cadeias alimentares nesse processo.
- Descrever os ciclos biogeoquímicos, explicando como os elementos químicos essenciais (carbono, nitrogênio e o fósforo), circulam nos ecossistemas, sustentando a biodiversidade, e por que é importante que esses elementos sejam reciclados na natureza.
- Descrever como o desmatamento e a poluição podem perturbar os ciclos naturais nos ecossistemas e refletir sobre os desafios e soluções para proteger os ecossistemas e o planeta.

# A energia nos ecossistemas

A energia é a força motriz que possibilita todos os processos vitais dos seres vivos, como crescer e se reproduzir. Os organismos autótrofos formam a base das cadeias alimentares, fornecendo energia para todos os outros organismos de um ecossistema.

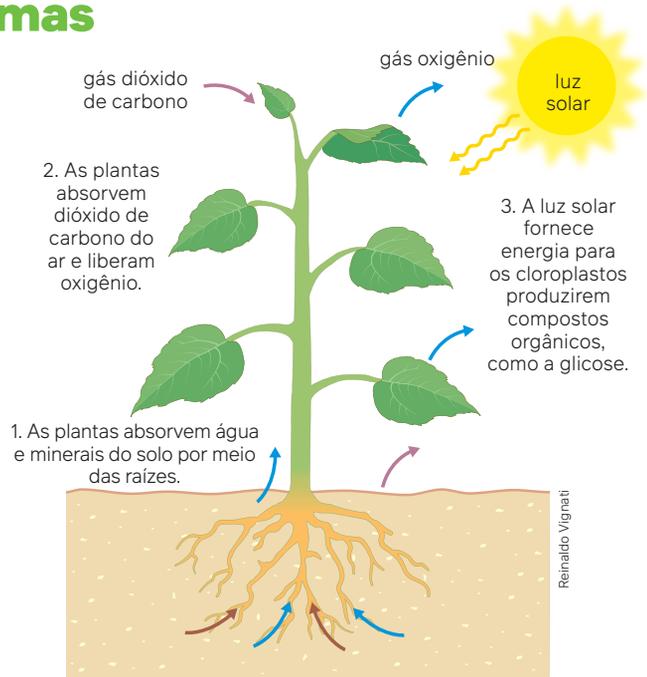
A fonte primária de energia para quase todos os ecossistemas do planeta é o Sol. A energia solar é utilizada pelas plantas e outros organismos autótrofos, como as cianobactérias, para a realização da fotossíntese. Esse processo transforma a energia solar em energia química, armazenada nas moléculas de açúcar. Assim, as plantas se tornam as principais produtoras de energia nos ecossistemas terrestres.

Além do Sol, em certas regiões da Terra, vulcões e fontes termais fornecem energia geotérmica para organismos autótrofos adaptados a ambientes extremófilos.

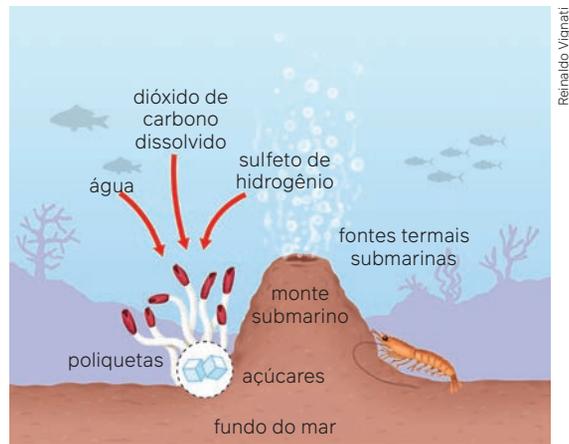
Nas profundezas dos oceanos, algumas bactérias realizam a quimiossíntese. Isso significa que elas obtêm energia a partir de reações químicas e não da luz solar, que não atinge zonas oceânicas profundas. Isso permite a existência de ecossistemas surpreendentes nas profundezas marinhas.

A energia gerada por organismos autótrofos é utilizada no metabolismo desses organismos e pode ser transferida para outros organismos heterótrofos.

Esquema representativo da quimiossíntese. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido na água e o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) são absorvidos pelas bactérias quimiossintéticas presentes nos tecidos dos poliquetas. Essas bactérias oxidam o sulfeto de hidrogênio, transformando-o em enxofre e liberando energia, que é usada para converter o dióxido de carbono e a água em açúcares (compostos orgânicos), que servem como fonte de alimento tanto para as bactérias quanto para os poliquetas.



Esquema representativo da fotossíntese.



Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

## Fluxos, ciclos e cadeias

Dois fatores importantes para se constituir um ecossistema são o **fluxo de energia** e o **ciclo da matéria**, princípios interdependentes e relacionados com as cadeias e teias alimentares.

Pela fotossíntese, a matéria absorvida (gás carbônico e água) é transformada em compostos orgânicos (açúcares). Parte desses compostos é utilizada pelos produtores para a realização dos processos vitais por meio da respiração celular, liberando gás carbônico e calor. Outra parte é convertida em **biomassa**, que constitui a estrutura do organismo e serve como reserva de energia.

Ao serem consumidas por outros seres vivos, parte das moléculas também serão utilizadas no metabolismo de consumidores, liberando gás carbônico e calor, parte será armazenada como biomassa e outra parte será eliminada como fezes e urina.

Todos os seres vivos, quando mortos, e seus dejetos, fornecem matéria e energia para os decompositores. Os decompositores transformam a matéria orgânica novamente em formas inorgânicas, que podem ser recicladas dentro do ecossistema.

Assim, nos ecossistemas, a energia tem um **fluxo unidirecional**, entrando principalmente em forma de luz, sendo parte mantida nos organismos como energia potencial química, parte utilizada nos processos vitais e parte dissipada na forma de calor. A matéria, por sua vez, circula nos ecossistemas, e é reutilizada em um processo cíclico como o ciclo da água, do carbono, do nitrogênio, do oxigênio e do fósforo.

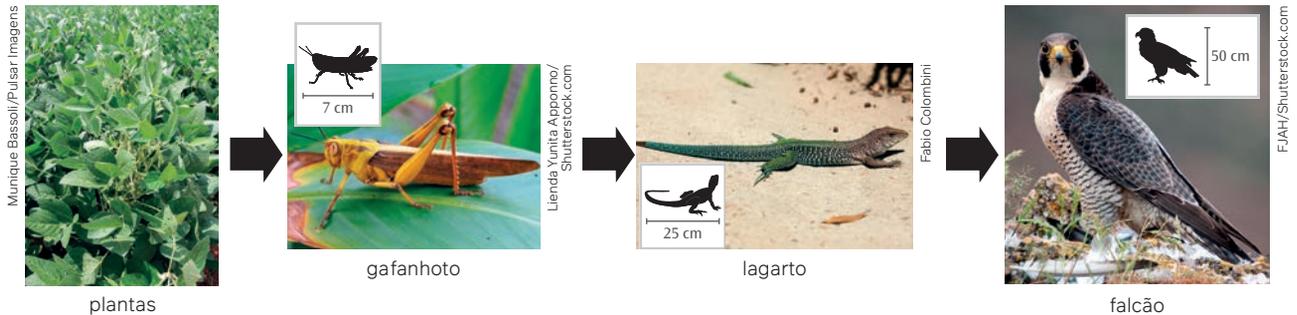
## Cadeias e teias alimentares

As cadeias e teias alimentares representam como os organismos estão interligados em uma complexa relação nos ecossistemas.

Cada organismo ocupa um **nível trófico** na cadeia alimentar, o que é determinado pelo tipo de alimento que ingere e pela forma como ele se alimenta. Contudo, na natureza as relações tróficas entre seres vivos ocorrem de forma mais complexa do que em uma cadeia alimentar. Os ecossistemas são repletos de organismos, com diferentes fontes de alimento. Muitos seres vivos fazem parte de mais de uma cadeia alimentar, formando as **teias alimentares** nas quais diversos organismos estão conectados de várias maneiras.

Nos ecossistemas, os organismos podem ser classificados em produtores, consumidores e decompositores, conforme a maneira pela qual obtêm o alimento.

A cadeia alimentar a seguir é um exemplo. Note que a orientação das setas indica a direção da passagem de matéria e energia de um nível para o próximo.

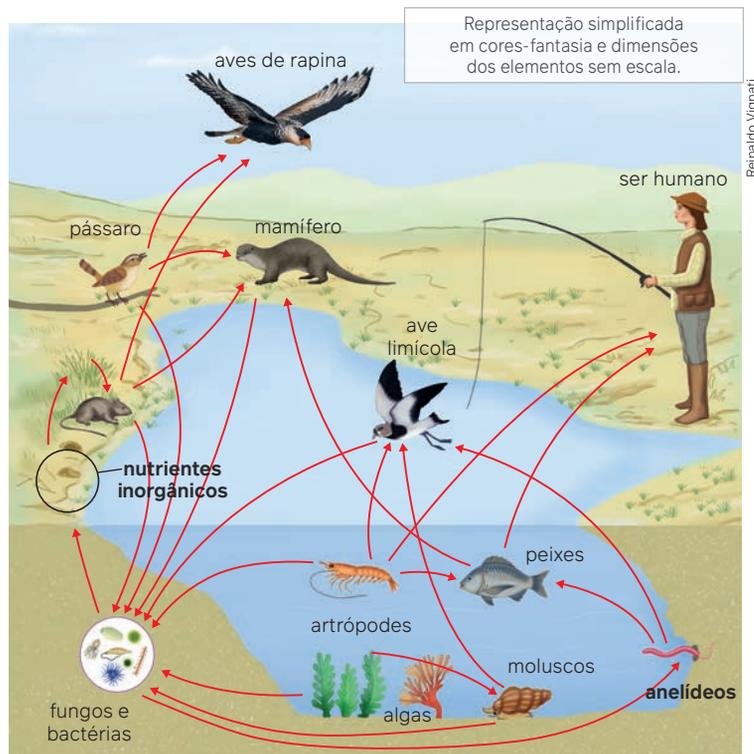


Esquema representativo de uma cadeia alimentar.

- **Produtores:** são os organismos que produzem compostos orgânicos a partir de processos como a fotossíntese e a quimiossíntese. Esses organismos são também conhecidos como autotróficos e ocupam o primeiro nível trófico da cadeia;
- **Consumidores primários:** esses são os organismos heterotróficos que obtêm energia ao se alimentar de autótrofos, como os herbívoros que se alimentam das plantas.
- **Consumidores secundários:** são os seres vivos heterotróficos que obtêm energia ao se alimentar de consumidores primários.
- **Outros consumidores:** alguns ecossistemas têm consumidores terciários e quaternários, que são seres vivos heterotróficos que se alimentam dos consumidores de níveis anteriores.
- **Decompositores:** são seres vivos que decompõem os restos de organismos mortos ou dejetos de seres vivos, ciclando os nutrientes. Os decompositores atuam em todos os níveis tróficos.

As cadeias e teias alimentares são essenciais para manter o funcionamento e a integridade dos ecossistemas. Alterações em um nível trófico podem gerar impactos nos demais níveis, a curto e longo prazo, ocasionando desequilíbrios ambientais que modificam a comunidade como um todo. Por exemplo, impactos antrópicos, como a caça predatória e o desmatamento, podem desencadear alterações irreversíveis nas cadeias e teias alimentares.

Esquema representativo de uma teia alimentar.





## Observação de cadeias alimentares

Nessa atividade, você irá compreender como as cadeias alimentares funcionam na natureza, identificando diferentes níveis tróficos e a transferência de energia entre eles.

### Material:

- material para anotação;
- câmera fotográfica ou *smartphone* para registro (opcional).

### Procedimento

1. Coletivamente, e em acordo com o professor ou professora, escolha um local natural próximo à sua escola, como um parque, praça ou área verde.
2. Em grupos de quatro estudantes, explorem o local e observem os seres vivos que lá estiverem e as interações entre eles. Prestem atenção aos diferentes organismos, como plantas, animais e como eles interagem. Descreva ao menos uma cadeia alimentar observada.
3. Desenhem ou fotografem os elementos da cadeia alimentar que observaram, destacando os diferentes níveis tróficos e as relações de alimentação entre eles.
4. Façam inferências sobre outros organismos não observados, mas que poderiam compor as cadeias observadas e completem-nas.



### Trocando ideias

1. Compartilhem suas observações com a turma, apresentando os diferentes organismos envolvidos, quem se alimenta de quem e como a energia é transferida nos diferentes níveis tróficos da cadeia.
2. Comparem as cadeias alimentares observadas, identificando padrões comuns e diferenças entre elas.

## Produtividade

A produtividade se refere à quantidade de energia química, tipicamente expressa como biomassa de carbono em um determinado ecossistema durante um período específico. Ela é medida em unidades de biomassa por unidade de área e por unidade de tempo (por exemplo, gramas por metro quadrado por ano) ou em unidades de energia por unidade de área e por unidade de tempo (como joules por metro quadrado por ano).

A produtividade é uma medida importante para avaliar a eficiência com que a energia é capturada e utilizada pelos organismos em um ecossistema.

Compreender a produtividade dos ecossistemas é essencial para avaliar sua capacidade de sustentar a vida e entender como eles respondem a mudanças ambientais e perturbações, como desmatamento, poluição e mudanças climáticas.

Na dinâmica dos ecossistemas terrestres, a **produtividade primária** refere-se à taxa de produção de biomassa pelos produtores, principalmente as plantas, por meio da fotossíntese. Esse processo envolve a conversão de energia solar em energia química, armazenada na forma de carboidratos, lipídios e outras moléculas orgânicas. A quantidade de matéria sintetizada pelos organismos produtores em um ambiente em um determinado período é denominada **produtividade primária bruta** (PPB). Parte dessa matéria é consumida pelos próprios produtores na respiração celular. A diferença entre a PPB e a parcela que é consumida durante a respiração, resulta na **produtividade primária líquida** (PPL).

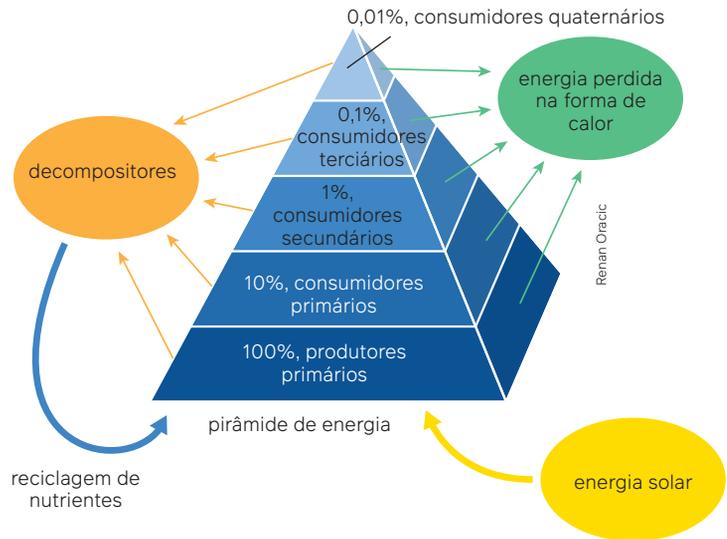
Já a **produtividade secundária** diz respeito à taxa de produção de biomassa pelos consumidores, ou seja, pelos organismos que se alimentam dos produtores. Os consumidores obtêm energia e biomassa ao se alimentarem dos produtores, e essa energia é utilizada para o crescimento, reprodução e manutenção dos organismos consumidores.

## Pirâmides ecológicas

Para visualizar relações quantitativas nos diferentes níveis tróficos são utilizadas **pirâmides ecológicas**. Elas são representações gráficas da estrutura trófica de um ecossistema e revelam como a energia, a biomassa e os organismos se distribuem e como as diferentes espécies estão conectadas nas cadeias alimentares.

As pirâmides ecológicas podem ser de três tipos principais.

As **pirâmides de energia** são como um registro da quantidade de energia disponível em cada nível trófico de uma cadeia alimentar. Por exemplo, uma pirâmide pode representar a energia disponibilizada no sistema pelos produtores, o consumo e as perdas de energia nos demais níveis tróficos.



Esquema representativo de uma pirâmide ecológica de energia.

As pirâmides de energia ilustram como a energia é distribuída nos ecossistemas. Elas mostram que a quantidade de energia disponível diminui em cada nível trófico, porque essa energia se dissipa.

Os produtores (plantas e outros organismos autotróficos) que estão na base da pirâmide dispõem da maior quantidade de energia. Do total de energia presente nos produtores, apenas 10% são transferidos para o próximo nível trófico. Quanto mais alto na pirâmide, menor será a energia disponível no nível trófico.

As **pirâmides de biomassa** representam a quantidade de matéria orgânica (geralmente em gramas de peso seco por área ou volume) em cada nível trófico.

Nos ecossistemas terrestres, os produtores, que estão na base da pirâmide, possuem a maior quantidade de biomassa em comparação com os consumidores primários.

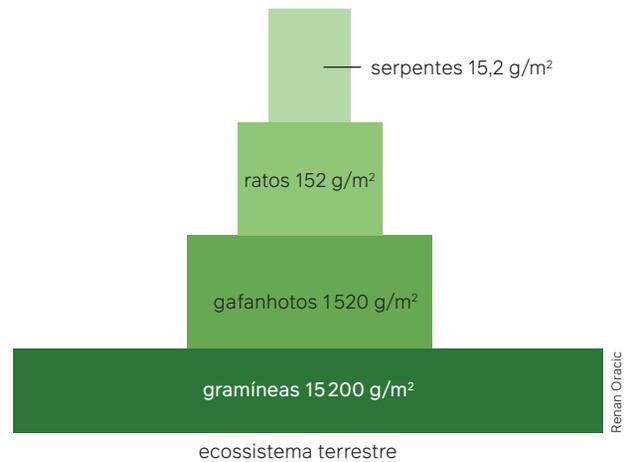
Os consumidores primários apresentam uma biomassa maior do que os consumidores secundários, e essa tendência continua à medida que se compara aos níveis seguintes da cadeia alimentar. A quantidade de biomassa diminui progressivamente ao longo dos níveis tróficos superiores. Esse fenômeno é atribuído à perda de energia que é transferida nos diferentes níveis da cadeia alimentar.

No caso dos oceanos, a pirâmide da biomassa pode se apresentar de forma invertida em comparação com os ecossistemas terrestres, devido à maior biomassa dos consumidores (zooplâncton) em relação aos produtores (fitoplâncton). Isso ocorre porque, embora o fitoplâncton seja a base da cadeia alimentar marinha, a biomassa é rapidamente consumida pelos consumidores primários, resultando momentaneamente em uma maior quantidade de biomassa nos níveis tróficos superiores.

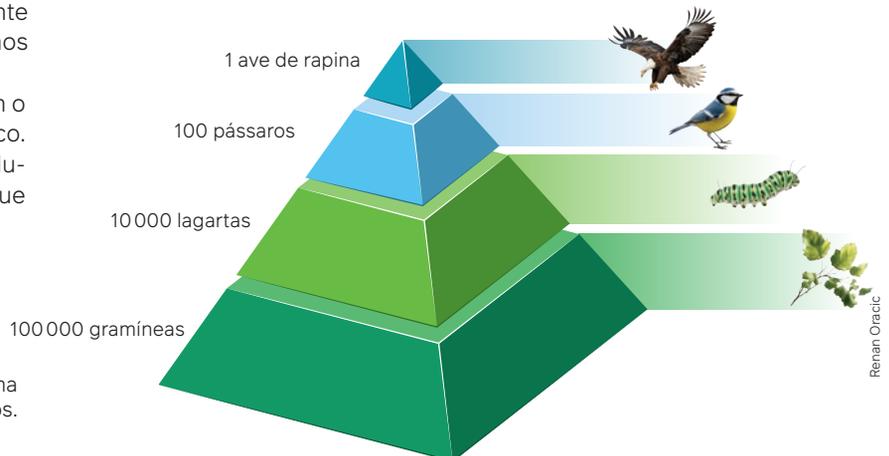
As **pirâmides de números** representam o número de indivíduos em cada nível trófico. Geralmente, há um número maior de produtores do que consumidores primários, o que cria uma base larga na pirâmide.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são os reais.

Esquema representativo de uma pirâmide ecológica de números.



Esquema representativo de uma pirâmide ecológica de biomassa.



À medida que se analisa os níveis do topo da pirâmide, o número de indivíduos diminui. Isso ocorre devido às perdas de energia e matéria ao longo da cadeia alimentar. Em alguns casos as pirâmides de números também podem ser invertidas, ou possuir uma base menor que o ápice. Uma única árvore, por exemplo, pode servir de alimento para uma grande quantidade de herbívoros, como pulgões, por exemplo.

## Ciclagem de nutrientes

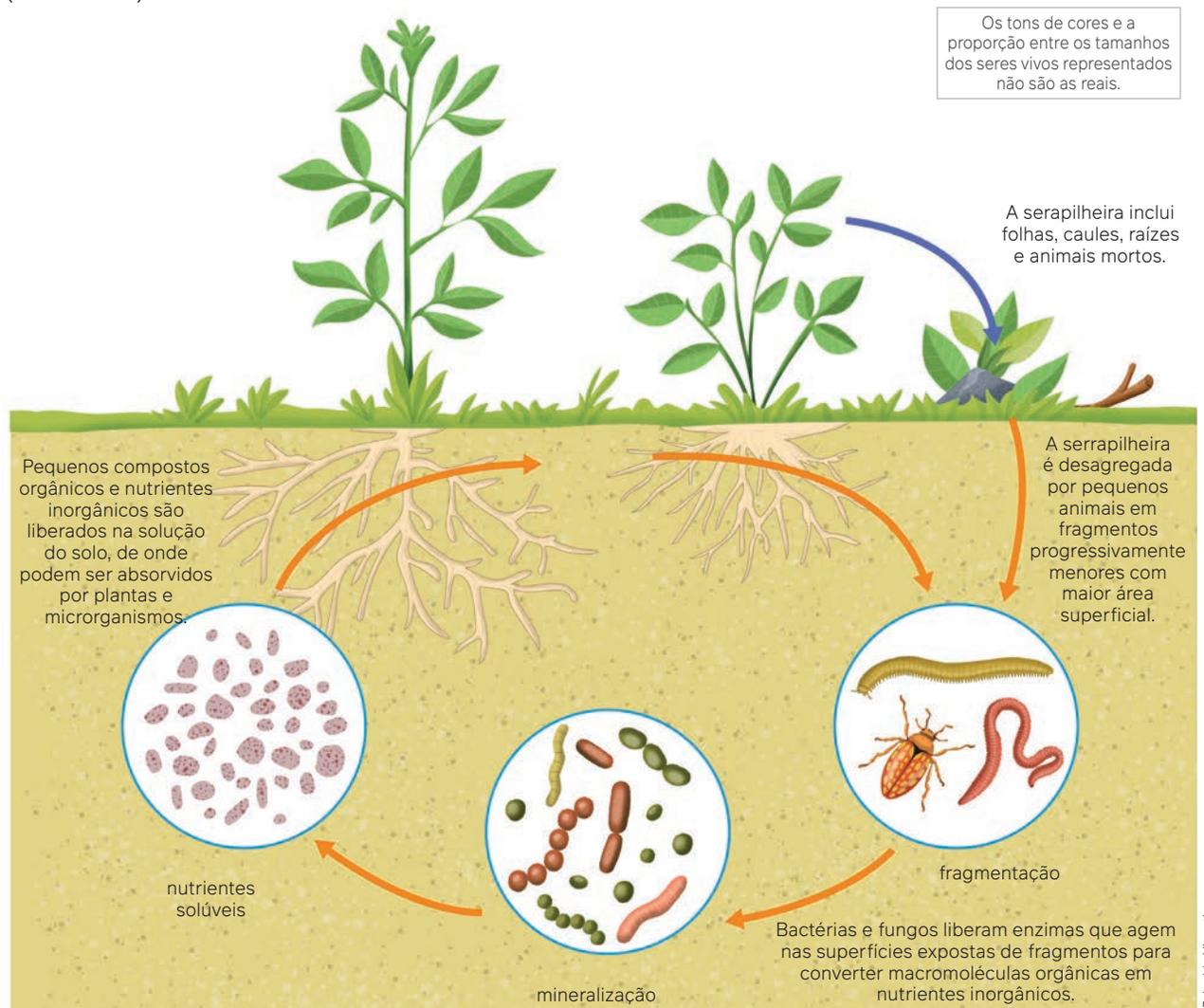
Além de energia, os organismos precisam de nutrientes para seu metabolismo e crescimento. Nutrientes são substâncias orgânicas ou inorgânicas compostas de elementos químicos como carbono, nitrogênio, fósforo, ferro, potássio, magnésio, cálcio, zinco e outros.

A disponibilidade dos nutrientes varia conforme o ecossistema, no entanto, sua origem é a mesma: intemperismo das rochas, decomposição e os gases atmosféricos.

Os nutrientes são assimilados pelos organismos por meio da absorção do meio, no caso dos autótrofos, ou pelo consumo de outros organismos, no caso dos heterótrofos e decompositores.

Esses nutrientes são incorporados aos organismos como parte da matéria orgânica, que é formada por moléculas com elementos como o carbono, hidrogênio entre outros elementos essenciais. Os nutrientes incorporados à matéria orgânica são liberados ao ambiente por meio da decomposição da matéria orgânica.

A ciclagem de nutrientes se dá por meio da transferência dos nutrientes pelos diferentes componentes dos ecossistemas, desde a captação e posterior liberação pela decomposição, que devolve ao meio as formas originais (ou similares).



Decomposição da matéria orgânica em ecossistemas terrestres. Etapas semelhantes ocorrem em ecossistemas aquáticos.

Fonte: CAIN, M. L. et al. *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. p. 501.



## Impacto de monoculturas no fluxo de energia

Quais impactos a transformação de florestas em monoculturas causa no funcionamento de riachos tropicais? Essa foi a questão central de uma pesquisa de mestrado desenvolvida na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O estudo verificou que as mudanças no uso do solo alteram a estrutura das comunidades biológicas, os organismos presentes e suas redes de interações, fragilizando o funcionamento dos fluxos de energia – termo que se refere ao potencial que todo organismo tem para ser usado como fonte de energia por outro organismo.

[...]

A pesquisa teve como objetivo estudar as comunidades de invertebrados aquáticos em riachos no Estado de São Paulo com o foco no gradiente de mudança de uso do solo, indo de florestas bem preservadas até riachos dentro de plantações de cana-de-açúcar.

“Analisamos o tamanho corpóreo dos organismos, considerando que em teias tróficas [cadeias alimentares] os organismos maiores se alimentam dos menores; então, compreender quantos e quais os tamanhos dos organismos presentes nos possibilita entender o funcionamento dessas teias tróficas”, explicou o orientador da pesquisa à Assessoria de Imprensa da UFSCar.

[...]

A partir dessa análise, o trabalho chegou a dois resultados interligados. O primeiro é que existe uma perda de diversidade nos riachos de monocultura, ou seja, menos espécies são encontradas. Além disso, mostrou-se que essas comunidades simplificadas, menos diversas, são compostas por uma teia trófica com menor quantidade de organismos grandes, predadores de topo.

“Esses resultados sugerem que as teias tróficas são simplificadas nos locais mais impactados, potencialmente gerando instabilidade no fluxo de energia. Por serem menos diversas, o fluxo de energia deve ser mais instável, o que pode resultar em menos predadores de topo, que dependem do fluxo de toda a rede para receberem energia”, explica Saito.

AGÊNCIA FAPESP. *Transformação de floresta em monocultura impacta diversidade e interações ecológicas em riachos tropicais*. [São Paulo], 27 jan. 2023. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/transformacao-de-floresta-em-monocultura-impacta-diversidade-e-interacoes-ecologicas-em-riachos-tropicais/40563>. Acesso em: 13 jul. 2024.

### Trocando ideias



1. A pesquisa analisou o gradiente de mudança de uso do solo, desde florestas bem preservadas até riachos dentro de plantações de cana-de-açúcar. Quais foram os resultados encontrados?
2. Considerando o que você estudou no capítulo e os resultados do estudo apresentado no texto, explique por que os ecossistemas compostos de monoculturas raramente apresentam organismos de topo de cadeia.
3. Que paralelos podem ser traçados entre as monoculturas, disponibilidade de nutrientes no solo e a complexidade das cadeias alimentares?

## Atividades propostas



1. Leia o texto a seguir e faça o que se pede

Devido à ineficiência energética na produção de carnes, ovos e laticínios (ou seja, a quantidade de calorias e proteínas ingeridas pelos animais é maior do que a quantidade por eles produzida), grandes extensões de terra (bem como de recursos hídricos e fertilizantes) são usadas de forma ineficiente para a produção de cultivos destinados à alimentação de animais criados de forma intensiva.

MEIO Ambiente. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE VEGETARIANISMO - SVB, [São Paulo], [20--]. Disponível em: <https://svb.org.br/vegetarianismo-e-veganismo/meio-ambiente/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

O texto defende uma dieta vegetariana ou vegana, argumentando que a produção de carnes, ovos e laticínios é energeticamente ineficiente, pois os animais consomem mais calorias e proteínas do que produzem. Explique essa afirmação com base na transferência de energia entre os níveis tróficos, considerando o papel do ser humano nas cadeias alimentares.

2. Considere uma cadeia alimentar simples: grama (produtor) → coelho (consumidor primário) → onça (consumidor secundário). Considerando que a grama, como produtor, tenha 1 000 unidades de energia disponível e que apenas 10% da energia é transferida para o próximo nível trófico. Qual a quantidade de energia que a onça terá disponível? Represente essa cadeia alimentar em uma pirâmide de energia.

# Ciclos biogeoquímicos

A Terra pode ser interpretada como um imenso sistema químico fechado em que os elementos essenciais para a vida são retirados do ambiente pelos organismos, e após utilizados, são retornados ao ambiente sem perdas. Denominamos esses movimentos de ciclos biogeoquímicos. Esses ciclos representam a movimentação cíclica de elementos, como: água, carbono, nitrogênio, fósforo e oxigênio entre os seres vivos e o ambiente, incluindo o solo e a atmosfera. O ciclo de cada elemento possui especificidades.

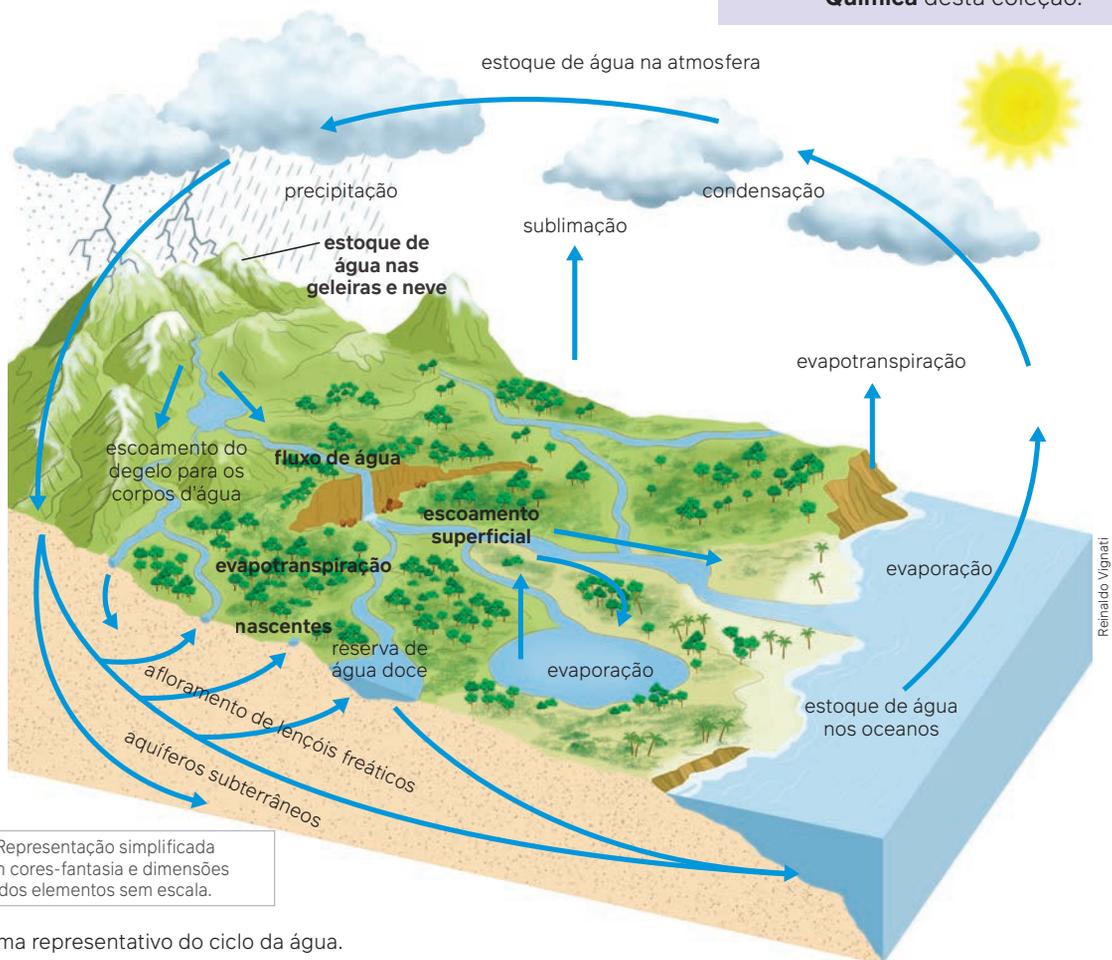
Os ciclos são, portanto, caracterizados pela absorção, uso, liberação e reabsorção desses elementos.

Os ciclos biogeoquímicos são essenciais para os ecossistemas e garantem a disponibilidade dos elementos que sustentam a vida.

## ► Ciências da Natureza

O estudo sobre os ciclos biogeoquímicos é visto com outro enfoque no **capítulo 8** do volume de **Química** desta coleção.

## Ciclo da água



Esquema representativo do ciclo da água.

A água em estado líquido, como a dos oceanos, rios, lagos se transforma em vapor de água quando aquecida pelo sol. Além disso, as plantas liberam vapor de água por um processo chamado **transpiração**.

O vapor de água sobe na atmosfera e, quando se resfria, se condensa formando as nuvens. As nuvens são como reservatórios flutuantes de água na atmosfera. Quando as nuvens ficam cheias o suficiente, ocorre a **precipitação**. Isso pode ocorrer na forma de chuva, neve ou granizo, dependendo das condições atmosféricas.

A água da chuva que chega na superfície da Terra segue caminhos diferentes. Parte dela escoam na superfície, fluindo por rios e córregos até chegar ao oceano. Outra parte se infiltra nas partes permeáveis do solo, recarregando os aquíferos subterrâneos. Algumas partes do globo possuem água no estado sólido, como as geleiras, os glaciais, os topos de montanhas nevadas e os solos permanentemente congelados (*permafrost*). Aquíferos são grandes conjuntos de formações geológicas que podem armazenar águas subterrâneas. Estes reservatórios de água no planeta podem ocupar vastas regiões, como o Aquífero Guarani, que abrange além do Sul do Brasil, parte dos territórios do Paraguai, Argentina e Uruguai.

## Aquíferos no território brasileiro com destaque para o Aquífero Guarani

Ericson Guilherme Luciano

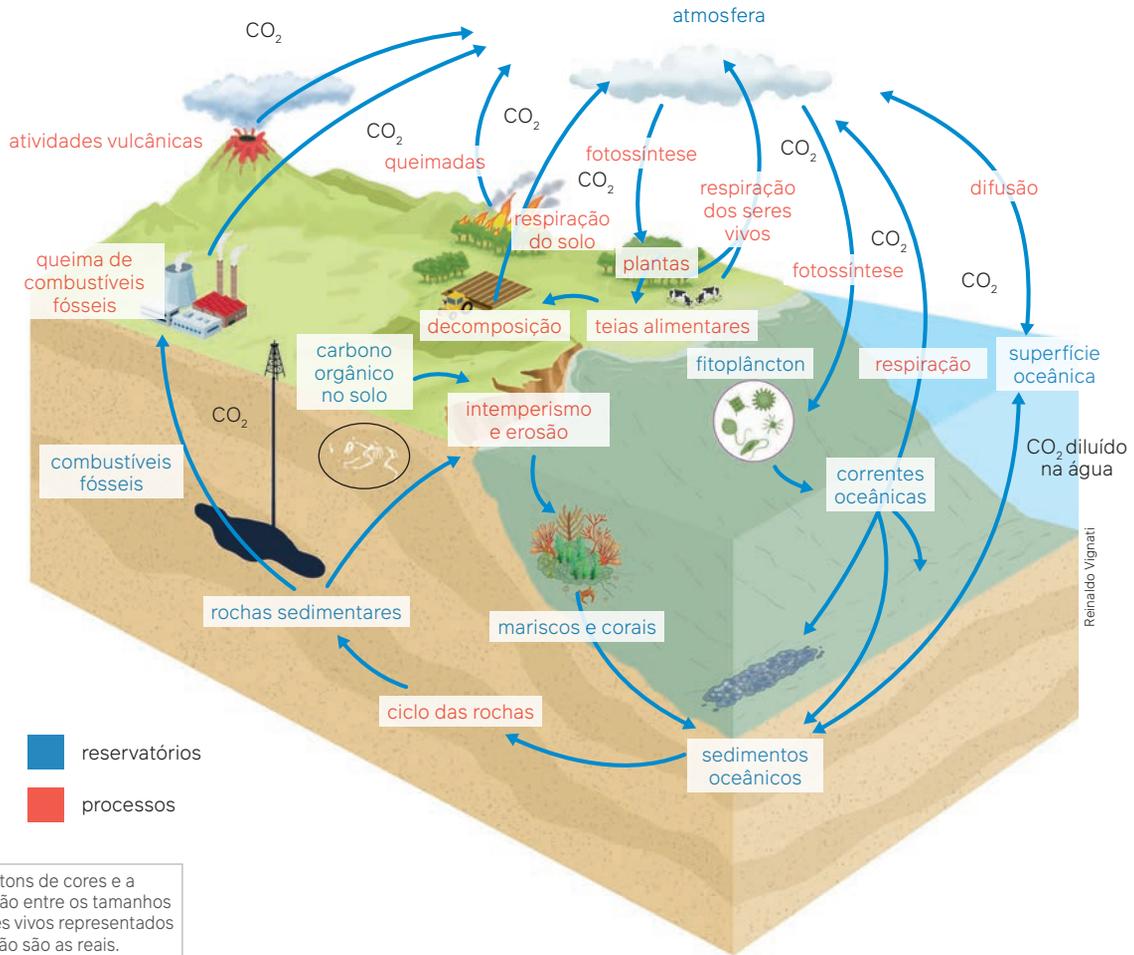


Fontes: IBGE. *Diversidade ambiental: Águas subterrâneas*. Rio de Janeiro: IBGE, [20--]. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/images/mapas/pdf/brasil-diversidade-ambiental-aguas-subterraneas-p-111.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024; SILVA, D.M; PEREIRA, M.C.B. O Aquífero Guarani e a busca pela gestão integrada do sistema de águas transfronteiriças: proposta de implementação do acordo do aquífero. In: *Observatório das Águas*, 1 mar. 2028. Disponível em: <https://observatoriodasaguas.org/o-aquifero-guarani-e-a-busca-pela-gestao-integrada-do-sistema-de-aguas-transfronteiriças-proposta-de-implementacao-do-acordo-do-aquifero/>. Acesso em: 17 jul. 2024.

As plantas absorvem água do solo e a utilizam em seus processos de crescimento e fotossíntese. Os animais, por sua vez, obtêm água ao se alimentar de plantas ou outros animais, e ao ingeri-la do ambiente. Parte da água absorvida pelos organismos é liberada na transpiração, na urina, nas fezes ou na decomposição da matéria orgânica. As interferências antrópicas no ciclo da água vão desde o esgotamento de reservatórios naturais à contaminação de poluição de rios e oceanos, que culminam na alteração da dinâmica dos ecossistemas.

# Ciclo do carbono

O carbono está presente em todas as moléculas orgânicas que compõem os seres vivos, desde o DNA e as proteínas até os carboidratos e os lipídios.



Esquema representativo do ciclo do carbono.

A fixação do carbono atmosférico é realizada pelas plantas, algas e cianobactérias fotossintetizantes. Elas capturam o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) da atmosfera e o convertem em açúcares e outros compostos orgânicos, transformando a energia solar em energia química armazenada em compostos orgânicos.

Os consumidores, como os animais herbívoros e carnívoros, obtêm carbono ao se alimentarem de plantas ou de outros animais. Quando os seres vivos morrem, os decompositores entram em ação, degradando seus tecidos e liberando carbono de volta ao ambiente.

A respiração é o processo pelo qual os seres vivos liberam dióxido de carbono ( $CO_2$ ) na atmosfera ao metabolizar a energia armazenada nos compostos orgânicos. A respiração leva à quebra dos compostos orgânicos e libera  $CO_2$  e completa o ciclo do carbono. O carbono também retorna a atmosfera por meio de queimadas e erupções vulcânicas.

Parte do carbono está estocado no solo e nos oceanos. Ao longo de milhões de anos, a matéria orgânica pode se transformar em fósseis e combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás natural. A queima desses combustíveis e o manejo incorreto do solo provocam a liberação de carbono na atmosfera, o que também ocorre por meio das queimadas, contribuindo para a intensificação do efeito estufa e para as mudanças climáticas.

As queimadas liberam carbono na atmosfera, contribuindo para a intensificação do efeito estufa. Apui (AM), 2022.

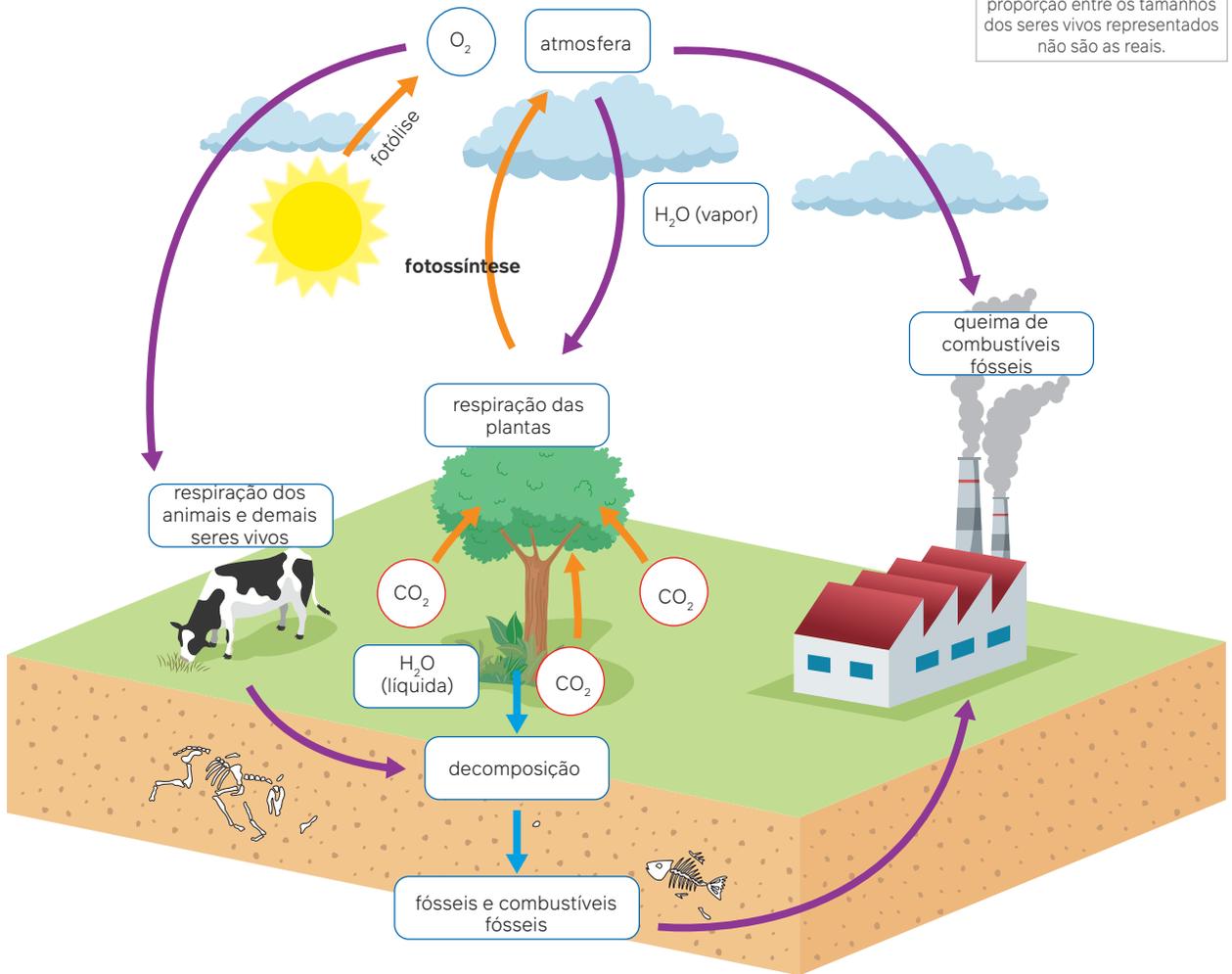


Michael Dantas/AFP/Getty Images

# Ciclo do oxigênio

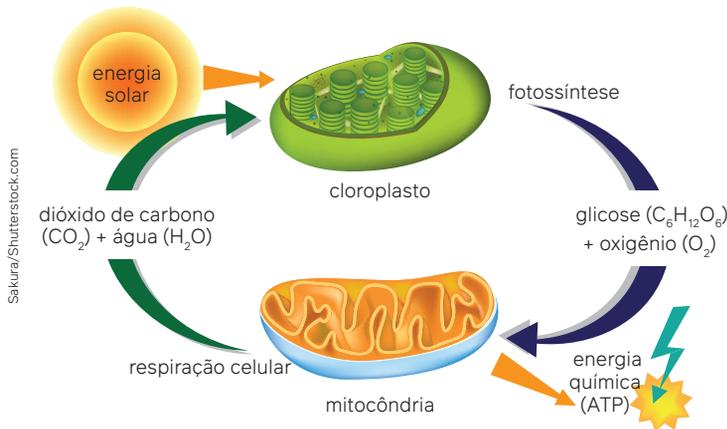
O ciclo do oxigênio na atmosfera envolve a produção de oxigênio durante a fotossíntese e seu consumo durante a respiração. Esse ciclo é crucial para manter a concentração de oxigênio na atmosfera em níveis adequados para a vida na Terra. A camada de ozônio, região localizada na estratosfera, absorve a maior parte da radiação ultravioleta do Sol. Nos anos 1980, pesquisas detectaram que produtos químicos industriais, especialmente clorofluorcarbonos (CFCs), estavam esgotando essa camada. Esse aumento de radiação UV ameaça a vida na Terra, elevando a incidência de cânceres e alterando os ecossistemas. Em resposta, o Protocolo de Montreal foi adotado para reduzir a emissão desses poluentes e proteger a camada de ozônio.

Os tons de cores e a proporção entre os tamanhos dos seres vivos representados não são os reais.



Reinaldo Vignati

Esquema representativo do ciclo do oxigênio.



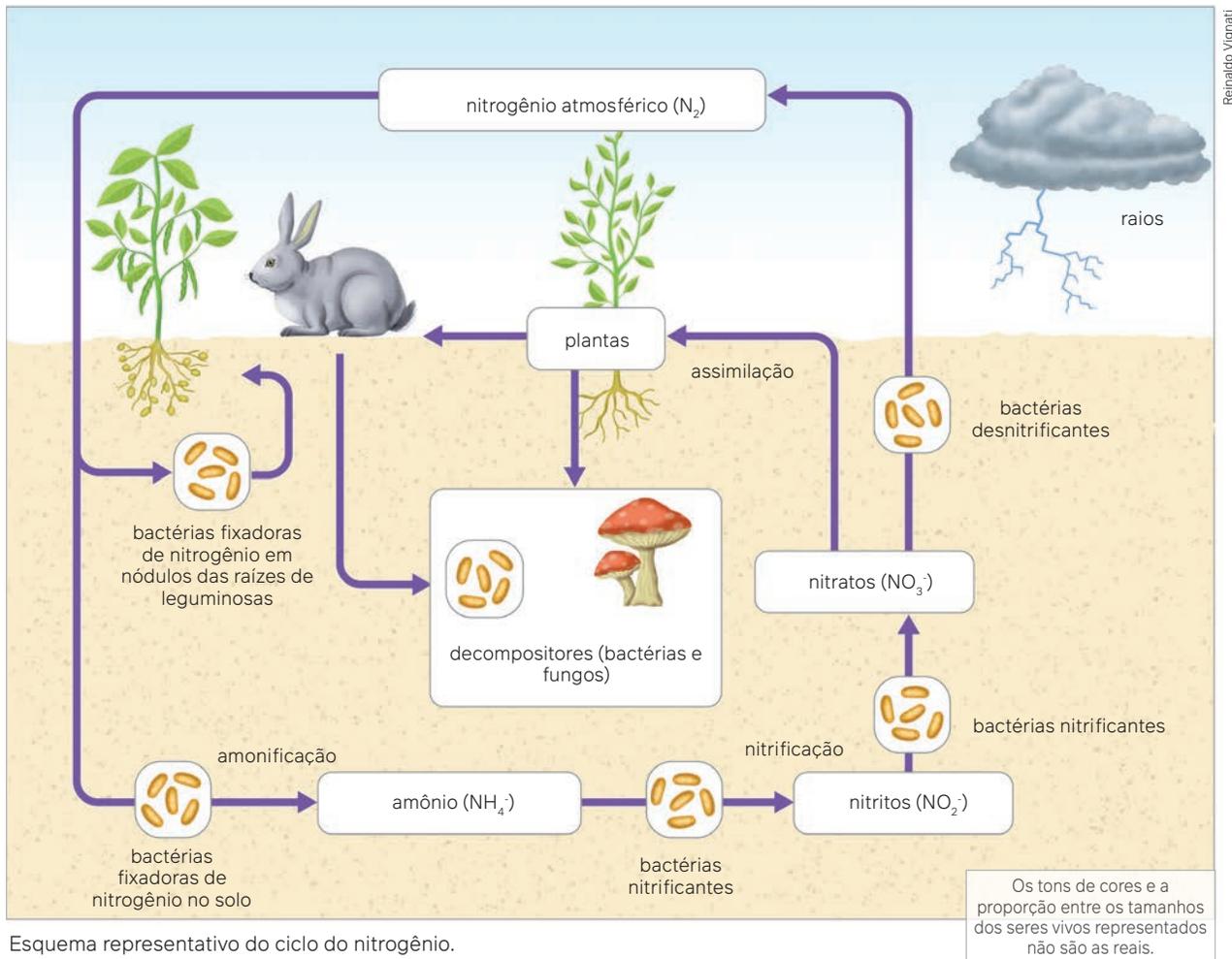
Sakura/Shutterstock.com

Na fotossíntese, plantas, algas e algumas bactérias usam a luz solar para converter dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ) em glicose (açúcar) e oxigênio ( $O_2$ ). O oxigênio liberado durante a fotossíntese é essencial para a respiração dos seres vivos na Terra.

Esquema representativo de forma simplificada dos processos de fotossíntese e respiração celular.

## Ciclo do nitrogênio

O gás nitrogênio ( $N_2$ ) é o principal componente da atmosfera. No entanto, a maioria dos seres vivos não pode usar diretamente esse nitrogênio atmosférico. O aproveitamento do nitrogênio pela maior parte dos organismos depende de sua fixação. Algumas bactérias e cianobactérias têm a capacidade de converter o  $N_2$  atmosférico em formas que as plantas podem absorver, como nitrato ( $NO_3^-$ ) e amônia ( $NH_3$ ).



Esquema representativo do ciclo do nitrogênio.

A amônia liberada pela decomposição da matéria orgânica é convertida em íon amônio no solo. As plantas absorvem nitrato e amônio do solo por meio de suas raízes. Esses compostos contêm nitrogênio e são essenciais para o crescimento das plantas. À medida que as plantas crescem, incorporam o nitrogênio em seus tecidos.

Os herbívoros obtêm nitrogênio ao se alimentarem de plantas, e os carnívoros obtêm nitrogênio ao se alimentar de outros animais.

Quando seres vivos morrem, bactérias e fungos decompõem os tecidos e liberam nitrogênio de volta ao ambiente na forma de amônia. As bactérias desnitrificantes convertem nitratos ( $NO_3^-$ ) em nitrogênio gasoso ( $N_2$ ), que é liberado de volta na atmosfera. Este processo, chamado de desnitrificação, ocorre em condições anaeróbicas (ausência de oxigênio).

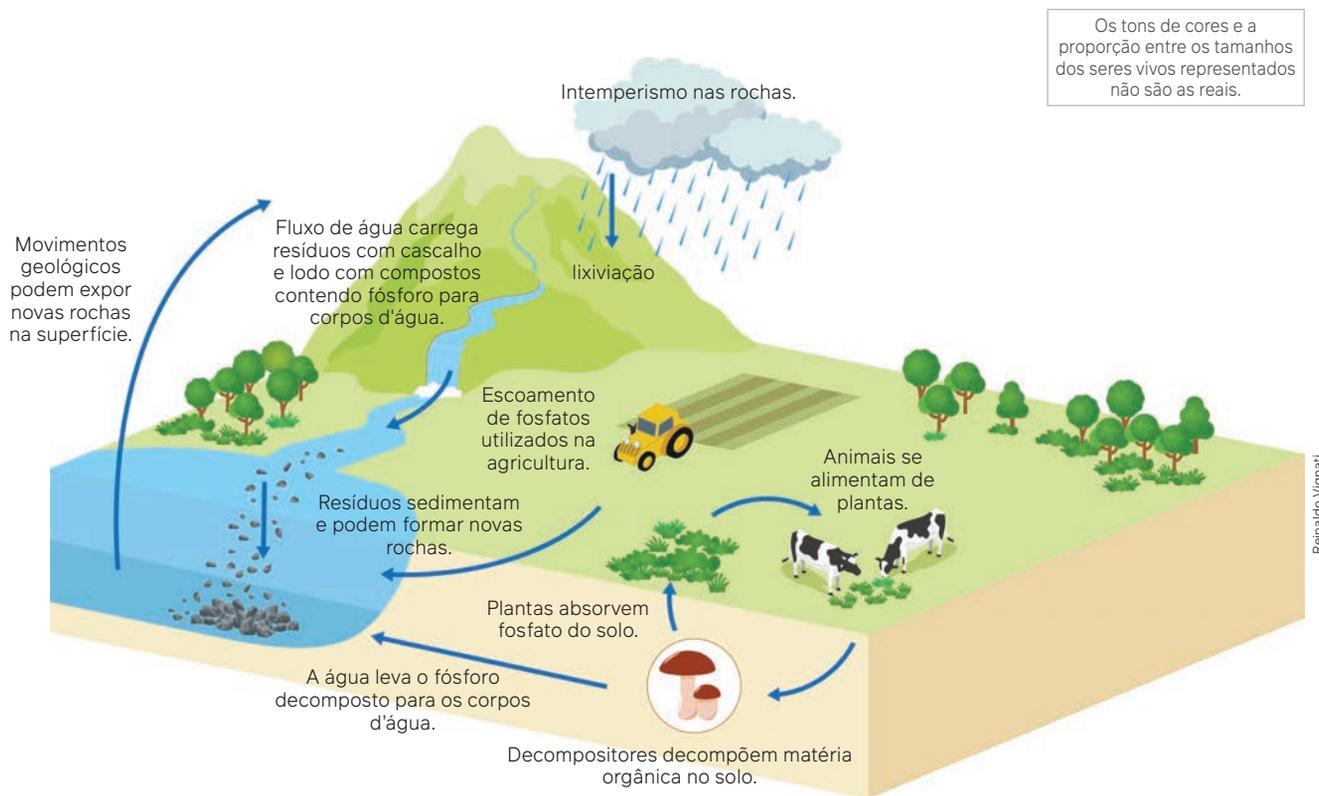
O ciclo do nitrogênio é um dos processos mais importantes para a vida na Terra. Ele é responsável por garantir que o nitrogênio, essencial para a síntese de DNA e proteínas, esteja disponível para todos os seres vivos.

Nódulos produzidos por bactérias *Rhizobium leguminosarum*, fixadoras de nitrogênio, nas raízes da ervilha *Pisum sativum*.



## Ciclo do fósforo

O ciclo do fósforo é o processo pelo qual esse elemento circula na biosfera, ligando-se a moléculas fundamentais e desempenhando um papel essencial na obtenção de energia para todas as células.



Esquema representativo do ciclo do fósforo.

A intemperização (desgaste natural) das rochas que contêm fósforo libera esse elemento químico que é transportado pela água da chuva para os solos, rios e oceanos.

As plantas (inclusive as aquáticas) absorvem íons de fósforo (geralmente na forma de fosfato) do solo através de suas raízes. O fósforo é essencial para a formação de ácidos nucleicos e ATP, que armazena e transporta energia dentro das células.

Quando os consumidores primários alimentam-se de produtores, eles incorporam o fósforo em seus tecidos. Os carnívoros, por sua vez, obtêm fósforo ao se alimentar de outros animais.

Quando os seres vivos morrem, o fósforo contido em seus tecidos retorna ao solo por meio da decomposição.

## Fatores que impactam os ciclos

A decomposição de matéria orgânica por microrganismos libera nutrientes no solo, enquanto a quantidade de chuvas pode interferir nos processos de erosão e no transporte de minerais. Essas variações nos ciclos biogeoquímicos são essenciais para regular os fluxos de energia e matéria nos ecossistemas e manter a dinâmica ambiental.

Além disso, a velocidade dos ciclos também é influenciada pela origem dos elementos. Ciclos de natureza gasosa, em que os elementos são provenientes da atmosfera, tendem a ser mais rápidos do que os ciclos sedimentares, nos quais os elementos têm origem no solo.

O tempo de decomposição é outro fator que influencia os ciclos biogeoquímicos, pois determina a velocidade com que os nutrientes são liberados para o ambiente. Em ambientes onde a decomposição ocorre lentamente, como em regiões frias ou secas, a liberação de nutrientes pode ser mais demorada.

Por outro lado, em locais úmidos e quentes, a decomposição tende a ser mais rápida, acelerando o processo de liberação de nutrientes. Essas diferenças na velocidade dos ciclos e no tempo de decomposição podem modificar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas e, conseqüentemente, a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos.

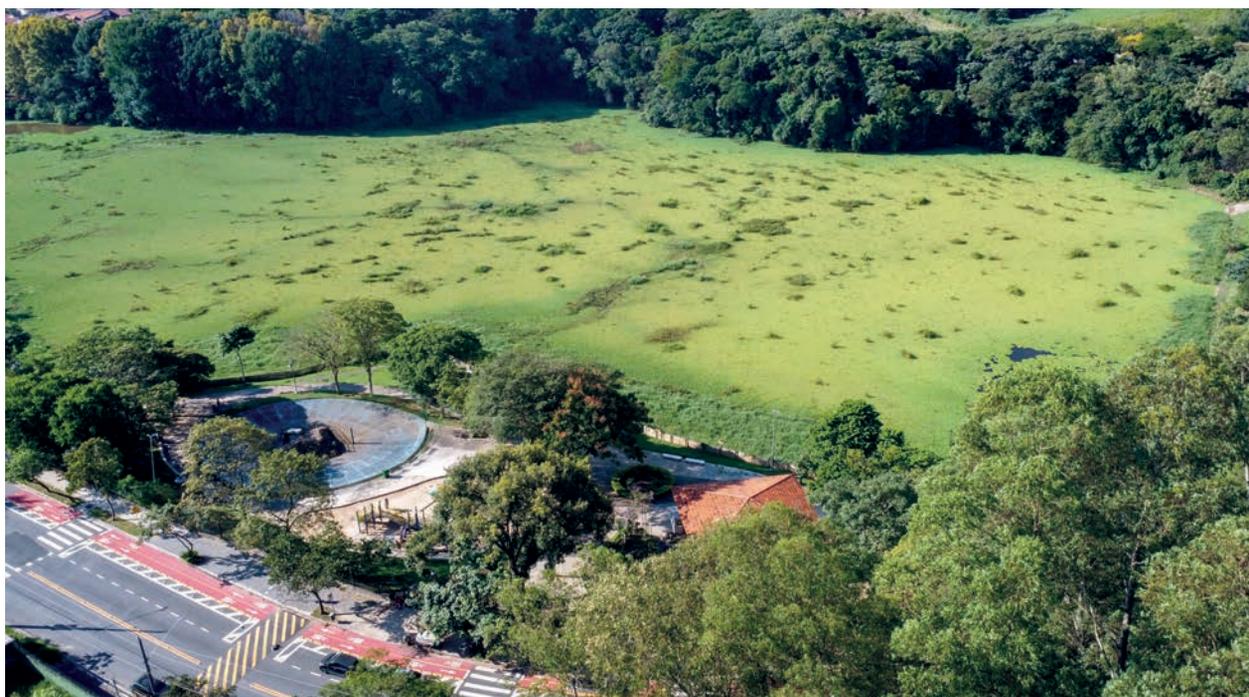
As atividades humanas têm um impacto significativo nos ciclos biogeoquímicos, alterando a dinâmica dos processos envolvidos. Por exemplo, a agropecuária pode alterar a dinâmica natural de um ecossistema, modificando as vias e a disponibilidade de elementos químicos.

Um exemplo disso é o carbono, presente em maior quantidade na matéria orgânica do solo do que na atmosfera e nos seres vivos. O manejo inadequado do solo pode resultar na liberação de taxas elevadas de carbono para a atmosfera, contribuindo para o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Da mesma forma, a queima de combustíveis fósseis representa um aumento considerável de carbono atmosférico, intensificando ainda mais o efeito estufa. Esse aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico tem implicações diretas sobre o clima, contribuindo para o aquecimento global, uma vez que o CO<sub>2</sub> retém o calor na atmosfera.

Além disso, a supressão da vegetação também influencia no ciclo do oxigênio. A agricultura intensiva pode impactar o ciclo do nitrogênio e do fósforo nos ecossistemas. Uma das principais formas é por meio do uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, que aumentam a quantidade desses nutrientes nos sistemas agrícolas. Alternativas ao uso de fertilizantes artificiais, como a rotação de culturas e a adubação verde, são essenciais para reduzir os impactos ambientais.

Os fertilizantes podem ser levados pela água da chuva, e atingir os corpos d'água próximos. Uma vez nos corpos d'água, esses nutrientes adicionais podem causar **eutrofização**, processo em que ocorre enriquecimento de nutrientes no ambiente, levando ao crescimento excessivo de certas espécies de algas, cianobactérias e plantas aquáticas. Durante o crescimento descontrolado dessas plantas aquáticas, grandes quantidades de biomassa vegetal são produzidas. Quando essas algas e plantas morrem elas são decompostas por microrganismos aeróbicos, um processo que consome o oxigênio dissolvido na água. Isso leva à redução dos níveis de oxigênio disponíveis no ambiente, prejudicando a vida aquática.



Cesar Conventi/Fotoarena

Lagoa eutrofizada no Parque Cidade de Toronto localizado no bairro do Parque São Domingos, Zona Oeste de São Paulo (SP), 2023.

A poluição da água pode afetar o ciclo do oxigênio nos ecossistemas aquáticos, pois reduz a luminosidade. Além disso, aumenta substancialmente as concentrações de CO<sub>2</sub> em decorrência da decomposição da matéria orgânica. O uso excessivo da água, como em irrigações, pode comprometer a vazão hídrica em uma região e o esgotamento da água subterrânea.

As mudanças climáticas afetam os ciclos biogeoquímicos, alterando padrões de temperatura e precipitação. Isso pode ter efeitos significativos na disponibilidade de recursos naturais e na distribuição de espécies. O aquecimento global tem impactado o regime de chuvas no planeta, causando secas e inundações em regiões não previstas, afetando a disponibilidade de água potável, a agricultura, a biodiversidade e a saúde humana.

O aumento das temperaturas globais tem levado ao degelo em várias partes do mundo, como, por exemplo, o derretimento do gelo polar, liberando metano por meio da decomposição da matéria orgânica presente no solo antes congelado, o que amplifica o efeito estufa.

A perda de biodiversidade também é outro fator que pode prejudicar a eficiência dos ciclos de nutrientes e tornar os ecossistemas mais vulneráveis às perturbações. Um exemplo é o desmatamento em larga escala na Floresta Amazônica, em que muitas espécies de árvores, plantas e animais estão sendo suprimidas.

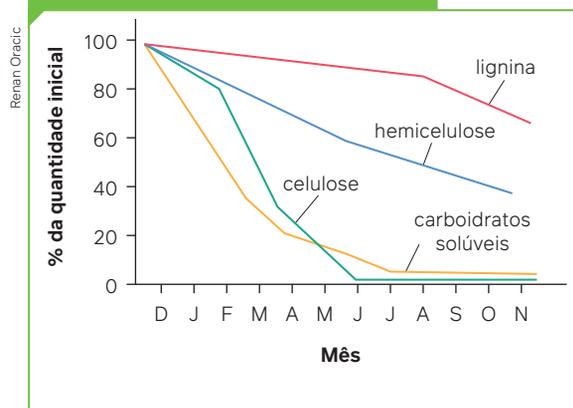
Além disso, com a perda de espécies animais, a dispersão de sementes pode ser prejudicada e a taxa de decomposição da matéria orgânica pode diminuir, afetando a disponibilidade de nutrientes no solo.

## Atividades propostas

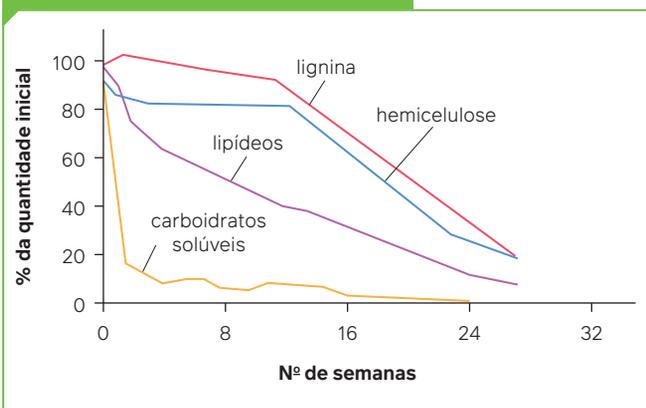


- As ações humanas interferem na dinâmica dos ciclos biogeoquímicos que regulam os processos naturais na Terra. Considerando os impactos das atividades antrópicas, descreva como as seguintes ações alteram os ciclos, seja de forma positiva ou negativa.
  - A compostagem de materiais orgânicos reduzindo os resíduos depositados em aterros sanitários.
  - A implementação de áreas de conservação para proteger habitats naturais.
  - O aumento do desmatamento para expandir áreas agrícolas e urbanas.
  - O uso controlado de pesticidas para proteger as colheitas agrícolas.
- Os gráficos a seguir descrevem o tempo de decomposição de algumas substâncias presentes em folhas mortas de uma espécie de carvalho no solo e na água de um riacho em uma floresta temperada. Analise-os e responda:

Folhas *Quercus cerris* em solo de floresta temperada



Folhas *Quercus cerris* em solo de riacho temperado



Fonte: ROTEIRO da Semana 7: Aula 6 – Ecologia. In: E-DISCIPLINAS USP. [São Paulo], [20--?]. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/book/view.php?id=2438676&chapterid=20760>. Acesso em: 17 jun. 2024.

- Que diferenças são possíveis identificar na decomposição das substâncias em ambos os ambientes? De que forma as variações entre os dois ambientes podem contribuir para essas diferenças?
  - Qual substância apresenta maior taxa de decomposição?
- Explique como o uso de fertilizantes sintéticos pode afetar a dinâmica no ciclo do nitrogênio, resultando em problemas ambientais. Pesquise, em sites de universidades, institutos de pesquisa e órgãos da administração pública, ações que podem ser tomadas para a redução do uso de fertilizantes e evitar os problemas que podem ser causados por seu uso.

## Adaptações à disponibilidade de alimentos

Os organismos desenvolveram diversas adaptações para lidar com a variação na disponibilidade de alimentos e nutrientes, tanto em termos espaciais quanto temporais.

As raízes de leguminosas, como o feijão e a soja, formam nódulos em que se estabelecem bactérias do gênero *Rhizobium*, fornecendo-lhes carboidratos em troca de nitrogênio fixado por essas bactérias. Nesse caso, ambas as espécies se beneficiam da interação, embora ela não seja obrigatória.

Algumas plantas formam associações simbióticas com fungos micorrízicos, como os fungos do gênero *Glomus*, que ampliam a capacidade de absorção de água e nutrientes, especialmente fósforo, pelas raízes das plantas.

As plantas carnívoras apresentam estratégias para obter nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, em ambientes cujo solo tem baixa disponibilidade deles. Ao capturar e digerir presas vivas, como insetos e pequenos animais, as plantas carnívoras suprem suas necessidades nutricionais em condições adversas.

Alguns animais adotam estratégias comportamentais para lidar com a variação na disponibilidade de alimentos ao longo do tempo. Por exemplo, os esquilos e as gralhas-azuis são conhecidos por armazenar alimentos, como sementes ricas em lipídios, para períodos de escassez, como durante o inverno.

Algumas estratégias reprodutivas relacionam-se à disponibilidade de alimentos. Organismos podem ter estratégias de reprodução do tipo “R”, reprodução em grande quantidade; ou do tipo “K”, reprodução em menor quantidade, mas com mais investimento nos filhotes, e assim ocuparem ambientes com alta ou baixa disponibilidade de alimentos. Esses tipos são dois extremos no espectro de estratégias reprodutivas observadas na natureza.

Um exemplo de organismo R-estrategista é o pulgão, que se reproduz rapidamente para colonizar novos ambientes e aproveitar breves períodos de abundância de recursos.

Mamíferos, como as baleias e os grandes primatas, são exemplos de organismos “K-estrategistas”, pois investem significativamente na criação e proteção de seus filhotes, garantindo sua sobrevivência em ambientes exigentes e competitivos.

Algumas plantas possuem adaptações anatômicas que garantem maior eficiência na absorção de nutrientes. Um exemplo são as raízes de algumas plantas que apresentam pelos absorventes que aumentam a área de absorção de nutrientes, como água e sais minerais, do solo.

As embaúbas (*Cecropia* sp.), típicas de áreas de Mata Atlântica, apresentam raízes que se estendem horizontalmente no solo, permitindo uma absorção eficiente de água e nutrientes, especialmente em solos pobres. Essa adaptação contribui para a sobrevivência dessas plantas em ambientes onde a competição por recursos é alta.



This.is...Ji-Hun-Lee/Shutterstock.com

As raízes de leguminosas apresentam nódulos, com bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. Os nódulos têm tamanho médio aproximado de 2 mm a 5 mm.



Usanee/Shutterstock.com

Uma armadilha natural. *Nepenthes*, uma planta carnívora, exibe suas folhas modificadas em forma de jarro, com líquido digestivo, pronta para capturar insetos e pequenos animais como fonte de nutrientes em ambientes de baixa disponibilidade de nutrientes. Cada jarro tem aproximadamente 12 cm de comprimento.

IRA\_EVVA/Shutterstock.com



Esquilo consumindo uma semente.



Nigel Catlin/Science Source/Fotoarena

Ponta da radícula (raiz embrionária) de planta de repolho (*Brassica oleracea*) em processo de germinação.



## Adaptações das plantas às condições do cerrado brasileiro

As condições físicas ambientais são um dos principais condicionantes da formação dos diferentes habitats na Terra e da variedade de organismos distintos entre um local e outro. Para as plantas, que são sésseis e que exploram recursos pontualmente, os fatores abióticos do meio agem como as principais pressões seletivas à evolução, limitando a distribuição destas espécies sobre a Terra [...].

Em cada ambiente distinto, as plantas apresentam atributos estruturais ou funcionais que lhes permitem sobreviver e se reproduzir, também chamados de adaptações. Estes atributos resultam de evolução por seleção natural, que age sobre a variabilidade genética de caracteres herdáveis dos organismos numa população. [...]

As principais adaptações das plantas nativas às condições físicas do cerrado são: o sistema subterrâneo desenvolvido desde o estágio de plântula, com raízes que atingem grandes profundidades no solo em busca de água; caules subterrâneos com função de reserva (xilopódio) e com gemas que permitem a rebrota das plantas após a estiagem e as queimadas; translocação de fotoassimilados para o sistema subterrâneo nos períodos de seca; caules aéreos muito espessos e com acúmulo de cortiça para proteção contra o fogo; folhas com estômatos abaxiais, cutícula espessa e com pilosidades, minimizando perdas de água para a atmosfera; resposta de crescimento sob baixas concentrações de nutrientes e pH ácido; acúmulo foliar de alumínio; e ajustamento osmótico das raízes, possibilitando a entrada de água nos meses secos e a continuidade da transpiração e da fotossíntese [...].



A espessa camada de cortiça em plantas de cerrado, como o angico, propicia a proteção em situações de incêndios florestais.

GRANDO, C. *As adaptações das plantas às condições do cerrado brasileiro*. In: SEMINÁRIOS EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, Piracicaba, [20--?].

## Estratégias de aquisição e uso de recursos

[...] as diferentes fitofisionomias que compõem as savanas neotropicais abrigam espécies bem adaptadas a solos profundos [...], com baixa fertilidade e alta acidez.

[...]

De forma geral, as plantas possuem duas estratégias de aquisição e uso de recursos: a conservativa e a aquisitiva [...]. Em habitats com baixa disponibilidade de recursos, prevalece a estratégia conservativa, caracterizada por crescimento lento, proteção dos tecidos, órgãos de reserva, folhas de vida longa e com baixa concentração de nutrientes, baixa taxa fotossintética, baixa taxa de respiração e alto investimento em massa seca por área. Em locais com grande disponibilidade de recursos, prevalece a estratégia aquisitiva, caracterizada por crescimento rápido, folhas com tempo de vida curto, alta concentração de nutrientes, alta taxa fotossintética, alta taxa de respiração e baixo investimento em massa seca por área.

CARRIJO, J. N. *Atributos funcionais como indicadores de estratégias ecológicas de plantas lenhosas de formações savânicas do cerrado*. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Faculdade de Ciências Agrárias Biológicas e Sociais Aplicadas, Câmpus de Nova Xavantina, Universidade do Estado de Mato Grosso. p. 13. Disponível em: <http://portal.unemat.br/media/files/josiene-final-dissertacao-final-tur-2018.pdf>.

Acesso em: 17 jun. 2024.

## Trocando ideias



1. Por que podemos considerar os fatores abióticos do meio como as principais pressões seletivas sobre as plantas?
2. Das adaptações das plantas nativas às condições físicas do cerrado citadas nos textos, quais podem ser relacionadas à absorção e uso eficiente de nutrientes?
3. Explique em que consistem as estratégias de aquisição e uso de recursos: conservativa e a aquisitiva.



1. Os quadros a seguir mostram a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em dois diferentes tipos de solo (A e B) e o crescimento de duas espécies de plantas (X e Y) adaptadas a essas condições.

Concentração de nutrientes nos solos A e B		
Solo	Nitrogênio (mg/kg)	Fósforo (mg/kg)
A	50	10
B	10	50

Crescimento das plantas X e Y nos solos A e B		
Solo	Planta X (altura em cm)	Planta Y (altura em cm)
A	30	15
B	20	25

Com base nas informações hipotéticas dos quadros apresentados, assinale a alternativa que melhor explica as adaptações das plantas X e Y aos diferentes solos.

- A planta X é mais eficiente na absorção de fósforo; por isso, cresce melhor no solo B.
  - A planta Y possui adaptações que permitem um crescimento mais eficiente em solos ricos em nitrogênio, como o solo A.
  - A planta X possui adaptações que lhe permitem crescer melhor em solos com alta disponibilidade de nitrogênio e baixa disponibilidade de fósforo, como o solo A.
  - A planta Y é mais eficiente na absorção de nitrogênio; por isso, cresce melhor no solo B.
  - Ambas as plantas X e Y possuem a mesma eficiência na absorção de nutrientes, independentemente da concentração de nitrogênio e fósforo no solo.
2. Um estudo com formigas de correição, isto é, que vivem em grandes expedições, da espécie *Eciton hamatum* identificou que:

Quando conquistam o alimento, as operárias o depositam em estruturas ao longo dos percursos que podem atingir 200 metros, de modo a protegê-lo de fatores climáticos e de outros insetos. Essa forma de armazenamento durante a expedição é chamada de cachê [...].

[...] O estudo mostrou que os caches são formas adaptadas que as formigas de correição desenvolveram para coletar o máximo de alimento em um só ataque. Assim que encontram um ninho para invadir, as poucas operárias aptas iniciam uma corrida para roubar ovos e larvas, antes que as presas fujam e se defendam. “Nessa confusão, o cache é uma estrutura em que a operária de formiga de correição pode depositar seguramente sua presa e rapidamente voltar para coletar mais presas, melhorando a coleta mesmo quando existem poucas operárias para realizar essa tarefa” [...]. Os resultados mostraram um papel inédito nos caches e sobre o valor adaptativo para as formigas de correição *E. hamatum*. “Mostraram que formigas de correição encontraram uma solução engenhosa para um problema logístico de causar pesadelos para qualquer um que precise coletar e transportar rapidamente uma grande quantidade de recursos efêmeros, usando vias limitadas e com poucos indivíduos disponíveis para esse trabalho.” [...]

GAMA, G. Formigas armazenam presas em meio à trilha como estratégia de coleta. *Jornal da USP*, São Paulo, 15 fev. 2022. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/formigas-armazenam-presas-em-meio-a-trilha-como-estrategia-de-coleta/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

Que tipo de estratégia à disponibilidade de nutrientes foi identificado no estudo? Explique.

## Recapitule



No capítulo foram apresentados os processos fundamentais que sustentam a vida nos ecossistemas. Discutiu-se como a energia é captada pelos produtores, como as plantas, por meio da fotossíntese, e transferida ao longo das cadeias alimentares para os consumidores. Os ciclos biogeoquímicos foram abordados de modo a relacioná-los com a circulação dos elementos essenciais para a vida. Esses elementos são utilizados pelos organismos em processos vitais, e sua reciclagem na natureza é fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas. Elabore um esquema relacionando os seguintes termos: produtores, consumidores, cadeias e teias alimentares, fluxo de energia, ciclo da matéria, água, carbono, oxigênio, fósforo, nitrogênio, interferências antrópicas, adaptação.

# Conservação da biodiversidade

CAPÍTULO

# 20

Alexandre Laprise/Shutterstock.com



Visão aérea de uma área com cultivo agroflorestal na Amazônia, com um sistema de plantio diversificado, com espécies que podem ser destinadas para alimentação, uso medicinal, composição de biomassa, regeneração florestal, entre outras intenções. Na imagem, observa-se variedade de culturas, como banana, castanha-do-pará, cupuaçu, mamão, abacaxi, mandioca. Brasil, 2018.

## ▼ Para refletir

1. Observe a imagem e a legenda. Como você relaciona o cultivo agroflorestal com a conservação e a restauração da biodiversidade?
2. Como você avalia o papel das áreas protegidas, como matas ciliares e parques nacionais, na conservação da biodiversidade? Em sua opinião essas áreas são eficazes na proteção dos ecossistemas?
3. Você já teve alguma experiência pessoal que o fez refletir sobre a importância da restauração de ecossistemas degradados? Comente com colegas e professor.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Identificar e explicar as ideias fundamentais da conservação da natureza, compreendendo sua importância para a proteção e manejo dos ecossistemas e da biodiversidade.
- Compreender o papel da educação ambiental na conscientização e no engajamento da sociedade para a conservação da biodiversidade, reconhecendo a importância de disseminar conhecimento e promover ações sustentáveis.
- Analisar o papel de comunidades locais e tradicionais na conservação da biodiversidade, compreendendo suas práticas sustentáveis, seus saberes e sua relação harmoniosa com a natureza.

## Ameaças à natureza

Toda riqueza da biodiversidade é resultado de milhões de anos de evolução, e sua conservação é fundamental para a continuação da vida no planeta. As espécies interagem de inúmeras formas nos ecossistemas, estabelecendo relações complexas em cadeias e teias alimentares. A perda de uma espécie pode afetar muitas outras, causando distúrbios nos ecossistemas.

Diversas ações humanas afetam a dinâmica dos ecossistemas, muitas vezes de modo tão acentuado e constante que não há tempo das populações se adequarem às novas dinâmicas, o que resulta na perda de biodiversidade.

Entre os fatores que ameaçam a biodiversidade estão a exploração intensiva dos recursos naturais, a destruição e fragmentação de habitats, a introdução de espécies exóticas, as mudanças climáticas e a poluição, todos intensificados pela atividade humana.

## Exploração intensiva dos recursos naturais

Com o avanço da industrialização e a busca incessante pelo progresso, bem como o crescimento substancial da população, passamos a um nível de exploração intensiva dos recursos naturais, de forma excessiva e predatória, sem considerar consequências a curto e longo prazo para o meio ambiente.

**Recursos naturais** são matérias-primas presentes na natureza que podem ser utilizados pelos seres humanos para diferentes fins. Eles podem ser renováveis, como a água, a biodiversidade e a energia solar, ou não renováveis, como o petróleo e os minerais.

Esses recursos são essenciais para a vida humana, fornecendo alimentos, energia e materiais. Contudo, seu uso excessivo e predatório pode levar ao esgotamento desses recursos, mesmo quando eles são renováveis.

Um exemplo é o que vem ocorrendo com a Amazônia, onde vastas áreas de floresta são derrubadas para dar lugar à agricultura, pecuária e exploração madeireira. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o desmatamento na Amazônia Legal atingiu 13 038 km<sup>2</sup> em 2021, maior nível de desmatamento dos últimos 25 anos, segundo o sistema de monitoramento por satélite PRODES. Esta exploração desenfreada não apenas compromete a biodiversidade única da região, mas também contribui significativamente para as mudanças climáticas globais.



A industrialização gera desenvolvimento, porém pode ocasionar diversos impactos nos ecossistemas. Suzano (SP), 2024.

## Destruição e fragmentação de habitats

O desmatamento desenfreado está intimamente relacionado à **fragmentação do habitat** e tem um impacto significativo na área ocupada pelas espécies. Quando grandes áreas de floresta ou campos são desmatadas para comercialização de madeira ou para dar lugar à agricultura, pecuária, mineração e urbanização, os ecossistemas, antes contínuos, são divididos em fragmentos menores e isolados. Essa fragmentação destrói habitats e limita a disponibilidade de recursos para as espécies.

Por exemplo, as ariranhas (*Pteronura brasiliensis*), que vivem perto de rios e lagos e dependem deles para caçar e se deslocar, sofrem com a fragmentação do habitat aquático causada pelo desmatamento das margens dos rios, que também leva ao assoreamento desses corpos d'água. Com a redução da disponibilidade de áreas aquáticas adequadas, as ariranhas podem ter suas áreas de vida drasticamente reduzidas, comprometendo sua capacidade de sobrevivência e reprodução.

Além disso, a fragmentação do habitat traz ainda outro problema: o aumento do **efeito de borda**. Nas bordas, as condições ambientais podem mudar drasticamente em comparação ao interior do fragmento. Isso pode incluir alterações na temperatura, umidade e exposição ao vento. O efeito de borda é caracterizado por alterações na vegetação nativa decorrentes do contato com áreas cultivadas ou pastagens ao longo das bordas das florestas, além de obras de infraestrutura, como rodovias. Essa transição abrupta entre diferentes habitats desencadeia mudanças na cadeia alimentar, na disponibilidade de energia e na redução de espécies nativas ao longo da borda.



Thomaz Vito Neto/Pulsar Imagens

Vista aérea mostrando diferentes impactos de atividades humanas em um habitat, causando sua fragmentação. Planalto (SP), 2024.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.

## Poluição

A **poluição** é uma ameaça significativa para os ecossistemas, afetando a qualidade da água, do ar e do solo. A poluição pode ocorrer de várias formas, incluindo o despejo de esgoto sem tratamento, a liberação de substâncias químicas e o descarte de resíduos sólidos de maneira inadequada no ambiente, podendo poluir o solo, os rios, os oceanos e a atmosfera.

Um exemplo é a presença de plásticos nos oceanos, causando a poluição marinha. Estima-se que, no Brasil, mais de 3 milhões de toneladas de plástico sejam despejadas anualmente nos mares e oceanos.

Um estudo realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica entre março de 2020 e fevereiro de 2021, em 64 municípios dos 17 estados que abarcam o bioma Mata Atlântica e do Distrito Federal, coletou amostras em 130 pontos em diversos rios e revelou que 22 deles (16,9%) apresentaram qualidade de água ruim. Em geral, a perda de qualidade se deve ao descarte inadequado de resíduos sólidos e industriais, ao uso excessivo de fertilizantes e pesticidas e a alteração nos cursos desses corpos d'água, como a construção de barragens e diques.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição do ar é um fator de risco para a saúde da população, além de estar relacionada às causas de milhões de mortes anualmente em todo o mundo.

Já a poluição do solo interfere nos organismos que ali vivem, afetando a ciclagem de nutrientes, a aeração e a permeabilidade, o que resulta na perda de fertilidade e produtividade.



Ricardo Oliveira/Pulsar Imagens

Lixo acumulado em região portuária. Manaus (AM), 2024.

## ► Ciências da Natureza

O estudo sobre os combustíveis fósseis pode ser aprofundado no **capítulo 18** e o estudo sobre os plásticos pode ser aprofundado no **capítulo 24** do volume de **Química** desta coleção.

## Mudanças climáticas

As **mudanças climáticas** representam um desafio cada vez mais urgente. O aumento das emissões de gases que intensificam o efeito estufa, resultado da queima de combustíveis fósseis e de outras atividades humanas, contribui significativamente para o aquecimento global. Esse fenômeno tem provocado alterações climáticas drásticas em todo o mundo, incluindo o aumento da temperatura média global, o derretimento de geleiras e a ocorrência mais frequente de eventos climáticos extremos.

No Brasil, os efeitos das mudanças climáticas já estão sendo amplamente observados. Eventos climáticos extremos, como furacões, inundações, secas, incêndios florestais e deslizamentos de solo, têm se tornado mais frequentes e intensos. Esses eventos têm impactos devastadores, causando perdas materiais, animais e humanas, além de desabastecimento, danos ambientais, contaminação da água e riscos à saúde pública.

A queima de combustíveis fósseis, como a gasolina nos carros, contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento global. Salvador (BA), 2024.



Joa Souza/Shutterstock.com

Um exemplo preocupante é a situação da Caatinga, bioma único e extremamente sensível às mudanças climáticas. Observa-se um aumento nas temperaturas e uma redução na precipitação em várias áreas, levando a um processo de desertificação em algumas regiões. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mais de 42% da Caatinga já foi convertida para outros fins, como agricultura e pastagem, enquanto grande parte do que resta encontra-se fragmentado e vulnerável.

Dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil mostram um aumento significativo nos eventos de inundação em várias regiões do país. Em 2024, a região Sul do Brasil, principalmente o estado do Rio Grande do Sul, enfrentou uma das maiores enchentes da história, resultando em mortes, danos materiais, desalojamento de famílias e impactos negativos na agricultura e infraestrutura local. Catástrofes como essa tem sido atribuídas a mudanças nos padrões de precipitação e despreparo para lidar com os eventos climáticos.

## Atividades propostas



1. Onças-pintadas são animais distribuídos em vários biomas brasileiros, especialmente áreas florestais na Amazônia e Pantanal. De natureza solitária e predadora, esses animais habitam vastas extensões territoriais que se estendem por dezenas de quilômetros quadrados. Com base nessa informação, responda às seguintes questões:
  - a) Como a fragmentação do hábitat impacta o modo de vida das onças-pintadas, considerando sua forma de alimentação, reprodução e comportamento?
  - b) Cite algumas medidas que podem ser tomadas para mitigar os efeitos da fragmentação do hábitat e proteger as áreas de vida dessa espécie.
2. Leia o texto e faça o que se pede

[...] A emergência climática deixou de ser uma alerta e está presente nas cidades brasileiras das mais diferentes formas: enchentes na região Sul, ressacas no Rio de Janeiro, tempestades em São Paulo que deixaram pessoas sem energia elétrica por dias, fumaça de queimadas que cobrem Manaus, seca nos rios da região Amazônica e ondas de calor no Centro-Oeste. Mais do que nunca, combater e mitigar as mudanças climáticas deve estar no planejamento público.

A natureza oferece soluções neste caminho, como áreas verdes que ajudam a absorver a água da chuva ou árvores diminuem ilhas de calor. [...]

SOLUÇÕES baseadas na natureza podem tornar cidades mais resilientes. *Painel brasileiro de mudanças climáticas*, Rio de Janeiro, [20--?]. Disponível em: <http://pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/noticias>. Acesso em: 21 jun. 2024.

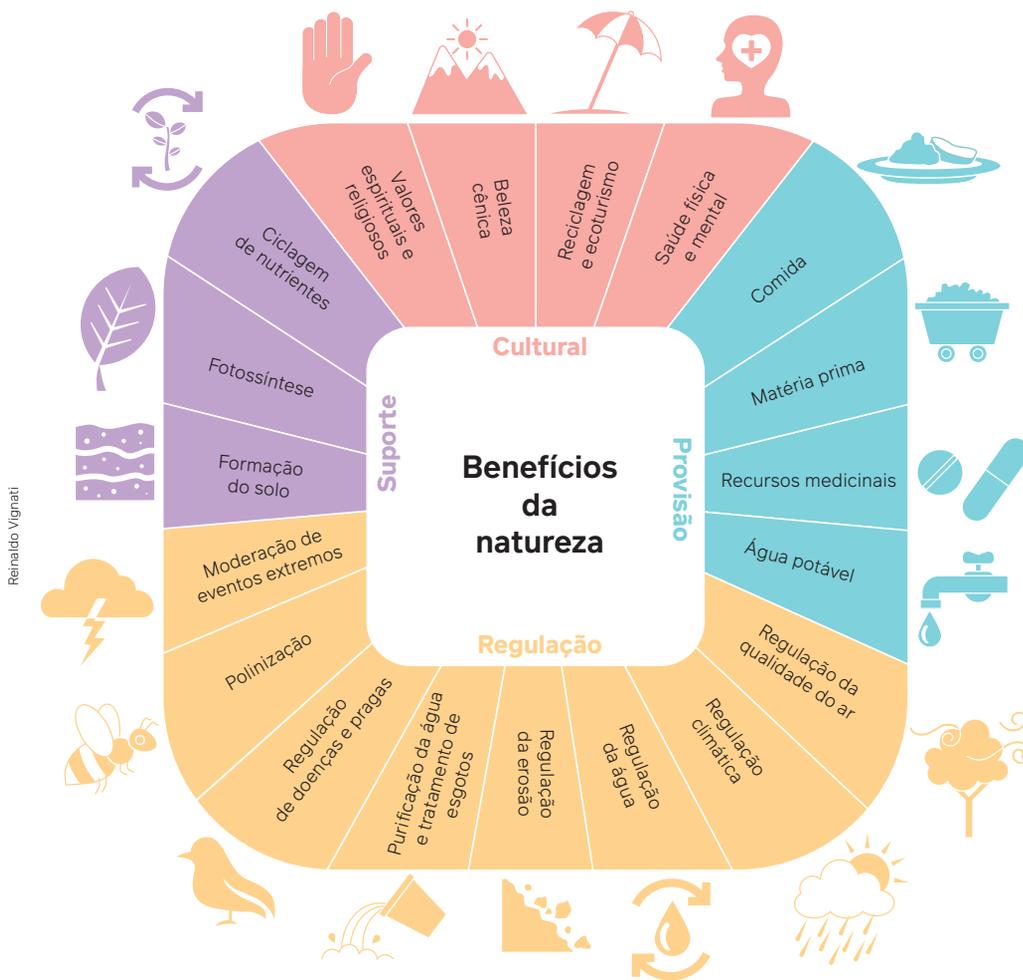
Em grupo com três colegas, façam uma pesquisa a respeito das soluções baseadas na natureza e analisem quais seriam eficientes em seu município, bairro e escola. Para tomar a decisão, avaliem as condições locais, os problemas enfrentados e a viabilidade das propostas/exemplos trazidos neste capítulo. Escrevam um projeto de implantação para os três níveis (município, comunidade e escola), explicando quais medidas poderiam ser adotadas localmente, onde e como poderiam ser implantadas e os efeitos esperados. Apresentem os projetos para os demais grupos.

# Proteção, serviços e manejo dos ecossistemas

A conservação da biodiversidade envolve tanto a proteção quanto o **uso sustentável** dos recursos naturais, como florestas, rios, oceanos e a própria diversidade biológica. Esse uso sustentável requer uma gestão cuidadosa, que minimize os impactos ambientais e promova práticas que garantam a saúde dos ecossistemas, bem como a equidade social. Exemplos dessa abordagem incluem a agricultura sustentável, o manejo florestal responsável e o uso adequado dos recursos hídricos.

Além de proteger os ecossistemas, a conservação está ligada ao **desenvolvimento sustentável**, que busca equilibrar a preservação ambiental com o crescimento econômico e o bem-estar social. A conservação não deve ser vista como um obstáculo ao desenvolvimento, mas sim como uma aliada estratégica para garantir que os recursos naturais sejam utilizados de maneira responsável e que continuem disponíveis para as gerações futuras. Práticas como o ecoturismo, a agricultura regenerativa e certificações de manejo sustentável exemplificam como é possível desenvolver a economia ao mesmo tempo em que se protege o meio ambiente. Essas iniciativas ajudam a criar empregos, aumentar a renda das comunidades e promover o uso racional dos recursos, assegurando que o desenvolvimento ocorra de forma harmoniosa com a natureza, sem comprometer a biodiversidade ou os serviços ecossistêmicos essenciais para a sobrevivência humana.

Essa visão integrada dos benefícios da natureza para as pessoas, representada na ilustração abaixo, reforça a importância de práticas que garantam o uso sustentável dos recursos, preservando tanto os ecossistemas quanto o bem-estar humano.



Benefícios da natureza para as pessoas organizados em quatro grupos: suporte, regulação, provisão e cultura.

Fonte: MURER, B. M.; FUTADA, S. M. O que é biodiversidade? *Unidades de Conservação no Brasil*, [s. l.], [20--?]. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/biodiversidade#o-que-biodiversidade>. Acesso em: 24 jun. 2024.

## Serviços ecossistêmicos

Denominamos **serviços ecossistêmicos**, ou benefícios da natureza para as pessoas, o que os seres humanos obtêm dos ecossistemas naturais e da biodiversidade. Esses serviços podem ser agrupados em diferentes categorias, destacando as diferentes formas pelas quais os ecossistemas nos beneficiam:

- **Provisão de recursos:** é dos ecossistemas que extraímos recursos naturais essenciais para nossa sobrevivência, como alimentos, água potável, madeira, fibras, combustíveis e medicamentos.
- **Regulação do clima:** os ecossistemas desempenham um papel importante na regulação do clima global, absorvendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera por meio da fotossíntese e armazenando carbono em sua biomassa, ajudando a mitigar as mudanças climáticas.

As imagens desta página não estão representadas na mesma proporção.



Abelhas polinizando flores de macieira.



Variedade de alimentos.

- **Polinização de cultivos:** a manutenção dos ecossistemas garante a sobrevivência de animais polinizadores e, consequentemente, a polinização, que é essencial para a reprodução de muitas plantas cultivadas e para produção de alimentos.
- **Recreação e bem-estar:** os ecossistemas oferecem oportunidades de recreação, lazer e contato com a natureza, proporcionando benefícios para a saúde física e mental das pessoas.
- **Valor cultural e espiritual:** os ecossistemas possuem um valor cultural e espiritual significativo para muitas comunidades, fornecendo um senso de identidade, conexão com o ambiente e inspiração artística e criativa.



Pessoas explorando trilha na Chapada Diamantina. Palmeiras (BA), 2024.

## Conservação *in situ* e *ex situ*

A conservação da biodiversidade pode se dar *in situ* ou *ex situ*. A conservação ***in situ*** refere-se à proteção e à preservação de espécies e habitats em seu ambiente natural, uma vez que essa abordagem busca manter a integridade dos ecossistemas.

Já a conservação ***ex situ*** envolve a proteção e a preservação de espécies fora de seu ambiente natural, em ambientes como jardins botânicos, zoológicos, recintos, refúgios e viveiros conservacionistas e bancos de germoplasma. Essa abordagem é utilizada quando as espécies enfrentam ameaças graves ou estão à beira da extinção em seus ambientes naturais.



O município de Silva Jardim (RJ) abriga áreas preservadas nas quais ocorrem a conservação *in situ* do mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*) e de outras espécies que fazem parte da biodiversidade do bioma Mata Atlântica.



Ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii*) é um exemplo de conservação *ex situ*. Considerada extinta na natureza, vem passando por um processo de criação em cativeiro para posterior reintrodução na natureza.

## Conservação em áreas protegidas

Uma das formas de conservação *in situ* é o estabelecimento de áreas protegidas. No Brasil, as áreas protegidas são definidas sob forma de leis, regulamentadas e administradas para alcançar objetivos específicos de conservação. São exemplos as Áreas de Preservação Permanente (APP), as Reservas Legais (RL) e as Unidades de Conservação (UC).

### Áreas de Preservação Permanente

As **Áreas de Preservação Permanente (APP)** são definidas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/12), com a função de preservação dos recursos hídricos da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade; visa facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

São exemplos de APP as áreas marginais de cursos d'água e o entorno de reservatórios de água natural ou artificial e de nascentes, as encostas com declividade superior a 45°, as restingas, os manguezais, as bordas dos tabuleiros ou chapadas, os topos de morros, montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25° e as áreas com altitude maior que 1800 (mil e oitocentos) metros, independentemente do tipo de vegetação.



Vista aérea do rio Jacaré-pepira. Em destaque, a mata ciliar, em trecho da cidade de Bariri, São Paulo. As matas ciliares são o ecossistema típico das APP de cursos d'água. Todo corpo d'água deve ter uma faixa de mata ciliar de no mínimo 30 metros de largura margeando-o; quanto maior ele for, maior deve ser a dimensão da mata ciliar. Bariri (SP), 2023.

### Reservas legais

São áreas de cobertura de vegetação nativa, localizadas no interior de uma propriedade ou posse rural. Apresentam a função de assegurar o uso econômico dos recursos naturais inseridos na área ocupada pelo imóvel rural de modo sustentável. Além disso, objetivam auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos, promover a conservação da biodiversidade, bem como abrigar e proteger a fauna silvestre e a flora nativa.

No Brasil, essas áreas devem representar entre 20% e 80% da área total da propriedade rural, a depender do bioma e da fisionomia vegetal que possuem.

### Unidades de conservação

As **Unidades de Conservação (UC)** são áreas definidas e legalmente protegidas que visam conservar a biodiversidade, as espécies, os ecossistemas e os recursos genéticos, hídricos e edáficos (do solo), além da conservação de características geológicas, geomorfológicas, espeleológicas, arqueológicas, paleontológicas e culturais. Elas são criadas com base na necessidade de conservar áreas de relevância ambiental, garantindo a sobrevivência de espécies e a manutenção dos processos ecológicos essenciais.

Existem doze categorias de UC que abrangem diferentes estratégias de conservação e usos possíveis. Estão organizadas em dois grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

As **Unidades de Proteção Integral** têm como objetivos a preservação ambiental, a educação ambiental e a pesquisa. São as mais restritivas, proibindo o uso direto. São elas: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre.

As **Unidades de Uso Sustentável** visam conciliar a conservação com o uso sustentável de parte dos recursos naturais. Alguns exemplos são a coleta e a agricultura, desde que de forma regulamentada. Fazem parte desta categoria de unidade de conservação: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista (RESEX), Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Veja a seguir alguns tipos de Unidades de Conservação no Brasil:

- **Parque Nacional:** visa preservar ecossistemas de grande importância ecológica e beleza cênica. Eles são destinados à proteção integral, permitindo apenas atividades como pesquisas científicas, educação ambiental e turismo ecológico.



Yan Luca/Shutterstock.com

O Parque Nacional do Iguaçu é uma unidade de conservação. Foz do Iguaçu (PR), 2023.

- **Área de Proteção Ambiental:** busca conciliar a preservação ambiental com o uso sustentável dos recursos naturais, disciplinando o processo de ocupação do solo. Elas permitem a ocupação humana e atividades de baixo impacto, como agricultura e turismo sustentável. São constituídas por terras públicas ou privadas.



Tales Azziz/Pulsar Imagens

A APA Costa dos Corais tem como objetivos conservar os corais e manguezais que ocorrem na região e ordenar atividades como o ecoturismo, a pesquisa e a pesca artesanal. Maragogi (AL), 2020.

- **Reserva Extrativista:** são áreas públicas concedidas a comunidades tradicionais, como ribeirinhos e quilombolas, que realizam atividades de subsistência com base no uso sustentável dos recursos naturais. São proibidas a exploração de recursos minerais e a caça; a exploração comercial de madeira é admitida apenas em bases sustentáveis. Objetiva conciliar a conservação da natureza com a garantia dos direitos dessas populações.



Ricardo Azevny/Pulsar Imagens

Extração de látex no Projeto de Assentamento Extrativista Chico Mendes na Resex Chico Mendes. Xapuri (AC), 2022.

- **Florestas Nacionais:** São áreas públicas, com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas. Objetivam o uso sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica. É permitida apenas a permanência de populações tradicionais que já habitavam o local antes da criação da UC.



Tarcísio Schneider/Pulsar Imagens

Floresta Nacional do Tapajós localizada no estado do Pará, que visa à conservação e uso sustentável dos recursos do bioma amazônico. Belterra (PA), 2024.

## Manejo sustentável

Na busca pela conservação da biodiversidade, uma abordagem fundamental é o **manejo sustentável** dos recursos naturais. Esse conjunto de atividades envolve a utilização dos recursos sem comprometer a capacidade dos ecossistemas de se regenerar e de manter sua funcionalidade, garantindo a continuidade do uso a longo prazo.

Existem várias práticas e técnicas de manejo sustentável que podem ser aplicadas em diferentes contextos, dependendo das características específicas dos ecossistemas e dos recursos.

O **manejo integrado do fogo** consiste no uso do fogo como forma de prevenção de grandes incêndios florestais para a manutenção da biodiversidade e para o controle de espécies invasoras nos biomas que dependem do fogo e são resistentes a ele, como o Cerrado, o Pampa e o Pantanal. Nessas situações, o uso do fogo é planejado, monitorado e manipulado, visando alcançar os objetivos pretendidos.

O **manejo agroecológico** envolve a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, integrando a produção de alimentos à conservação dos recursos naturais, geralmente, promovido pela agricultura familiar. Esse manejo inclui o uso de técnicas de conservação do solo e água, rotação de culturas, diversificação de cultivos, agrofloresta, cultivo de plantas de cobertura, controle biológico e manejo integrado de pragas, visando reduzir o uso de agroquímicos como fertilizantes e pesticidas.

A **agroecologia** também promove o resgate de técnicas tradicionais de cultivo e o uso de práticas agrícolas que respeitam os ciclos naturais e a biodiversidade local, inspiradas em práticas realizadas por comunidades indígenas e quilombolas. O uso de sistemas agroflorestais, que combinam árvores, pastagens e animais, também é uma estratégia eficaz para promover a regeneração dos solos e a diversificação da produção.



Ernesto Reghran/Pulsar Imagens

Plantação de café e bananas no sistema agroflorestal, tipo de manejo que permite a produção de alimentos associada à conservação da água e do solo. Rolândia (PR), 2022.

## Atividades propostas



1. É fundamental conhecer e valorizar as Unidades de Conservação (UC), pois elas contribuem para a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas. Em duplas, selecionem uma UC localizada na região em que você mora e pesquisem informações sobre: o tipo que é classificada; os objetivos; as características peculiares; a biodiversidade; as formas de gestão e as atividades que são permitidas nessa área protegida. Gravem um vídeo curto sobre as informações investigadas e compartilhem para divulgar as informações obtidas com a pesquisa.
2. Leia o texto e siga as orientações para realizar a atividade.

[...]

A pegada ecológica é uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia justamente o impacto do consumo sobre os recursos naturais.

A Pegada Ecológica de um país, de uma cidade, de uma empresa ou de uma pessoa, corresponde ao tamanho das áreas produtivas de terra e de mar, necessárias para gerar produtos, bens e serviços que utilizamos no nosso dia a dia.

Em outras palavras, a Pegada Ecológica é uma forma de traduzir, em hectares globais (gha), a extensão de território que uma pessoa ou toda uma sociedade “utiliza”, em média, para se sustentar.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. Pegada ecológica. *WWF-Brasil*, [Brasília, DF], [20--?]. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/nosso\\_trabalho/pegada\\_ecologica/](https://www.wwf.org.br/nosso_trabalho/pegada_ecologica/). Acesso em: 28 jun. 2024.

Em grupos, pesquisem acerca da pegada ecológica. Identifiquem quais atividades diárias dos membros do grupo têm maior impacto na pegada ecológica, avaliem como essas atividades contribuem para o impacto ambiental e proponham medidas para reduzir a pegada ecológica individual e coletiva. Preparem um relatório ou apresentação com suas descobertas e sugestões, abordando as atividades que mais influenciam a pegada ecológica e as ações para reduzir o seu impacto.

3. Cartazes são comuns em campanhas de conscientização sobre a importância de agirmos em prol da conservação da biodiversidade, mas você sabe como pode contribuir no local onde vive? Reflita a respeito dos problemas ambientais que você consegue identificar na sua região e pense em como você poderia contribuir para solucioná-los. Em seguida, em grupos, elaborem um cartaz com as principais ações que identificaram.



Cartaz de campanha de conscientização sobre a preservação do meio ambiente.

## Governança ambiental

A **governança ambiental** é um tema fundamental quando se trata de conservação da biodiversidade. Ela refere-se às ações, políticas e acordos estabelecidos em nível local e global para gerenciar e proteger os recursos naturais, garantindo o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a sustentabilidade ambiental.

A governança ambiental envolve a participação de diferentes atores da sociedade, como governos, Organizações Não Governamentais (ONGs), comunidades locais e a sociedade em geral. Esses atores desempenham papéis importantes na tomada de decisão e implementação de medidas que visam proteger o meio ambiente.

## Gestão global

A governança ambiental é um tema importante já que a proteção dos recursos naturais enfrenta diversos desafios a nível mundial. Um dos principais deles, é alcançar um consenso entre os países sobre seus direitos e responsabilidades em relação às suas ações no planeta. Cada país tem suas próprias necessidades, interesses e realidades socioeconômicas, o que pode dificultar a tomada de decisões conjuntas.

Outra dificuldade é conciliar as questões locais com as questões globais. Enquanto os problemas ambientais muitas vezes têm impactos locais diretos – como a degradação de ecossistemas específicos, a poluição da água e do ar –, as mudanças climáticas são questões que afetam o planeta todo.

A busca por um equilíbrio entre os interesses dos países também é um desafio, uma vez que as responsabilidades históricas e as capacidades de lidar com os problemas ambientais variam entre eles.

Outra dificuldade está relacionada à complexidade dos problemas ambientais, que são multifacetados e interdisciplinares, envolvendo aspectos científicos, econômicos, sociais e políticos. Compreender plenamente essas questões requer um esforço conjunto de atores (cientistas, governantes, especialistas e sociedade civil), de modo a analisar os impactos das ações humanas no meio ambiente e identificar soluções sustentáveis.

Eventos importantes ocorreram nesta direção, como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED), realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992. Com o foco na sustentabilidade, a Rio 92, como é conhecida, abriu as portas para muitas conferências, fóruns e pesquisas relacionadas à biodiversidade, clima e segurança ambiental.

Um exemplo é o Protocolo de Kyoto (1997), um tratado internacional firmado por 192 países que concordaram em reduzir a emissão de gases de efeito estufa. O acordo foi realizado com base no consenso científico de que o aquecimento global está em curso, impulsionado por ações antrópicas.

Outro exemplo, é a Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças de Clima (COP) é uma reunião anual que, desde 1994, reúne representantes de diferentes países para discutir e negociar medidas relacionadas às mudanças climáticas. A mais conhecida é a COP-21, que resultou no Acordo de Paris, abrangendo a mitigação, adaptação e financiamento frente às mudanças climáticas.



Cassandra Cury/Pulsar Imagens

Faixa sobre emergência climática em manifestação de indígenas na Esplanada dos Ministérios. Brasília (DF), 2023.

## Sustentabilidade

A busca pela **sustentabilidade** é um dos objetivos da governança ambiental. Isso implica considerar os impactos ambientais, sociais e econômicos das atividades humanas, bem como promover ações que minimizem esses impactos.

Uma importante ferramenta neste sentido são os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**, que constituem uma agenda mundial construída coletivamente e adotada por países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015.

Essa agenda é composta de 17 objetivos e 169 metas a serem atingidas até 2030 que contemplam ações mundiais para a erradicação da pobreza e da fome, promoção da saúde, educação, igualdade de gênero, saneamento, energia, infraestrutura, industrialização e outros. Apesar de ser uma agenda global, cada país, de acordo com sua realidade, estabelece as metas que melhor garantam o alcance dos objetivos. A agenda estipula meios de implementação (parcerias, programas, investimentos), formas de acompanhamento e revisão (transparência, plataformas, evidências científicas).



Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável.

Fonte: ONU. *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Brasília, DF: ONU Brasil, 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jun. 2024.

## Política e legislação

A governança ambiental também abrange a criação e implementação de políticas, leis e regulamentações ambientais. Tais medidas têm o objetivo de orientar e controlar as atividades humanas que afetam o meio ambiente, garantindo que sejam realizadas de forma sustentável e responsável.

A legislação ambiental é um passo importante para garantir a conservação da biodiversidade e a qualidade de vida humana. No Brasil, existem leis específicas que visam regular as atividades humanas que possam causar danos à natureza, como desmatamento, poluição, exploração de recursos naturais, entre outros.

Alguns exemplos importantes são:

- **Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981):** estabelece diretrizes e instrumentos para preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, tais como planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; proteção dos ecossistemas; controle das atividades potencialmente poluidoras, avaliação de impactos ambientais.
- **Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998):** define os crimes ambientais e estabelece as penalidades para quem cometer infrações contra o meio ambiente.
- **Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999):** define princípios e diretrizes para a educação ambiental no país, promovendo a conscientização e a participação da sociedade na proteção e conservação do meio ambiente.

No Brasil, algumas instituições atuam na proteção dos recursos naturais e na implementação de políticas ambientais. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por exemplo, executa as ações relacionadas às políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais. Entre elas estão o licenciamento ambiental, o controle da qualidade ambiental, a autorização de uso dos recursos naturais e a fiscalização, monitoramento e controle ambiental. O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) é responsável por gerir, proteger, monitorar e fiscalizar as 340 Unidades de Conservação Federais existentes em todo o país. Entre as ações estão o desenvolvimento de políticas públicas, realizadas em conjunto com as comunidades tradicionais que vivem no interior ou no entorno dessas UC, além de incentivar a participação da sociedade por meio de trabalhos de educação ambiental.

## Ciência por fora



## Reconhecimento da cosmovisão dos povos originários

Guajará-Mirim, município de Rondônia, repercute vitória importante com a aprovação da lei que definiu que *“Ficam reconhecidos os direitos intrínsecos do Rio Lage – Komi-Memen – como ente vivo e sujeito de direitos, e de todos os outros corpos d’água e seres vivos que nele existam naturalmente ou com quem ele se inter-relaciona, incluindo os seres humanos, na medida em que são inter-relacionados num sistema interconectado, integrado e interdependente.”* (Lei Municipal 2.579/2023).

É o primeiro município brasileiro a reconhecer o rio como sujeito de direito e um ente vivo. Ser sujeito de direito significa ser titular de direito, ou seja, ser entidade reconhecida que consegue impor sua vontade e preservar os seus interesses.

O Rio Lage, originalmente denominado pelos povos originários como Komi-Memem – água de frutas, na língua Wari’ Oro Mon –, deságua no Rio Madeira, que por sua vez abastece o Rio Amazonas. O Rio Komi-Memem perpassa pelo território indígena Igarapé Lage, localizado em Guajará-Mirim (Rondônia). [...] por um lado, a área indígena com floresta amazônica conservada, por outro, a pressão antrópica não indígena fica nítida. [...] As principais pressões que o rio e sua população interdependente sofrem são o avanço da fronteira da soja, o interesse de implantar hidrelétricas, a presença de madeireiros, garimpeiros e grileiros. [...]

O projeto de lei 007/2023, aprovado em Lei Municipal nº 2.579, promulgada em 28 de junho de 2023, foi elaborada a várias mãos, mas sob a liderança do vereador indígena Francisco Francisco Waram. Francisco, gentilmente concedeu uma conversa, ele é parlamentar indígena residente em Igarapé Lage, da aldeia Lage Velho, é professor estadual concursado, formado em Gestão Escolar e Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Rondônia. [...]. Francisco foi convidado a fazer parte da política pelo parente indígena, também vereador de Guajará-Mirim. Foi o terceiro vereador mais votado. Defende a pauta da educação escolar, além de estar como representante de 32 etnias indígenas da região, além dos interesses da população não indígena do município em seu cargo de vereador. Ele começa me contando das dificuldades que os territórios indígenas passam para acessar as políticas públicas básicas – educação, saúde, infraestrutura, etc. [...]

O primeiro passo dado foi o ajuste da Lei Orgânica do Município de Guajará-Mirim (lembrando que a lei orgânica é equivalente à Constituição, mas em escala local), incluindo responsabilidades ao Poder Executivo para esses territórios e povos, que ficavam apagados e esquecidos fora do “urbano” e fora do “rural” e recebiam sempre como respostas “buscar a FUNAI”. Tão como abrir caminho com o reconhecimento dos rios e seus direitos.

Em seguida, com emenda, foi criada a Comissão dos Povos Originários – com participação de população indígena, mas não indígena também, com união de sabedores tradicionais e ciência não indígena – onde eram discutidas as demandas, ações e políticas. Nesse espaço, houve o fortalecimento do debate tanto para os direitos dos humanos indígenas, como os direitos da natureza. A Comissão deu voz e deu representatividade. Com a presença dos dois vereadores indígenas foi possível mobilizar o debate para criar a lei específica para o Rio Komi-Memem.

[...] As atividades antrópicas desenvolvimentistas vêm pressionando o território de Igarapé Lage e causando impactos sobre o rio e tudo que dele interdepende. Com apoio de especialistas jurídicos, como a consultoria Mapas, e apoiadores como artista Iremar Ferreira, o texto da lei foi redigido. [...] A lei possui visão ecocêntrica, entende que o direito do rio é dele por direito e não por ser somente recurso a serviço de algo ou alguém. Ou seja, provoca uma mudança de visão sobre a natureza, dando enfoque à natureza para além da exploração humana. [...]

Apontei que existem em níveis federal e locais legislação ambiental que abordam a preservação e conservação do meio ambiente, e questionei ao Francisco qual seria a explicação das diferenças entre a Lei do Rio Komi-Memem e tal legislação existente. Ou seja, o que poderia justificar a criação de uma lei local, como a aprovada. A primeira resposta foi que a motivação da criação de tal lei foi justamente o descumprimento das demais leis já existentes. Foi criar um reforço e um reconhecimento daquele rio em específico, levar ao poder legislativo, judiciário e executivo o conhecimento sobre tal rio, a importância de garantir a existência saudável dele. Mas também a outra diferença é justamente reconhecer a cosmovisão indígena e traduzi-la para a população não indígena por via jurídica. Todo o processo em que Francisco esteve envolvido permitiu fortalecer o convencimento dos não indígenas para aprovação da lei. [...]

O principal instrumento previsto na lei é o Comitê Guardião, que deverá ser eleito a partir de indicação comprovada dos membros da comunidade [...].

O Comitê fica responsável por elaborar um relatório anual, com contribuições do Poder Público, para informar à comunidade sobre a saúde e estado do Rio e planejamento das ações estratégicas de efetivação dos direitos reconhecidos na lei. Além da publicação do relatório, está prevista a discussão sobre o seu conteúdo com membros do Poder Executivo e Poder Legislativo na sede da Câmara Municipal, com realização de pelo menos duas audiências públicas, extraindo-se recomendações. [...]

CARULLI, E. E. Reconhecimento da cosmovisão dos povos originários: alteração da lei orgânica de Guajará-Mirim (RO) e a lei do Rio Komi-Memem (Rio Lage). *LabJuta*, São Paulo, [202-]. Disponível em: <https://labjuta.com.br/alteracao-da-lei-organica-de-guajara-mirim/>. Acesso em: 28 jun. 2024

## Trocando ideias



1. Em que medida a cosmovisão de povos originários pode contribuir com a conservação da biodiversidade?
2. Explique por que a lei é necessária se já existem legislações específicas sobre os recursos hídricos e as matas ciliares que o protegem (APP).
3. Se você fosse um dos vereadores que criou o projeto de lei, quais argumentos você utilizaria para convencer seus colegas de câmara da importância dessa iniciativa?
4. Como você explica a importância do Comitê Guardião, instrumento previsto na Lei nº 2.579/2023, para a conservação do Rio Lage?
5. Pesquise na internet outras iniciativas, no contexto brasileiro, de criação de leis de reconhecimento de direitos intrínsecos à natureza e proteção das comunidades tradicionais.

## Atividades propostas



1. A proteção da natureza não é apenas uma questão ambiental, mas também uma questão de justiça social e responsabilidade ética. Devemos lembrar que somos parte da natureza e que nossa sobrevivência e bem-estar dependem dela. É tempo de agirmos coletivamente para preservar e restaurar os ecossistemas, equilibrando as necessidades humanas e a proteção da vida na Terra. Coletivamente, analisem os ODS e selecionem um que se relacione com a realidade da comunidade escolar. Elaborem uma proposta factível relacionada ao objetivo escolhido. Apresentem a proposta para a direção da escola e verifiquem a possibilidade de colocá-la em prática.

2. A geração e o descarte inadequado de resíduos sólidos são desafios ambientais da maioria das cidades brasileiras. Anualmente milhões de toneladas de resíduos são geradas, e uma grande quantidade é descartada de forma inadequada, provocando diversos prejuízos ambientais.

Reúnam-se em grupos, pesquisem e analisem as propriedades (como composição, durabilidade, reciclabilidade, biodegradabilidade, entre outros) de diferentes materiais que compõem os resíduos sólidos do ambiente escolar. Cada grupo apresentará suas conclusões para os demais, destacando as propriedades dos materiais analisados e as formas sustentáveis para sua reutilização e descarte. Discutam também a respeito dos benefícios ambientais e sociais dessas soluções e como elas podem contribuir para a conservação da biodiversidade.

3. Os conselhos gestores de UC são uma forma de governança. Você foi designado para representar um dos membros do Conselho Gestor de uma Unidade de Conservação durante uma reunião para discutir a prática de caça de subsistência por comunidades tradicionais dentro dos limites da UC. Sua tarefa é elaborar um argumento convincente para defender ou contestar a permissão dessa prática. Escolha um dos papéis abaixo para representar durante a discussão:

- Representante de uma ONG ambientalista contrária à caça de subsistência.
- Representante de uma comunidade tradicional que pratica a caça de subsistência.
- Representante do órgão governamental responsável pela gestão da Unidade de Conservação.
- Representante de uma empresa de turismo que opera na área da UC.

Prepare um argumento sólido e fundamentado que considere os seguintes pontos: os impactos ambientais da caça de subsistência na biodiversidade da UC; os aspectos sociais e culturais das comunidades tradicionais relacionados à prática da caça; as possíveis consequências econômicas para as comunidades locais e para a gestão da UC; sugestões para conciliar os interesses das comunidades locais visando à conservação da UC. Durante a discussão simulada, apresente seu argumento de forma respeitosa e construtiva, considerando os diferentes pontos de vista dos demais membros do Conselho Gestor. Esteja preparado para responder aos questionamentos e contra-argumentações dos outros representantes durante o debate.

4. João ganhou, de sua tia, um jabuti (*Geochelone carbonaria*) que estava com a família há mais de dez anos. A tia comprou o animal de um amigo. O jabuti não possui certificado de origem, e a tia não recebeu nota fiscal. Localize na internet a lei de crimes ambientais, leia a seção sobre crimes contra a fauna e depois responda: João, sua tia e o amigo da tia cometeram crime ambiental? Em caso positivo, qual é a pena prevista? Explique conforme a lei.

## Restauração ecológica

A **restauração ecológica** é uma prática que busca recuperar áreas naturais que foram danificadas ou degradadas, seja por ação humana, como desmatamento, seja por eventos naturais, como incêndios. O objetivo é restabelecer as condições originais desses ambientes, promovendo o retorno da biodiversidade e dos processos ecológicos.

Existem diferentes métodos de restauração, e cada um deles se adapta às características do ambiente que está sendo restaurado. Para definir o método, é importante identificar as características da área, o tamanho da devastação e o potencial de regeneração.



Vista geral de grande área em processo de desertificação em Gilbués (PI), 2024.

RAFAEL MARTINS/AFP/Getty Images

Em todos os casos, é necessário eliminar (ou reduzir) os agentes de perturbação, por exemplo, a retirada do gado no caso de pastagens, a eliminação de espécies invasoras, como capim-gordura, o cercamento da área, o controle do fogo ou da erosão, o controle de herbivoria, bem como fazer o monitoramento do processo, pois novas perturbações podem surgir.

Alguns programas de recuperação buscam o envolvimento ativo das comunidades locais no processo de restauração, promovendo a conscientização ambiental e proporcionando oportunidades de geração de renda por meio de atividades relacionadas à conservação e ao turismo ecológico.



Recuperação de área degradada promovida pelo Programa Olhos D'Água, que promove a restauração ambiental na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, destacando o sucesso da recuperação quando comparada ao início do projeto em 2001.

## Atividades propostas



1. Nessa atividade, você avaliará os riscos ambientais enfrentados por uma área específica para então propor medidas de conservação e restauração para mitigar esses riscos. Para isso, organizem-se em grupos, pesquisem e identifiquem os principais riscos ambientais enfrentados por áreas protegidas de seu município ou arredores (Reserva legal, APP, Parque Nacional etc.), como desmatamento, poluição, perda de hábitat, invasão de espécies, entre outros. Com base na análise dos riscos identificados, proponham estratégias de restauração adequadas para mitigar esses riscos. Apresentem suas propostas para a turma, destacando os principais riscos identificados e as medidas de restauração propostas. Discutam sobre os possíveis impactos dessas medidas e como elas podem contribuir para a conservação da biodiversidade.

## Recapitule



Este capítulo abordou como ações humanas têm impactado negativamente os ecossistemas e toda a biodiversidade. Assim como as ações humanas podem causar degradação ambiental, também podem promover a proteção da biodiversidade e a restauração dos ecossistemas. Além disso, o capítulo explorou a importância da participação de toda a sociedade na tomada de decisão sobre o meio ambiente. Convidamos você a elaborar um mural digital, composto de imagens e textos, utilizando esses termos como pontos-chave: impacto humano nos ecossistemas; ações de conservação; áreas protegidas; políticas ambientais; uso sustentável de recursos. Diagrama as ideias e os conceitos discutidos ao longo deste capítulo para criar uma representação visual que ajude a consolidar seu entendimento acerca de como podemos mitigar os impactos negativos no meio ambiente e promover a sustentabilidade.



## Fronteiras Planetárias

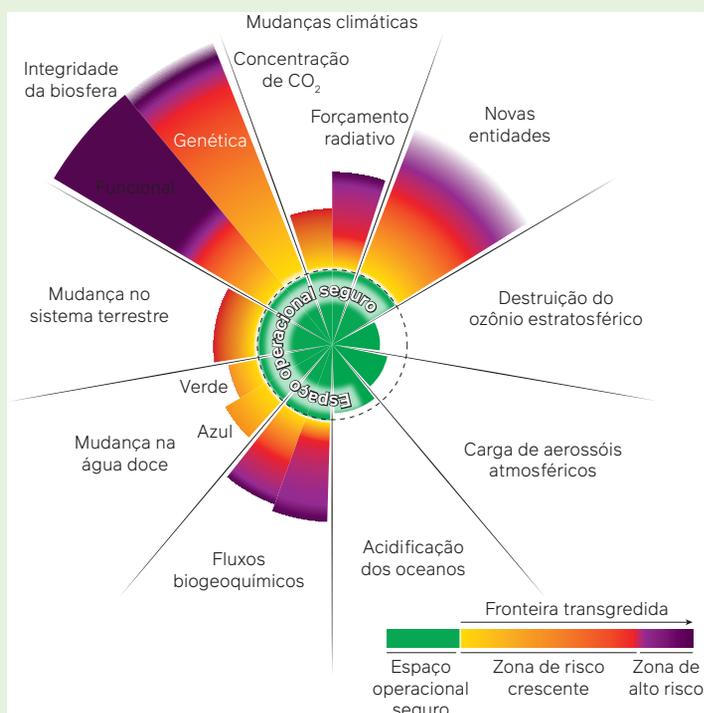
O modo como lidamos com o meio ambiente e gerimos os recursos naturais está levando nosso planeta a enfrentar desafios ecológicos sem precedentes. Problemas como desmatamento, poluição, perda de biodiversidade, mudanças climáticas e desequilíbrios nos ciclos biogeoquímicos são cada vez mais evidentes e graves em nível local e global. A solução para esses problemas exige uma abordagem integrada e baseada em conhecimentos científicos, reconhecendo a complexidade da relação entre atividade humana, economia e conservação.

Os desmatamentos contínuos em diversas regiões do mundo, por exemplo, têm levado à perda acelerada de biodiversidade, contribuindo para a extinção de várias espécies. A poluição de rios e mares contamina a água e afeta diretamente a vida aquática, enquanto as mudanças climáticas, impulsionadas pelas emissões de gases de efeito estufa, resultam em eventos climáticos extremos que perturbam a dinâmica dos ecossistemas.

Esses problemas são frequentemente retratados na mídia de forma dramática, com foco em imagens impactantes e cenas de desastres ambientais. Esses retratos frequentemente negligenciam a complexidade dos ecossistemas e a importância de todos os seus componentes, incluindo meso e microfauna, plantas e microrganismos. Se trata de uma visão limitada, que gera uma compreensão superficial e distorcida sobre as dinâmicas ecossistêmicas e os desafios de conservação.

Buscando definir parâmetros quantitativos que permitam uma avaliação dos impactos das atividades humanas no sistema terrestre, um grupo internacional de cientistas conduziu um importante estudo, que foi publicado em 2009, revisado e ampliado em 2023. Nos estudos, foram definidos limites para os impactos ambientais: as chamadas **Fronteiras Planetárias**, das quais a estabilidade do planeta depende diretamente. Ultrapassar as fronteiras pode levar a mudanças ambientais catastróficas e irreversíveis. Por isso, embasados em múltiplos cálculos, o grupo de cientistas sugeriu três categorias de segurança: espaço operacional seguro (em verde), zona de incerteza (entre o amarelo e vermelho) e zona de alto risco (em roxo).

Renan Oratic



Fonte: RICHARDSON, K. *et al.* Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, Washington, v. 9, n. 37, p. 4, 13 set. 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>. Acesso em: 22 jul. 2024.

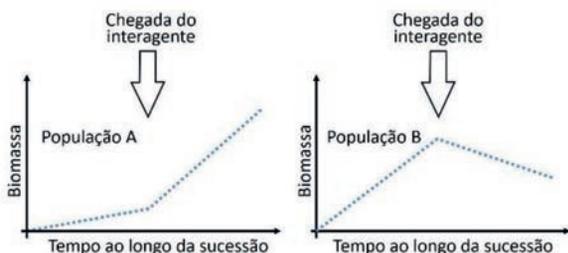
### Agora é com você!

Com base no complexo quadro apresentado, reflita sobre os desafios ecológicos e de conservação na sua comunidade e responda:

1. Como os problemas da comunidade se relacionam com as Fronteiras Planetárias globais?
2. Pense em como você pode investigar e planejar soluções para esses problemas, considerando a interconexão entre ciência, economia e meio ambiente.
3. Explore como a mídia e as redes sociais influenciam a percepção pública sobre esses problemas e como essa percepção pode ser ampliada para incluir uma visão mais coerente entre biodiversidade e ecologia.
4. Avalie a situação-problema em sua comunidade e busque formas de envolver as pessoas na busca por soluções sustentáveis.
5. Como os desafios locais se conectam aos desafios globais, e quais ações podem ser tomadas para enfrentar esses problemas de forma integrada e eficaz?

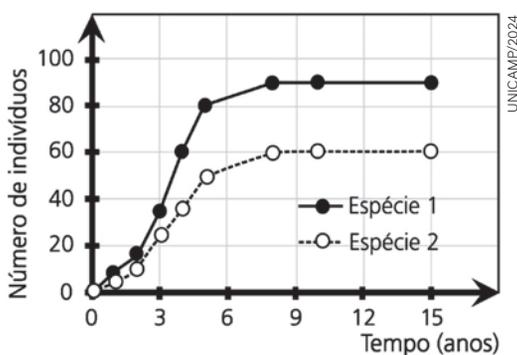


1. (Fuvest-SP – 2023) Os gráficos mostram a variação da biomassa de duas populações (A e B) de uma planta herbácea ao longo da sucessão primária. Em ambos os casos, em um dado momento indicado no gráfico, ocorre a chegada de indivíduos de uma outra espécie que interagem com essa planta na comunidade.



Os dois tipos de interagentes que poderiam causar os efeitos representados nos gráficos para as populações A e B, respectivamente, são

- um competidor e um herbívoro.
  - um parasita e um comensal.
  - um competidor e um parasita.
  - um mutualista e um herbívoro.
  - um comensal e um mutualista.
2. (Unicamp-SP – 2024) A dinâmica populacional de duas espécies que compartilham o mesmo hábitat é representada na figura a seguir. O tamanho máximo da população de cada espécie é limitado pela disponibilidade de recursos no hábitat.

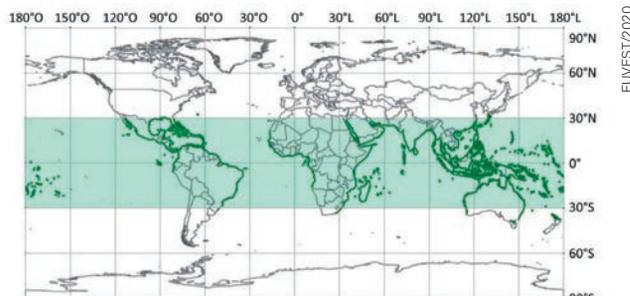


Considerando seus conhecimentos e os dados apresentados, é correto afirmar que as espécies

- competem por recursos e apresentam diferenças na eficiência de utilização do alimento disponível.
- ocupam nichos ecológicos distintos e têm crescimento populacional até o limite imposto pela resistência ambiental.
- são generalistas e assim têm nichos ecológicos mais restritos, o que diminui a competição entre elas.

- apresentam uma relação de cooperação, facilitando o crescimento populacional na ausência da resistência ambiental.

3. (Fuvest-SP – 2020)



Disponível em: <http://www.iucn.org/>. Adaptado.

Consiste em uma área úmida, definida como “ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés”. (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

- Qual é o ecossistema representado em destaque no mapa e descrito no excerto?
  - Aponte as razões da ocorrência desse ecossistema na faixa destacada do mapa e explique uma de suas funções ambientais.
  - Cite e explique dois fatores antrópicos que ameaçam esse ecossistema no Brasil.
4. (Uece – 2020) Relacione, corretamente, os ambientes com algumas de suas características abaixo apresentadas, numerando os parênteses de acordo com a seguinte indicação:

- Caatinga
- Cerrado
- Floresta Amazônica
- Pantanal

( ) É o segundo maior complexo vegetacional da América do Sul. No entanto, vem sendo degradado, nas últimas décadas, pela expansão da fronteira agrícola brasileira.

( ) Possui alta diversidade biológica; porém, por manter-se a partir do material orgânico que produz, seu equilíbrio é extremamente sensível às interferências antrópicas.

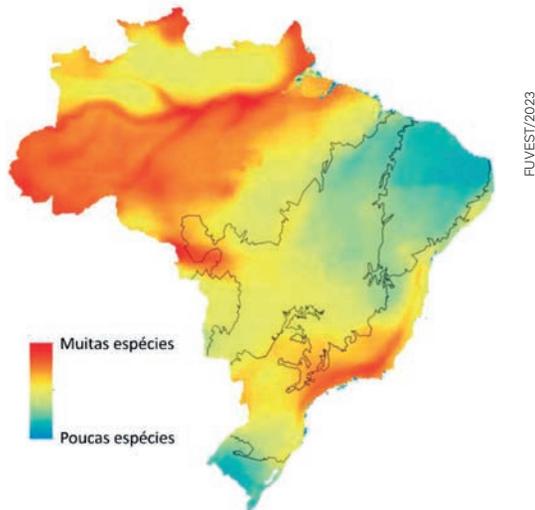
( ) Abriga uma fauna aquática muito variada. Nesse ambiente, a sobrevivência de diversas espécies como onças, jaguatiricas, lontras e, especialmente, de jacarés é colocada em risco devido ao mercado de peles.

( ) Apresenta índice pluviométrico entre 500 a 700 mm anuais, característica que, quando associada a outras, como por exemplo, à antropização, torna-o passível de desertificação.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- 4, 1, 3, 2.
- 2, 3, 4, 1.
- 3, 2, 1, 4.
- 1, 4, 2, 3.

5. (Fuvest-SP – 2023) O mapa mostra a variação do número de espécies de aves no território brasileiro, com as linhas indicando os limites dos biomas.



JENKINS *et al.* 2015. "Patterns of vertebrate diversity and protection in Brazil". PLoS ONE 10(12): e0145064. Adaptado.

Com base no mapa, a diversidade de aves mostra-se

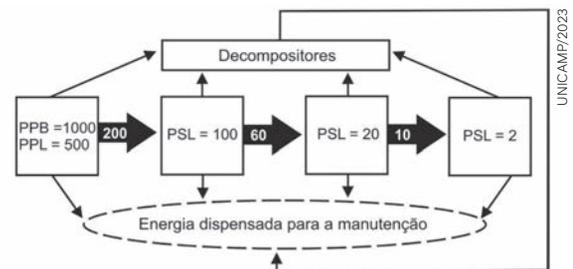
- mais alta nas regiões onde predominam florestas e mais baixa nas regiões onde predomina vegetação mais aberta.
  - igualmente alta nas regiões tropicais e mais baixa nas regiões subtropicais.
  - igualmente baixa nas regiões mais orientais e mais alta nas regiões ocidentais.
  - mais alta nas regiões mais quentes e mais baixa nas regiões mais frias.
  - mais alta nas regiões que se situam mais próximas ao mar e mais baixa nas regiões mais interiores.
6. (Unicamp-SP – 2023) Sancionada em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) previa eliminar lixões a céu aberto no país, aumentar os índices de reaproveitamento dos resíduos recicláveis e responsabilizar os grandes produtores de lixo. Porém, em 2019, dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil relevaram que 40% do lixo foi descartado incorretamente em aterros controlados ou lixões a céu aberto.

(Fonte: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em 10/10/2022.)

- Cite e explique dois benefícios para o meio ambiente e/ou para a saúde humana que tornam mais adequados para o descarte de resíduos sólidos os aterros sanitários do que os aterros controlados e lixões a céu aberto.
- O Protocolo de Kyoto foi um marco no compromisso mundial sobre as alterações climáticas, sendo substituído pelo Acordo de Paris, em vigor desde 2016. Indique o principal gás produzido pela decomposição do lixo orgânico e explique uma forma de utilizá-lo favoravelmente aos compromissos assumidos no âmbito do Acordo de Paris. Indique o

nome do processo realizado pelas bactérias para a decomposição da matéria orgânica e obtenção de energia na ausência de oxigênio.

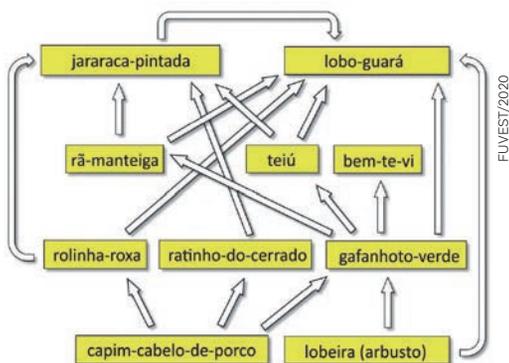
7. (Enem – 2022) A extinção de espécies é uma ameaça real que afeta diversas regiões do país. A introdução de espécies exóticas pode ser considerada um fator maximizador desse processo. A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*), por exemplo, é uma árvore originária da Índia e de regiões do Sudeste Asiático que foi introduzida ainda na era colonial e se aclimatou muito bem em praticamente todo o território nacional. Casos como o dessa árvore podem provocar a redução da biodiversidade, pois elas
- ocupam áreas de vegetação nativa e substituem parcialmente a flora original.
  - estimulam a competição por seus frutos entre animais típicos da região e eliminam as espécies perdedoras.
  - alteram os nichos e aumentam o número de possibilidades de relações entre os seres vivos daquele ambiente.
  - apresentam alta taxa de reprodução e se mantêm com um número de indivíduos superior à capacidade suporte do ambiente.
  - diminuem a relação de competição entre os polinizadores e facilitam a ação de dispersores de sementes de espécies nativas.
8. (Unicamp-SP – 2023) As relações ecológicas podem ser representadas por modelos de fluxo de energia, cujas principais vantagens são as representações dos decompositores, da matéria orgânica armazenada no sistema e da energia dispendida para a manutenção dos organismos. O modelo hipotético a seguir indica os valores ( $\text{kcal}/\text{m}^2/\text{ano}$ ) de produtividade primária bruta (PPB), de produtividade primária líquida (PPL), de produtividade secundária líquida (PSL) e do fluxo de energia (setas). Os valores dentro das setas indicam a energia assimilada pelo próximo nível trófico. Considerando os dados apresentados, é correto afirmar que a energia



- utilizada para a manutenção do consumidor primário é de  $40 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{ano}$ .
- direcionada aos decompositores é de  $352 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{ano}$ .
- consumida na manutenção dos autotróficos é de  $700 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{ano}$ .
- assimilada pelos carnívoros é de  $270 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{ano}$ .

9. (Fuvest-SP – 2020) Em um cerrado campestre bem preservado, ocorre a teia trófica representada no esquema.

- Cite uma espécie dessa teia alimentar que ocupa mais de um nível trófico, especificando quais são eles.
- Cite cinco espécies de uma cadeia alimentar que faça parte dessa teia. Desenhe um esquema da pirâmide de energia desse ambiente.



- Com relação à dinâmica dessa teia alimentar, descreva o efeito indireto da extinção local do bem-te-vi sobre a população do predador de topo dessa teia (ou seja, aquele que preda sem ser predado por nenhum outro componente da teia). Caso o capim-cabelo-de-porco venha a sofrer uma grande queda em sua biomassa, qual interação biológica seria esperada entre os consumidores primários que se alimentam desse recurso?

10. (UEA-AM – 2019) Em cadeias alimentares, os organismos classificados como produtores (pertencentes ao primeiro nível trófico) possuem metabolismo celular capaz de

- assimilar energia a partir das ligações químicas das substâncias orgânicas, como carboidratos e proteínas.
- sintetizar substâncias orgânicas a partir da energia liberada pela quebra da molécula de água no processo digestivo.
- reter energia nas ligações químicas das substâncias orgânicas, sintetizadas a partir de substâncias inorgânicas.
- obter energia a partir das ligações químicas das substâncias inorgânicas, sintetizadas durante o processo digestivo.
- obter energia a partir da digestão de substâncias orgânicas sintetizadas por bactérias e fungos decompositores.

11. (UEL-PR – 2023) A Teoria de Gaia, formulada, na década de 1970, pelo cientista britânico James Lovelock, propõe que os organismos controlam os elementos abióticos, de forma que a Terra se mantém em homeostase e em condições adequadas para sustentar a vida. Neste mecanismo de interdependência, os seres vivos não se limitariam a adaptar-se aos fatores

físicos, mas modificariam fatores como a temperatura e a composição química da atmosfera.

Sobre as relações dos organismos com os elementos abióticos, considere as afirmativas a seguir.

- Da energia luminosa que chega à superfície, 50% é absorvida pelas plantas para a síntese de moléculas orgânicas.
- O nitrogênio atmosférico é transformado em compostos nitrogenados no solo, que são disponibilizados para as plantas por bactérias conhecidas como desnitrificantes.
- Fungos e bactérias são responsáveis pela decomposição, processo em que a matéria orgânica morta é convertida em nutrientes e disponibilizada para os seres autótrofos.
- Um dos produtos da fotossíntese é o oxigênio ( $O_2$ ), utilizado pelas plantas que o produzem e por outros organismos vivos.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I e II são corretas.
- Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

12. (Unicamp – 2023) A Amazônia brasileira ganhou destaque nos últimos anos nos noticiários da mídia nacional e estrangeira, face ao avanço de graves problemas socioambientais. Nesse contexto, as unidades de conservação, como as Reservas Extrativistas (RESEX), introduzidas pela Lei 9.985 em 18/07/2000, cumprem um papel importante na preservação ambiental e na proteção social.

Sobre as RESEX no bioma amazônico, é correto afirmar que são áreas

- coletivas, demarcadas para populações indígenas, podendo ser usadas economicamente por meio de pequenas atividades de extrativismo vegetal, mineral e animal. Crescem dentro das RESEX a exploração turística e as atividades garimpeiras.
- públicas, destinadas ao usufruto das populações tradicionais ribeirinhas para moradia e atividades econômicas de baixo impacto ambiental. Aumentam no entorno das RESEX a exploração de madeira e o desmatamento para a implantação de atividades pecuárias.
- coletivas, concedidas para uso misto das populações indígenas e quilombolas, que exploram comercialmente as riquezas existentes com atividades extrativistas e agropecuária. Aumentam no entorno das RESEX núcleos urbanos e atividades de exploração madeireira.
- públicas, destinadas às populações tradicionais para residência e extrativismo sustentável; quando autorizado pelo Estado, grandes empresas podem explorar recursos naturais em larga escala. Crescem dentro das RESEX os impactos ambientais e a expulsão de população.



# Bem-estar e sociedade

Nesta unidade, serão estudados os diferentes sistemas do corpo humano, bem como o funcionamento integrado entre eles. A intenção é apresentar a morfologia e a fisiologia humana em uma perspectiva contextualizada, ressaltando a importância da adoção de hábitos que garantem a manutenção da saúde física e mental. Para isso, serão apresentadas algumas concepções relacionadas à saúde pública, discutindo a importância do acesso universal aos serviços de saúde e alguns aspectos que evidenciam como a desigualdade social impacta na saúde e no bem-estar. A partir do conhecimento científico e de estratégias que propõem uma reflexão sobre como as escolhas individuais e coletivas e as políticas públicas influenciam no bem-estar físico e mental da população, espera-se que vocês, estudantes, se posicionem de forma crítica a respeito de soluções que colaborem com a promoção de uma sociedade mais saudável e inclusiva.

## ▼ Para começar

1. Na sua opinião, o que é ter saúde e bem-estar? Comente com os colegas.
2. Como diferentes ambientes sociais – como a escola, os espaços de lazer e os locais onde praticamos esportes – podem influenciar no funcionamento do nosso corpo?
3. Como a atividade física, a alimentação saudável e o equilíbrio mental favorecem a qualidade de vida?

As atividades realizadas ao ar livre são benéficas para a saúde física e mental. Parque Barigui em Curitiba (PR), 2023.

# Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário



FG Trade/Getty Images

Família reunida em um piquenique no parque. Enquanto os alimentos são ingeridos e processados pelo sistema digestório, o sistema respiratório garante a oxigenação necessária, o cardiovascular distribui nutrientes e oxigênio pelo organismo, e o urinário elimina as substâncias desnecessárias. Este é um exemplo da integração dos sistemas no funcionamento do corpo humano.

## ▼ Para refletir

1. Como a interação entre os sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário contribui para o funcionamento do corpo em atividades, como um piquenique em família?
2. Escolha pelo menos dois dos sistemas estudados no capítulo e explique como eles agem de forma integrada.
3. Selecione uma das sentenças a seguir e descreva para um colega como ocorre o processo citado:
  - A transformação dos alimentos em partículas nutritivas menores é essencial para o funcionamento celular.
  - O oxigênio e o dióxido de carbono são trocados nos pulmões, um processo essencial para o funcionamento do corpo.
  - O transporte de nutrientes e a eliminação de resíduos são essenciais para a manutenção da homeostase.

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Explicar a interconexão e a interdependência entre os sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário para o bom funcionamento do organismo humano.
- Analisar a anatomia dos órgãos do sistema digestório, relacionando os processos de digestão e absorção de nutrientes com a importância de adotar uma dieta equilibrada.
- Estudar a anatomia e o funcionamento dos órgãos do sistema respiratório, explicando os processos de inspiração e expiração, bem como a importância do gás oxigênio ( $O_2$ ) para o funcionamento das células do organismo.
- Aplicar o conhecimento sobre a anatomia do coração e dos vasos sanguíneos para explicar o transporte de nutrientes, gás oxigênio ( $O_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ), além de explicar como ocorre a eliminação de resíduos do organismo.
- Utilizar os conceitos que envolvem a anatomia dos órgãos do sistema urinário para explicar os processos de formação de urina, a regulação do equilíbrio hídrico e a importância da excreção.

# Introdução aos sistemas vitais

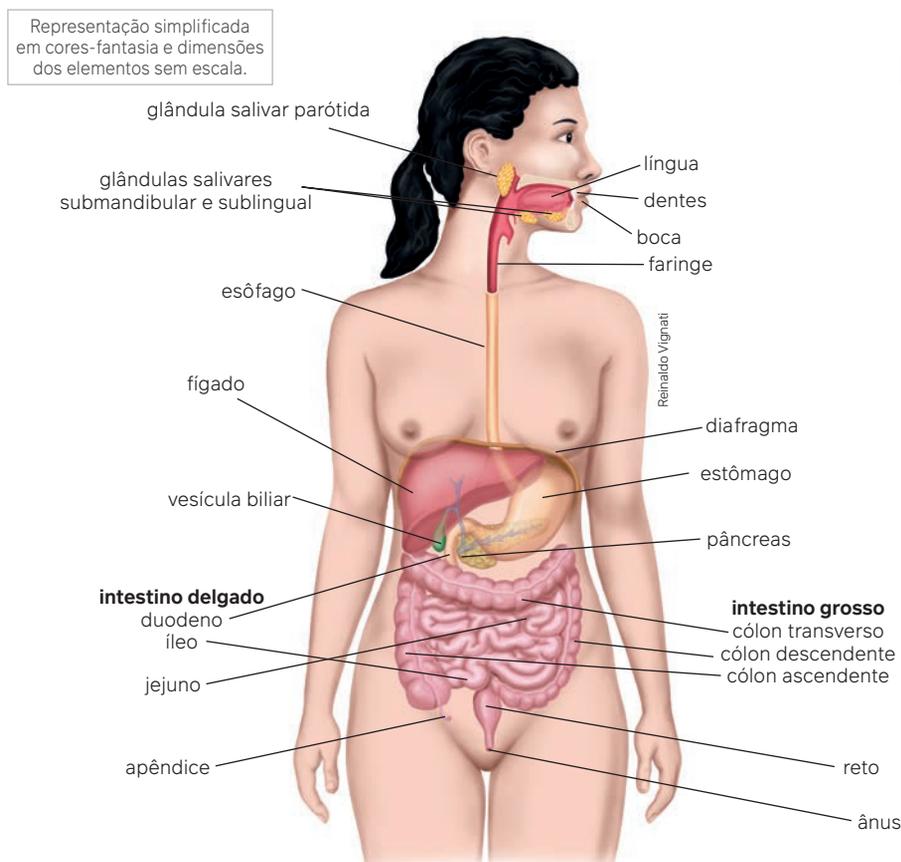
Ao estudar os sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário, é essencial considerar que o funcionamento de cada um deles não acontece de forma individualizada. A manutenção da funcionalidade do corpo humano envolve a ação integrada entre eles e os demais sistemas vitais, como os sistemas nervoso, endócrino, imune, musculoesquelético e genital.

Este e os demais capítulos dessa unidade não apenas exploram os detalhes de cada sistema, mas também consideram as conexões e as relações de interdependência entre eles, que definem o organismo humano.

Qualquer desequilíbrio em um desses sistemas pode ocasionar impacto aos demais, resultando em problemas de saúde.

## Sistema digestório

Composto de trato gastrointestinal – boca, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado e intestino grosso – e órgãos digestórios acessórios – dentes, língua, glândulas salivares, fígado, vesícula biliar e pâncreas –, o sistema digestório transforma os alimentos em nutrientes, que são disponibilizados para todas as células do corpo por meio do sistema cardiovascular.



### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre os nutrientes pode ser aprofundado no **capítulo 23** do volume de **Química** desta coleção.

Esquema representativo do sistema digestório: trato gastrointestinal e órgãos digestórios acessórios.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1207.

## Digestão e absorção de nutrientes

A digestão envolve diferentes etapas, desde a ingestão do alimento até a absorção dos nutrientes essenciais para o funcionamento do organismo. Na boca, a digestão se inicia com a ação mecânica dos dentes, que trituram o alimento, e com a ação química da saliva que ocorre por meio do processo de insalivação. Além disso, a quebra dos carboidratos dos alimentos é iniciada por enzimas digestivas presentes na boca.

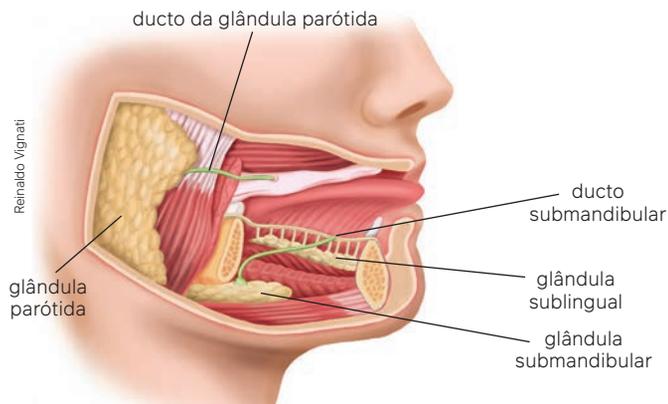
A espécie humana apresenta diferentes tipos de dente, como os incisivos, caninos, pré-molares e molares, com funções de cortar, rasgar, esmagar, moer e triturar os alimentos.

A língua é um órgão muscular que movimenta o alimento pela boca para que ele seja misturado à saliva e deslocado entre os diferentes tipos de dente durante a mastigação. Ela auxilia no processo de deglutição e possibilita a identificação do gosto e da textura dos alimentos.

A saliva é produzida nas glândulas salivares parótida, submandibular e sublingual. Ela é composta de muco constituído de glicoproteínas que lubrificam o alimento. Na composição da saliva também há amilase salivar (ou ptialina), enzima que atua na quebra do amido em maltose. O pH da boca, assim como o da saliva, é 7,0.

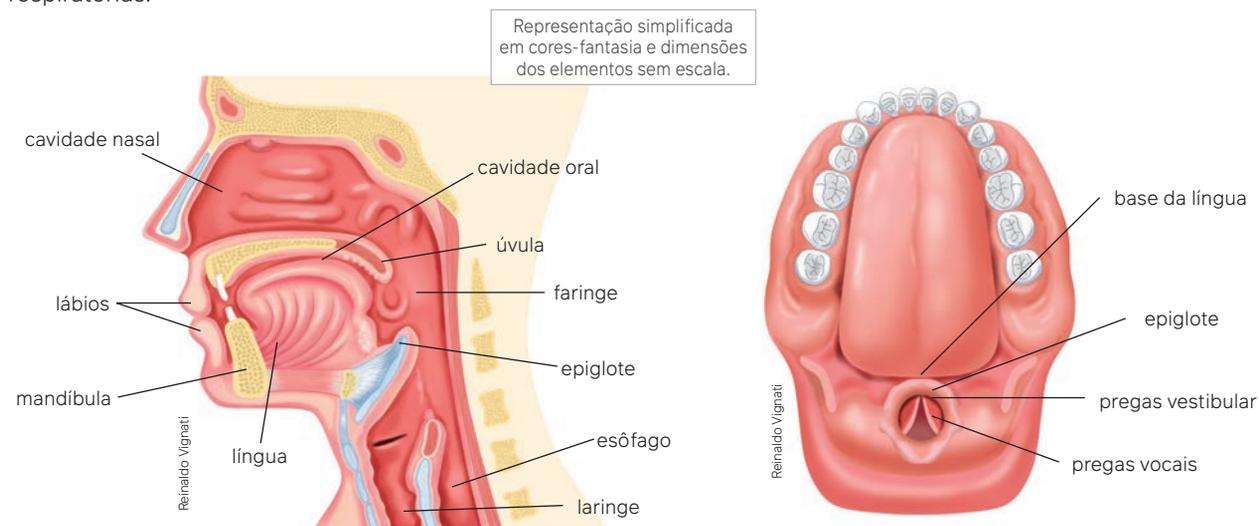
Quando o alimento já foi mastigado e está bem misturado à saliva, ocorre a deglutição, isto é, o alimento passa da boca para a faringe, formando o que chamamos de **bolo alimentar**, que segue para o esôfago.

A faringe é o canal do tubo gastrointestinal que conecta a boca com o esôfago e a laringe. Ao final da faringe encontra-se a epiglote, uma estrutura que impede a entrada do alimento na laringe. Quando esse mecanismo falha, ocorre o engasgo, seguido de tosse, uma tentativa do organismo de expelir o alimento das vias respiratórias.



Esquema representativo das glândulas salivares parótida, submandibular e sublingual.

Fonte: SOBOTTA, J. *Sobotta atlas de anatomia humana: anatomia geral e sistema muscular*. 21. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. v. 1, p. 114-115.



Esquema representativo de corte em perfil da região da cabeça e do pescoço que mostra as partes iniciais do tubo gastrointestinal. Observe a localização da epiglote.

Fonte: SOBOTTA, Johannes. *Sobotta atlas de anatomia humana: anatomia geral e sistema muscular*. 21. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. v. 1, p. 108-137.

O esôfago é o canal de ligação, de aproximadamente 25 centímetros, entre a faringe e o estômago. Nessa estrutura, iniciam-se os **movimentos peristálticos**, que se propagam como ondas, empurrando o bolo alimentar em uma única direção.

Entre o esôfago e o estômago encontra-se o esfíncter cárdico, um anel muscular que relaxa durante a passagem do bolo alimentar, mas que se fecha após alcançar o estômago, evitando o refluxo.

No estômago, o bolo alimentar se mistura com ácidos e enzimas, dando início à quebra das proteínas. Após esse processo, passa a ser denominado **quimo**, uma mistura esbranquiçada que inicia a digestão dos alimentos. A quimificação acontece com a ação de enzimas. O quimo, então, passa do estômago para o intestino delgado através de uma estrutura chamada esfíncter pilórico.

## Digestão no intestino delgado e absorção de nutrientes

O intestino delgado é formado por duodeno, jejuno e íleo. Nele, a digestão continua: enzimas pancreáticas e biliares quebram os nutrientes em componentes menores para serem absorvidos através das vilosidades intestinais.

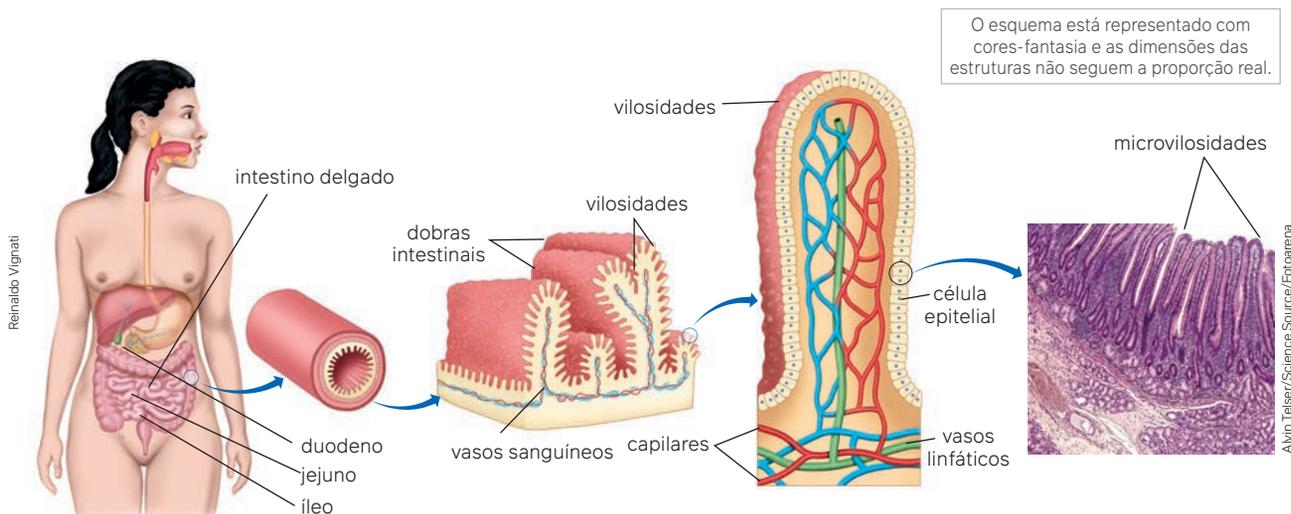
O duodeno, principal estrutura em que ocorre a digestão química dos alimentos, é também onde acontece a liberação do suco entérico (que contém as enzimas digestórias do intestino), do suco pancreático (que contém as enzimas do pâncreas) e da bile (que contém os sais do fígado).

Além de enzimas, o pâncreas libera no intestino o bicarbonato de sódio, uma substância alcalina que neutraliza a acidez do quimo transformado no estômago. O pH em torno de 8,0 torna viável o funcionamento das enzimas do suco entérico.

A bile é produzida no fígado e armazenada na vesícula biliar. Os sais biliares emulsificam as gorduras, isto é, quebram as gorduras em partes menores, aumentando a área de superfície, o que facilita a ação das enzimas lipases. O fígado armazena glicogênio, produz proteínas e lipídios, transforma amônia em ureia e metaboliza compostos como álcool, toxinas e medicamentos.

Quando o processo de digestão no intestino delgado é concluído, forma-se o **quilo**, uma massa que inclui monossacarídeos, aminoácidos, ácidos graxos, glicerol e nucleotídeos, além de água, vitaminas, celulose e sais minerais.

O jejuno e o íleo formam a maior porção do intestino delgado, que tem, em média, seis metros de comprimento. Sua parede é composta de células epiteliais ligadas aos capilares sanguíneos. Essas células têm microvilosidades que aumentam a área de contato por dobras na membrana plasmática, tornando a absorção de nutrientes mais eficiente. Os vilos, ou dobras intestinais, também aumentam a área de contato com o quilo.



Esquema representativo de uma região do intestino delgado humano, com detalhe para as características que possibilitam a absorção dos nutrientes. À direita, fotomicrografia de lâmina histológica com amostra de intestino delgado humano, na região do duodeno. Fotografia obtida por microscópio óptico e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 40 vezes.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1205.

Os nutrientes absorvidos pelas vilosidades circulam pelo corpo por meio da corrente sanguínea e podem ser incorporados pelas células por difusão simples, facilitada ou por transporte ativo. O que não é absorvido pelas células segue para o intestino grosso.

## Processo digestório no intestino grosso

O intestino grosso é composto de ceco, cólon, reto e ânus e tem aproximadamente 1,5 metro de extensão. Ele atua na formação das fezes e na absorção de água e sais minerais.

Quando toda a água é absorvida, formam-se as fezes, que ficam temporariamente armazenadas no reto. O ânus é uma abertura que apresenta dois esfíncteres (interno e externo), os quais evitam a saída involuntária de fezes. Exceto em casos de diarreia, quando é comum a perda do controle, o esfíncter anal controla quando o bolo fecal será eliminado no processo de defecação.

No intestino grosso, encontram-se as bactérias essenciais para a produção de vitaminas, por exemplo, vitamina K, B12 (cobalamina), B2 (riboflavina) e B1 (tiamina). A presença dessas bactérias é importante para a nutrição, além de atuarem na defesa do organismo ao evitar que bactérias patogênicas se desenvolvam.

## #FicaADica

**A carne é fraca**, direção de Denise Gonçalves (Instituto Nina Rosa, 2005, 54 min). Documentário que aborda questões relacionadas à indústria da carne: os impactos ambientais, éticos e de saúde ligados ao consumo excessivo de produtos de origem animal. Uma abordagem fundamental para compreender as vantagens e os desafios do veganismo e do consumo reduzido de carne. Ideal para ampliar a reflexão sobre suas escolhas alimentares e mostrar como elas influenciam o meio ambiente, sua saúde e o bem-estar dos animais.



1. Os compostos bioativos, presentes principalmente em frutas e hortaliças, exercem diferentes ações biológicas associadas à promoção da saúde e ao aumento do bem-estar. A eles são atribuídos efeitos antioxidante, anti-diabético, antienvelhecimento, anticancerígeno, entre outros.

Cientistas vêm estudando maneiras de otimizar a absorção desses compostos no trato digestivo, aumentando sua biodisponibilidade. Uma dessas maneiras é nanoencapsular as substâncias para que sejam liberadas lentamente, resistindo ao processo digestório e à ação das bactérias da microbiota intestinal.

NINNI, K. Tecnologia criada na USP protege os compostos bioativos dos alimentos durante a digestão. *Agência Fapesp*, São Paulo, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/tecnologia-criada-na-usp-protege-os-compostos-bioativos-dos-alimentos-durante-a-digestao/41608>. Acesso em: 1 jul. 2024.

Para que esses compostos sejam absorvidos antes de serem degradados, as nanocápsulas devem resistir ao processo digestório até chegar ao:

- a) fígado.
  - b) intestino delgado.
  - c) pâncreas.
  - d) estômago.
2. Dividam-se em grupos de modo que cada grupo pesquise sobre um tema proposto a seguir. Elaborem um vídeo de um minuto de apresentação das informações coletadas e compartilhem com os colegas.
    - Microbiota e o fortalecimento do sistema imunológico.
    - A relação entre a microbiota intestinal e o sistema nervoso no equilíbrio emocional e saúde mental.
    - Bactérias benéficas que afetam a massa corporal e a regulação hormonal.

## Ciência por fora



### Padrões alimentares de adolescentes

[...] No Brasil, os hábitos alimentares dos adolescentes são caracterizados por um elevado consumo de alimentos com alta densidade energética, ricos em gorduras e açúcar, além de serem pobres em fibras [...].

Este tipo de comportamento pode levar ao excesso de peso e desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). Diversas pesquisas mostraram que os comportamentos alimentares estabelecidos na adolescência estão relacionados com o desenvolvimento de problemas de saúde, que podem persistir na vida adulta [...], influenciando negativamente o perfil de morbimortalidade nesta fase [...].

Este estudo utiliza dados coletados no ano de base (2014) do Estudo Longitudinal sobre Comportamento Sedentário, Atividade Física, Alimentação e Saúde dos Adolescentes (Estudo LONCAAFS). [...].

A amostra final foi de 1.438 adolescentes avaliados, sendo 53% do sexo feminino e 44% com 11 anos de idade. A maioria declarou-se não branco (81%) e pertencia a classe econômica C (58%), cerca 32% estavam com excesso de peso. Além disso, um terço dos adolescentes foi classificado como inativos fisicamente (33%) e 77% foram classificados como tendo comportamento sedentário.

Foram encontrados três padrões alimentares: o primeiro nomeado como “Tradicional”, caracterizado por cargas fatoriais positivas e elevadas para o grupo de alimentos base (arroz, cuscuz e tubérculos), feijão, carnes e inversamente com sopas. O segundo, nomeado de “Lanches”, caracterizou-se pelo grupo de carnes processadas, manteigas e margarinas, pães, torradas e biscoitos salgados, queijos e café e chá, e o terceiro nomeado “Ocidental”, foi composto pelos grupos dos doces, pastelarias e salgadinhos, bebidas açucaradas e queijos [...].

Em consonância com estudos nacionais [...] e internacionais [...], o presente estudo observou que o consumo alimentar dos adolescentes está composto, cada vez mais, por alimentos de alto valor energético, ricos em açúcares, gorduras e sódio, e baixo valor nutritivo, como doces, sobremesas e sorvetes, biscoitos, bolos, tortas, bebidas açucaradas, lanches em geral e salgadinhos. Tais resultados são preocupantes, uma vez que este perfil alimentar combinado a baixos níveis de atividade física e elevado tempo em comportamentos sedentários contribuem diretamente para o desenvolvimento de DCNTs, que podem se desenvolver ainda na adolescência e permanecerem até a fase adulta [...].

A proporção de adolescentes que apresentaram comportamento sedentário foi elevada e se associou positivamente com o padrão alimentar “Ocidental”. [...]. Uma das explicações para tais resultados podem ser devido ao adolescente ser exposto a um número crescente de anúncios que estimulam o consumo de alimentos ricos em gordura, açúcar e sal [...], aumentando seu consumo durante as atividades de tela, como assistir à TV [...].

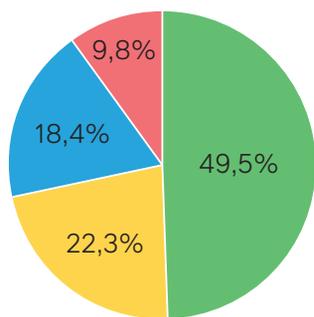
DE ARRUDA NETA, A. C. P. *et al.* Padrões alimentares de adolescentes e fatores associados: estudo longitudinal sobre comportamento sedentário, atividade física, alimentação e saúde dos adolescentes. *Ciência e Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 26, supl. 2, p. 3839-3851, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/X6W9Y6gCZnCPf4WfVpjsXM/?lang=pt#>. Acesso em: 1 set. 2024.

## Trocando ideias



1. O que o estudo apresentado no texto identificou sobre os padrões alimentares dos jovens?
2. Quais são os riscos da junção do padrão alimentar citado com o comportamento sedentário da maioria dos jovens? Discuta com os colegas.
3. Analisando os gráficos a seguir, discutam em grupos como o consumo de alimentos ultraprocessados impacta o risco de obesidade nos diferentes extratos de renda da população brasileira.

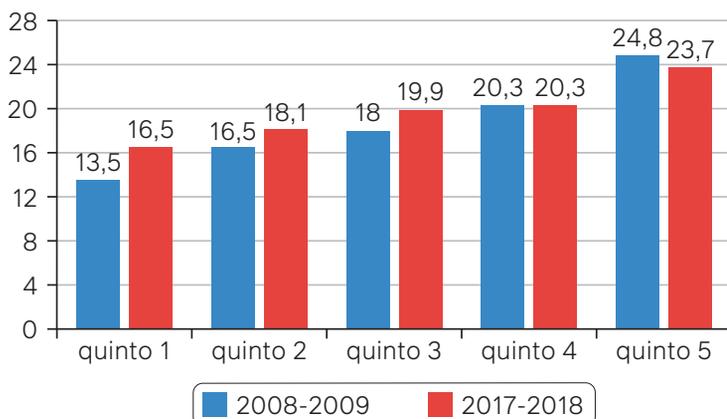
### Disponibilidade domiciliar de alimentos



- Alimentos *in natura* ou minimamente processados (frutas, grãos, carnes, massas frescas, leite pasteurizado, entre outros)
- Ingredientes culinários processados (óleo vegetal, açúcar, gordura animal, féculas, entre outros)
- Alimentos processados (pães, queijos, bebidas alcoólicas fermentadas, carnes secas, entre outras)
- Alimentos ultraprocessados (frios e embutidos, biscoitos doces e salgados, margarina, chocolate, entre outros)

Fonte: BARROS, A. Ultraprocessados ganham espaço e somam 18,4% das calorias adquiridas em casa. *Agência IBGE de Notícias*, [s. l.], 3 abr. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27300-ultraprocessados-ganham-espaco-e-somam-18-4-das-calorias-adquiridas-em-casa>. Acesso em: 1 set. 2024.

### Porcentagem do total de energia no consumo de alimentos ultraprocessados pela população brasileira com 10 ou mais anos de idade por nível de renda



\*Quinto de rendimento é a distribuição da renda total da população em cinco partes, em que o 1º quinto corresponde aos 20% da população com rendimentos mais baixos e o 5º quinto representa os 20% da população com rendimentos mais elevados.

Fonte: AMÂNCIO, A. Inflação alta faz brasileiros mais pobres substituírem alimentos saudáveis por comida ultraprocessada. *Marco zero conteúdo*, Recife, 20 jun. 2022. Disponível em: <https://marcozero.org/inflacao-alta-faz-brasileiros-mais-pobres-substituirem-alimentos-saudaveis-por-comida-ultraprocessada/>. Acesso em: 1 set. 2024.

4. Desafie-se a realizar um experimento de observação pessoal: mantenha um diário alimentar por uma semana. Registre os alimentos que você consumiu, as quantidades, os horários e as sensações físicas e emocionais após as refeições. Ao final da semana, analise os dados registrados, identificando o padrão alimentar no qual você se encaixa, as preferências e as reações sentidas a diferentes tipos de alimento.
5. Consulte o *Guia alimentar para a população brasileira* (disponível em: [https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/publicacoes-para-promocao-a-saude/guia\\_alimentar\\_populacao\\_brasileira\\_2ed.pdf](https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/publicacoes-para-promocao-a-saude/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf); acesso em: 2 jul. 2024). Com base nos registros do diário alimentar que você montou na atividade anterior e nas recomendações do guia, monte um cardápio personalizado para você, buscando maneiras mais saudáveis de se alimentar.

# Sistema respiratório

As trocas gasosas incluem a captação de gás oxigênio ( $O_2$ ) e a liberação de gás carbônico ( $CO_2$ ) e acontecem por meio do funcionamento integrado entre os sistemas respiratório e cardiovascular. Essas trocas resultam das atividades metabólicas que ocorrem no organismo.

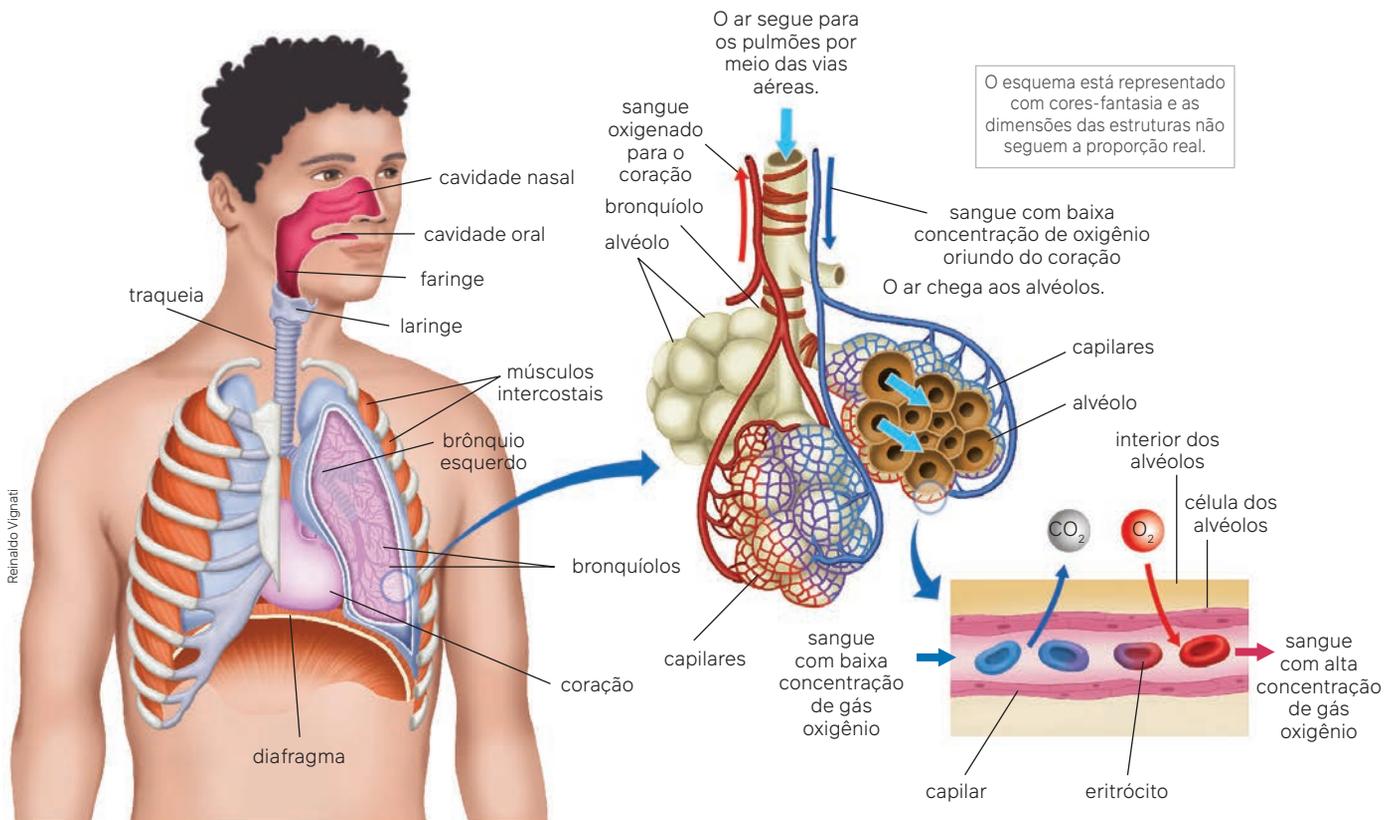
O ar atmosférico entra no corpo impulsionado pelos movimentos musculares do diafragma e dos músculos intercostais, e acessa as vias respiratórias: cavidades nasais (e/ou boca), faringe, laringe, traqueia e pulmões. O diafragma é o principal músculo respiratório, que separa as cavidades torácica e abdominal. Quando contraído, expande a cavidade torácica, reduzindo a pressão interna, o que possibilita a entrada de ar nos pulmões.

O nariz é a principal via de entrada do ar no sistema respiratório. Os pelos e o muco, que revestem as cavidades nasais, filtram, umidificam e também aquecem o ar antes de ele chegar aos pulmões. A boca é outra via de entrada do ar em situação de respiração forçada e em pessoas que, por alguma restrição, possuem um modo de respiração predominantemente oral.

O ar passa pela faringe, atravessa a laringe (que abriga as pregas vocais) e percorre a traqueia – uma estrutura em formato de tubo por onde passa tanto o ar inspirado em direção aos pulmões quanto o ar expirado que segue para as cavidades nasais. Já nos brônquios (estruturas semelhantes a tubos que se dividem em ramificações menores, os bronquíolos), o ar é conduzido aos alvéolos.

Os pulmões são órgãos que abrigam os alvéolos, estruturas nas quais ocorrem as trocas gasosas, processo denominado **hematose**. Cada pulmão é dividido em lóbulos e contém milhões de alvéolos, que são pequenas estruturas em formato de saco. O gás oxigênio ( $O_2$ ) do ar inspirado passa para a corrente sanguínea nos capilares dos alvéolos, enquanto o gás carbônico ( $CO_2$ ) passa do sangue para os alvéolos e, então, é liberado para o ambiente por meio da expiração.

Esse trabalho conjunto de captação de gás oxigênio e eliminação do gás carbônico mantém a homeostase e o equilíbrio gasoso no corpo humano.



Esquema representativo dos principais órgãos e estruturas que fazem parte do sistema respiratório, evidenciando o processo de hematose.

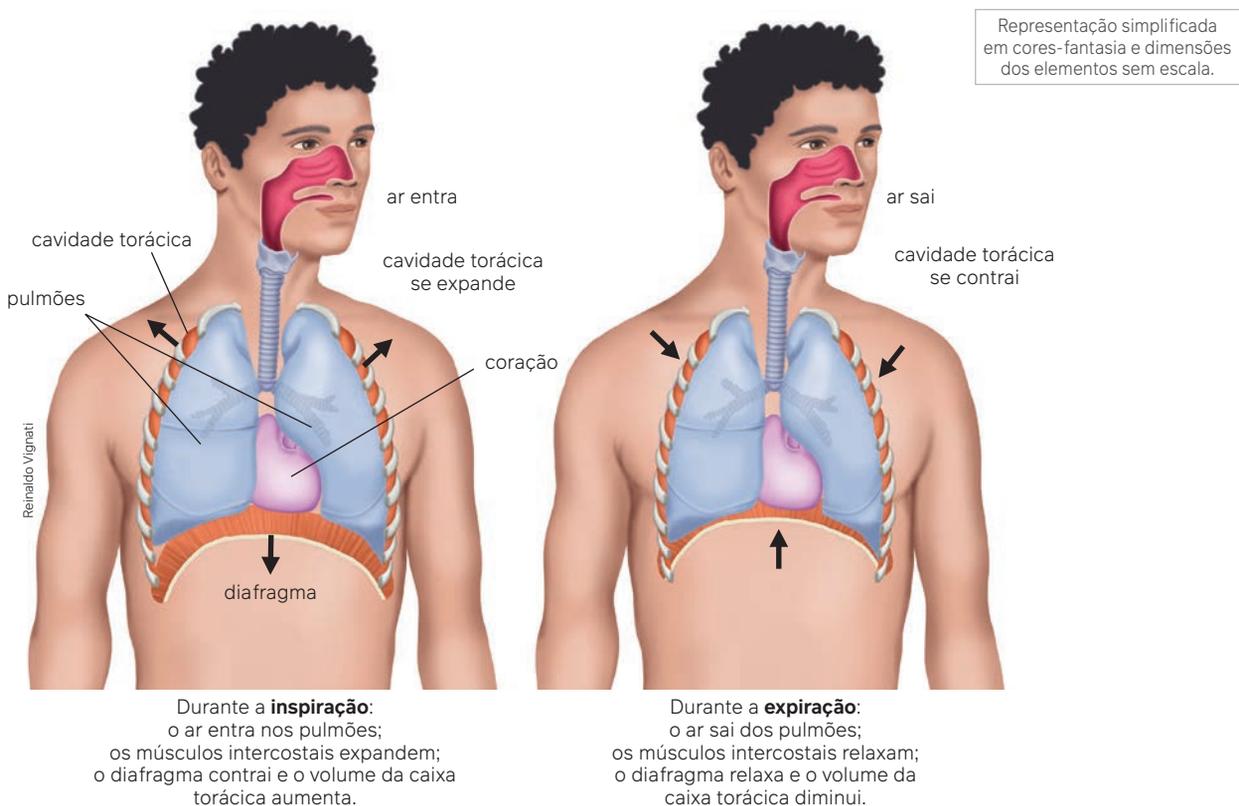
Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1160.

## Processo de inspiração e expiração

Durante a **inspiração**, o volume da cavidade torácica aumenta porque ocorre a contração do diafragma, que se move para baixo; consequentemente, os músculos intercostais se expandem e elevam as costelas.

Esses movimentos musculares expandem os pulmões, reduzindo a pressão interna e permitindo a entrada de ar com alta concentração de gás oxigênio, proveniente do ambiente, para dentro dos pulmões.

Durante a **expiração**, os músculos relaxam, retomando a posição original. O diafragma se move para cima, e os músculos intercostais relaxam, diminuindo o volume da cavidade torácica. Isso aumenta a pressão dentro dos pulmões, resultando na expulsão do ar com altas concentrações de gás carbônico para fora do organismo. Perceba que o ar sai por meio das mesmas vias da inspiração.



Esquema representativo dos processos envolvidos na inspiração e na expiração.

Fonte: SADAVA, D. *et al.* *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1161.

A expiração e a inspiração podem ser interrompidas apenas por um curto período, uma vez que o sistema nervoso atua no controle involuntário da respiração por meio do bulbo, porção inferior do tronco encefálico.

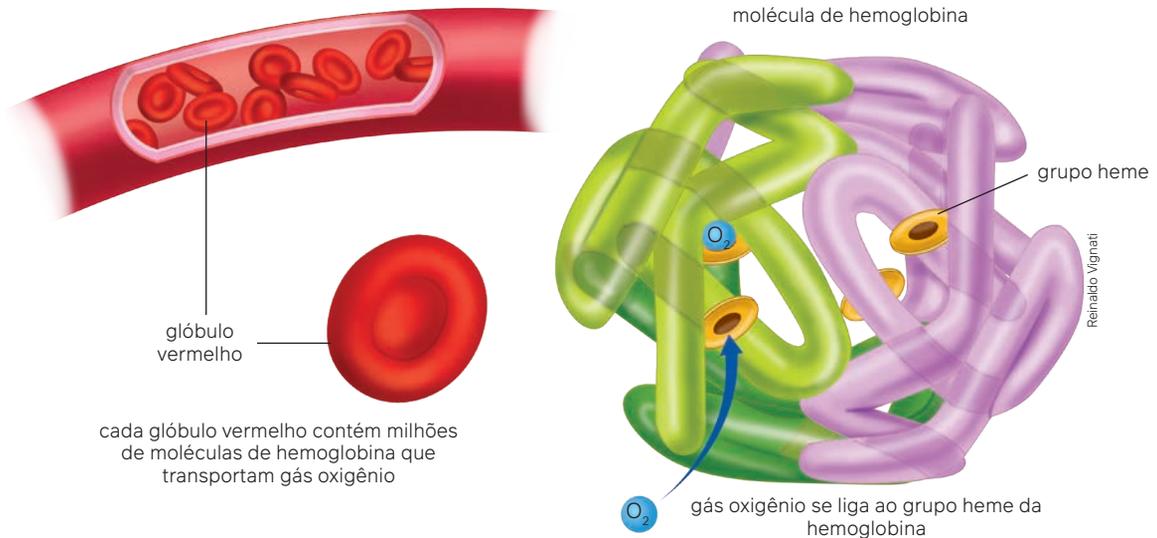
Em situações de altas concentrações de gás carbônico no organismo, o sangue se acidifica e o bulbo estimula o aumento da frequência respiratória para eliminar o excesso de gás carbônico. O mesmo acontece quando há baixa concentração de gás oxigênio no sangue: ocorre o aumento da frequência respiratória para melhorar a oxigenação sanguínea.

## Trocas gasosas

É nos alvéolos pulmonares que ocorrem as trocas gasosas. Os capilares sanguíneos são revestidos por finas paredes e irrigam as estruturas alveolares. O estreito calibre dos capilares e a aderência aos alvéolos possibilitam que as trocas gasosas sejam eficientes.

Durante a inspiração, uma mistura de gases atmosféricos chega aos pulmões e, por difusão, o **gás oxigênio** passa dos alvéolos para os capilares sanguíneos. Este gás se liga à hemoglobina nos glóbulos vermelhos, mais especificamente ao íon ferro localizado no centro de cada grupo heme da hemoglobina, formando a **oxiemoglobina**, que é transportada para os tecidos do corpo.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Esquema representativo dos glóbulos vermelhos e do transporte de gás oxigênio por meio da hemoglobina.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1207.

Enquanto isso, o **gás carbônico**, um resíduo do metabolismo celular, desprende-se dos capilares sanguíneos para os alvéolos. Quando os pulmões são contraídos durante a expiração, o gás carbônico é liberado ao exalarmos o ar.

As trocas gasosas são impulsionadas por diferenças dessa concentração de gases. O gás oxigênio flui dos alvéolos, onde se encontra em alta concentração, para o sangue, onde está em menor concentração. Já o gás carbônico flui do sangue, onde está em alta concentração, para os pulmões, onde sua concentração é mais baixa.

Esse processo possibilita o suprimento contínuo de gás oxigênio aos tecidos e a remoção de gás carbônico do corpo, garantindo a manutenção do equilíbrio gasoso no organismo.

Todos os tecidos e órgãos do corpo necessitam de gás oxigênio para funcionar de maneira adequada. O gás oxigênio é consumido na respiração celular, que resulta na quebra total da glicose e de outros compostos orgânicos, e na produção de trifosfato de adenosina (ATP).

## Poluição e saúde pulmonar

A exposição a poluentes atmosféricos – como os gases dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), material particulado (sólidos e líquidos de tamanhos que variam de 01 a 10  $\mu\text{m}$ ), entre outros, liberados por veículos automotores, indústrias e outros processos – tem efeitos danosos sobre a saúde respiratória. A inalação desses poluentes pode irritar as vias respiratórias, causar inflamação e contribuir para o desenvolvimento de doenças pulmonares, como asma, bronquite, câncer e enfisema.

A população mais suscetível aos efeitos nocivos da poluição inclui crianças, idosos e pessoas com condições respiratórias preexistentes.

O tabagismo é uma das principais causas de doenças e infecções pulmonares. O fumo do cigarro contém uma variedade de compostos tóxicos que danificam os tecidos dos pulmões, aumentando significativamente o risco de câncer de pulmão, doenças respiratórias crônicas e enfisema. Os cigarros eletrônicos, conhecidos como dispositivos de vape, contêm líquidos que são vaporizados e inalados. Esses líquidos muitas vezes incluem compostos e substâncias químicas como propilenoglicol, glicerina, nicotina e aromatizantes, que, quando inalados, podem ter efeitos negativos no funcionamento do sistema respiratório.

Recorrer à ajuda profissional ou participar de programas para parar de fumar podem fazer toda a diferença.



**1.** Leia o texto a seguir e faça o que se pede.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar (PeNSE 2019), realizada em conjunto com o IBGE e com o apoio do Ministério da Educação, houve aumento na proporção total de fumantes na faixa etária de 13 a 17 anos (6,6% em 2015 para 6,8% em 2019) [...]

O fácil acesso ao cigarro também contribuiu para que esse quadro seja mais frequente entre os jovens, apontado como um fator de iniciação e indução ao consumo. [...]

Os jovens se tornam mais expostos e vulneráveis às novidades e modismos. Como é o caso do cigarro eletrônico e do narguilé, dois produtos que contribuem com a iniciação para o uso do cigarro comum e que carregam riscos extras à saúde. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o uso do narguilé é mais prejudicial que o uso de cigarro comum: uma sessão de 20 a 80 minutos de narguilé corresponde à exposição a todos os componentes tóxicos presentes na fumaça de 100 cigarros. O uso coletivo e o ato de compartilhar o bocal entre outros usuários pode resultar ainda na exposição a doenças como herpes, hepatite C e tuberculose.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Cresce o número de meninas fumantes nas escolas brasileira*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/agosto/cresce-o-numero-de-meninas-fumantes-nas-escolas-brasileiras>. Acesso em: 6 jul. 2024.

- Organizem um debate sobre o tabagismo. Discutam sobre como veem o tabagismo entre adolescentes; quantos jovens conhecem que fazem uso do cigarro, que tipo de cigarro fazem uso.
- Analisem a idade e o gênero dos jovens fumantes que conhecem, e o tipo de cigarro mais utilizado. Busquem mais informações sobre os riscos do tabagismo e organize um evento buscando conscientizar a comunidade escolar. Procurem formas diferentes de abordar o problema e de fazer a divulgação. Vocs podem utilizar esquetes, paródias, teatro, cartazes, apresentação de slides, divulgações nas redes sociais etc. Procurem atingir os jovens fumantes, incentivando uma reflexão acerca dos riscos para a saúde sobre o hábito de fumar.

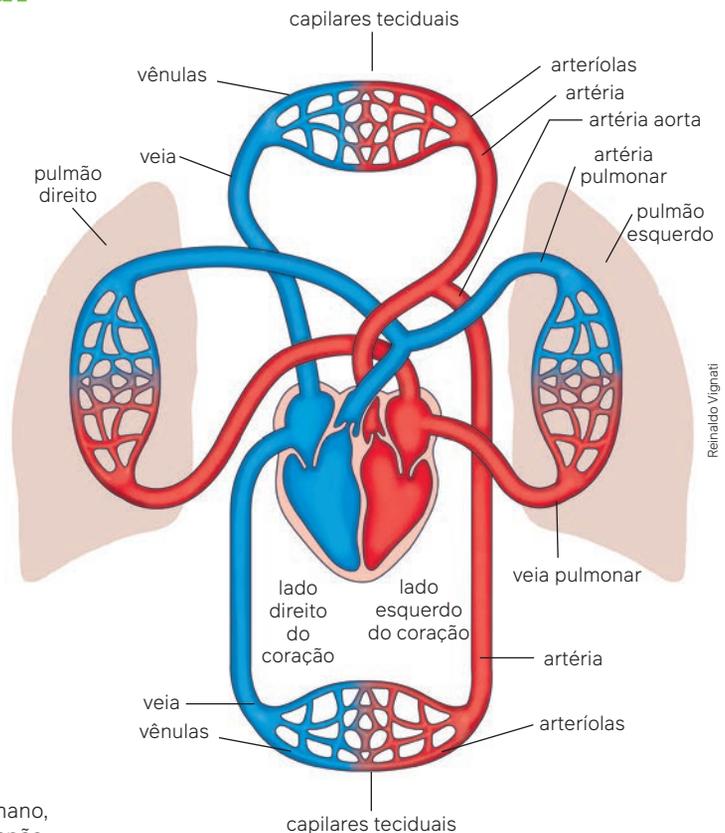
## Sistema cardiovascular

Os seres humanos apresentam sistema cardiovascular fechado, duplo e completo, ou seja, há dois tipos de circulação para o trânsito do sangue: circulação pulmonar e sistêmica.

**Circulação pulmonar (ou pequena circulação):** O sangue rico em gás carbônico, denominado venoso, sai do coração e vai para os pulmões, onde ocorre a troca de gás carbônico por gás oxigênio, retornando ao coração.

**Circulação sistêmica (ou grande):** O sangue rico em gás oxigênio, denominado arterial, sai do coração para o corpo, assim, o gás oxigênio e os nutrientes são distribuídos para os tecidos, e o gás carbônico e os resíduos são removidos. Esse sangue, agora rico em gás carbônico (venoso), retorna ao coração.

O sistema cardiovascular é composto de coração, vasos sanguíneos e sangue. É essencial para o transporte de nutrientes: gás oxigênio, gás carbônico, hormônios e outras substâncias.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Esquema representativo do sistema cardiovascular humano, com os principais órgãos e estruturas que o compõe.

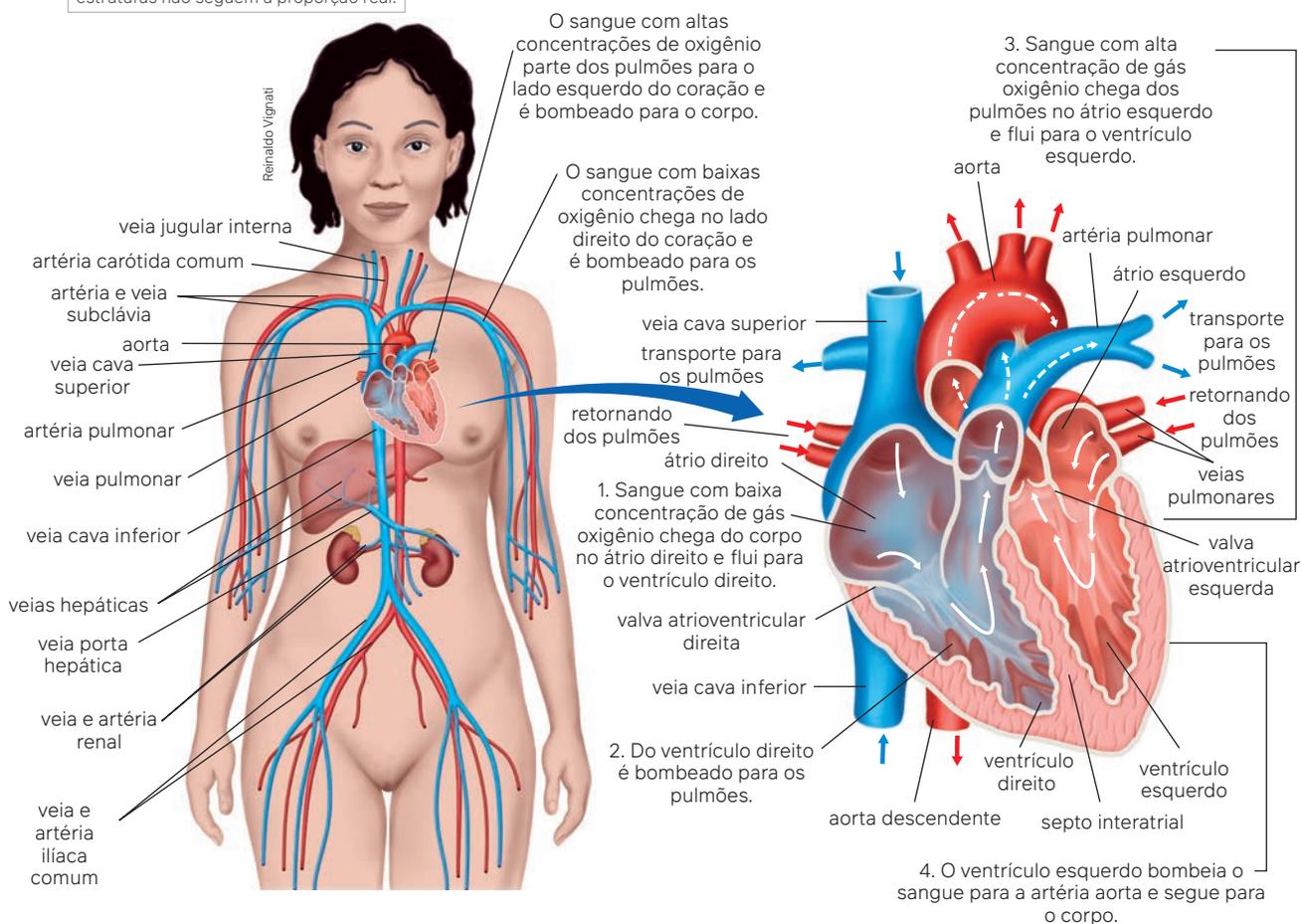
Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1176.

## Coração

O coração é o órgão central do sistema cardiovascular que bombeia o sangue para todo o corpo. No organismo humano, o coração encontra-se na região central da caixa torácica, levemente deslocado para a esquerda. Sua anatomia é composta de quatro câmaras: dois átrios e dois ventrículos. Os átrios, localizados na parte superior, recebem o sangue; os ventrículos, na parte inferior, bombeiam o sangue para o corpo ou para os pulmões. O lado direito do coração recebe sangue com menor concentração de gás oxigênio (sangue venoso) e o bombeia para os pulmões, onde ocorrem as trocas gasosas nos alvéolos, enquanto o lado esquerdo recebe o sangue oxigenado dos pulmões (sangue arterial) e o bombeia para o corpo.

Veja a seguir o infográfico que mostra os principais vasos do corpo humano e esquematiza o percurso do sangue no corpo:

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



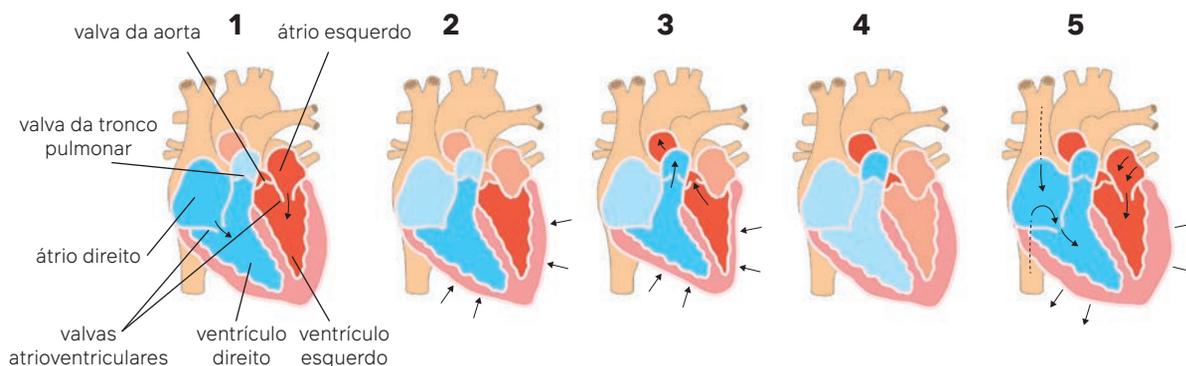
Esquema representativo do sistema cardiovascular evidenciando a estrutura do coração.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1178.

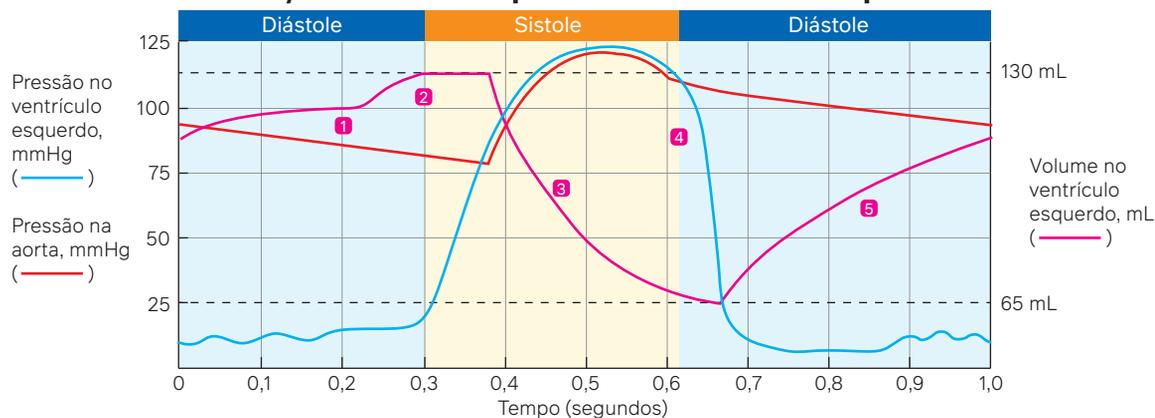
O ciclo cardíaco organiza-se em duas fases: a **sístole** (contração) e a **diástole** (relaxamento). Cada sístole é seguida de uma diástole. Na diástole, os ventrículos relaxam e, tanto átrios quanto ventrículos, se enchem de sangue. As valvas cardíacas localizam-se entre os átrios e os ventrículos e controlam o fluxo sanguíneo de forma unidirecional, impedindo que ocorra o retorno do sangue para o compartimento anterior. As valvas atrioventriculares direita e esquerda (tricúspide e mitral, respectivamente) regulam o fluxo sanguíneo entre os átrios e os ventrículos. As válvulas semilunares (pulmonar e aórtica) controlam o fluxo para fora dos ventrículos.

1. Ao final da diástole ocorre a contração dos átrios.
2. Durante a sístole, os ventrículos se contraem, as valvas atrioventriculares se fecham e aumenta a pressão interna nos ventrículos, promovendo a abertura das artérias aorta e tronco pulmonar.
3. Da aorta o sangue é impulsionado para o corpo e do tronco pulmonar o sangue vai para os pulmões.
4. Ao final da sístole, os ventrículos relaxam e a pressão interna diminui. A pressão nas artérias aorta e tronco pulmonar é maior, fechando as valvas.
5. Inicia-se a diástole e átrios e ventrículos se preenchem de sangue.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



### Variação de volume e pressão no ventrículo esquerdo



Reinaldo Vignati

Esquema representativo do ciclo cardíaco, considerando a variação de volume e pressão.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1179.

Ao ser bombeado do coração para todo o organismo, o sangue exerce uma pressão nas paredes das artérias, que é chamada de pressão sanguínea ou arterial. A pressão sistólica é a pressão máxima que o sangue exerce nas paredes dos vasos durante a contração dos ventrículos, e a pressão diastólica é a pressão mínima exercida sobre os vasos durante o relaxamento do órgão (diástole).

A pressão sanguínea é influenciada diretamente por fatores como contração e relaxamento do músculo cardíaco, volume sanguíneo e resistência dos vasos.

### ► Ciências da Natureza

O estudo sobre a concentração de substâncias e a influência da pressão pode ser aprofundado no **capítulo 10** do volume de **Química** desta coleção.

### Saiba mais

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu faixas de valores considerados normais para a pressão arterial. A pressão arterial regular é, idealmente, de 120/80 mmHg, ainda que ela possa variar de pessoa a pessoa. A hipertensão arterial é caracterizada por valores persistentemente elevados (igual ou superior a 140/90 mmHg). Esses valores constantemente elevados, conhecidos popularmente como pressão alta, podem aumentar o risco de doenças cardíacas, derrame cerebral e outras complicações de saúde. Geralmente, a pressão alta não apresenta sintomas óbvios, por isso é importante estar atento a alterações nos valores de pressão arterial, realizando aferições regulares, principalmente no caso de indivíduos com histórico familiar de hipertensão ou fatores de risco associados.

## Vasos sanguíneos

Vasos sanguíneos são estruturas tubulares que possibilitam a circulação do sangue por todo o corpo. São classificados em três tipos: artérias, capilares e veias.

**Artérias:** são as vias de transporte de sangue do coração para o corpo. As artérias são constituídas de paredes espessas e elásticas para suportar a pressão sanguínea e transportar sangue com maiores concentrações de gás oxigênio, exceto as artérias pulmonares. Apresentam três camadas: endotélio, camada mais interna, formada por epitélio simples; camada mediana, formada por músculo liso e tecido conjuntivo elástico; e camada mais externa, formada por tecido conjuntivo fibroso.

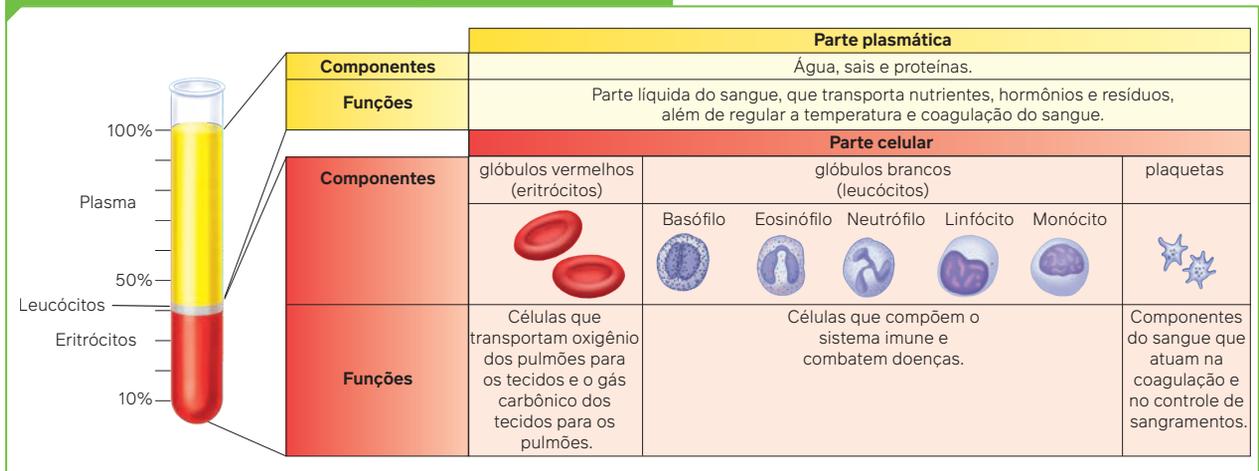
**Capilares:** são os vasos sanguíneos mais finos que conectam artérias e veias, possibilitando a troca de nutrientes, gás oxigênio, gás carbônico e resíduos entre o sangue e os tecidos. Os capilares recebem das artérias o sangue arterial, com altas concentrações de gás oxigênio, e direciona para as veias o sangue venoso, com baixas concentrações de gás oxigênio.

**Veias:** as veias têm válvulas que evitam o refluxo sanguíneo e transportam o sangue com menor concentração de gás oxigênio de volta ao coração. As que recebem o sangue dos capilares são finas, chamadas de vênulas.

## Sangue

O sangue é um tecido líquido composto de plasma, glóbulos vermelhos, glóbulos brancos e plaquetas. O sangue, junto aos demais componentes do sistema cardiovascular, garante o transporte de nutrientes e resíduos, além de contribuir para a resposta imunológica e a regulação da homeostase no organismo.

### Elementos constituintes do sangue dos mamíferos



Reinaldo Vignati

## Transporte de nutrientes e resíduos

O sangue transporta nutrientes essenciais e resíduos do corpo, por meio de artérias, veias e capilar.

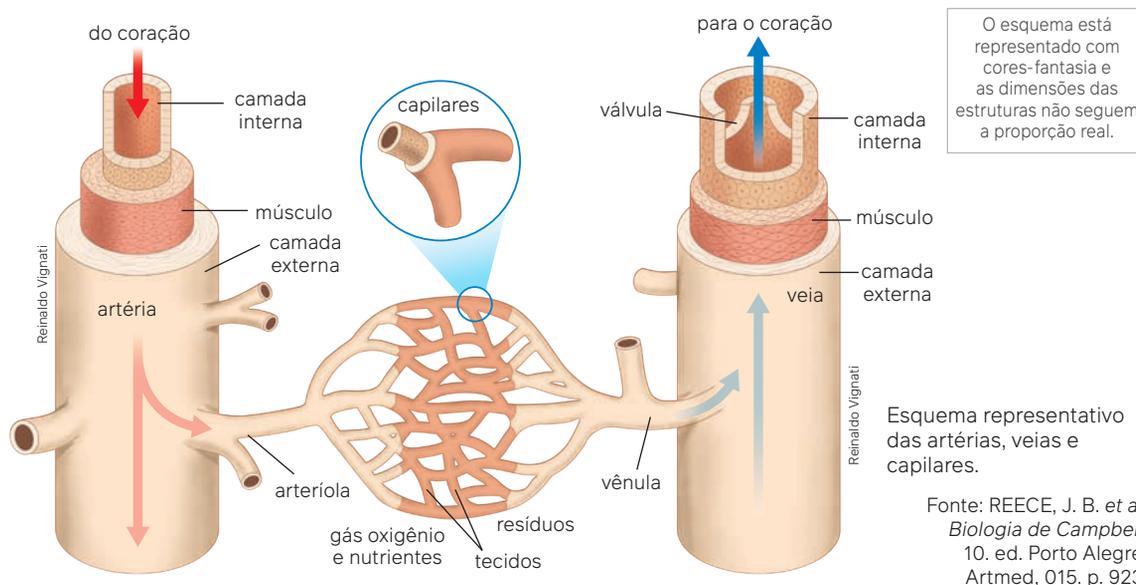
O **sangue arterial**, que chega ao coração pela veia pulmonar e sai pela artéria aorta, possui uma saturação de oxigênio na hemoglobina mais elevada em comparação ao sangue venoso.

Nos **capilares** ocorre, por meio de **difusão**, a troca gasosa e nutricional entre o sangue e as células. Os nutrientes, como glicose, aminoácidos, vitaminas e minerais, bem como gás oxigênio, passam dos capilares para as células, enquanto gás carbônico e outros resíduos metabólicos são transferidos das células para o sangue.

No sistema respiratório, o gás oxigênio inspirado chega aos alvéolos pulmonares e, por meio de **difusão simples**, passa para os capilares sanguíneos. Uma vez nos capilares, o gás oxigênio penetra nas hemácias e forma um complexo com a hemoglobina, chamado oxiemoglobina. Esse complexo é altamente eficiente na capacidade de transporte de gás oxigênio e aumenta significativamente a quantidade de gás oxigênio transportado no sangue, se comparado com a difusão simples de gás oxigênio.

O **sangue venoso** flui dos vasos periféricos até o átrio direito do coração, ele é geralmente mais frio e tem menor teor de oxigênio e pH. Além disso, o sangue venoso apresenta concentrações mais baixas de glicose e outros nutrientes, enquanto possui níveis mais altos de ureia e outros resíduos, como o gás carbônico.

Ao chegar nos alvéolos pulmonares, o gás carbônico do sangue é liberado para os alvéolos e expelido durante a expiração. Esse processo de liberação do gás carbônico da hemoglobina nos pulmões é favorecido pela ligação da hemoglobina com o gás oxigênio, criando um ambiente propício para a remoção eficiente do gás carbônico do organismo.



## Atividades propostas

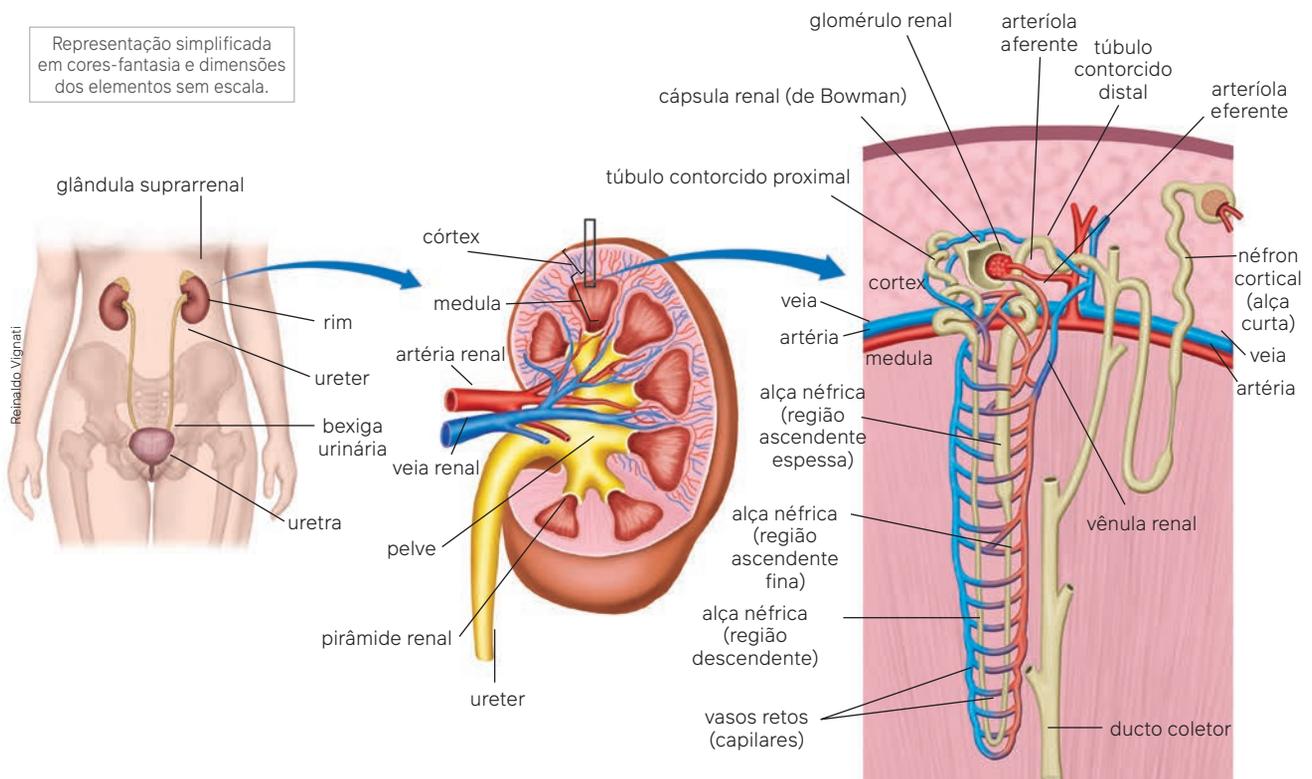


- Parâmetros como a frequência cardíaca e o débito cardíaco são fundamentais para avaliar a saúde do sistema cardiovascular. A frequência cardíaca refere-se ao número de batimentos cardíacos por minuto (ou quantas vezes por minuto o sangue foi ejetado). Em repouso, a frequência cardíaca normal para adultos é em torno de 60 a 100 batimentos por minuto. Durante o exercício ou em situações de estresse, a frequência pode aumentar. O débito cardíaco é a quantidade de sangue bombeada pelo coração em um minuto. Para calcular o débito cardíaco, multiplica-se o volume sistólico (quantidade de sangue bombeada a cada batimento) pela frequência cardíaca. Em repouso, o débito cardíaco típico é de 4 a 8 litros por minuto. Um paciente realizou um exame para diagnosticar condições cardíacas. Neste exame, identificou-se uma frequência cardíaca de 80 bpm (batimentos por minutos) e bombeamento (volume sistólico) de 70 ml de sangue. Qual é o débito cardíaco deste paciente? Com base nesse resultado, o que é possível dizer sobre a saúde cardiovascular do paciente?
- Ao longo da vida, placas de gordura podem acumular-se nas artérias. Quando isso acontece nas coronárias, as artérias do coração, corre-se o risco de acontecer o infarto agudo do miocárdio. Para evitar essa condição, é recomendado incluir hábitos alimentares saudáveis, praticar exercícios e atentar-se a fatores de pré-disposição genética. De acordo com o texto, qual é a principal consequência do acúmulo de placas de gordura nas artérias coronárias?
  - Aumento da pressão arterial.
  - Ruptura das artérias.
  - Interrupção do fluxo sanguíneo para o músculo cardíaco.
  - Desenvolvimento de diabetes.
  - Inflamação das artérias.
- Em locais de altitude elevada, o ar é escasso em gás oxigênio. Quando uma pessoa é exposta a essas condições, seu organismo precisa se adaptar para compensar a falta desse gás. Inicialmente, o corpo responde aumentando a frequência respiratória para captar mais gás oxigênio. Posteriormente, para otimizar o transporte desse gás, ocorre o aumento do número de hemácias no organismo. Como o aumento de hemácias contribui para a otimização do transporte de gás oxigênio para todo o organismo?

## Sistema urinário

O funcionamento do sistema urinário está relacionado com a regulação do ambiente interno do corpo. Esse sistema é formado por um conjunto de órgãos que realiza a excreção de resíduos metabólicos do corpo e o equilíbrio do volume de fluidos e da concentração de sais no sangue, contribuindo para a regulação da pressão sanguínea. É composto de rins, ureter, bexiga e uretra.

Os **rins** localizam-se na região lombar. Cada rim é envolto por uma cápsula fibrosa e, internamente, apresenta uma camada externa, o córtex, e uma camada interna, a medula. Os rins são compostos de milhares de unidades funcionais chamadas **néfrons**, nos quais ocorre a filtração do sangue e a formação da urina. Nesse processo, são removidos do organismo os resíduos metabólicos, as toxinas e o excesso de íons, enquanto são reabsorvidos compostos como a glicose, os sais e a água. Além disso, os rins regulam o equilíbrio ácido-base e a pressão sanguínea.



Esquema representativo do sistema urinário, com os principais órgãos e estruturas que fazem parte do conjunto, trazendo em detalhe ampliado a parte interna de um rim e um néfron.

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1231.

As **artérias renais** são os vasos sanguíneos que transportam o sangue para a filtração. O sangue filtrado retorna ao sistema cardiovascular por meio das **veias renais**.

Os ureteres são tubos musculares que conectam os rins à bexiga e apresentam cerca de 25 a 30 cm de comprimento e 4 a 5 mm de diâmetro. A urina dos rins é transportada para a bexiga por meio dos ureteres por contrações musculares peristálticas. Esse processo garante a passagem contínua da urina para a bexiga.

A bexiga, localizada na pelve, é um órgão oco e composto de músculos lisos que possibilitam a expansão e o armazenamento de urina. Ela se conecta à uretra, um canal muscular que se estende da bexiga para fora do corpo, por onde a urina é eliminada. Nas mulheres, a uretra é mais curta, cerca de 4 cm de comprimento. Nos homens, a uretra é mais longa, mede cerca de 16 cm e se estende na parte interna do pênis, sendo o canal de transporte de urina e sêmen.

## Processo de formação e eliminação da urina

A primeira etapa de formação da urina ocorre nos rins, onde o sangue é filtrado. As unidades funcionais dos rins, os néfrons, atuam na filtração do sangue, removendo substâncias indesejadas, como resíduos metabólicos, íons, excesso de água e toxinas. Essas substâncias são transformadas em urina.

Após a filtração, as substâncias úteis, como glicose, aminoácidos e sais minerais, são reabsorvidas de volta para a corrente sanguínea por meio dos **túbulos renais**. No túbulo contorcido proximal, que fica próximo à cápsula glomerular, ocorre a reabsorção de aminoácidos e glicose, além de íons, como sódio, potássio e cloro. No ducto coletor, ocorre a reabsorção de água e a excreção ativa de íons hidrogênio e potássio. Durante essa fase, compostos adicionais, como íons de hidrogênio e potássio, são secretados para a urina e mantêm o equilíbrio ácido-base e os níveis adequados dessas substâncias no corpo.

Na bexiga, a urina é armazenada temporariamente. Quando a bexiga atinge a capacidade máxima, ocorre o processo de micção: os músculos da bexiga se contraem e a **uretra** se abre para liberar a urina para fora do corpo.

## Regulação do equilíbrio hídrico

A regulação do equilíbrio hídrico e de substâncias no organismo é importante para a homeostase. Esse processo, na maioria das vezes, é realizado pelo sistema urinário, contribuindo para o controle dos níveis de fluidos e substâncias no corpo.

Se o corpo estiver **desidratado**, os rins retêm a água, e a urina torna-se mais concentrada. Em situações de excesso de água, a urina é diluída para excretar o excedente, mantendo a homeostase do corpo.

Hormônios, como o **ADH** (hormônio antidiurético), atuam nos rins, aumentando a reabsorção de água para a corrente sanguínea e, assim, concentrando a urina. A ingestão de álcool e cafeína diminui a produção de ADH, levando a uma redução na reabsorção de água e, conseqüentemente, podendo resultar em desidratação. A **aldosterona** atua no túbulo contorcido distal e no túbulo coletor, aumentando a reabsorção de sódio e cloro e a secreção de potássio. Isso promove a reabsorção de água por osmose, reduzindo o volume de urina.

A excreção de resíduos metabólicos, como ureia, creatinina e ácido úrico, é um processo essencial para o organismo, uma vez que evita o acúmulo dessas substâncias tóxicas no corpo. Os rins controlam o equilíbrio ácido-base do corpo, excretando íons de hidrogênio ou bicarbonato, conforme necessário, para manter o pH sanguíneo dentro dos limites fisiológicos saudáveis.

Além dos resíduos metabólicos, compostos tóxicos, medicamentos não metabolizados e excesso de íons são eliminados do corpo por meio da urina.

### Atividades propostas



1. O diabetes é uma condição crônica caracterizada por níveis elevados de glicose no sangue em razão da produção insuficiente ou da resistência à insulina, o hormônio responsável pela regulação da glicose no sangue. Em casos de diabetes mal controlado, podem ocorrer danos nos vasos sanguíneos que irrigam os rins, levando à insuficiência renal. Explique como esses danos vasculares podem resultar em insuficiência renal e quais são as conseqüências disso para o organismo.
2. Uma pesquisa foi realizada para avaliar a importância do sistema urinário na manutenção do equilíbrio hídrico do corpo. Durante a coleta de dados, os pesquisadores observaram que a produção de urina diminuiu significativamente quando os participantes não ingeriram líquidos durante um dia. O mecanismo fisiológico relacionado a essa situação é a:
  - a) produção reduzida de enzimas digestivas.
  - b) diminuição do bombeamento cardíaco.
  - c) redução do transporte de gás oxigênio nos pulmões.
  - d) liberação do hormônio antidiurético.

### Recapitule



Neste capítulo, foram abordados alguns sistemas que garantem o funcionamento do corpo humano. Ao se estudar os sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e urinário é possível relacionar as interconexões e interdependências que mantêm o organismo humano funcionando de forma harmoniosa. Para sistematizar seus estudos, elabore um esquema que conecte as seguintes ideias e conceitos: sistema digestório; dieta equilibrada; sistema respiratório; trocas gasosas; sistema cardiovascular; transporte de nutrientes; eliminação de resíduos; sistema urinário; formação da urina e equilíbrio hídrico.

# Sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune

Ulrik Pedersen/NurPhoto/Getty Images



A atleta paralímpica Jerusa Geber dos Santos e seu guia na conquista da medalha de ouro nos 100m – T11 nos Jogos Paralímpicos de Paris 2024. Sua vitória exemplifica a complexa interação dos sistemas: nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune; tema central deste capítulo. O desempenho atlético de alto nível depende de sinais nervosos que coordenam movimentos musculares precisos, regulação hormonal para o controle de energia e resistência, além da atuação do sistema imune para manter a saúde e recuperação do corpo.

## ▼ Para refletir

1. O cérebro coordena a produção de inúmeros neurotransmissores, que são substâncias químicas que podem estimular ou inibir ações por todo o corpo. Um exemplo desse tipo de ação é a movimentação dos músculos. Como você explicaria o processo de contração e relaxamento dos músculos?
2. A produção e ação de diversos hormônios também é controlada pelo cérebro. Você conhece algum hormônio liberado pelo sistema endócrino em resposta aos sinais do sistema nervoso? Comente com os colegas.
3. Algumas atividades que realizamos diariamente podem melhorar o desempenho dos sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune. Quais atividades são essas? Escolha um exemplo e compartilhe com os colegas.
4. O córtex cerebral é a parte do cérebro onde ocorre a formação do pensamento e da linguagem. Como você acredita que essas ações mentais acontecem?

## Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Interpretar aspectos relevantes da anatomia, fisiologia e integração dos sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune, destacando o funcionamento integrado entre eles.
- Interpretar a natureza química das sinapses e o papel dos neurotransmissores na comunicação intercelular.
- Conhecer os principais hormônios e suas funções, assim como explicar a regulação endócrina e seu impacto na homeostase do organismo.
- Interpretar os mecanismos de defesa do sistema imune, considerando a sua importância na prevenção de doenças e na resposta a patógenos.
- Familiarizar-se com as principais doenças e condições relacionadas aos sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune, discutindo medidas preventivas e formas de vida mais saudáveis e equilibradas.

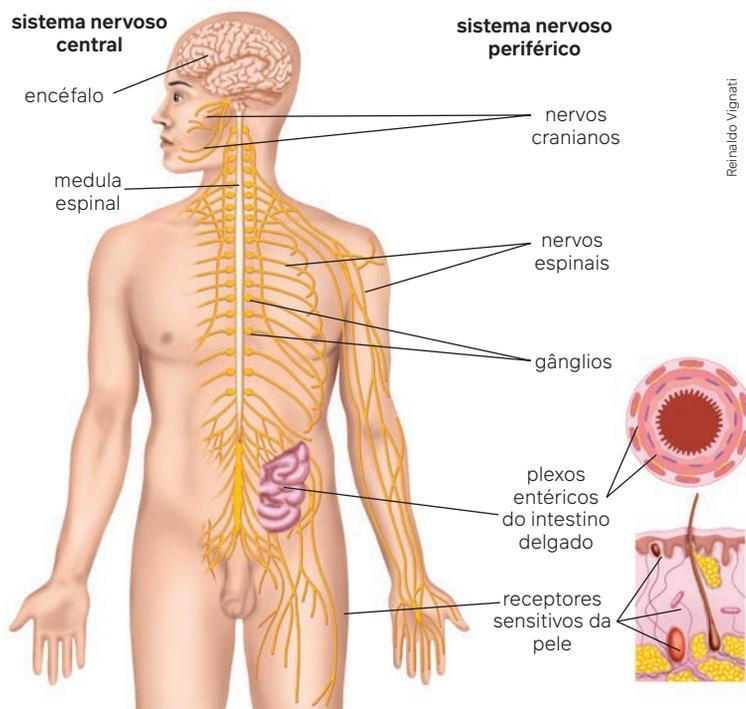
## Sistema nervoso

O sistema nervoso é um conjunto complexo de células, tecidos e órgãos especializados que atuam em todo o corpo, coordenando e regulando suas funções. Ele controla e coordena atividades e funções variadas, entre elas: o gerenciamento dos movimentos, da temperatura corporal, das sensações, dos sentidos, da memória, do pensamento, das emoções, da respiração e da digestão, além do funcionamento do sistema imune.

O sistema nervoso pode ser dividido em duas partes: o sistema nervoso central (SNC), composto do encéfalo e da medula espinal, e o sistema nervoso periférico (SNP), formado por todo o tecido nervoso fora do SNC, incluindo nervos, gânglios, plexos entéricos e receptores.

Representação esquemática dos componentes do sistema nervoso central (SNC) e do sistema nervoso periférico (SNP).

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 558.

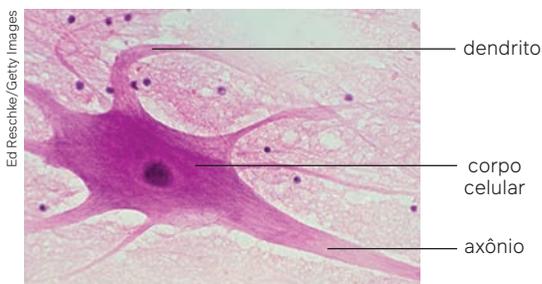


Reinaldo Vignati

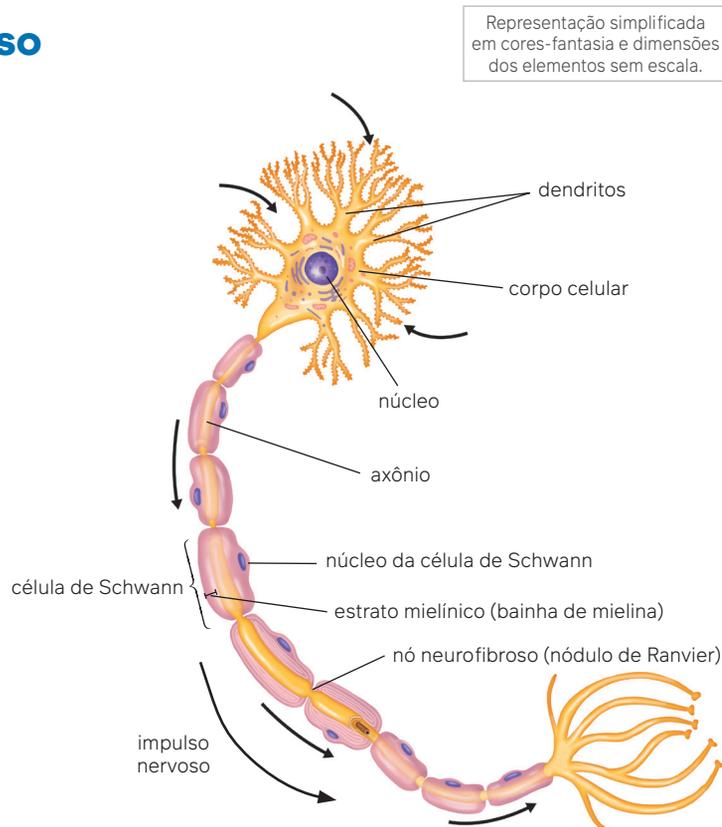
## Células do sistema nervoso

A principal célula do sistema nervoso é o **neurônio**. O ser humano possui centenas de bilhões de neurônios no cérebro, além de outros milhões distribuídos pelo corpo, associados principalmente aos músculos e às células endócrinas.

Neurônios são células especializadas no processamento e na transmissão das informações (impulso nervoso). As partes de um neurônio são: **corpo celular**, onde estão localizados o núcleo e a maioria das organelas, além de **dendritos** e **axônios**, prolongamentos da célula que diferem quanto ao tamanho, local e quantidade de ramificações. Os dendritos são menores em tamanho e mais ramificados, enquanto os axônios são mais longos e se ramificam no final, quando encontram outro corpo celular.



Componentes de um neurônio. Fotografia obtida por microscópio óptico e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 50 vezes.



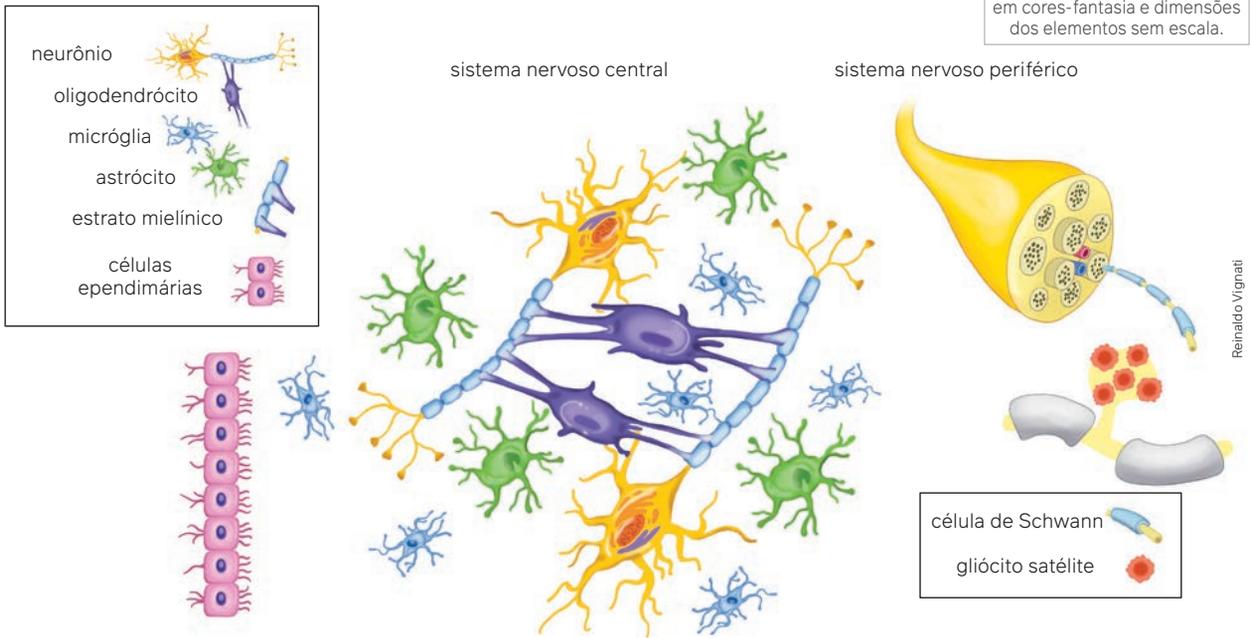
Reinaldo Vignati

Esquema representativo de um neurônio associado a células de Schwann, responsáveis pela formação do estrato mielínico que cercam os axônios no SNP. As setas indicam a direção do fluxo de informação neuronal.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 561.

Os neurônios podem estar associados aos oligodendrócitos, no sistema nervoso central (SNC), ou às células de Schwann, no sistema nervoso periférico (SNP). Essas células produzem o **estrato mielínico** (bainha de mielina), uma membrana lipídica isolante, rica em glicofosfolípeidos e colesterol, que recobre os axônios. Nos neurônios com estrato mielínico, o impulso nervoso é propagado mais rápido, saltando do nó neurofibroso (nódulo de Ranvier) para o próximo nó. Já em neurônios sem o estrato mielínico, a propagação é mais lenta e ocorre de forma contínua. Os neurônios também apresentam grande quantidade de mitocôndrias para suprir sua alta demanda energética.

Mais da metade do volume do tecido neural do corpo humano é formado por gliócitos (células gliais ou neuróglia). No sistema nervoso central (SNC), os gliócitos incluem oligodendrócitos, astrócitos, células ependimárias e micróglia, e, no sistema nervoso periférico (SNP), incluem células de Schwann e células satélites.

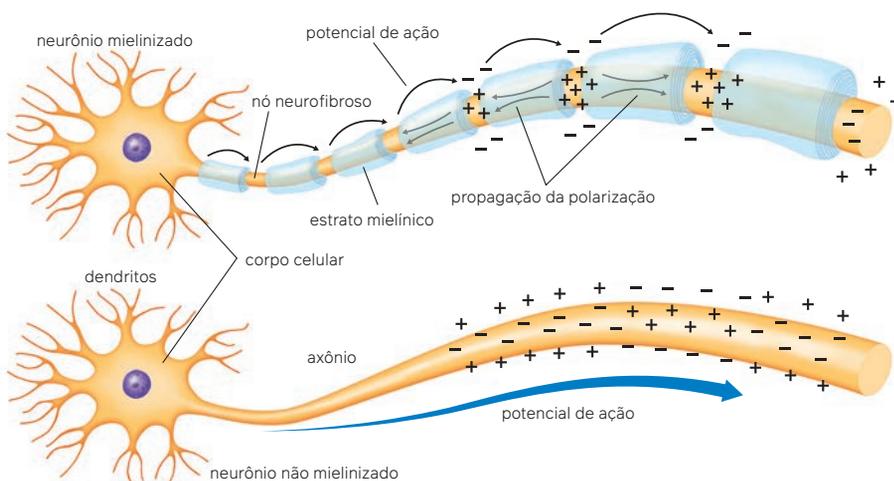


Esquema representativo com neurônios e os seis tipos de gliócitos.

Fonte: LUVISETTO, S. Botulinum Neurotoxins beyond Neurons: Interplay with Glial Cells. *Toxins*, Basileia, v. 14, n. 10, p. 704, 2022.

## Impulsos nervosos e sinapses

O **impulso nervoso** é um evento eletroquímico, resultado de diferentes tipos de estímulo (luz, temperatura, sabores, emoções, sensações etc.) e se propaga nos neurônios, geralmente no sentido dendrito, corpo celular e axônio. O estrato mielínico e o diâmetro do axônio influenciam diretamente a velocidade do impulso nervoso: quanto mais estrato e maior o diâmetro, mais rápida será sua propagação.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

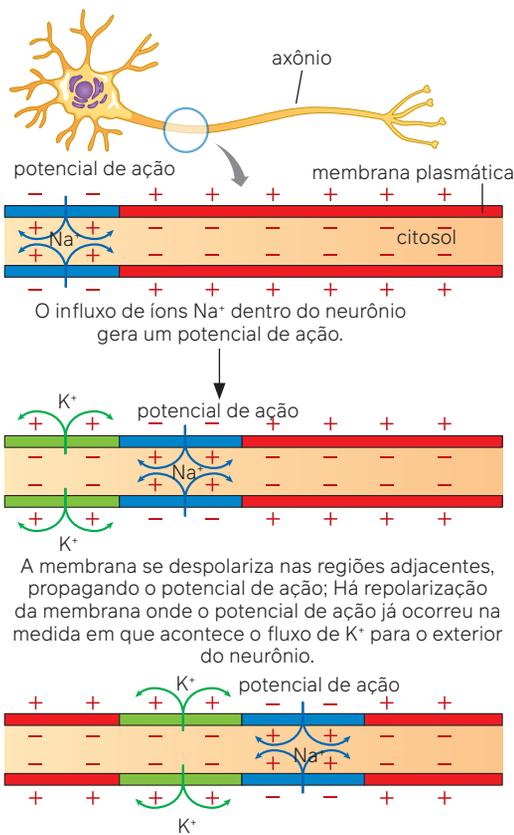
Esquema representativo comparativo da transmissão de um impulso nervoso em neurônio mielinizado e não mielinizado. As setas indicam a direção da transmissão.

Fonte: ERULKAR, S. D.; LENTZ, T. Nervous system. *Anatomy. Encyclopedia Britannica*, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/nervous-system>. Acesso em: 10 jul. 2024.

A transmissão do impulso nervoso se dá por meio da propagação do **potencial de ação** com a **despolarização** da membrana plasmática, ou seja, ela é decorrente de mudanças de carga elétrica entre as faces interna e externa da membrana.

Quando um estímulo ocorre, o neurônio abre canais específicos na membrana, permitindo a entrada de íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), o que leva à despolarização da membrana. Logo depois, canais de potássio ( $\text{K}^+$ ) se abrem, permitindo a saída de  $\text{K}^+$ , o que contribui para a repolarização da membrana. O potencial de ação é esse fenômeno de despolarização, seguido da repolarização, em que a área da membrana despolarizada retorna à sua condição de repouso. Isso acontece em questão de milissegundos (ms). A área da membrana despolarizada estimula a região adjacente a se despolarizar também, propagando o potencial de ação pelo neurônio em sentido unidirecional, indo do corpo celular através do axônio até as terminações sinápticas.

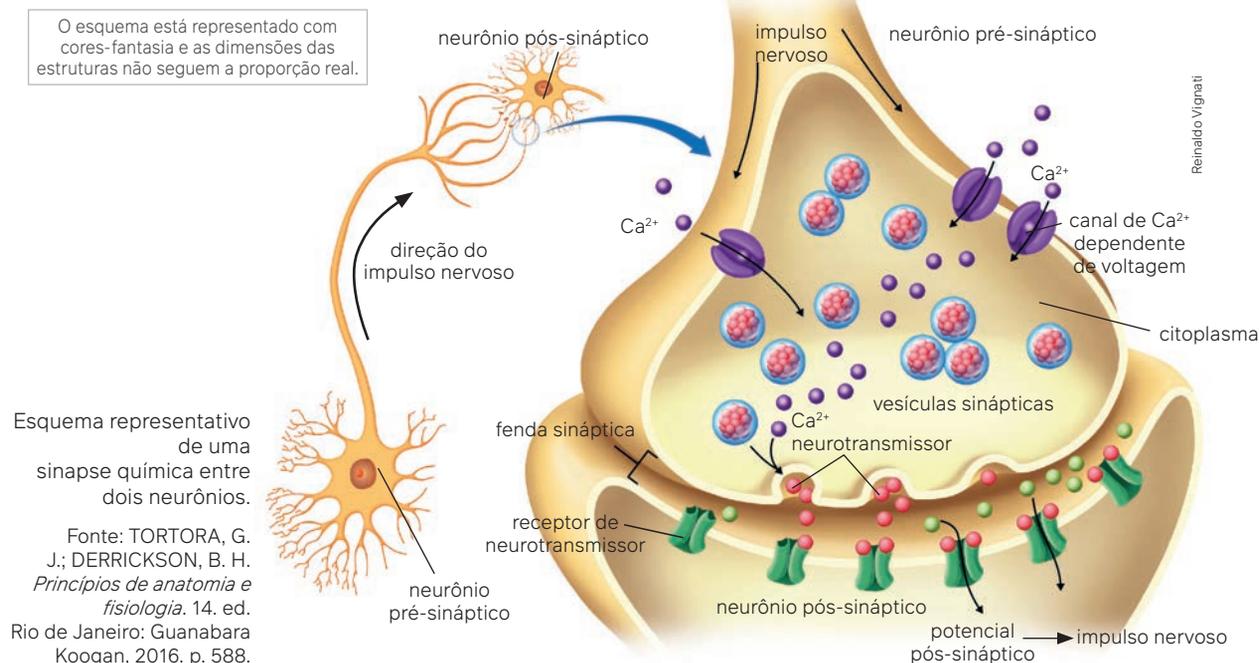
O período refratário é um intervalo de tempo durante o qual um neurônio não pode disparar um novo potencial de ação ou tem uma capacidade reduzida de fazê-lo. Esse período ocorre após a geração de um potencial de ação. Isso é importante porque o período refratário garante que um potencial de ação seja propagado apenas em direção ao axônio.



Esquema representativo da propagação do potencial de ação no axônio neuronal.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1069.

A região de comunicação entre um neurônio e a célula para a qual ele irá transmitir o impulso nervoso – que pode ser outro neurônio, células musculares ou glandulares – é denominada **sinapse**, e o espaço entre as membranas plasmáticas do neurônio pré-sináptico e das células pós-sinápticas chama-se **fenda sináptica**. Quando o impulso nervoso atinge a terminação axônica do neurônio, ocorre a abertura dos canais de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), provocando um influxo de cálcio para dentro do neurônio. Esse aumento de cálcio é um sinal que estimula as vesículas a liberarem os neurotransmissores na fenda sináptica.



Os **neurotransmissores** são substâncias químicas diversas que transmitem informações entre neurônios e outras células do sistema nervoso. Eles podem estimular ou inibir o potencial de ação da célula pós-sináptica ao interagirem com os receptores na membrana neuronal pós-sináptica. Neurotransmissores como a noradrenalina podem ter efeitos excitatórios, permitindo que o potencial de ação avance e até se intensifique, enquanto outros, como o ácido gama-aminobutírico (GABA) e a serotonina, geralmente têm efeitos inibitórios, sinalizando a interrupção do impulso nervoso. A dopamina pode ter tanto efeitos excitatórios quanto inibitórios, dependendo dos receptores com os quais interage. Os neurotransmissores geralmente atuam em diferentes tipos de receptores e podem provocar múltiplos efeitos no corpo, bem como atuar em conjunto para produzir uma resposta similar.

## #FicaADica

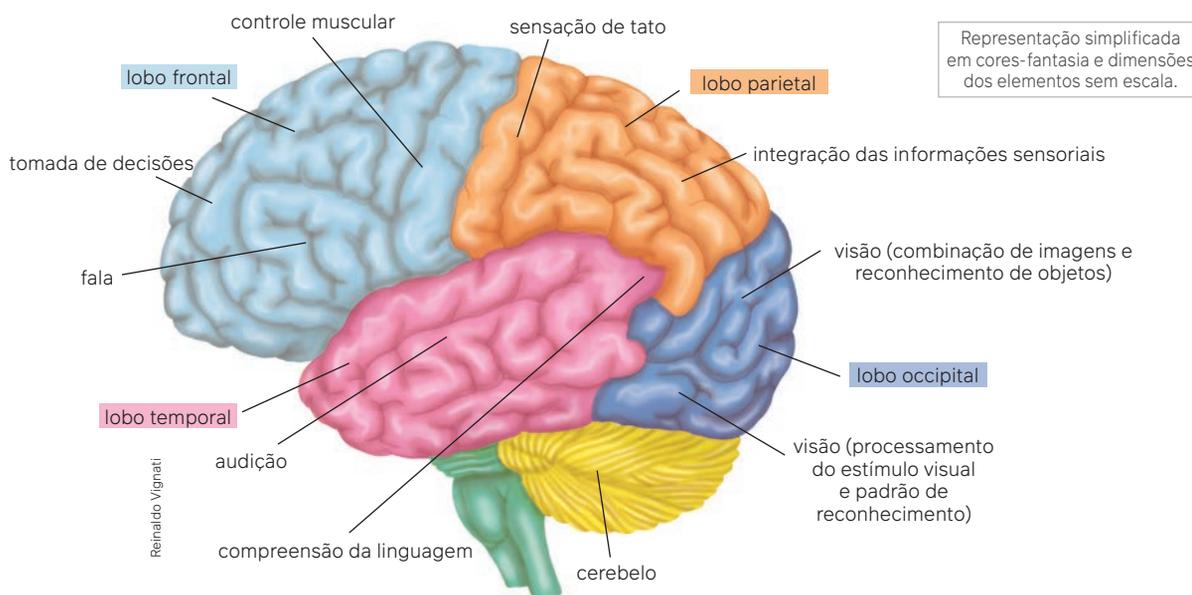
**Simulador Interativo PhET**, da Universidade do Colorado. O simulador de transmissão do impulso nervoso é uma ótima ferramenta digital para observar como ocorre a transmissão do impulso nervoso ao longo da membrana plasmática do neurônio. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/neuron/latest/neuron\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/neuron/latest/neuron_all.html?locale=pt_BR). Acesso em: 10 jul. 2024.

## Sistema nervoso central

O **sistema nervoso central** (SNC) é composto de encéfalo e medula espinal. Entre suas funções, estão o processamento de informações externas e internas do corpo e a coordenação das respostas a essas informações.

### Encéfalo

O encéfalo, que é protegido pelo crânio, é o “centro de controle” do corpo, ou seja, ele controla funções como a memória, o pensamento, a emoção e os movimentos voluntários. O **cérebro** é a maior parte do encéfalo, representando cerca de 90% da massa encefálica. A camada externa do cérebro, chamada de **córtex cerebral**, é composta de bilhões de corpos celulares de neurônios (substâncias cinzentas); enquanto as neurofibras, ou seja, os dendritos e axônios desses neurônios (substância branca), constituem a parte interna.



Representação esquemática da visão lateral esquerda do encéfalo humano, evidenciando os lobos temporal, frontal, parietal e occipital, cada um com funções específicas, algumas das quais listadas nessa ilustração.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1091.

O **cerebelo** é uma estrutura associada ao equilíbrio, ao movimento e à postura. Ele recebe as informações sensoriais e modula as respostas transmitidas do cérebro para o corpo. Outras estruturas do encéfalo são a glândula pineal, o hipotálamo, o hipocampo, o mesencéfalo, a ponte e o tálamo.

O **encéfalo** se conecta à medula espinal por meio do **bulbo raquidiano** (ou medula oblonga), que controla funções vitais para o organismo, como a respiração e os batimentos cardíacos.

## Medula espinal

A **medula espinal** é um cordão de tecido nervoso que se estende da base do encéfalo até a segunda vértebra lombar e transmite impulsos nervosos por todo o corpo. Ela está localizada no interior da coluna vertebral, sendo o ponto de partida dos **nervos espinais**. Esses nervos propagam os impulsos nervosos do encéfalo para as terminações nervosas do corpo e também recebem impulsos de várias partes do corpo, direcionando-os para a medula.

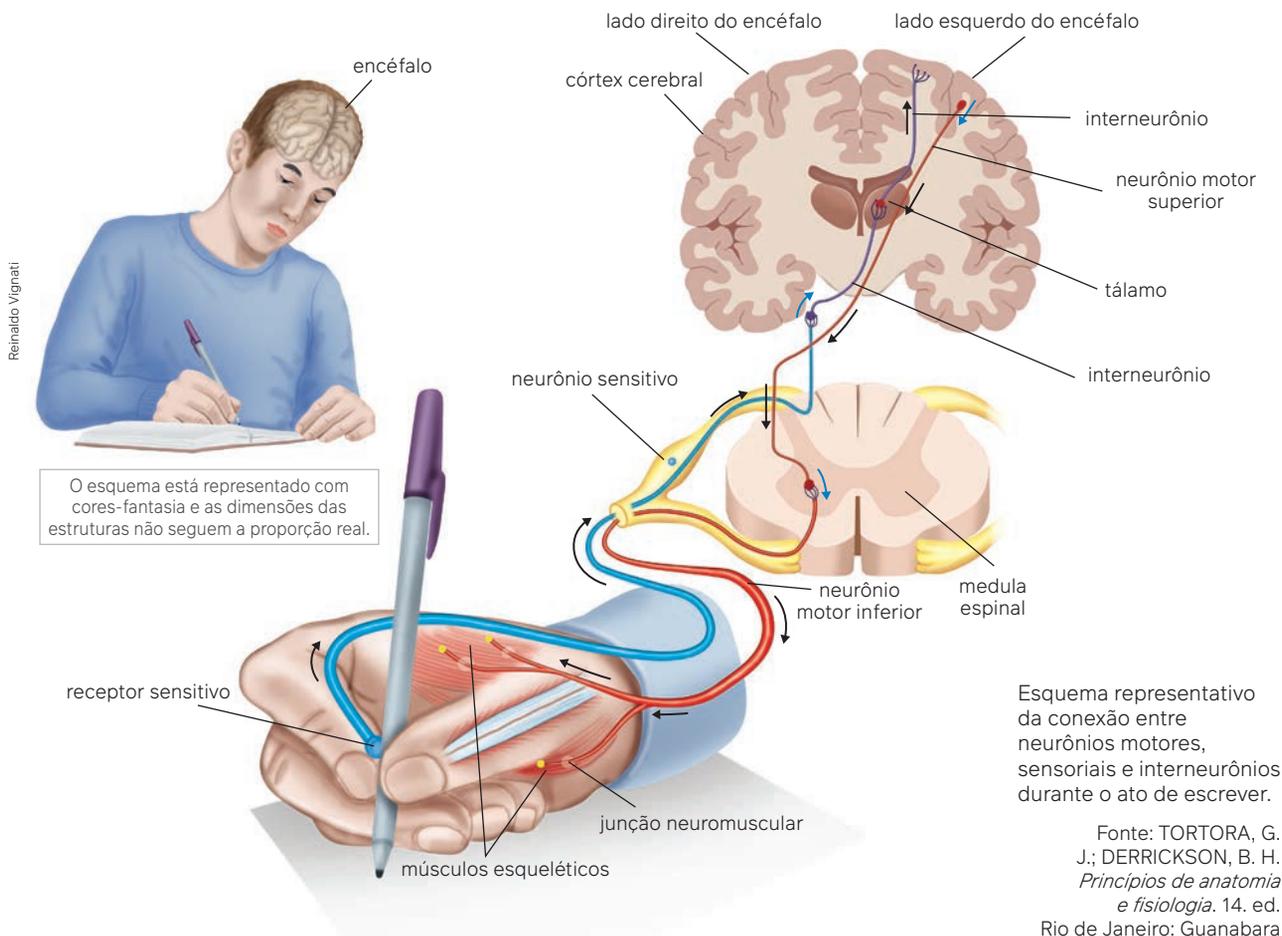
A resposta a alguns estímulos do ambiente também pode ocorrer de forma independente do encéfalo, pela medula espinal, uma vez que ela controla os movimentos reflexos; em outras palavras, ela conduz as reações rápidas a estímulos externos. Um exemplo é quando uma pessoa move rapidamente um membro para afastá-lo de algo que queima, mesmo sem ver a fonte de calor.

O crânio e a medula espinal são revestidos pelas **meninges**, que são três camadas de tecido conjuntivo conhecidas como pia-máter, aracnoide-máter e dura-máter. No espaço entre as meninges, existe o líquido cefalorraquidiano, que protege os órgãos e as estruturas do sistema nervoso central contra situações que poderiam danificá-los.

## Sistema nervoso periférico

O **sistema nervoso periférico** (SNP) é composto de todos os tecidos nervosos do corpo que não fazem parte do SNC, como os nervos, os gânglios, os plexos entéricos e os receptores sensoriais. Os **gânglios** estão presentes em vários lugares do corpo e são compostos de corpos celulares de neurônios agregados, de onde partem as fibras que irão compor os nervos. Já os **nervos** são estruturas filamentosas compostas de axônios neuronais que partem do encéfalo ou da medula espinal; são as **neurofibras** (ou fibras nervosas) do sistema nervoso periférico.

Os neurônios que formam os nervos são classificados de duas formas: **sensoriais** (aférentes), quando transmitem impulsos nervosos de células e receptores sensoriais até o sistema nervoso central; e **motores** (eferentes), quando transmitem os impulsos do sistema nervoso central para os músculos, glândulas e outros órgãos efetores. Na medula e no encéfalo, há um terceiro tipo de neurônio que faz a ponte entre os neurônios sensoriais e os motores, denominado **interneurônio**. Os interneurônios são os nós centrais dos circuitos neurais que realizam a comunicação entre os neurônios sensoriais ou motores e o sistema nervoso central.



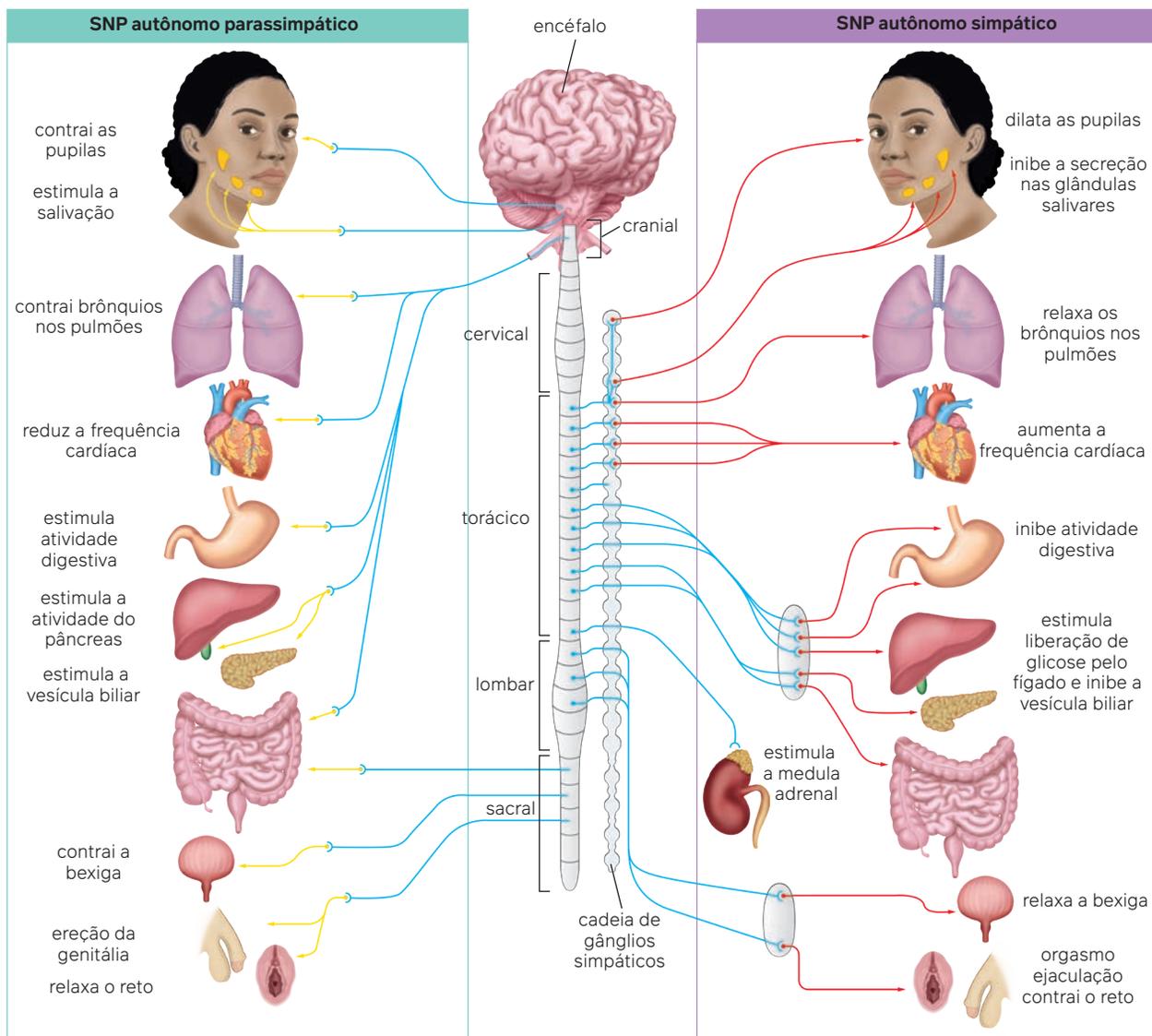
## SNP autônomo e somático

O sistema nervoso periférico (SNP) pode ser funcionalmente subdividido em autônomo e somático. Os nervos do **SNP somático** controlam as atividades voluntárias, como manipular um objeto, lançar um dado, digitar um texto, entre outras atividades conscientes. Dessa forma, são nervos associados ao tecido muscular, principalmente ao tecido muscular esquelético.

Já os nervos do **SNP autônomo**, por sua vez, controlam as ações involuntárias, como os batimentos cardíacos, os movimentos peristálticos, a respiração e a micção. O SNP autônomo é dividido em:

- **simpático**, que age em situações de estresse ou perigo, preparando o corpo para enfrentar uma ameaça;
- **parassimpático**, que atua no relaxamento e repouso, sendo ativado em situações de calma e tranquilidade.

As divisões simpática e parassimpática trabalham de modo integrado para manter a homeostase do corpo, mesmo que geralmente sejam desencadeados efeitos opostos. Por exemplo, quando há um aumento e posterior diminuição da frequência cardíaca por uma situação de estresse seguida de relaxamento, os dois sistemas podem ser acionados de forma sequencial.



Esquema representativo do sistema nervoso periférico autônomo (SNPA) parassimpático (à esquerda) e simpático (à direita).

Fonte: SADAVA, D. et al. *Vida: A Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v. 3, p. 1118.

## #FicaADica

**Explicando a mente**, de Vox Media (Netflix, 2019, 1 temporada, 20 episódios).

De forma leve e instigante, a série aborda temas comuns da neurociência, como memória, sonhos, ansiedade e meditação. Com episódios curtos, ela traz informações com embasamento científico e entrevistas com neurocientistas, e retrata, ainda, aspectos da biotecnologia associada ao conhecimento e técnicas de domínio e reconstrução da mente.

## Doenças neurodegenerativas

Mesmo que seres humanos nasçam com milhões de neurônios, poucos deles são renovados ao longo da vida, e esse é um processo natural relacionado ao desenvolvimento e ao envelhecimento do corpo. Além disso, o ser humano está suscetível a doenças **neurodegenerativas**, que são resultado da degeneração progressiva ou da morte de uma ou mais partes do sistema nervoso. Apesar de poderem acometer pessoas de todas as idades, alguns problemas são mais comuns nas populações idosas, podendo tornar as suas condições de vida mais desafiadoras devido à debilidade.

A degeneração pode afetar os movimentos e o funcionamento do cérebro, podendo originar uma condição denominada **demência**. Uma das principais características da demência é a morte acelerada dos neurônios, em uma taxa maior do que seria esperada para uma pessoa sem a neuropatologia acometida. Algumas das principais doenças degenerativas são a doença de Alzheimer, a doença de Parkinson, a Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) e a esclerose múltipla.

## Atividades propostas



1. Leia a seguir três situações hipotéticas sobre o uso de medicamentos psiquiátricos.
  - Com dificuldade de se concentrar nas aulas e aparentando profunda tristeza, Camila foi consultar um psiquiatra, que lhe receitou tratamento com cloridrato de fluoxetina. Ao conversar com colegas sobre o tratamento, recebeu comentários negativos, como: “Remédio para depressão é coisa de gente fraca”.
  - Sempre que Mário tem que apresentar um tema para a turma, ele se retrai e entra em pânico. Após consultar um psiquiatra, o jovem começou a tomar diazepam, mas seus irmãos sempre lhe dizem que ele deveria “superar isso sozinho” e que “medicação é uma muleta”.
  - Para controlar episódios de extrema euforia seguidos de períodos intensos de depressão, Joana toma lítio. Suas amigas frequentemente dizem que “ela só quer chamar atenção” e que “isso é frescura”.Em grupos, pesquisem sobre os mecanismos de ação desses diferentes tipos de medicamentos psiquiátricos. À luz do tema saúde mental, discutam o uso desses medicamentos e os preconceitos associados a eles.
2. Julgue as afirmativas sobre o sistema nervoso humano em verdadeiro (V) ou falso (F).
  - a) A transmissão do impulso nervoso no neurônio ocorre por meio da propagação do potencial de ação.
  - b) Os astrócitos são gliócitos que produzem e mantêm o estrato mielínico (bainha de mielina).
  - c) Ao receber um estímulo, os neurônios saem do estado despolarizado e vão para o polarizado e, então, retornam para o estado despolarizado.
  - d) A liberação de neurotransmissores na fenda sináptica ocorre após o aumento do cálcio intracelular.
  - e) O encéfalo e a medula espinal fazem parte do sistema nervoso central.
3. O consumo de álcool durante a adolescência provoca alterações no sistema nervoso, podendo acarretar problemas em diversas áreas do desenvolvimento, como menor capacidade de desempenho cognitivo, maior suscetibilidade à dependência de álcool e alterações significativas em partes do cérebro – especialmente no córtex, no hipocampo e na amígdala. Essas partes do sistema nervoso estão associadas à capacidade de tomar decisões, ao julgamento das situações vivenciadas, à memória, ao equilíbrio, à coordenação e ao tempo de reação de um estímulo. Leia a seguir os dados da pesquisa do IBGE acerca desse tema.

[...]

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar (PeNSE), feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com estudantes de 13 a 17 anos, a experimentação de bebida alcoólica cresceu de 52,9% em 2012 para 63,2% em 2019. O aumento, no período, foi mais intenso entre as meninas (de 55% para 67,4%) do que entre os meninos (de 50,4% para 58,8%).

O consumo excessivo de álcool também aumentou. Foi de 19% em 2009 para 26,2% em 2019 entre os estudantes do sexo masculino e de 20,6% para 25,5% entre as adolescentes. A experimentação ou exposição ao uso de drogas cresceu em uma década. Foi de 8,2% em 2009 para 12,1% em 2019.

[...]

CRISTALDO, H.; GANDRA, A. Uso nocivo de álcool entre mulheres cresce anualmente 4,25% em 10 anos. *Agência Brasil*, Brasília, DF, 18 fev. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2023-02/uso-abusivo-de-alcool-entre-brasileiras-cresce-425-de-2010-2020>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Com base nos resultados da pesquisa, discuta com os colegas a respeito do uso do álcool na adolescência e responda às questões a seguir.

- Na sua opinião, qual é o motivo para o aumento do consumo excessivo de álcool entre os adolescentes?
- Na sua opinião, quais medidas seriam eficazes para mudar o quadro de experimentação e consumo excessivo de álcool entre adolescentes no Brasil?
- Coletivamente, elaborem uma carta a um jovem que faz uso excessivo de álcool com argumentos que desmotivem tal prática. A fim de garantir argumentos sólidos, pesquisem a respeito das consequências do uso de álcool na adolescência. Apresente a carta às demais turmas.

## Sistema musculoesquelético

O **sistema musculoesquelético** é composto de tecidos musculares e do esqueleto, que trabalham em sincronia para promover os movimentos do corpo. Além dessas funções primordiais, o sistema musculoesquelético está envolvido em diversas ações, como adequar a visão à luminosidade, escrever, digitar, pintar, dançar, tocar instrumentos musicais, modelar peças, comer e tantas outras atividades voluntárias e involuntárias que são realizadas todos os dias ao longo da vida.



O sistema musculoesquelético possibilita a realização de uma série de atividades, como a prática de esportes e a confecção de artesanatos.

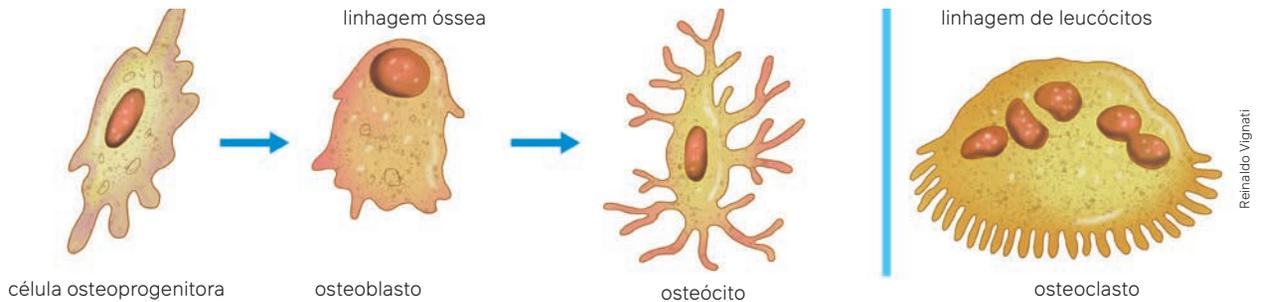
## Esqueleto

O **esqueleto** é o conjunto de ossos, cartilagens e articulações que oferecem suporte e proteção aos órgãos, agindo em conjunto com os músculos, ligamentos e tendões para gerar os movimentos do corpo.

A **matriz óssea**, componente extracelular essencial do tecido ósseo, destaca-se por sua abundância em fibras colágenas e fosfato de cálcio -  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Essa composição proporciona ao tecido ósseo uma combinação de resistência mecânica e flexibilidade. As fibras colágenas conferem resistência, enquanto o fosfato de cálcio contribui para a rigidez e dureza óssea.

Os **osteoblastos** são as células que produzem a matriz óssea. Elas são derivadas das células osteoprogenitoras, que não são especializadas e têm alta capacidade proliferativa. Outras células do tecido ósseo são os **osteoclastos**, que atuam na reabsorção óssea, na remodelação e na manutenção do tecido e dos **osteócitos**, que, por sua vez, atuam na detecção de estresse mecânico e na regulação da remodelação óssea, respondendo a estímulos físicos e bioquímicos.

A interação entre osteoblastos, osteoclastos, osteócitos e a matriz óssea destaca a dinâmica intrincada do tecido ósseo, essencial para a sustentação estrutural do corpo, para a proteção de órgãos vitais e para a regulação do metabolismo mineral.

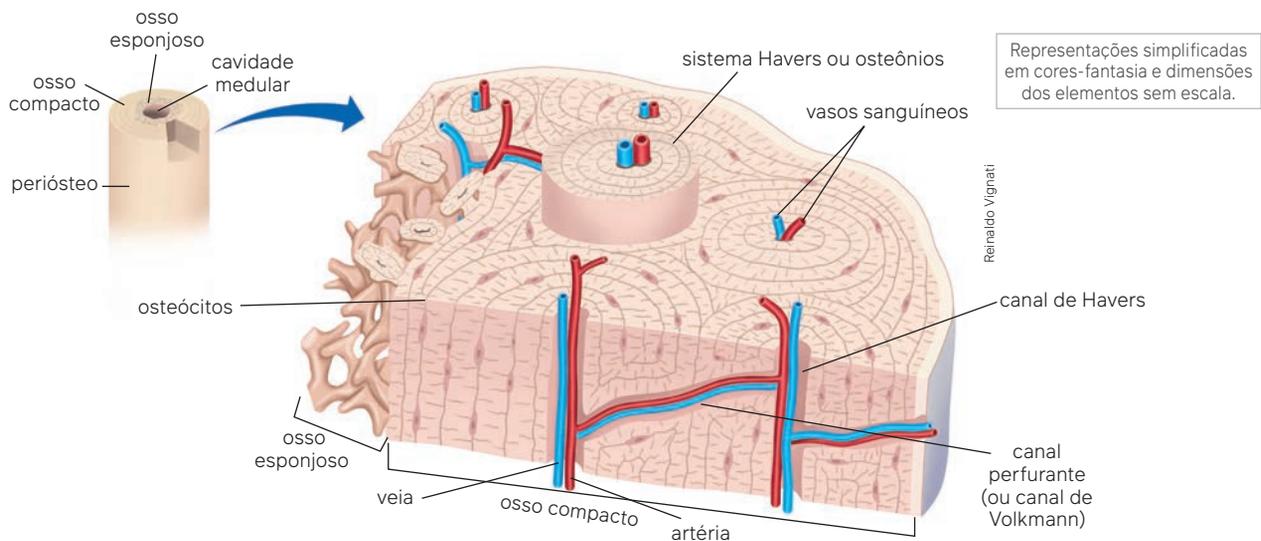


Tipos de célula que integram o tecido ósseo.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 270.

No interior do tecido ósseo, existem **canais centrais** (ou canais de Havers), por onde passam os vasos sanguíneos, que fornecem nutrientes e células precursoras para renovação do tecido.

Na **medula óssea**, são formadas as hemácias, as plaquetas e os leucócitos do sangue. A camada externa é denominada **periósteo**, que atua na nutrição e na regeneração óssea. No geral, a camada mais externa dos ossos é compacta, e a mais interna é esponjosa, podendo variar de acordo com o tipo ósseo.



Esquema representativo da estrutura de um osso maduro.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 272.

O sistema esquelético também é composto de tecido cartilaginoso, que é rico em fibras colágenas e outras substâncias que conferem flexibilidade. As células que compõem a cartilagem são denominadas **condrócitos** quando estão imersas na matriz extracelular cartilaginosa. O condrócitos são derivados dos condroblastos, células que secretam as substâncias que formam a matriz extracelular cartilaginosa. O tecido cartilaginoso não é vascularizado, e sua nutrição depende da camada de tecido conjuntivo que o envolve, chamada **pericôndrio**.

As **cartilagens** estão localizadas em diversas regiões do corpo, como nas articulações, nos discos intervertebrais, no pavilhão auricular, nas extremidades das costelas, no nariz e nas placas epifisárias, que são regiões nas quais ocorre o crescimento longitudinal dos ossos longos.

As **articulações** são estruturas que mantêm conectados dois ou mais ossos. A cartilagem que as compõem é lisa e elástica, viabilizando a movimentação entre os ossos que elas conectam. Nas articulações móveis, os ossos se mantêm unidos e estáveis por meio de **ligamentos** – que são compostos de tecido conjuntivo. As articulações também podem ser fixas, como as que conectam os ossos do crânio.

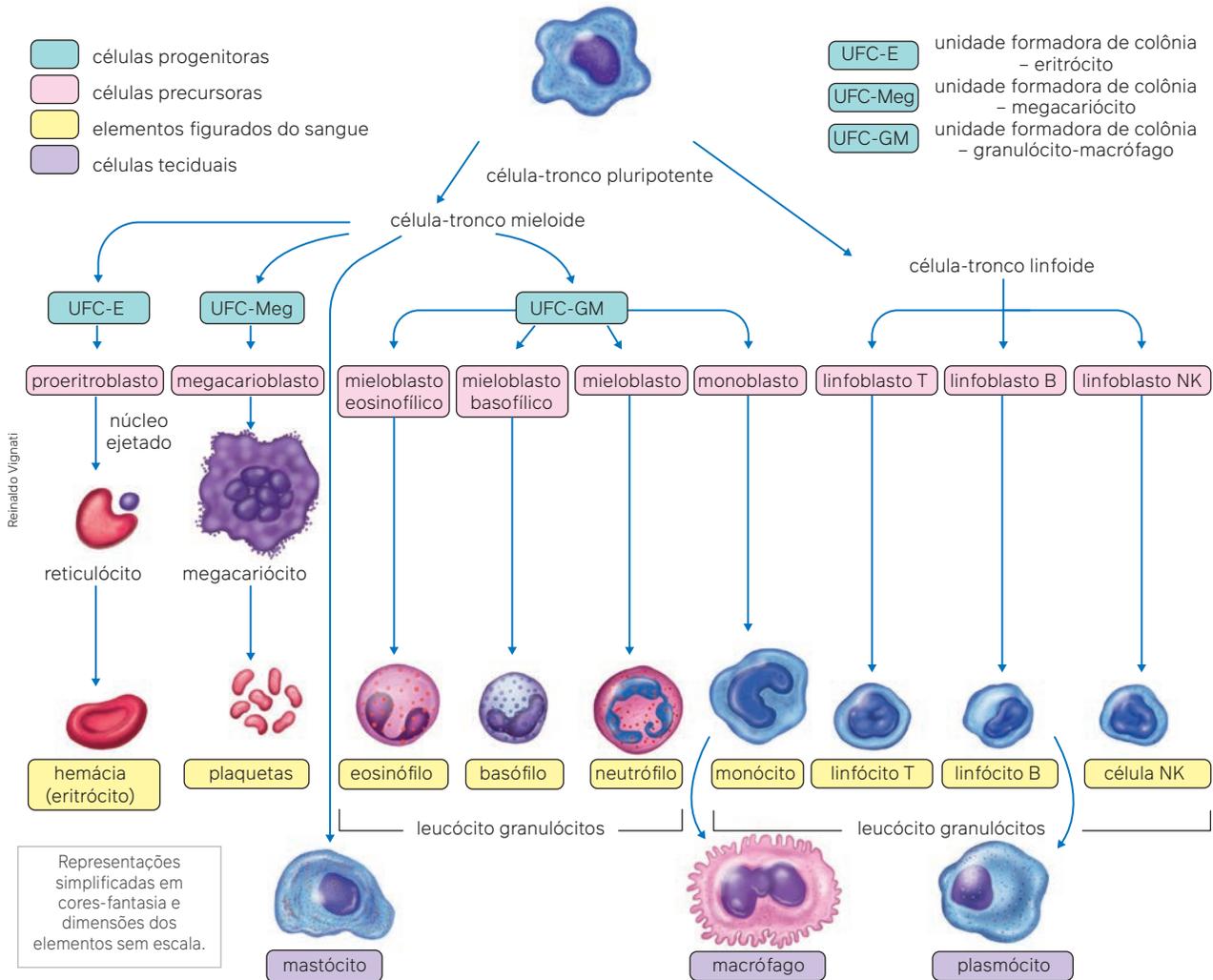
Os **tendões**, que conectam os ossos aos músculos, têm características semelhantes aos ligamentos, contudo, eles são compostos de elementos fibrosos, que conferem alta resistência e baixa elasticidade a esse tecido, proporcionando, assim, características essenciais para a mobilidade.

## Medula óssea e hematopoiese

A **medula óssea** é um tecido líquido presente no interior dos ossos, composto de células-tronco hematopoiéticas. Essas células são indiferenciadas, originam e renovam todos os diferentes tipos de células sanguíneas maduras por meio de um processo denominado **hematopoiese**, que ocorre em várias etapas, gerando as seguintes células:

- Glóbulos vermelhos (ou eritrócitos) são as células transportadoras de oxigênio e gás carbônico.
- Linfócitos são células fundamentais no sistema imunológico adaptativo e no inato. Destacam-se as células T e B, que desempenham papéis essenciais na imunidade adaptativa. Existem, também, as células exterminadoras naturais, conhecidas como células NK (*Natural Killer*), que são específicas para a resposta imune inata.
- Granulócitos (como eosinófilos, basófilos e neutrófilos), megacariócitos, monócitos e macrófagos, que estão envolvidos em diversas funções, como imunidade inata e coagulação sanguínea.

Observe, no esquema a seguir, os diversos tipos de células formadas na hematopoiese.



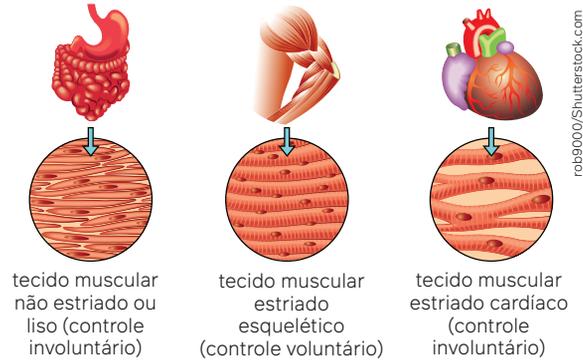
Hematopoiese humana. As características morfológicas representadas derivam de diferentes técnicas de coloração, e certas células podem ter mais de uma aparência característica.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 910.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

## Tecidos musculares

Os tecidos musculares são formados por células chamadas de **miócitos** (fibras musculares), que, por sua vez, podem ser divididas em três tipos: não estriado (ou liso), estriado esquelético e estriado cardíaco. Os tecidos musculares estriado cardíaco e o não estriado (liso) compõem cerca de 10% do corpo. As fibras musculares recebem impulsos nervosos do sistema nervoso nas junções neuromusculares, que provocam a contração muscular e a realização de movimentos voluntários ou involuntários.

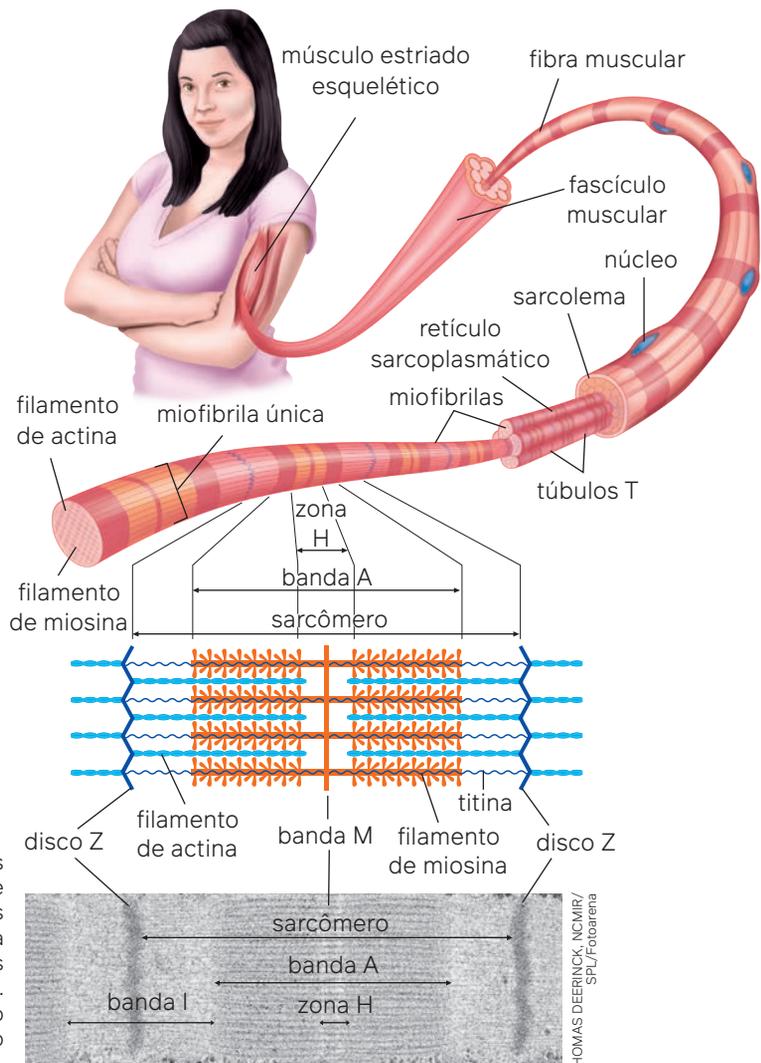


Esquema representativo dos três tipos de tecido muscular.

## Tecido muscular estriado esquelético

O **tecido muscular estriado esquelético** compõe cerca de 40% do corpo, e sua contração é controlada de forma voluntária pelo sistema nervoso. Os músculos esqueléticos estão ligados aos ossos e dispostos em grupos opostos em torno das articulações. Cada fascículo muscular é composto de um conjunto de **fibras musculares** (miócitos) estriadas esqueléticas, cobertos por tecido conjuntivo, que se prolongam por todo o comprimento do músculo. Cada fibra é formada, basicamente, por três subunidades: sarcolema (membrana plasmática), sarcoplasma (líquido intracelular) e miofibrilas.

Uma **miofibrila** é composta de cerca de 1500 filamentos de **miosina** (mais espessos) e de 3000 filamentos de **actina** (mais finos), longas moléculas de proteínas polimerizadas que realizam as contrações musculares. Sob microscopia eletrônica de transmissão, é possível observar dois padrões de faixas nas miofibrilas: claras e escuras. As faixas claras (banda I) contêm apenas filamentos de actina, onde existe um trecho de cor mais intensa, denominado disco Z, que corresponde à união entre os dois filamentos de actina. Um sarcômero (ou miômero) compreende o segmento entre dois discos Z consecutivos, sendo a menor porção da fibra muscular com capacidade de contração e distensão. As faixas mais escuras (banda A), localizadas mais ao centro do sarcômero, são compostas de miosina sobrepostas pelas extremidades dos filamentos de actina.



Esquema representativo dos componentes do músculo estriado esquelético e suas partes correspondentes indicadas em eletromicrografia com esquema representativo das linhas e bandas visualizadas.

Fotografia obtida por microscópio eletrônico de transmissão. Ampliação aproximada de 16200 vezes.

Fonte: SADAVA, D. *et al.* *Vida: A Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020. v.3, p. 1130.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

rob9000/Shutterstock.com

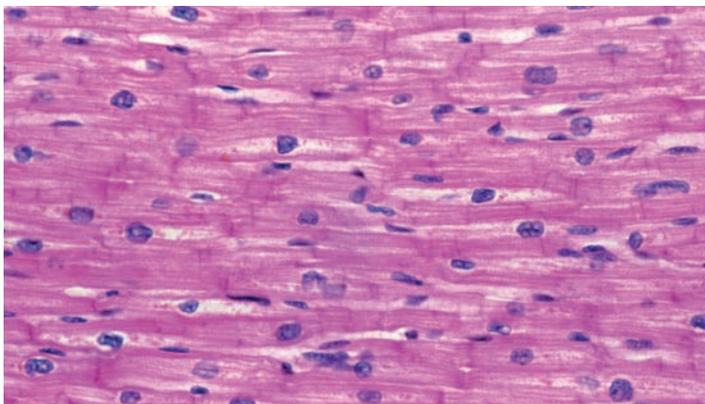
Reinaldo Vignati

THOMAS DEERINCK, NCMIR/SPL/Fotorena

As fibras musculares podem ser classificadas em diferentes gradações entre os extremos rápido e lento. Músculos que reagem rapidamente, como o tibial anterior, são predominantemente compostos por fibras rápidas, com apenas uma pequena proporção das fibras lentas. Por outro lado, músculos que respondem lentamente, mas mantêm a contração por um período prolongado, como o sóleo, consistem principalmente em fibras lentas. Ambos os músculos mencionados, tibial e sóleo, são músculos da perna que trabalham em conjunto para que o deslocamento aconteça.

## Tecido muscular estriado cardíaco

O **tecido muscular estriado cardíaco**, também denominado **miocárdio**, é um tipo particular de músculo encontrado somente no coração. As células musculares cardíacas são alongadas, com um núcleo central e várias miofibrilas que se estendem por todo o seu comprimento. O miocárdio é irrigado por uma rede de vasos sanguíneos, que fornece oxigênio e nutrientes para as células musculares. Apesar de apresentar fibras musculares estriadas como o músculo estriado esquelético, o controle do tecido cardíaco ocorre de forma involuntária.

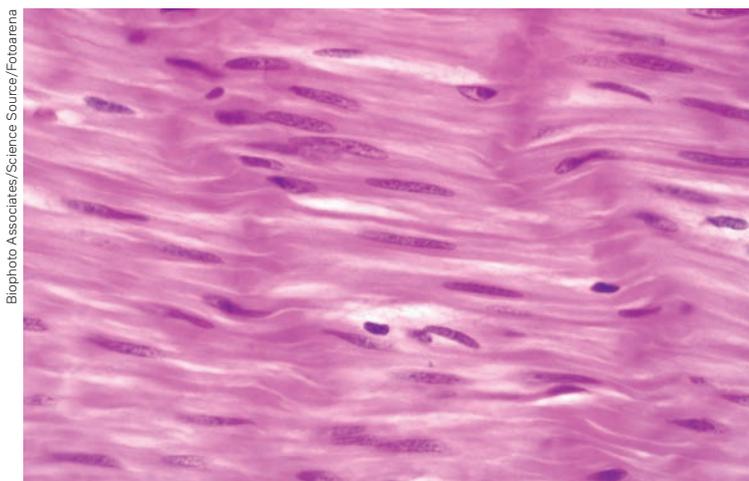


Astrid & Hanns-frieder Michler/SPL/Fotoarena

Fotomicrografia de tecido muscular estriado cardíaco humano. Fotografia obtida por microscópio óptico e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 100 vezes.

## Tecido muscular não estriado (ou liso)

Os **tecidos musculares não estriados** (ou lisos) são compostos de fibras mais curtas se comparadas às fibras dos músculos estriados esqueléticos. A musculatura não estriada (lisa) é encontrada nas paredes de órgãos ocos, como intestinos, estômago, útero e bexiga urinária, e nas paredes de órgãos ocos, como o trato respiratório e nas paredes dos vasos sanguíneos. O músculo liso não tem estrias, não é controlado de maneira voluntária, tem apenas um núcleo por célula e é afilado nas extremidades.



Biophoto Associates/Science Source/Fotoarena

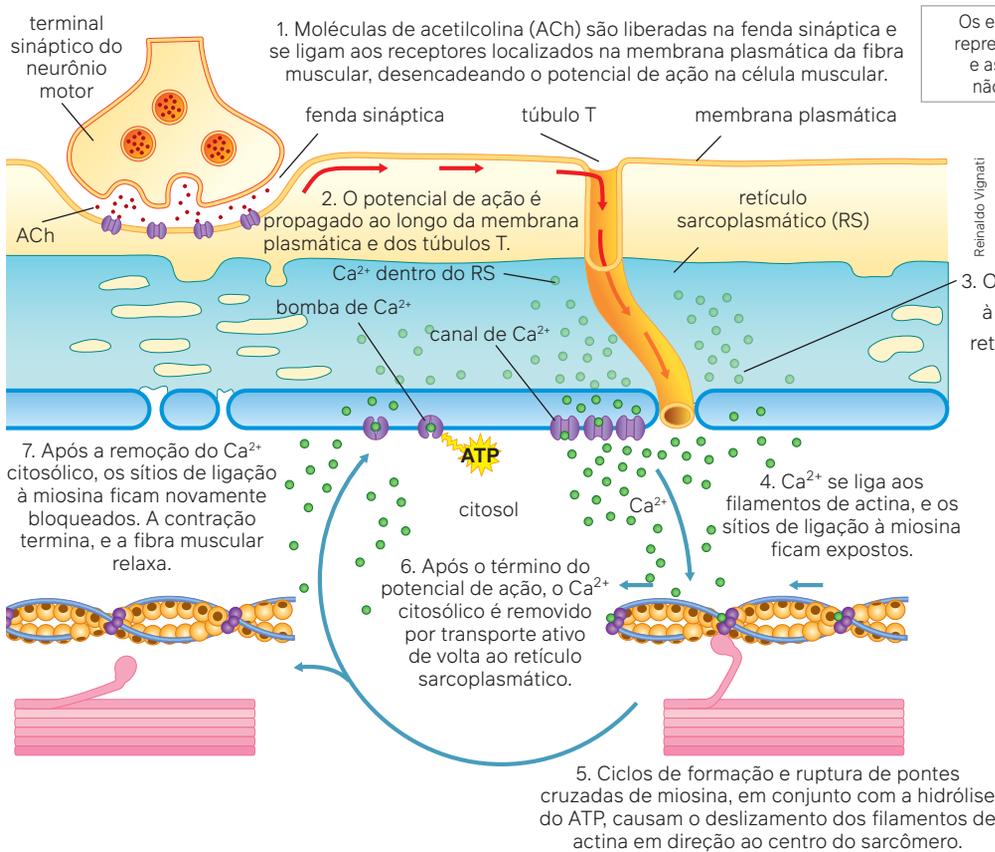
Fotomicrografia de tecido muscular não estriado (liso) de ducto deferente. Fotografia obtida por microscópio óptico e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 200 vezes.

## Contração muscular

Tanto as contrações do tecido muscular estriado quanto do liso são decorrentes dos mesmos mecanismos, com algumas especificidades, embora o arranjo físico interno das fibras musculares seja diferente. Neste tópico, estudaremos os princípios das contrações musculares considerando um músculo esquelético.

A **contração muscular** ocorre a partir de impulsos nervosos (potencial de ação), que se propagam pelos nervos motores até as fibras musculares. Nas terminações das fibras, o nervo secreta uma pequena quantidade de **acetilcolina**, abrindo múltiplos canais iônicos, por onde se difundem grandes quantidades de íons sódio para o lado interno da fibra. Essa ação desencadeia o potencial de ação que se propaga por toda a membrana da fibra muscular, penetrando nos túbulos T e chegando ao centro da célula. Esse impulso é, então, transmitido para o retículo sarcoplasmático, desencadeando a liberação de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) no citoplasma da célula muscular.

Os íons cálcio ativam as forças atrativas entre os filamentos de miosina e actina, que deslizam lado a lado, desencadeando o processo de contração muscular. Em frações de segundo, os íons cálcio são bombeados de volta para o retículo sarcoplasmático, sendo armazenados até que um novo potencial de ação muscular se inicie. A remoção dos íons cálcio cessa a contração muscular, uma vez que a energia para que o processo de contração continue deriva diretamente do trifosfato de adenosina (ATP), produzido principalmente nas mitocôndrias.



Os esquemas desta página estão representados com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Esquema representativo da contração muscular em uma fibra de tecido muscular estriado esquelético.

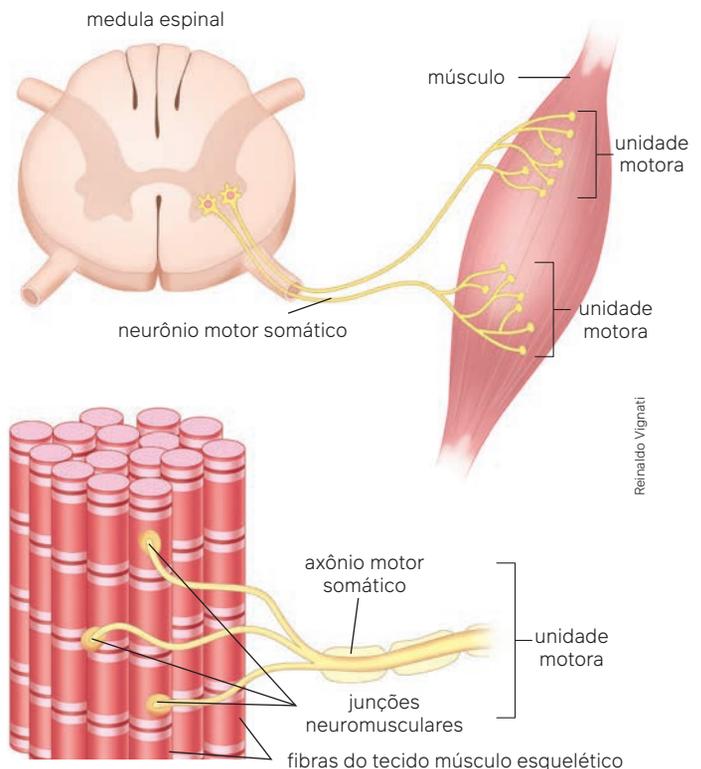
Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1123.

Todas as fibras musculares são inervadas por somente uma fibra nervosa, um conjunto denominado **unidade motora**, que age em decorrência de impulsos nervosos controlados pela medula espinal. Os receptores da fibra muscular recebem neurotransmissores da terminação nervosa na **junção neuromuscular**. Os músculos que reagem rapidamente, cujo controle depende de maior precisão, apresentam mais neurofibras (fibras nervosas) e menos fibras musculares. Um exemplo são os músculos da laringe, que permitem a fala. Já os músculos que não dependem de controle tão preciso, como o sóleo, na região posterior da perna, podem ter muitas fibras para uma unidade motora.

Os músculos esqueléticos geralmente mantêm uma certa tensão mesmo quando estão em repouso, processo conhecido como **tônus muscular**. O tônus do músculo esquelético é resultado, principalmente, de impulsos nervosos de baixa frequência originados na medula espinal.

Unidade motora é a composição das fibras musculares e neurofibras.

Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 280.



Reinaldo Vignatti



1. A contração muscular é um processo que ocorre nas células musculares durante a realização de atividades físicas. Julgue as seguintes afirmações como sendo verdadeiras (V) ou falsas (F):
  - I. Durante a contração muscular, o cálcio é liberado das vesículas sarcoplasmáticas, desencadeando a interação entre a actina e a miosina.
  - II. A contração muscular ocorre quando os músculos se encurtam, permitindo o movimento de uma articulação.
  - III. A unidade motora se refere a um neurônio motor e a todas as fibras musculares por ele inervadas; uma única fibra muscular pode ser inervada por diferentes neurônios motores.
  - IV. Durante a fase de relaxamento muscular, ocorre o encurtamento das fibras musculares devido à liberação de acetilcolina.
2. Leia o texto a seguir e depois faça o que se pede.

A sociedade, em especial as mídias, impõem padrões sobre o corpo perfeito, levando a alterações da percepção corporal. Atualmente, o corpo masculino musculoso tem sido associado à beleza, sucesso, felicidade e saúde, acarretando um transtorno conhecido como vigorexia: obsessão na obtenção de um corpo forte e musculoso, com dedicação de várias horas do dia para a prática de musculação e uso de dietas hiperproteicas e, em alguns casos, anabolizantes.

MOROSINI, C.; HOENHLEIN, E. A. Sinais de vigorexia e uso de suplementos alimentares por praticantes de musculação de São Miguel do Oeste (SC). *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 443-452, 2019.

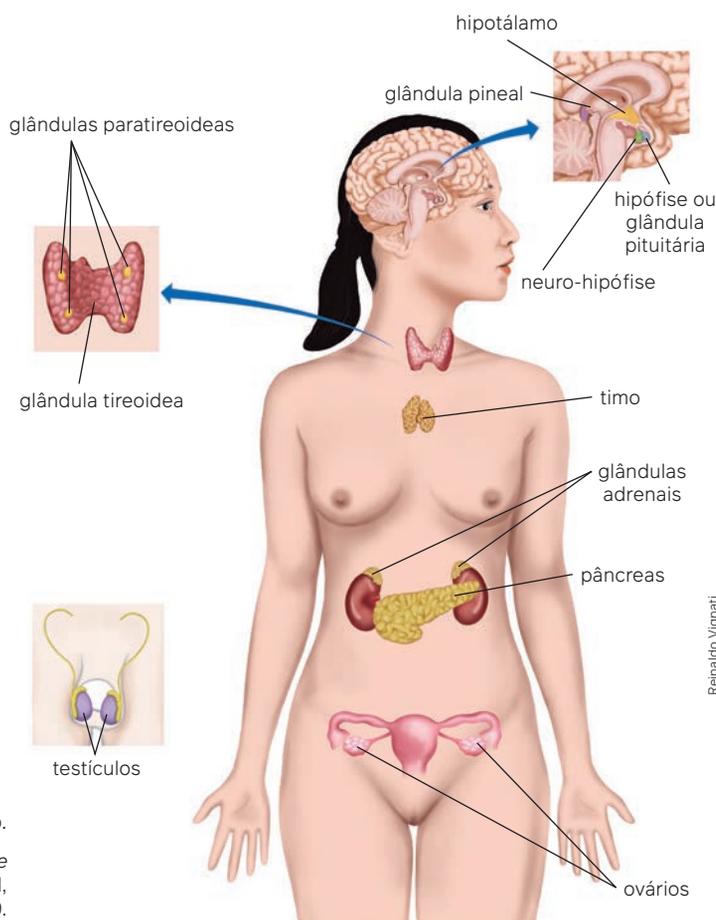
Em grupos, pesquisem e discutam os riscos envolvidos no uso de dietas hiperproteicas sem o acompanhamento de um profissional (médico ou nutricionista). Depois, debatam sobre o uso de anabolizantes.



Elaborem um material informativo que alerte jovens a respeito da exposição às informações midiáticas, evidenciando como elas afetam física e psicoemocionalmente as percepções de corpo e saúde.

## Sistema endócrino

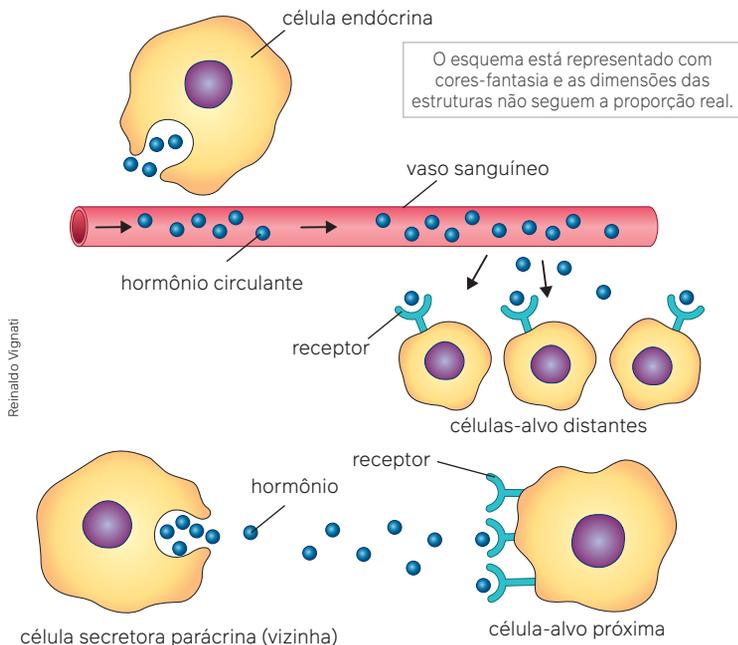
O **sistema endócrino** é composto de glândulas produtoras e secretoras de **hormônios**, que são substâncias que atuam como mensageiras, modificando as atividades das células-alvo. Além disso, os hormônios participam de diversas funções do corpo, como o crescimento, o desenvolvimento e o metabolismo. As células-alvo possuem receptores específicos para a ligação de determinados hormônios que, ao se ligarem, desencadeiam reações que alteram o funcionamento celular, bem como do tecido ou órgão onde ocorrem.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Principais glândulas do corpo humano.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 999.



Reinaldo Vignati

Esquema representativo da ligação de um hormônio com receptores proteicos localizados na membrana plasmática da célula-alvo.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. H. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 845.

Os hormônios são produzidos nos tecidos epiteliais glandulares (glândulas), que surgem de invaginações no tecido epitelial. Classificamos as glândulas em dois tipos, de acordo com a sua função: as endócrinas e as exócrinas. As **glândulas endócrinas** secretam seus produtos diretamente nos vasos sanguíneos. Exemplos incluem a hipófise, o pâncreas e as gônadas.

As **glândulas exócrinas** secretam seus produtos para fora do organismo, ou em cavidades internas do corpo por meio de ductos. Alguns exemplos são as sebáceas, sudoríferas, salivares e mamárias. Também é possível que certas glândulas sejam **mistas**, agindo nas duas funções, como o pâncreas, que atua como glândula endócrina, liberando insulina e glucagon no sangue, e como glândula exócrina, produzindo sucos digestivos.

Os hormônios influenciam nas células-alvo por meio de interações químicas em receptores proteicos específicos das membranas celulares.

## Hipófise, tireoidea e paratireoideas

A **hipófise**, ou glândula pituitária, é uma glândula endócrina do tamanho de uma ervilha, que fica localizada no assoalho do encéfalo. É conhecida como glândula mestra, pois controla o funcionamento de muitas outras glândulas endócrinas; e tem sua ação controlada pelo hipotálamo.

O lobo posterior da hipófise, denominado **neuro-hipófise**, secreta a **ocitocina**, um hormônio que promove as contrações uterinas durante o parto, além de estimular a apojadura (descida do leite materno após o parto). Durante o trabalho de parto, as contrações do útero estimulam a liberação adicional de ocitocina, que, por sua vez, intensifica as contrações uterinas. Esse ciclo de aumento na liberação de ocitocina e de aumento das contrações uterinas continua até que o bebê nasça, sendo um exemplo clássico de hormônio cuja liberação é regulada por *feedback* positivo.

O **hormônio antidiurético** (ADH), ou vasopressina, também é produzido na neuro-hipófise e atua no controle da pressão arterial, no aumento da absorção de água pelos rins e na diminuição do volume de urina. Uma alta pressão osmótica no sangue estimula a produção de ADH, enquanto a baixa pressão osmótica inibe os receptores no hipotálamo, diminuindo, conseqüentemente, a produção de ADH.

O lobo anterior da hipófise, denominado **adeno-hipófise**, produz e secreta hormônios tróficos, que estimulam o funcionamento de outras glândulas endócrinas, sendo os principais hormônios: o adrenocorticotrófico (ACTH), o tireoestimulante (TSH), o foliculo estimulante (FSH), o luteinizante (LH), o hormônio do crescimento (GH) e a prolactina.

### Saiba mais

#### Feedback positivo e negativo

O *feedback* é um conjunto de mecanismos fundamentais para a homeostase corporal. O *feedback* negativo atua na redução do estímulo original diante de uma mudança. Pode-se citar como exemplo o controle da temperatura corporal, uma vez que, se a temperatura aumenta, os sensores iniciam o resfriamento por meio do suor, reduzindo-a.

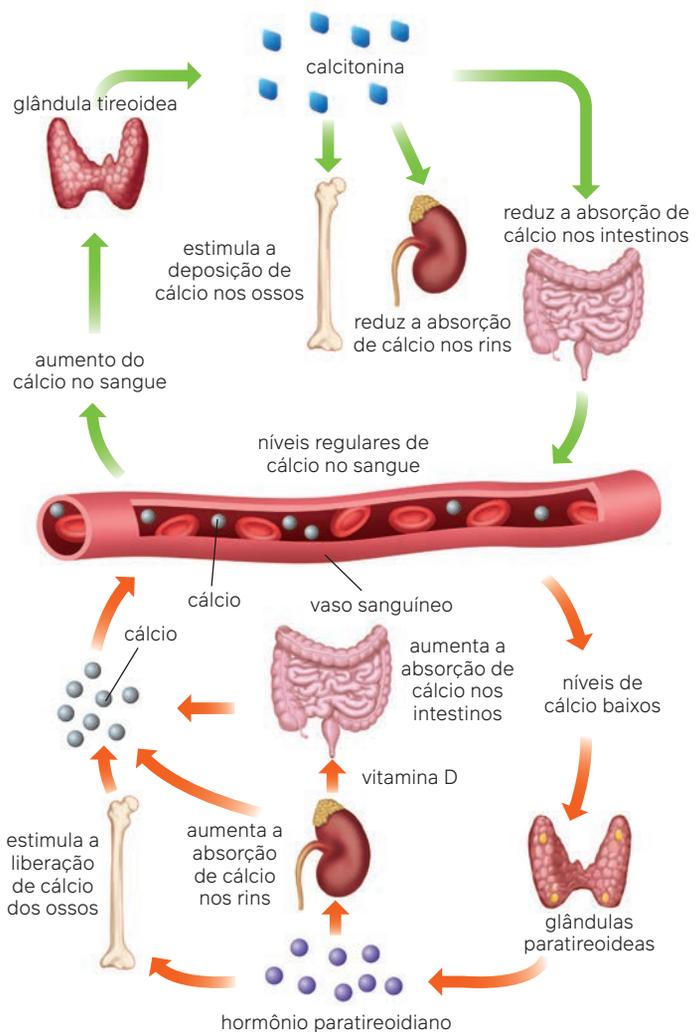
Já o *feedback* positivo amplifica o estímulo, como ocorre na coagulação sanguínea, por exemplo. Após uma lesão, as plaquetas liberam substâncias que amplificam a formação do tampão, resultando na rápida coagulação para interromper o sangramento. Esse processo é essencial para evitar perda excessiva de sangue, lembrando que o *feedback* positivo requer regulação para evitar coagulação descontrolada. Assim, enquanto o *feedback* negativo confere estabilidade, o *feedback* positivo amplifica processos específicos.

A **tireoidea** é uma glândula endócrina localizada na região do pescoço, que secreta os hormônios **tiroxina (T4)**, **tri-iodotironina (T3)** e **calcitonina**. A maioria das células corporais apresenta receptores para T3 e T4, assim, esses hormônios atuam em diferentes funções importantes para a homeostase do corpo, como o aumento da taxa metabólica basal, a frequência cardíaca, a pressão sanguínea, o controle de temperatura e o tônus muscular.

A regulação da secreção e das ações dos hormônios tireoidianos depende da ação dos hormônios produzidos na hipófise e no hipotálamo. O hormônio liberador de tireotrofina (TRH), secretado no hipotálamo, estimula a produção do hormônio tireoestimulante (TSH) que, por sua vez, estimula a secreção dos hormônios da tireoidea. A elevação de hormônios tireoidianos exerce *feedback* negativo, inibindo a liberação de TRH e TSH.

As **paratireoideas** são quatro glândulas localizadas no pescoço, atrás da tireoidea, que secretam o hormônio paratireoidiano, ou paratormônio (PTH), que atua na regulação dos níveis de cálcio no organismo. O PTH estimula a liberação de cálcio presente nos tecidos ósseos, aumentando a absorção deste elemento químico pelos rins e intestino, elevando sua concentração no sangue. O aumento excessivo de cálcio provoca a secreção de calcitonina pela tireoidea, que induz o depósito de cálcio nos ossos e a diminuição de sua absorção pelos rins e intestino.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Reinaldo Vignati

Representação esquemática da ação do hormônio paratireoidiano e da calcitonina na regulação do cálcio.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1006.

## Glândulas suprarrenais e pâncreas

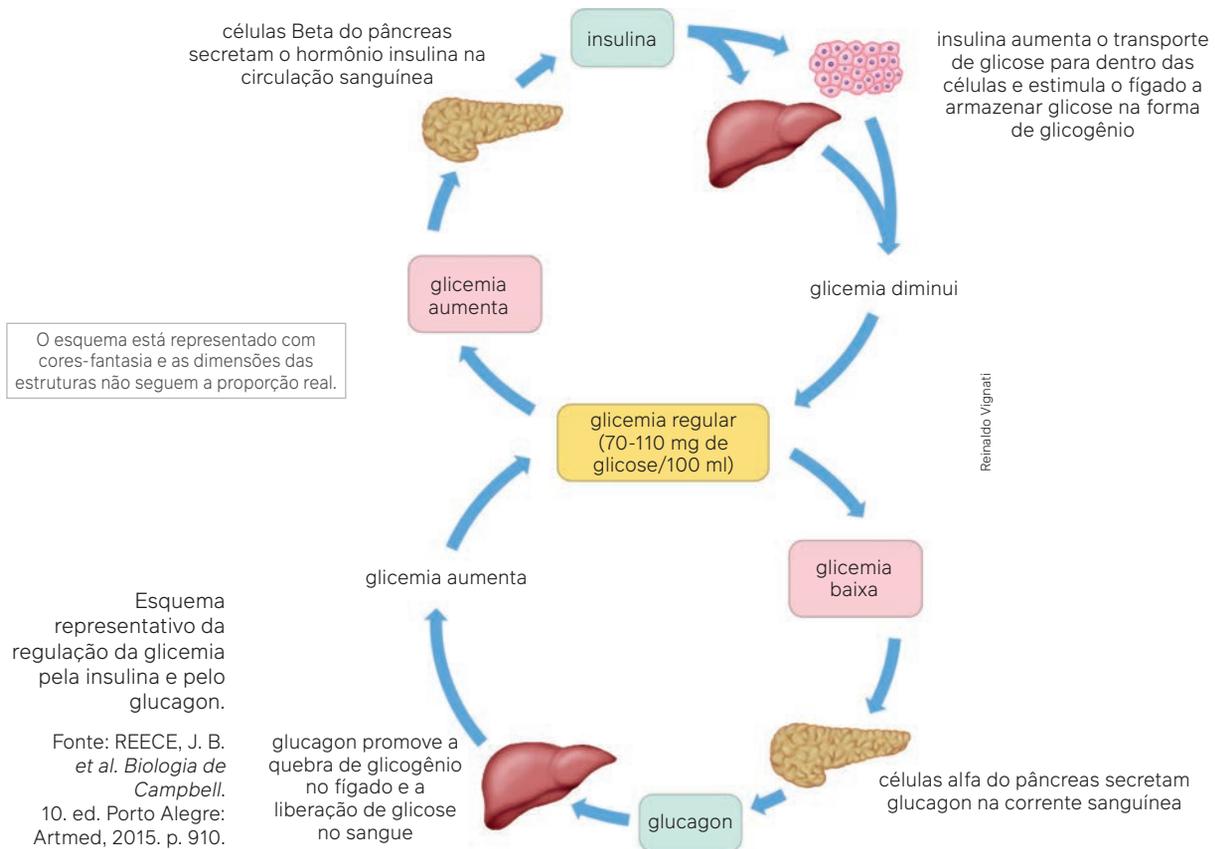
As **glândulas suprarrenais**, também conhecidas como adrenais, localizam-se acima dos rins. Elas produzem e secretam a adrenalina (ou epinefrina) e noradrenalina (ou norepinefrina). Os dois hormônios atuam como neurotransmissores e são secretados principalmente em situações de estresse ou durante a prática de exercícios, mediados por impulsos nervosos provenientes do hipotálamo. Sua presença nas sinapses intensifica a resposta de luta ou fuga do corpo, aumentando a frequência e a força de contrações cardíacas e a pressão arterial. Esses hormônios também provocam o aumento do fluxo sanguíneo no coração, no fígado e nos músculos estriados esqueléticos, além de dilatarem as vias respiratórias.

O **pâncreas** é uma glândula mista. A parte exócrina produz e secreta diariamente de 1200 ml a 1500 ml de suco pancreático, um líquido claro e incolor composto principalmente de água, alguns sais, bicarbonato de sódio e várias enzimas que promovem a digestão de amido, proteínas, triglicerídeos e ácidos nucleicos no intestino delgado.

A parte endócrina produz a **insulina** e o **glucagon**, dois importantes hormônios que regulam a concentração de glicose no sangue. O aumento da glicemia no sangue, comum quando nos alimentamos, estimula a secreção de insulina pelas células beta. A insulina estimula a absorção da glicose pelas células e o armazenamento dela em

forma de glicogênio. A baixa glicemia estimula a secreção do glucagon, que provoca a quebra do glicogênio e a liberação de glicose no sangue pelas células.

Esses dois hormônios estão diretamente relacionados à diabetes melito, uma síndrome metabólica de origem múltipla decorrente da incapacidade do corpo de produzir ou utilizar insulina.



## Atividades propostas



1. A regulação hormonal pela hipófise é um processo que envolve a liberação de diversos hormônios, influenciando o funcionamento de outras glândulas endócrinas. Em seu caderno, complete as lacunas das sentenças a seguir.
  - a) A hipófise anterior, ou ★★★★★, secreta o hormônio ★★★★★, que estimula a glândula adrenal a liberar os hormônios ★★★★★ e ★★★★★.
  - b) Em situações de ★★★★★ no organismo, a liberação de hormônios pela hipófise é frequentemente controlada por mecanismos de *feedback* ★★★★★. Nesse processo, o hormônio liberado exerce efeito sobre a glândula-alvo, inibindo a liberação de mais hormônios, mantendo, assim, a homeostase.
  - c) Um exemplo de *feedback* ★★★★★ na regulação hormonal pela hipófise é a liberação do hormônio ★★★★★ pela neuro-hipófise durante o trabalho de parto. Esse hormônio estimula ainda mais as contrações uterinas, resultando em um ciclo ★★★★★, que culmina no nascimento do bebê.
  - d) O *feedback* ★★★★★ é evidenciado na regulação da produção do hormônio ★★★★★ pela glândula tireoideia. Quando os níveis desse hormônio estão abaixo da situação regular, a hipófise libera o hormônio ★★★★★, estimulando a tireoideia a produzir e liberar mais hormônio tireoidiano, até que os níveis atinjam a faixa ★★★★★.
2. Estudos sugerem que o uso de celulares à noite pode reduzir a produção de melatonina, prejudicando a qualidade do sono. Em grupos, realizem uma pesquisa com os colegas para investigar a relação entre o uso de celulares antes de dormir e a qualidade do sono. Seleccionem estudantes que utilizam celulares nesse período e registre a quantidade de horas de sono, a sensação ao acordar e o nível de sonolência ao longo do dia. Durante 15 dias, esses estudantes devem evitar o uso de celulares na última hora antes de dormir. Após esse período, comparem os dados para identificar possíveis melhorias na qualidade do sono. Discuta as dificuldades encontradas e as atividades realizadas durante a pesquisa. Além disso, pesquisem em elaborem um material informativo sobre os efeitos da luz de telas eletrônicas e compartilhe com a comunidade escolar.

# Sistema imune

O **sistema imune**, ou sistema imunitário, defende o organismo de infecções e doenças, como as provocadas por vírus, bactérias e fungos. Por meio da ação de diferentes órgãos, células e moléculas, o sistema imune é capaz de responder rapidamente para restabelecer a integridade e a homeostase do organismo. Podemos dividir esse sistema em dois tipos principais: a imunidade inata e a adaptativa.

## Imunidade inata

A **imunidade inata** é o sistema de alerta inicial, presente na maioria das pessoas. É uma resposta genérica e imediata, ou seja, não envolve o reconhecimento específico de patógenos e atua contra todos os microrganismos da mesma maneira.

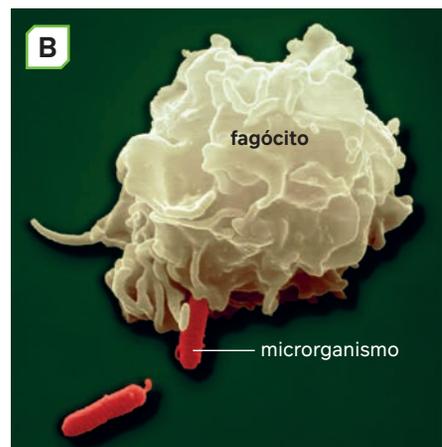
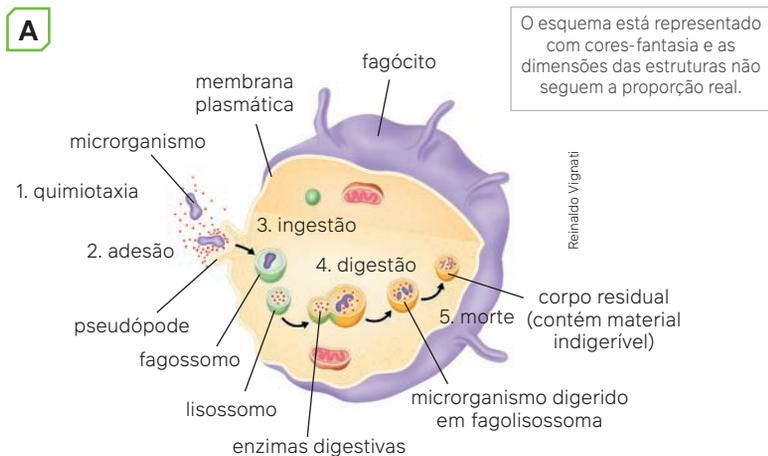
A **primeira linha de defesa** são as barreiras físico-químicas contra a entrada de patógenos, por exemplo, a pele, os cílios, os pelos, a saliva, as secreções vaginais e o muco. A pele é a maior barreira física do corpo, sendo composta de células densamente compactadas e queratinizadas que, entre outras funções, formam um bloqueio contra a entrada de microrganismos.

As mucosas revestem as cavidades do corpo expostas ao ambiente externo, como o trato respiratório, gastrointestinal e geniturinário. A presença de muco nas mucosas ajuda a reter e a remover patógenos, impedindo que alcancem tecidos mais profundos. Reflexos como tosse e espirro ajudam a expelir partículas estranhas do trato respiratório, por exemplo.

As barreiras químicas envolvem, entre outras ações, a atividade de compostos químicos variados, como ácidos e enzimas. O suco gástrico, no estômago, é extremamente ácido e mata a maioria dos microrganismos ingeridos com os alimentos. As enzimas presentes em fluidos corporais, como lágrimas, saliva e mucosas, têm propriedades antimicrobianas que também ajudam a prevenir infecções. A presença de bactérias simbiotes no intestino também é uma barreira imune, uma vez que competem por espaço e nutrientes, dificultando a colonização por patógenos.

A **segunda linha de defesa** é composta de substâncias antimicrobianas, fagócitos, células exterminadoras naturais (ou NK, do inglês *Natural Killer*) e as reações de inflamações e febre. As substâncias antimicrobianas podem ser de quatro tipos: interferons, sistema complemento, proteínas de ligação ao ferro e proteínas antimicrobianas. Os **interferons** são proteínas que induzem à síntese de proteínas antivirais, que, por sua vez, interferem na replicação do vírus. O **sistema complemento** é um grupo de proteínas que melhora determinadas reações imunológicas, por exemplo, provocando a morte celular e a fagocitose de microrganismos. As **proteínas de ligação ao ferro** inibem o crescimento de determinadas bactérias ao reduzir a quantidade de ferro disponível. Por fim, as **proteínas antimicrobianas** são capazes de matar variados tipos de microrganismos.

As **células NK** também são capazes de matar uma vasta diversidade de células infectadas do corpo, além de alguns tipos de células tumorais, quando estas reconhecem proteínas de membrana plasmática anormais ou incomuns. A ação dos **fagócitos** é englobar e digerir microrganismos ou outras partículas, como os restos celulares. Células fagocitárias produzem **óxido nítrico**, um composto altamente tóxico que destrói micróbios e células tumorais. Os dois tipos principais de fagócitos são os **neutrófilos** e os **macrófagos**. Os fagócitos também atuam no recrutamento de outras células de defesa para atuar em focos de infecção.



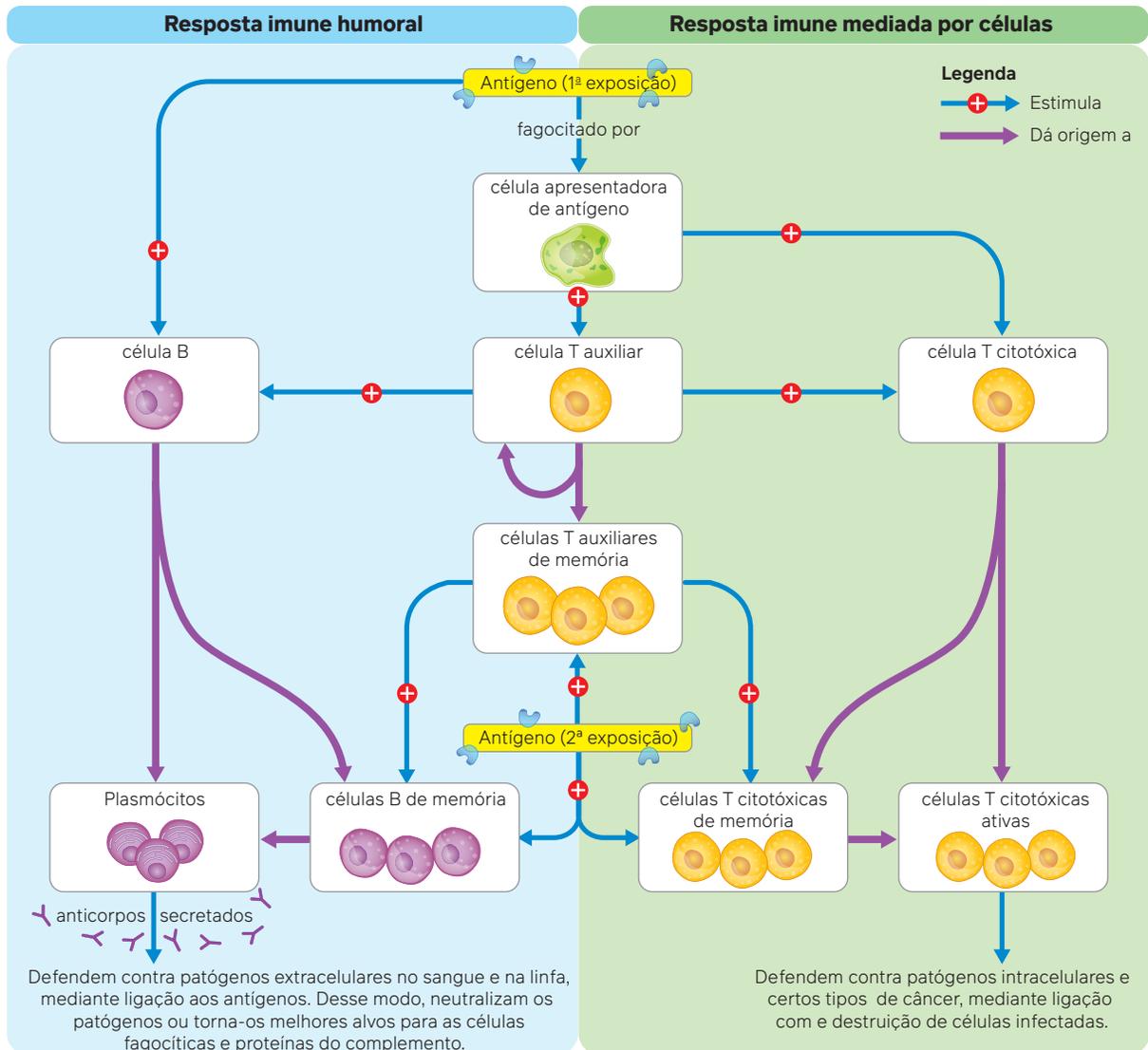
(A) Representação esquemática das principais etapas da fagocitose de um microrganismo. (B) Eletromicrografia de um fagócito englobando microrganismos. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 5 000 vezes.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 948.

## Imunidade adaptativa

A **imunidade adaptativa** é a aquela adquirida durante a vida, que consiste na capacidade de se defender contra agentes invasores específicos, como bactérias, vírus, toxinas e tecidos estranhos. A imunidade adaptativa reconhece substâncias estranhas desses agentes infecciosos, denominadas **antígenos**, promovendo um ataque que, posteriormente, gera uma **memória** específica a tal antígeno.

A imunidade adaptativa inclui tecidos e células, especialmente os linfócitos B e linfócitos T, que são formadas na medula óssea. Os linfócitos B produzem **anticorpos** ou **imunoglobulinas (Ig)** e participam da **resposta imune humoral**. Já os linfócitos T participam da **resposta imune celular**, ou seja, mediada por células. Ambas estão interconectadas, como pode ser observado no esquema a seguir. Observe que, além de as células linfocitárias interagirem entre si, elas também interagem com outras células do sistema imune, como as **células apresentadoras de antígeno** – que incluem células como as dendríticas e os macrófagos. Estas células reconhecem os antígenos logo na primeira exposição e atuam na apresentação de tais antígenos, promovendo a ativação da resposta imune.



Esquema representativo das ações e interações das respostas imunes humoral e mediada por células.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 962.

Os **linfócitos B** são células que circulam livremente pelo sangue e se alojam em órgãos linfoides, como os linfonodos, o baço e as tonsilas. Os linfócitos B possuem receptores de membrana específicos para determinados antígenos, ou seja, quando eles encontram um antígeno correspondente, se ligam a ele, ativando um mecanismo de diferenciação celular. Os linfócitos B ativados se diferenciam em **plasmócitos**, que são células que secretam grandes quantidades de anticorpos específicos para o antígeno encontrado.

Os anticorpos produzidos pelos plasmócitos têm diversas funções, como neutralizar diretamente os patógenos, marcar patógenos para destruição por células fagocíticas ou ativar o sistema complemento para eliminar os patógenos. Além de responder à infecção atual, alguns linfócitos B ativados se transformam em células de memória. Essas células “lembram” do antígeno específico, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz em caso de reexposição ao mesmo patógeno. Existem diferentes classes de anticorpos, com funções específicas:

- **IgA:** presentes no suor, lágrimas, muco e leite materno, são anticorpos localizados nas mucosas que fornecem proteção contra bactérias e vírus;
- **IgD:** estão principalmente na superfície dos linfócitos B, são anticorpos envolvidos na própria ativação dos linfócitos B;
- **IgE:** encontram-se nos mastócitos e basófilos, são anticorpos envolvidos nas reações alérgicas e de hipersensibilidade;
- **IgG:** presentes no sangue, linfa e intestinos, protegem contra bactérias e vírus, atuando na fagocitose, neutralização de toxinas e estimulando o sistema complemento;
- **IgM:** estão no sangue e na linfa, constituem a primeira classe de anticorpos a ser secretada após o contato com antígenos. Os anticorpos anti-A e anti-B do grupo sanguíneo ABO são exemplos de anticorpos IgM.

O **linfócito T** é a outra célula fundamental da imunidade adaptativa, com origem na medula óssea, mas sua maturação ocorre no timo, um órgão localizado acima do coração. Existem dois principais subtipos de linfócitos T: auxiliares e citotóxicos.

- **Linfócitos T auxiliares:** apresentam a proteína **CD4** em suas membranas. São denominados assim, pois auxiliam na ativação dos macrófagos, linfócitos B e linfócitos T citotóxicos para combater infecções.
- **Linfócitos T citotóxicos:** apresentam a proteína **CD8** em suas membranas e atuam eliminando células danificadas ou infectadas, além de vírus e células cancerosas. Eles reconhecem e eliminam essas células por meio da liberação de substâncias citotóxicas.

O processo de proliferação de linfócitos e diferenciação em resposta a antígenos específicos é denominado **seleção clonal**, pois são formados clones de células que conseguem reconhecer o mesmo antígeno específico. Os linfócitos T também desenvolvem células de memória, que permitem uma resposta mais rápida e eficaz a exposições futuras do mesmo patógeno. Alguns linfócitos T atuam na regulação da resposta imune, controlando a intensidade da reação e prevenindo respostas autoimunes.

Os linfócitos secretam **citocinas**, que são pequenas glicoproteínas que regulam o desenvolvimento de variados tipos de células sanguíneas. Além de estimular a proliferação de células progenitoras na medula óssea, as citocinas regulam as atividades de fagócitos e as próprias respostas imunes dos linfócitos B e T.

## Doenças autoimunes

As **doenças do sistema imune** decorrem de respostas inadequadas ou anormais do sistema imune, afetando a capacidade do organismo de combater infecções ou até de se proteger contra agentes nocivos. Os principais exemplos de doenças do sistema imune incluem alergias, imunodeficiências (primárias e adquiridas), doenças inflamatórias intestinais, psoríase e artrite idiopática juvenil, entre outras doenças autoimunes.

As **doenças autoimunes** acontecem quando as células do sistema imune atacam erroneamente tecidos saudáveis do próprio organismo. A maioria dessas doenças tem causas pouco conhecidas, podendo ser, inclusive, decorrentes de uma combinação de fatores genéticos, ambientais e hormonais. Exemplos incluem artrite reumatoide, lúpus eritematoso sistêmico, doença de Crohn, doença celíaca, esclerose múltipla e tireoidite de Hashimoto. Os sintomas são variados e dependem dos órgãos atacados, podendo incluir fadiga, dor, inflamação, febre e mau funcionamento desses órgãos. Embora não haja cura para as doenças autoimunes, é possível tratá-las para aliviar os sintomas utilizando-se de medicamentos imunossupressores, anti-inflamatórios e terapias individualizadas, ou por meio de dieta restritiva, a exemplo da doença celíaca, para qual não há medicamento, mas a necessidade de eliminar ingestão e a contaminação por glúten.

## Imunodeficiências

Imunodeficiências são condições de saúde que comprometem a capacidade do sistema imune de combater infecções. Entre elas, destaca-se a síndrome da imunodeficiência adquirida (AIDS), causada pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV). O HIV é transmitido através do contato direto com determinados fluidos corporais de uma pessoa infectada, principalmente por meio de relações sexuais desprotegidas. As principais células afetadas pelo HIV são os linfócitos T CD4, que, ao serem infectados e destruídos pelo vírus, inviabilizam o sistema imune de responder adequadamente à infecção do próprio HIV, além de dificultar o combate a outras doenças oportunistas, como a tuberculose.



Infográfico  
clicável  
Doenças  
crônicas

## Vacinas e soros

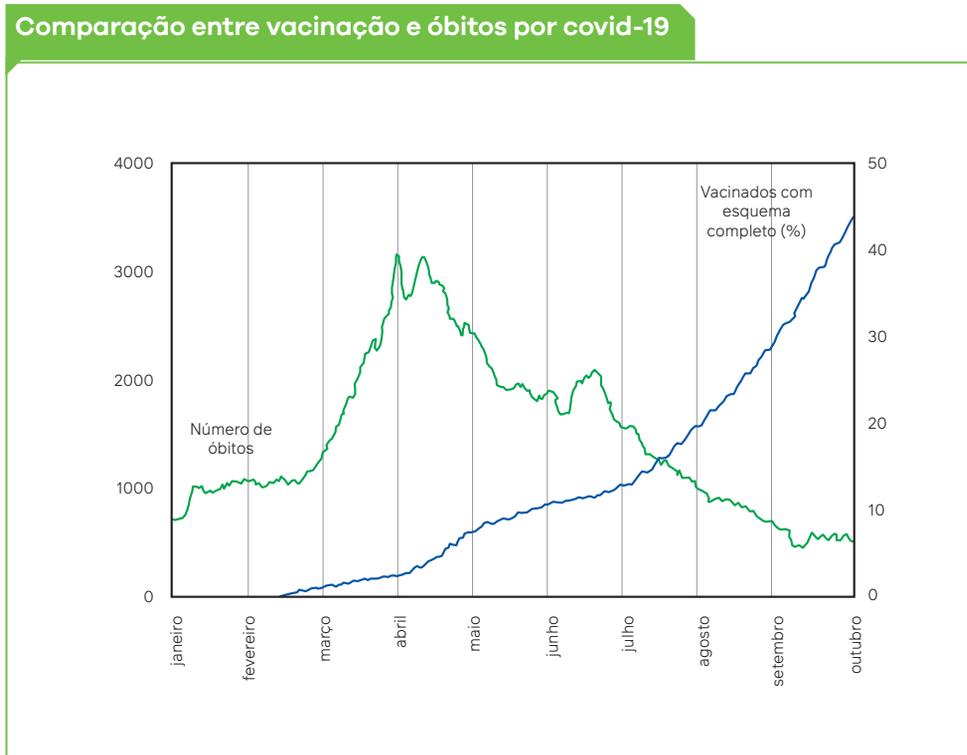
Vacinas e soros são formas de imunização complementares na prevenção e no tratamento de diversas doenças. As **vacinas** são uma forma de **imunização ativa**, ou seja, que contém antígenos do microrganismo para o qual ela é alvo. Suas preparações contêm componentes ou versões enfraquecidas de patógenos, como vírus ou bactérias, ou partes desses organismos, como proteínas ou toxinas. O sistema imune responde à vacina produzindo anticorpos específicos e células de memória. Caso a pessoa imunizada entre em contato com o patógeno, a memória imunológica responderá rapidamente à infecção, combatendo-a.

Os **soros** são uma forma de **imunização passiva**, pois são preparados a partir de anticorpos específicos para determinado patógeno. Isso quer dizer que os soros fornecem imunidade imediata e temporária, não formando uma memória imunológica. São frequentemente usados para tratar condições em que a resposta imune do paciente é insuficiente ou quando uma infecção ou acidente já ocorreu. Um exemplo clássico é o uso de soro antiofídico para tratar mordeduras de serpentes peçonhentas. Nesses casos, o soro contém anticorpos específicos contra as toxinas presentes no veneno, neutralizando seus efeitos tóxicos.

## Atividades propostas



1. Observe o gráfico a seguir, que apresenta o número de vacinados × o número de óbitos por covid-19 em 2021. Em seguida, responda às questões.



Fonte: PILAR, A. F. Boletim da Fiocruz destaca eficiência da vacinação no bloqueio da Covid-19. *Instituto Humanitas Unisinos*, São Leopoldo, 8 out. 2021. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/613590-boletim-da-fiocruz-destaca-eficiencia-da-vacinacao-no-bloqueio-da-covid-19>. Acesso em: 10 jul. 2024.

- a) Interprete o gráfico identificando possíveis tendências e padrões na relação entre o número de óbitos e o número de pessoas vacinadas.
  - b) Qual é o papel das vacinas no controle da disseminação do vírus? Argumente.
2. Suponha que uma comunidade seja repentinamente exposta a uma nova cepa altamente contagiosa do coronavírus. Explique como o sistema imune inato e a imunidade adaptativa responderiam inicialmente a essa exposição. Em seguida, planeje uma forma de conter a disseminação dessa cepa.



A **sepse** é uma disfunção orgânica que representa risco à vida e é causada por uma resposta desregulada do hospedeiro a uma infecção. Em muitos casos, a inflamação pode ser excessiva, provocando danos severos a tecidos e órgãos saudáveis e levando, inclusive, à morte.

Leia a seguir uma reportagem que aborda pesquisas que visam elucidar as ações das células de defesa no combate a infecções e propõem estratégias para amenizar os danos causados pela sepse. Em seguida, responda às questões do box **Trocando ideias**.

## Para frear a sepse

*Estudos brasileiros identificam ações das células de defesa que lesam o organismo ao combater infecções e propõem estratégias para amenizar os danos*

No Brasil, um em cada três leitos nas unidades de terapia intensiva (UTIs) é ocupado por uma pessoa com sepse, uma resposta desajustada do sistema de defesa que surge em consequência de uma infecção. Estima-se que, a cada ano, cerca de 420 mil pessoas sejam internadas com a síndrome no país e que quase 230 mil morram. Publicados em 2017 na revista *The Lancet Infectious Diseases*, esses cálculos resultam do primeiro estudo que avaliou em uma amostra representativa das UTIs brasileiras – um total de 227, de todas as regiões – a frequência dos casos de sepse e de mortes relacionadas a ela. Bastante elevada, na casa dos 55%, a taxa de mortalidade por esse problema no Brasil é bem superior à de nações mais ricas (26%) e está estagnada há mais de uma década.

[...]

Algumas características do sistema de saúde ajudam a entender esses números. Uma é a falta de atendimento e monitoramento adequados a partir do momento em que a pessoa com sepse chega ao hospital. Diante da alta mortalidade nas UTIs, Azevedo e Machado decidiram investigar o que se passava nos prontos-socorros, a porta de entrada das internações. Por três dias, eles e colaboradores registraram os casos suspeitos de sepse atendidos no setor de emergência de 74 instituições de saúde brasileiras.

[...]

Além do atendimento em instalações inapropriadas, os especialistas citam dois outros fatores que podem retardar o início do tratamento: a população desconhece o que é sepse e os profissionais da saúde têm dificuldade de identificá-la, por ter sintomas que podem ser confundidos com outros problemas (febre, taquicardia, respiração ofegante e confusão mental). Um levantamento feito anos atrás pelo Ilas com 2.126 pessoas em 134 municípios brasileiros mostrou que 93% nunca tinham ouvido falar em sepse e desconheciam o que era preciso fazer, enquanto 98% sabiam o que era infarto, que tem mortalidade 10 vezes inferior à da sepse, e que deveriam buscar ajuda médica. “Retardar o diagnóstico e o início do tratamento aumenta o risco de morte”, comenta Souza.

[...]

“A mortalidade por sepse pode ser bastante reduzida no Brasil e em outros países apenas com os instrumentos de que dispomos hoje”, afirma o infectologista Reinaldo Salomão, chefe do Laboratório de Pesquisa em Sepse da Unifesp e um dos fundadores do Ilas. Ele fala com a experiência de quem estuda sepse há mais de 30 anos e já viu promessas de tratamentos mais eficazes surgirem e serem descartadas por se mostrarem ineficientes. Desde que se interessou pelo tema, ainda na residência médica, Salomão testemunhou o conceito de sepse mudar três vezes.

Em sua definição mais antiga, que vigorou por décadas, a sepse era considerada uma infecção generalizada. O agente patogênico (bactéria, fungo, vírus ou outro microrganismo) se disseminava pelo organismo, que, na tentativa de combatê-lo, originava uma inflamação que atingia todo o corpo. Essa ideia começou a vir por terra nos anos 1980, quando se descobriu que moléculas de comunicação (citocinas) liberadas pelas células de defesa podiam ativar uma inflamação disseminada, mesmo que a infecção continuasse restrita a um órgão.

O peso recaiu, então, sobre a inflamação e, em 1991, um grupo internacional de especialistas propôs o seguinte conceito para a sepse: uma inflamação sistêmica que surge em decorrência de uma infecção. Dez anos depois o conceito foi refinado para caracterizar melhor os níveis de gravidade e definir sintomas e critérios laboratoriais que indicassem o grau de danos aos órgãos. Ao testar estratégias para controlar essa inflamação, no entanto, os médicos perceberam que o fenômeno era bem mais complicado. Havia pessoas que, sim, respondiam à infecção com uma inflamação exacerbada. Mas havia outras em que a resposta inflamatória estava diminuída. Em 2016, a sepse passou, então, a ser compreendida como uma disfunção orgânica com risco de morte causada por uma resposta desregulada do hospedeiro a uma infecção.

“Essas mudanças foram importantes para incorporar novos conhecimentos ao conceito e direcionar a busca de alvos terapêuticos”, conta Salomão. “Nesse tempo todo, descobrimos que os pacientes são heterogêneos e respondem à infecção de acordo com as características genéticas, a idade e as doenças preexistentes. Também aprendemos que a sepse envolve a modulação simultânea de genes que coordenam processos biológicos de combate à infecção e de outros que tentam evitar danos aos tecidos”, afirma o pesquisador, que discute essas ideias em uma revisão publicada em 2019 no *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*.

Na Unifesp, Salomão e sua equipe realizam experimentos com células de defesa isoladas do sangue de pacientes com sepse com o objetivo de compreender quais fenômenos representam uma resposta disfuncional do organismo – e, em princípio, deveriam ser combatidos – e quais indicam uma tentativa de adaptação a um ambiente hostil e poderiam ser estimulados.

Em uma das contribuições recentes, o grupo verificou que, no início da sepse, as células do sistema imune adotam uma estratégia aparentemente menos eficiente de produzir energia, mas que favorece a eliminação dos agentes infecciosos. A biomédica Bianca Lima Ferreira identificou essa alteração no funcionamento das células ao comparar a produção de proteínas de monócitos e linfócitos extraídos do sangue de pacientes em dois momentos – no dia da internação e uma semana mais tarde.

Na ausência de infecção, essas células, assim como as demais do corpo, usam a glicose dos alimentos para produzir energia por meio da respiração celular, um processo químico que consome oxigênio e gera 32 moléculas de trifosfato de adenosina (ATP), o combustível celular. Ferreira notou que, já no início da infecção, os monócitos e os linfócitos das pessoas com sepse haviam desligado a respiração celular e produziam energia por meio da glicólise anaeróbica, como haviam observado um pouco antes pesquisadores do Rio de Janeiro. Embora renda apenas duas moléculas de ATP, esse processo é mais rápido e evita o consumo de ingredientes que entram na produção de espécies reativas de oxigênio, compostos usados no combate aos invasores, e na produção de citocinas, sinalizadores que atraem outras células de defesa para o local da infecção.

Uma semana mais tarde os monócitos e os linfócitos diminuíram o uso da glicólise e da produção de citocinas, o que pode evitar danos às células saudáveis, mostraram os pesquisadores em artigo publicado em 2022 na *Frontiers in Immunology*. “Essa desativação parece ser uma tentativa de retorno à normalidade, e não um esgotamento da célula, já que a maioria desses pacientes sobreviveu à sepse”, conta Ferreira.

[...]

ZORZETTO, R. Para frear a sepse. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 331, p. 44-47, 2023. Disponível em: [https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2023/09/044-047\\_sepse\\_331.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2023/09/044-047_sepse_331.pdf). Acesso em: 10 jul. 2024.

## Trocando ideias



1. O texto informa que mais da metade de pacientes com quadro clínico de sepse no Brasil acabam morrendo, um número muito superior aos de países desenvolvidos. Segundo o texto, quais fenômenos estão relacionados a esse alto índice de mortalidade? Com base nas informações do texto e em seus conhecimentos, elabore uma proposta para diminuir a mortalidade por sepse.
2. De que maneira as mudanças ocorridas no conceito de sepse auxiliaram no direcionamento da busca de alvos terapêuticos? Justifique.
3. O estudo do grupo da Unifesp, liderado pela biomédica Bianca Lima Ferreira, constatou que, no início da sepse, algumas células de defesa apresentam estratégias menos eficientes de produzir energia, mas que favorecem a eliminação dos agentes infecciosos. Explique que estratégia é essa e como ela pode estar relacionada à melhoria do estado clínico de uma pessoa em sepse.
4. Mesmo liderados por grupos de pesquisa brasileiros, a maioria dos estudos científicos mencionados pelo artigo foram publicados em revistas internacionais. Qual é sua opinião sobre esse formato de publicação para disseminar o conhecimento?

## Recapitule



Neste capítulo, foram apresentados os sistemas nervoso, musculoesquelético, endócrino e imune. Crie um infográfico que relacione as estruturas, os mecanismos e os processos de, pelo menos, dois sistemas estudados no capítulo. O infográfico deve ilustrar visualmente as interações e funções dos sistemas, facilitando a compreensão dos conceitos abordados. Compartilhe o infográfico com os colegas e discuta as informações destacadas.



Samy Rakotomiana/U.S. President's Malaria Initiative/Flickr.com

A consulta pré-natal é uma forma de garantir a saúde da pessoa genitora e do bebê, além de permitir a criação do vínculo de confiança entre a gestante e a profissional que a acompanha.

### ▼ Para refletir

1. A imagem de abertura mostra uma parteira realizando um exame pré-natal em uma pessoa grávida. Observe a imagem com atenção e descreva suas impressões.
2. O que você sabe sobre o desenvolvimento embrionário da espécie humana? Elabore um esquema em seu caderno e compartilhe com os colegas.
3. O que são métodos contraceptivos? Algum deles previne as infecções sexualmente transmissíveis? Quais? Comente com os colegas.
4. A gravidez na adolescência causa impactos físicos, psicológicos e sociais na vida de jovens. Forme grupos com três colegas e discuta sobre esses impactos.

### Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Reconhecer as estruturas e órgãos do sistema genital e interpretar os principais mecanismos hormonais e fisiológicos relacionados ao ciclo reprodutivo humano.
- Discutir aspectos físicos, sociais, psicoemocionais e de saúde pública relacionados aos direitos sexuais e reprodutivos.
- Disseminar o entendimento e a utilização de métodos contraceptivos dentro da comunidade escolar com base em uma pesquisa.
- Refletir sobre o papel dos sistemas de saúde coletiva no que diz respeito aos cuidados médicos e ao apoio em situações cotidianas e extraordinárias.

# Processos de reprodução e desenvolvimento

A reprodução humana é um processo complexo e regulado por uma interação de hormônios e sinalizações celulares. Além disso, envolve também aspectos emocionais, sociais e éticos, contribuindo para a riqueza da experiência humana em torno da vida e da continuidade das gerações.

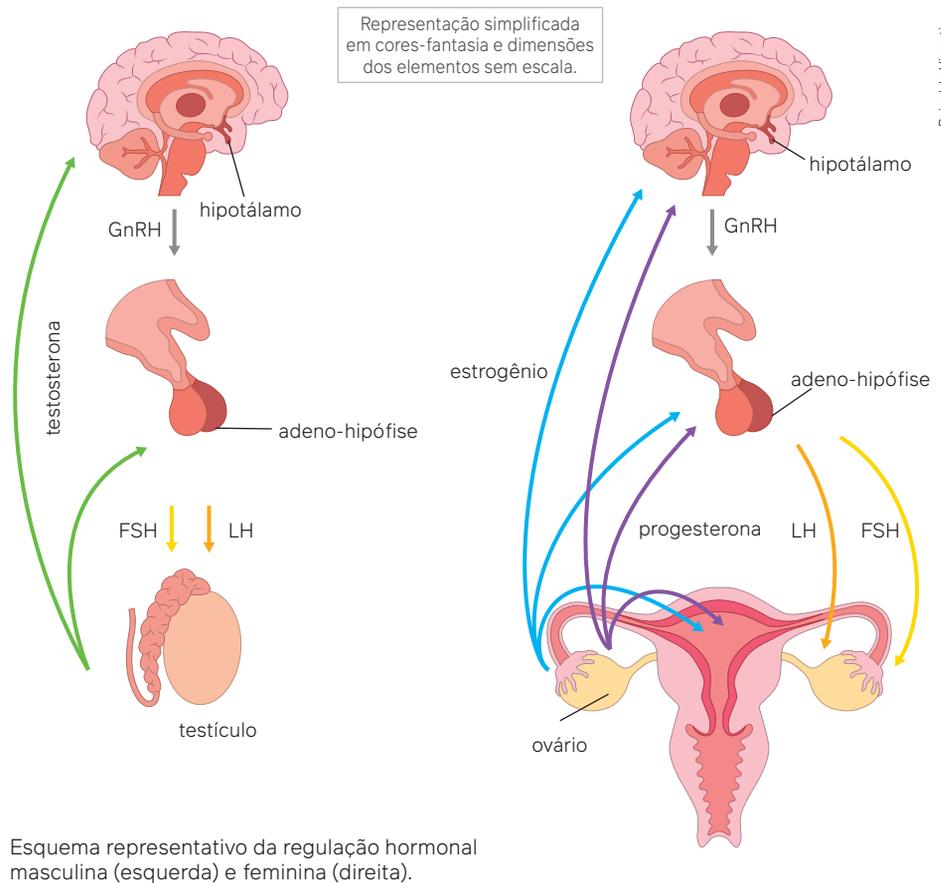
## Sistema genital

O sistema genital inclui as gônadas, seus produtos (hormônios e gametas), secreções e os dutos que transportam os gametas e as secreções.

Os hormônios reprodutivos regulam o comportamento sexual e o cuidado parental, preparam os dutos reprodutivos para receber os gametas e o corpo para sustentar o desenvolvimento do embrião até o nascimento. São secretados em intensidades diferentes durante as diversas fases da vida de ambos os sexos. Na fase pré-adolescente, que pode variar entre 9 e 12 anos de idade, o hormônio de liberação das gonadotropinas (GnRH), secretado pelo hipotálamo, estimula a hipófise a liberar progressivamente os hormônios folículo-estimulante (FSH) e luteinizante (LH), também conhecidos como gonadotropinas. Esses dois hormônios atuam nas gônadas, estimulando a produção dos hormônios estrogênio, pelos ovários, e testosterona, pelos testículos, ocasionando o desenvolvimento de caracteres sexuais secundários, como: o crescimento de pelo; mudanças comportamentais; aumento do tamanho dos órgãos sexuais; alteração na voz nas pessoas do sexo masculino; e desenvolvimento de mamas nas pessoas do sexo feminino. A progesterona também é um hormônio produzido pelos ovários e tem ação mais pronunciada durante o ciclo ovariano mensal e na gravidez.

Com a idade, ocorre a queda nos níveis hormonais. Em pessoas do sexo biológico feminino, a menopausa, marcada pela cessação da menstruação, gera sintomas como ondas de calor, alterações de humor e secura vaginal. Nas pessoas do sexo biológico masculino, a andropausa, diminuição gradual dos níveis de testosterona, gera sintomas como fadiga, redução da libido e alterações de humor.

De forma simplificada, o sistema genital feminino é formado por ovários, tubas uterinas, útero, colo do útero, vagina e pudendo; e o sistema genital masculino é formado por testículos, ductos deferentes, epidídimos, próstata e pênis. Muitas outras estruturas e processos estão envolvidos na reprodução humana, como a produção de espermatozoides (espermatogênese) e de óvulos (ovogênese).



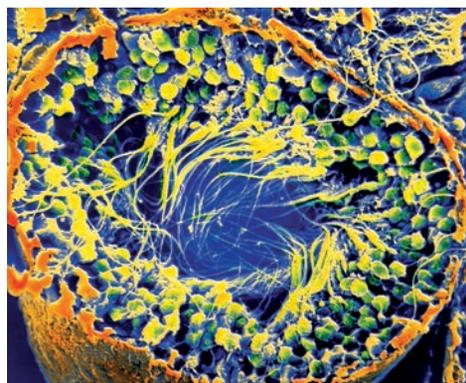
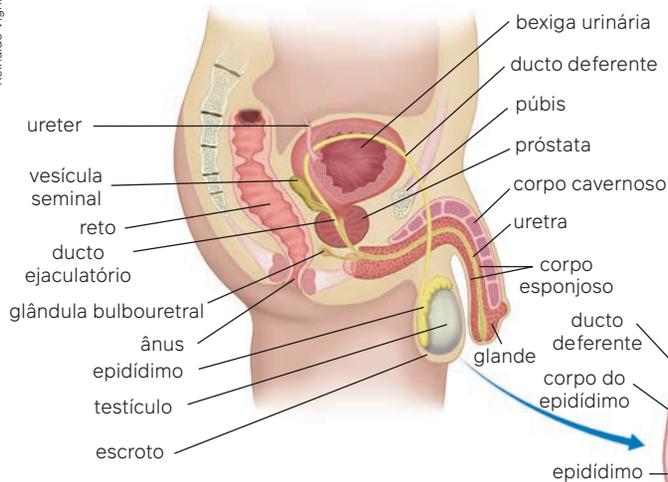
Reinaldo Vignati

## Espermatogênese e ovogênese

A **espermatogênese** ocorre nos testículos, a partir da puberdade até o final da vida da maior parte das pessoas do sexo biológico masculino. As células germinativas primordiais, localizadas nos túbulos seminíferos dos testículos, começam a se dividir por mitose, o que resulta na formação de células chamadas espermatogônias, que têm a capacidade de se dividir constantemente. Parte das células permanecem como espermatogônias, enquanto outras se diferenciam em células especializadas, chamadas espermatozoides primários.

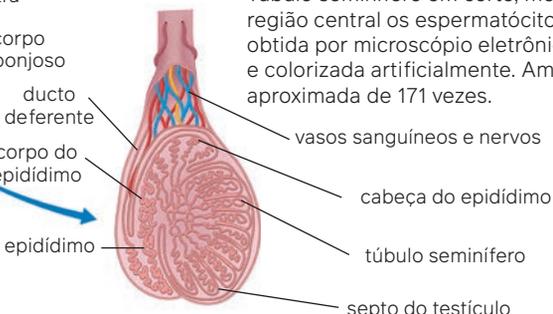
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Reinaldo Vignati



CNRI/SPL/Fotorena

Túbulo seminífero em corte, mostrando na região central os espermatócitos. Fotografia obtida por microscópio eletrônico de varredura e colorizada artificialmente. Ampliação aproximada de 171 vezes.

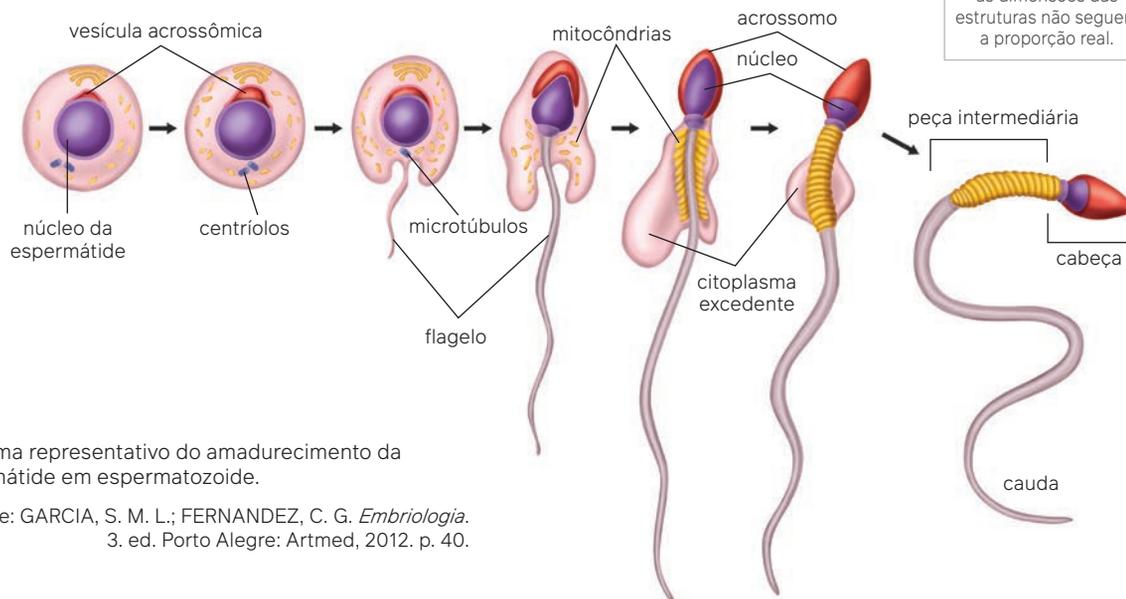


Seção sagital do sistema genital masculino. No detalhe, testículo visto em corte sagital.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Corpo humano: princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. p. 1422 e 1425. E-book.

Os espermatócitos primários passam por meiose I, resultando em duas células haploides, chamadas espermatócitos secundários, que, na sequência, passam por meiose II, produzindo quatro espermatídes, também haploides e esféricas. A diferenciação das espermatídes em espermatozoides é denominada **espermio gênese**. As principais modificações morfológicas que ocorrem durante a espermiogênese são:

- condensação da cromatina, ou seja, do material genético na cabeça do espermatozoide;
- formação do capuz acrossômico, composto por um lisossomo modificado, revestindo a cabeça do espermatozoide;
- posicionamento das mitocôndrias na peça intermediária;
- formação da cauda do espermatozoide, permitindo o movimento da célula.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

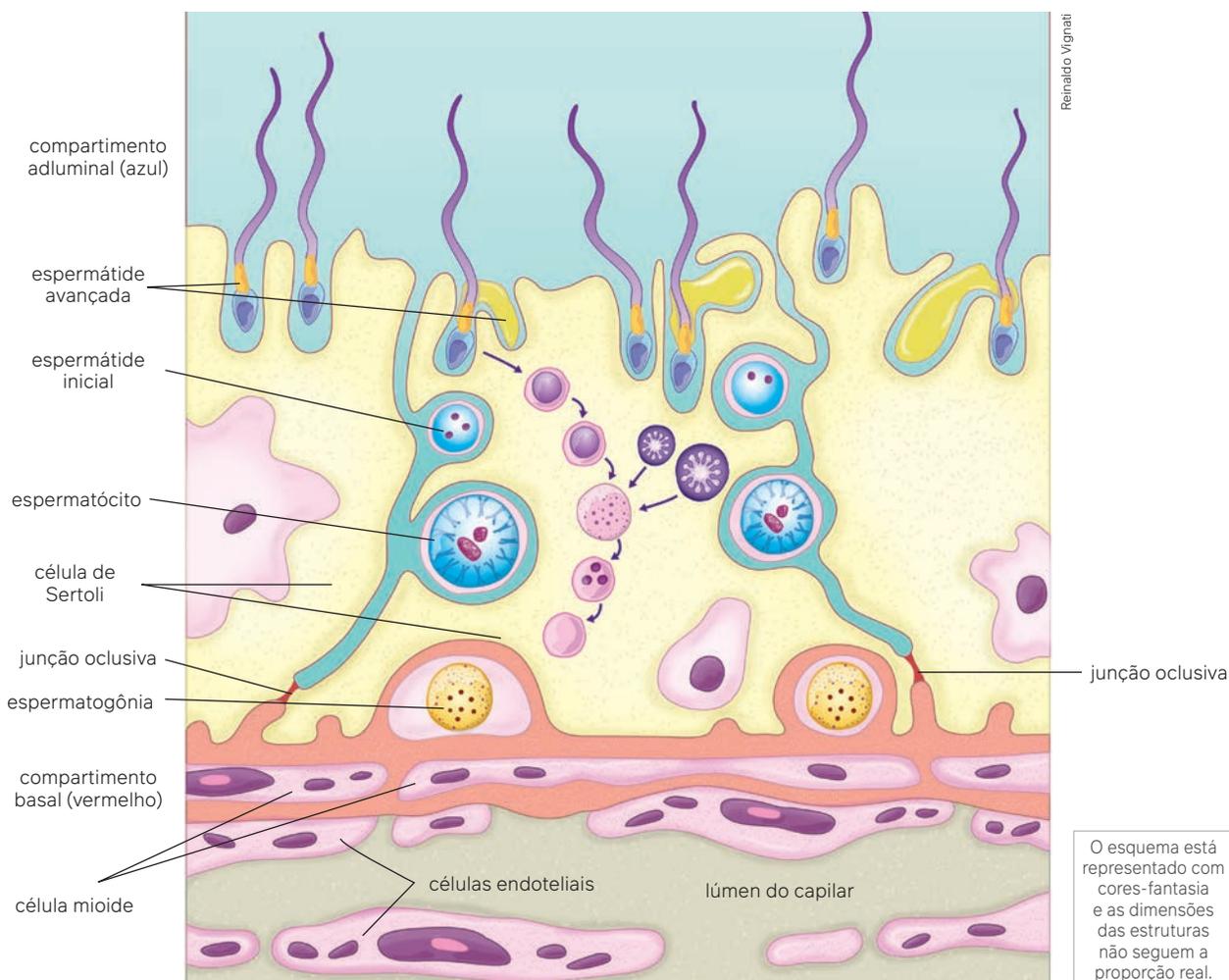
Reinaldo Vignati

Esquema representativo do amadurecimento da espermatíde em espermatozoide.

Fonte: GARCIA, S. M. L.; FERNANDEZ, C. G. *Embriologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 40.

Os espermatozoides maduros são liberados nos túbulos seminíferos e conduzidos para o epidídimo, onde amadurecem e adquirem a capacidade de fertilização. Durante a ejaculação, os espermatozoides são impulsionados pelos ductos deferentes e misturados com outros fluidos, formando o sêmen, também chamado de líquido seminal.

As **células de Sertoli** são especializadas e encontradas nos túbulos seminíferos dos testículos masculinos, sendo responsáveis por fornecer nutrientes essenciais e suporte metabólico para as células germinativas. As **células de Leydig** são encontradas nos espaços entre os túbulos seminíferos e promovem a síntese e a secreção de testosterona.



Representação esquemática da parede de um túbulo seminífero, mostrando a barreira hematotesticular formada pelas células de Sertoli, e a formação de espermátides a partir das espermatogônias.

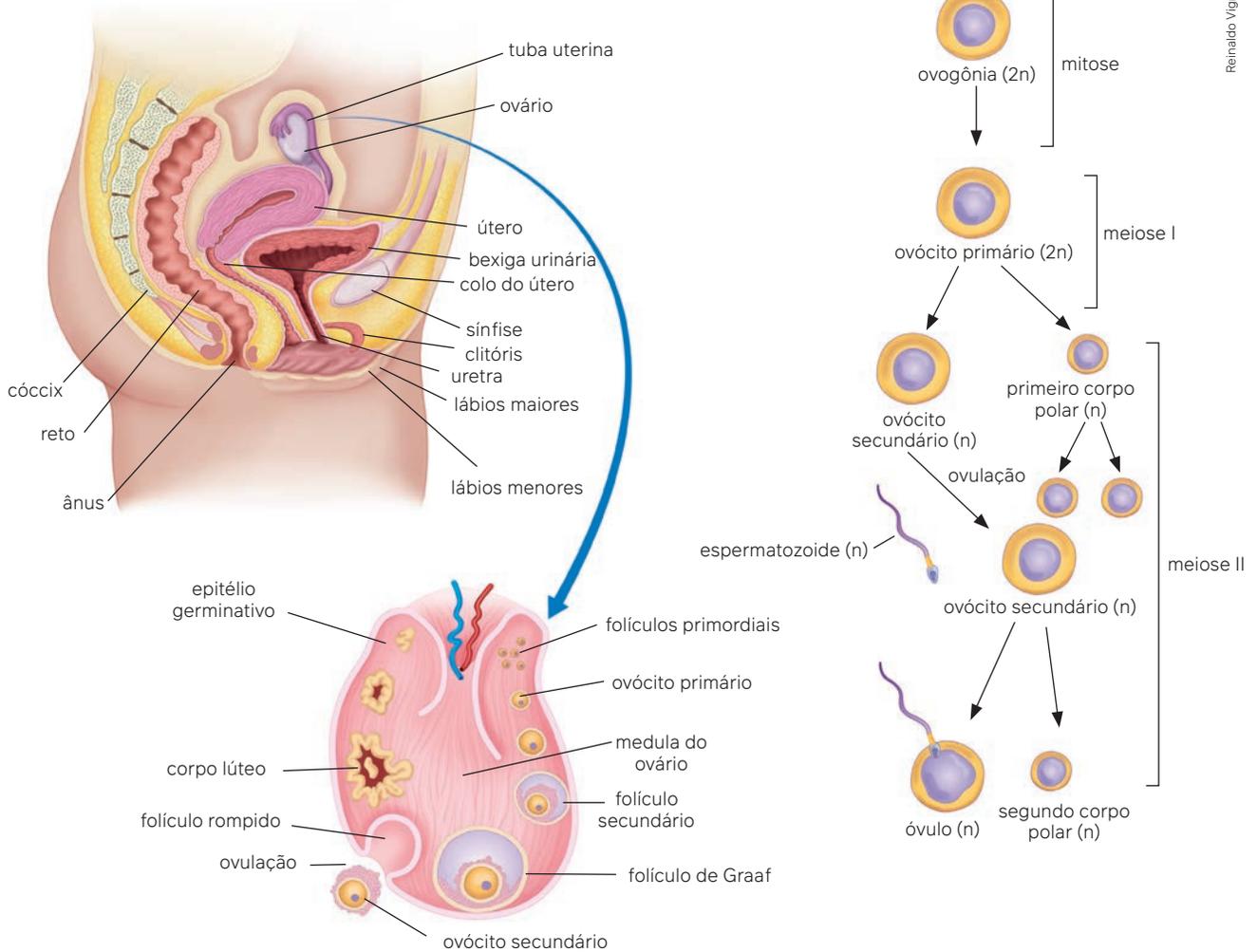
Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 1427. E-book.

A **ovogênese** é um processo relacionado à formação e maturação de ovócitos (ou oócitos) – células germinativas femininas – que ocorre nos ovários femininos. Antes mesmo do nascimento, as células germinativas primordiais migram para os ovários, onde se dividem por mitose, formando ovócitos primários, cada um deles envolto por células foliculares, formando estruturas chamadas folículos ovarianos. As células foliculares contribuem para o suporte nutricional e ajudam a formar o vitelo do óvulo. Os ovócitos primários permanecem em estado de repouso até a puberdade, quando maturam sob estimulação hormonal (ciclo menstrual).

Durante o ciclo menstrual, as células foliculares se multiplicam e formam uma camada mais espessa, os folículos primários, que, por sua vez, se desenvolvem em folículos secundários. Normalmente, apenas um folículo amadurece completamente, tornando-se um folículo de Graaf. Nesse momento, o ovócito primário, que é diploide, começa a se dividir por meiose. Como resultado da primeira divisão meiótica, cada ovócito produz um primeiro corpo polar (haploide) e um ovócito secundário (haploide). Os corpos polares, aparentemente, têm apenas a função de reduzir a ploidia do gameta. O folículo de Graaf se rompe, ocorrendo a ovulação, que é a liberação do ovócito secundário, que, por sua vez, é direcionado às tubas uterinas.

Na espécie humana, se ocorrer a fertilização, ou seja, a união do ovócito com o espermatozoide, o ovócito secundário dá continuidade à divisão meiótica, produzindo um segundo corpo polar e um óvulo haploide. Quando os núcleos do espermatozoide e do óvulo se fundem, forma-se o ovo, ou zigoto. Este passa a sofrer sucessivas divisões mitóticas, formando o embrião, que se desloca pela tuba uterina e se implanta na parede do útero (endométrio), onde se desenvolve. Se a fertilização não ocorrer, o ovócito secundário é expelido do corpo durante a menstruação. Os indivíduos do sexo biológico feminino nascem com todos os ovócitos primários nos ovários e não são mais produzidos ovócitos ao longo da vida. Apenas uma pequena quantidade completa a ovogênese, enquanto o restante degenera-se gradualmente. Na menopausa, a capacidade reprodutiva cessa, e os folículos restantes também se degeneram com o tempo.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Reinaldo Vignati

Esquema da seção sagital do sistema genital feminino, detalhe de ovário em corte que mostra os estágios sucessivos da maturação folicular e a formação dos ovócitos.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2016. p. 1441, 1443 e 1446. E-book.

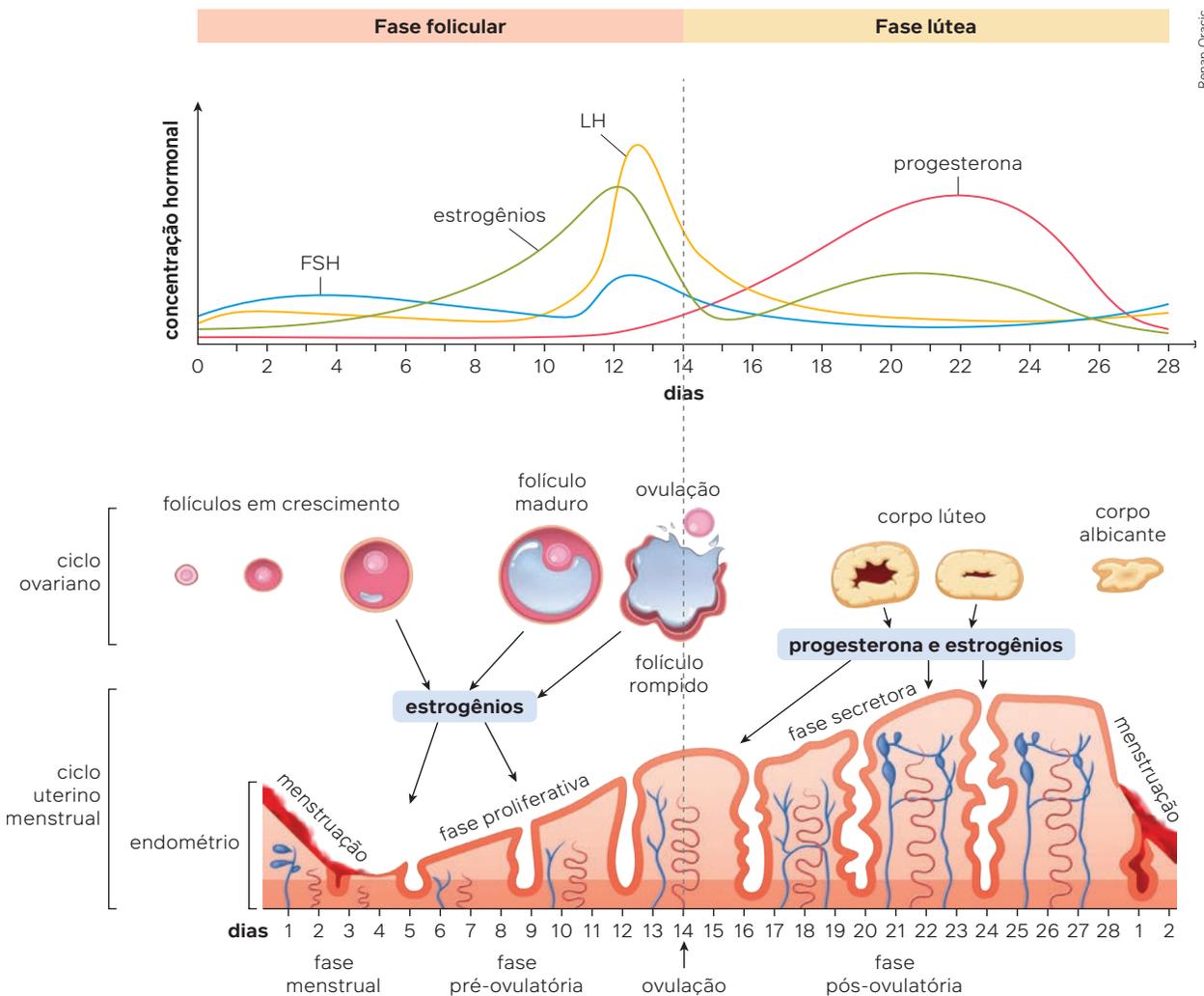
### O ciclo ovariano mensal

Nos primeiros dias do ciclo sexual feminino, que dura em média 28 dias, as concentrações de FSH e LH aumentam discretamente. Esses hormônios, em particular o FSH, estimula o crescimento de folículos primários. Por volta do quinto dia do ciclo, a concentração desses hormônios cai e um pouco antes da ovulação há um pico de produção. A variação cíclica na produção das gonadotropinas promove alterações também na produção dos hormônios estrógeno, e progesterona.

O estrogênio é secretado pelas células dos folículos e é mais presente na primeira metade do ciclo, chamada fase folicular, com pico por volta do 14º dia. Esse hormônio estimula a produção celular e o espessamento do endométrio, que reveste internamente o útero, preparando o órgão para a eventual implantação de um embrião.

A progesterona é mais presente na segunda metade do ciclo, chamada de fase lútea, atingindo seu pico por volta do 21º dia, caso a fertilização não ocorra. A principal função da progesterona é promover a atividade secretora no endométrio uterino, cujos produtos irão nutrir o embrião, e diminuir a frequência e a intensidade de contrações uterinas, o que ajuda a impedir a expulsão do embrião, caso este tenha sido implantado.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Representação esquemática do ciclo menstrual e as variações hormonais, ovarianas e do endométrio.

Fonte: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. p. 1460. E-book.

A ovulação (quando o ovócito é liberado do ovário), em ciclos menstruais de 28 dias, ocorre 14 dias após o sangramento menstrual. Horas após a expulsão do ovócito pelos ovários, por ação do hormônio LH, ocorre a luteinização de algumas células foliculares e se forma o corpo lúteo, que é uma massa de células de coloração amarelada responsável por produzir grandes quantidades de hormônios sexuais femininos, principalmente de progesterona.

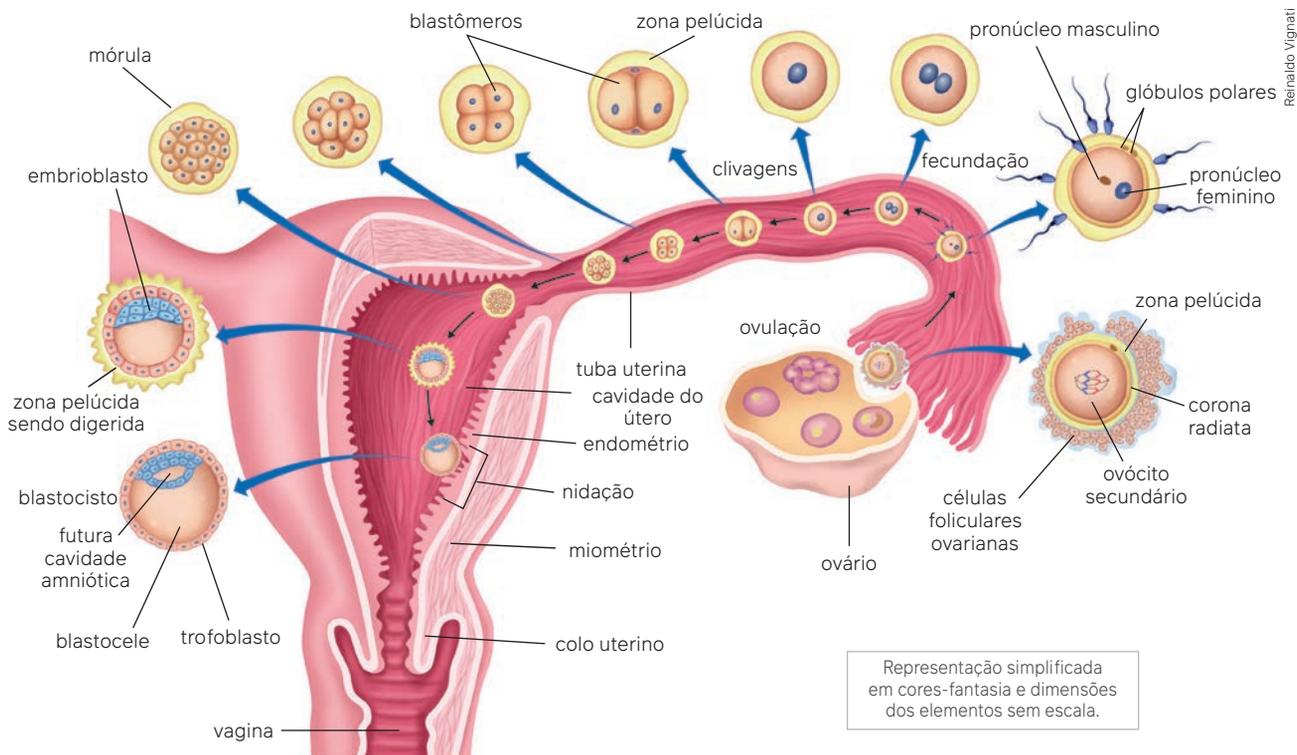
Caso o ovócito seja fertilizado, e ocorra a implantação, a concentração de progesterona aumentará progressivamente a partir do 21º dia, o que ajuda a manter o endométrio uterino e o desenvolvimento embrionário. Caso o ovócito não seja fertilizado, ou embrião não se implante no endométrio, o corpo lúteo degenera, e a concentração dos hormônios sexuais cai, provocando a descamação do endométrio e contrações uterinas que acarretam a menstruação, e um novo ciclo inicia-se.

## Fertilização e desenvolvimento fetal

A **fertilização** é o fenômeno de união de um espermatozoide a um ovócito secundário (posteriormente um óvulo), formando o zigoto. O termo óvulo é usado para se referir ao ovócito secundário após a fertilização ter ocorrido. Os espermatozoides, previamente liberados na vagina durante a relação sexual, deslocam-se através do útero em direção às tubas uterinas.

Vários espermatozoides podem chegar até o ovócito secundário, entretanto, apenas um espermatozoide conseguirá penetrá-lo e fertilizá-lo. O ovócito secundário é revestido por uma camada de glicoproteínas — a zona pelúcida — que, por sua vez, é circundada por uma camada de células denominada corona radiata. O acrossomo do espermatozoide ao entrar em contato com a zona pelúcida é reconhecido por uma glicoproteína específica que desencadeia a liberação de enzimas digestivas presentes no acrossomo deste espermatozoide. Então, as enzimas do acrossomo degradam a região da zona pelúcida e o espermatozoide chega à região da membrana plasmática do ovócito, ao mesmo tempo em que a zona pelúcida se torna impenetrável por outros espermatozoides. Outras proteínas de reconhecimento possibilitam que a membrana do espermatozoide entre em contato e se funda com a do ovócito.

Após a penetração, ocorre a fusão das estruturas nucleares, ou pronúcleos masculino e feminino, formando o zigoto diploide. Iniciam-se as divisões celulares mitóticas. A **implantação**, ou nidação, ocorre, geralmente, na fase de blastocisto, formada após o estágio de mórula, entre cinco e sete dias após a fertilização. O blastocisto humano é uma estrutura multicelular, esférica e com uma cavidade interna (blastocelo), e contém duas camadas de células (blastômeros), a externa é denominada trofoblasto, e a interna é o embrioblasto. O trofoblasto se une à parede do útero, um órgão temporário que possibilita as trocas gasosas entre a pessoa genitora e o feto, além de remover resíduos metabólicos, por meio de cordões trofoblásticos, enquanto o embrioblasto dará origem ao embrião. Durante a primeira semana após a implantação, as células do endométrio são o único meio de nutrição do embrião. Posteriormente, essa função fica a cargo da placenta.



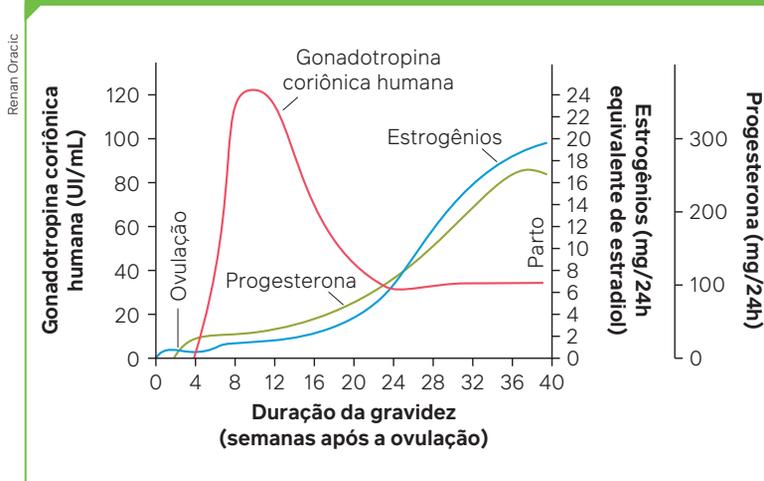
Representação esquemática do início do desenvolvimento embrionário humano, da fertilização até a implantação no endométrio.

Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1012.

Logo após a implantação, ocorre um aumento significativo da gonadotrofina coriônica humana (hCG), um hormônio secretado inicialmente pelas células trofoblásticas, posteriormente, pela placenta. A principal função da hCG é manter o corpo lúteo produzindo progesterona nas primeiras semanas da gravidez, o que é fundamental para o sucesso da implantação uterina. Durante a gestação, estrogênio e progesterona continuam sendo produzidos, aumentando progressivamente até próximo do parto.

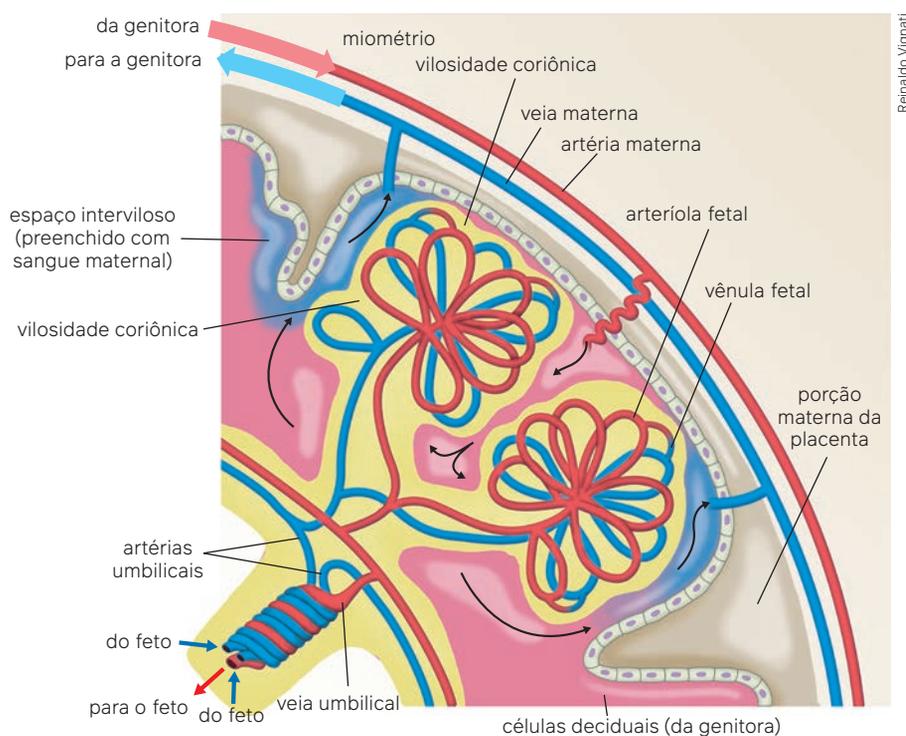
O **desenvolvimento fetal** pode ser dividido, de modo geral, em três trimestres. No primeiro trimestre, cerca de 16 dias após a fertilização, os cordões trofoblásticos já apresentam capilares sanguíneos, derivados do sistema vascular em formação do embrião, e o coração já está batendo. Ao final de oito semanas, o embrião já conta com tubo neural, coração primitivo, olhos, orelhas e membros em desenvolvimento. Outros órgãos também estão em desenvolvimento, incluindo os rins e fígado.

### Níveis de gonadotrofina coriônica humana, estrogênio e progesterona em diferentes etapas da gravidez



Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de Fisiologia Médica*. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 887.

No segundo trimestre, finda-se o período embrionário e inicia-se o período fetal. Por volta da 12ª semana de gestação, a placenta já desempenha suas funções essenciais: difusão de nutrientes e oxigênio do sangue materno para o fetal, bem como difusão de produtos da excreção do feto para a genitora. A placenta conta com duas artérias umbilicais, por onde o sangue do feto flui até os capilares das vilosidades, e uma veia umbilical, por onde o feto recebe oxigênio e nutrientes.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Representação esquemática da placenta madura, destacando a circulação sanguínea e os vasos fetais e maternos.

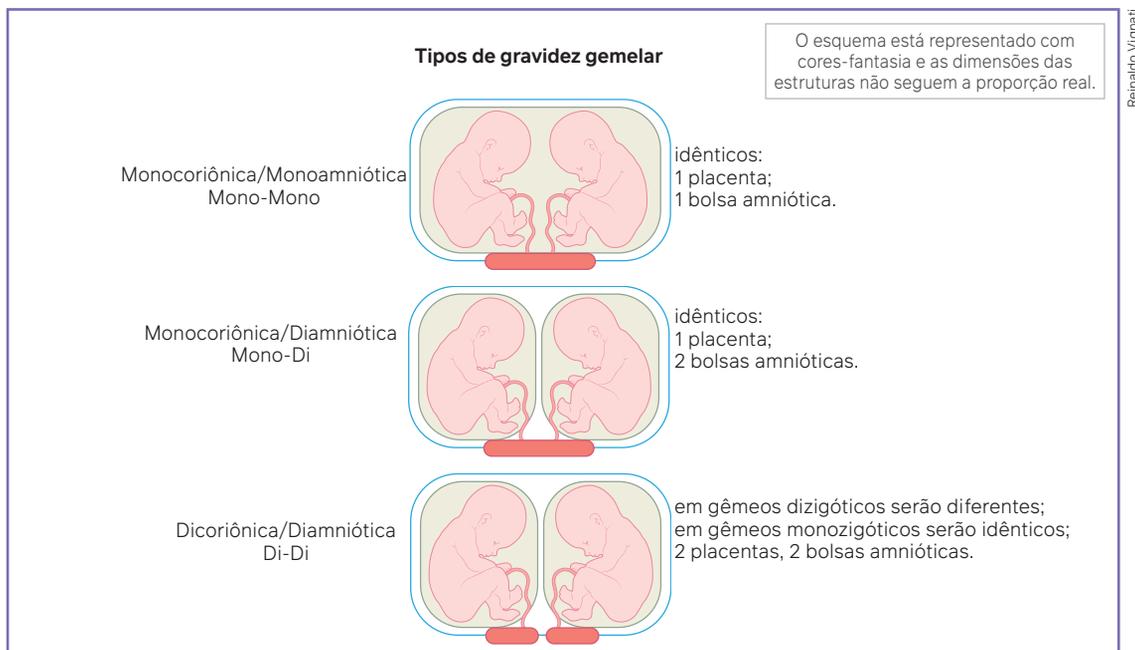
Fonte: REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 1029.

O terceiro trimestre é caracterizado pela continuidade de desenvolvimento dos órgãos, dos sistemas nervoso e respiratório. É uma etapa de crescimento rápido, com ganho de massa, desenvolvimento de sistema imunológico e maturação de pulmões. Ao final de 36 semanas, geralmente o feto assume a posição fetal típica que precede o parto.

## Gestação gemelar

Embora o mais comum na espécie humana seja o desenvolvimento de apenas um embrião, podem ocorrer gestações de dois ou mais indivíduos simultaneamente.

A gestação gemelar, que dá origem a gêmeos, pode ser monozigótica ou dizigótica. A monozigótica se dá a partir de um ovócito fecundado por um espermatozoide, formando um zigoto que se desenvolve, posteriormente, em dois ou mais embriões, que podem ou não compartilhar uma mesma placenta e bolsa amniótica. Já na dizigótica, há liberação de mais de um ovócito secundário pelos ovários, e cada ovócito é fertilizado por um espermatozoide diferente, levando ao desenvolvimento de dois ou mais embriões distintos. Gêmeos dizigóticos geralmente têm placentas e bolsas amnióticas distintas (fetos dicoriônicos e diamnióticos).



Representação esquemática dos tipos de gravidez gemelar.

### Saiba mais

A **fertilização *in vitro* (FIV)** é um procedimento de reprodução assistida, no qual óvulos e espermatozoides são coletados e a fertilização é feita fora do corpo que os gestará, em laboratório, e, em seguida, os embriões resultantes são transferidos para o útero. Em alguns casos, mais de um embrião pode ser transferido durante a FIV para aumentar as chances de sucesso da gestação. A quantidade de embriões implantados durante o procedimento de FIV pode influenciar a probabilidade de gestação gemelar. A decisão de quantos embriões são transferidos durante a FIV é altamente individualizada e leva em consideração fatores específicos de cada paciente, considerando os riscos e os desejos pela maternidade.

## O parto e o pós-parto

O parto, que, de forma geral, ocorre entre a 37ª e a 42ª semana de gestação começa com as contrações uterinas provocadas pela liberação de ocitocina. Essas contrações ajudam a dilatar o colo do útero, o que permite a passagem do bebê. A ruptura da bolsa amniótica pode ocorrer antes ou durante o trabalho de parto. As contrações uterinas aumentam de intensidade e frequência provocando a expulsão do bebê e, após o nascimento, continuam para ajudar na liberação da placenta.

A cesariana é uma intervenção cirúrgica na qual o bebê é retirado do útero da gestante por uma incisão no abdômen e no útero. Decorre, normalmente, de complicações durante o trabalho de parto, como posição anormal do bebê, problemas de saúde materna ou fetal e partos múltiplos. Comparado ao parto vaginal, a recuperação da cesariana geralmente é mais demorada, e há riscos de complicações cirúrgicas e infecções.

O apoio emocional e físico durante o parto é essencial, seja da equipe médica, parteira, doula, ou de membros da família. O cuidado pré-natal adequado e a comunicação aberta com a equipe de saúde são fundamentais para garantir um parto seguro e saudável.

A violência obstétrica é uma realidade que muitas pessoas genitoras enfrentam durante o parto. Ela pode se manifestar de diversas formas, como atitudes desrespeitosas, negligência, falta de consentimento informado, ou intervenções desnecessárias realizadas sem explicação, ou permissão. Exemplos incluem recusar analgesia para aliviar a dor, realizar procedimentos como a **episiotomia** sem necessidade ou consentimento, usar linguagem desrespeitosa, ou ignorar os pedidos da pessoa gestante durante o parto. Esses tipos de violência podem ter consequências físicas e emocionais para a genitora e afetar negativamente a experiência do parto.

Os cuidados pós-parto são essenciais para promover a recuperação da pessoa parturiente, e incluem: repouso e alimentação saudável, retorno à atividade sexual apenas após 40 dias ou mais, apoio psicológico se necessário, rede de apoio e assistência médica. Já para o bebê é essencial a amamentação e higiene, assistência médica e a cobertura vacinal.



The Light Photography/Shutterstock.com

O parto pode ocorrer em diferentes ambientes, como em um hospital, em casas de parto, ou no domicílio da gestante, a depender de uma série de fatores, como questões médicas relacionadas à saúde da pessoa genitora e do bebê, bem como de escolhas da gestante.

#### GLOSSÁRIO

**episiotomia:** incisão no períneo da pessoa com útero (entre a vagina e o ânus), realizada durante o parto, quando a cabeça do bebê está saindo.

## Direitos sexuais e reprodutivos

Os direitos sexuais se referem ao direito de exercer a sexualidade de forma livre, informada e autônoma, sem violência ou discriminações e com respeito pelo corpo da pessoa com que se relaciona. Já os direitos reprodutivos, referem-se ao direito de decidir de maneira livre, consciente e responsável se quer ou não ter filhos, quantos filhos deseja ter e em qual momento da vida.

A sexualidade é uma dimensão dos seres humanos que permeia os comportamentos reprodutivos, afetivos e sociais, sendo moldada por influências biológicas e culturais. O entendimento dos órgãos e processos reprodutivos e do papel dos hormônios sexuais é importante para a compreensão da sexualidade humana, como também são as questões que perpassam a sociedade em que se vive. Tais fatores interferem na maneira como os afetos são construídos e elaborados, na criação de padrões físicos e de comportamento, nas representações do corpo humano ao longo da história, nas políticas de gênero e nas formas de mitigação da intolerância à diversidade.

Esses elementos têm fortes efeitos sociais na maneira como os seres humanos se relacionam uns com os outros e como entendem e lidam com a diversidade.



BEN STANSALL/AFP/Getty Images



Alcira Zarraoa/Getty Images

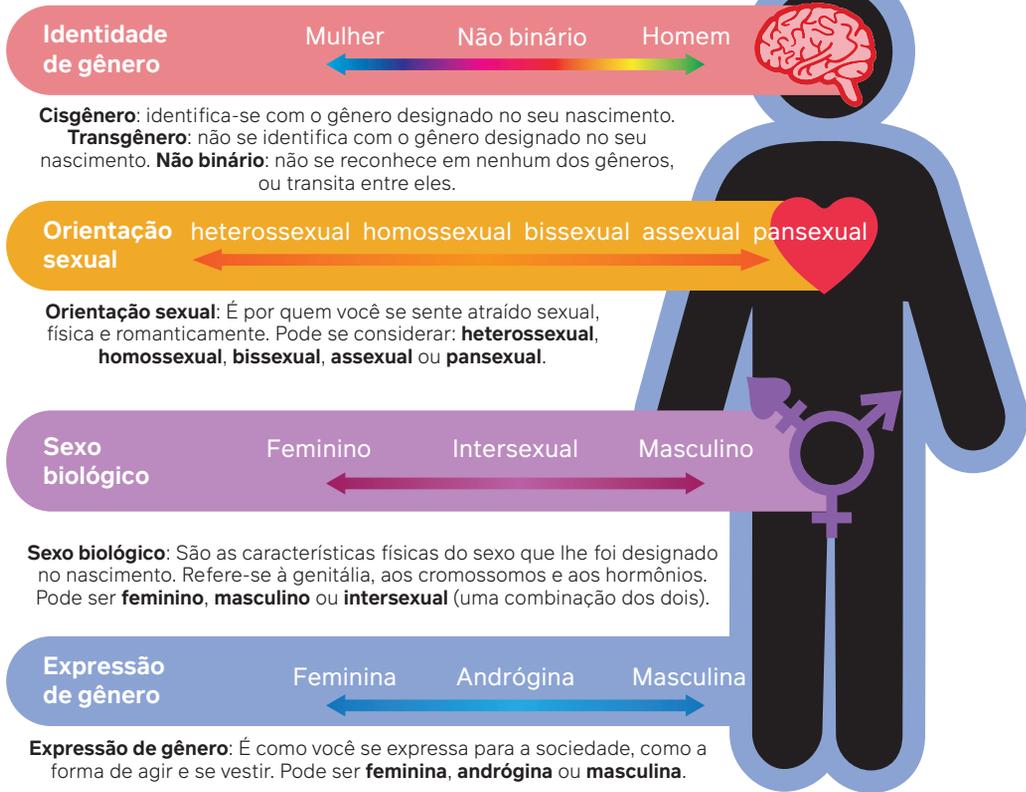
Personalidades esportivas e artísticas também desempenham um papel significativo na formação das representações sociais. À esquerda, o velocista jamaicano Usain Bolt, cujo corpo atlético muitas vezes é exaltado como um ideal de força e desempenho. À direita, a cantora norte-americana Taylor Swift, cuja imagem corporal é frequentemente submetida a padrões estéticos da indústria da música e da cultura *pop*.

O reconhecimento dos variados tipos de identidades, relações e direitos sexuais, sob a perspectiva histórica e cultural da sexualidade humana, é um direito humano que deve ser constantemente monitorado pela sociedade, de modo a promover o conhecimento e o respeito, criminalizando preconceitos e discriminações decorrentes da intolerância.

A sigla LGBTQIAPN+ abrange lésbicas, gays, bissexuais, pessoas transgêneras, comunidade *queer*, intersexuais, assexuais, pansexuais, não binários e outros grupos que se identificam fora das categorias convencionais de gênero binário (homem-mulher) e de orientação heterossexual.

### Diversidade de gêneros

Renan Oracic



**Cisgênero:** identifica-se com o gênero designado no seu nascimento.  
**Transgênero:** não se identifica com o gênero designado no seu nascimento. **Não binário:** não se reconhece em nenhum dos gêneros, ou transita entre eles.

**Orientação sexual:** É por quem você se sente atraído sexual, física e romanticamente. Pode se considerar: **heterossexual, homossexual, bissexual, assexual** ou **pansexual**.

**Sexo biológico:** São as características físicas do sexo que lhe foi designado no nascimento. Refere-se à genitália, aos cromossomos e aos hormônios. Pode ser **feminino, masculino** ou **intersexual** (uma combinação dos dois).

**Expressão de gênero:** É como você se expressa para a sociedade, como a forma de agir e se vestir. Pode ser **feminina, andrógina** ou **masculina**.

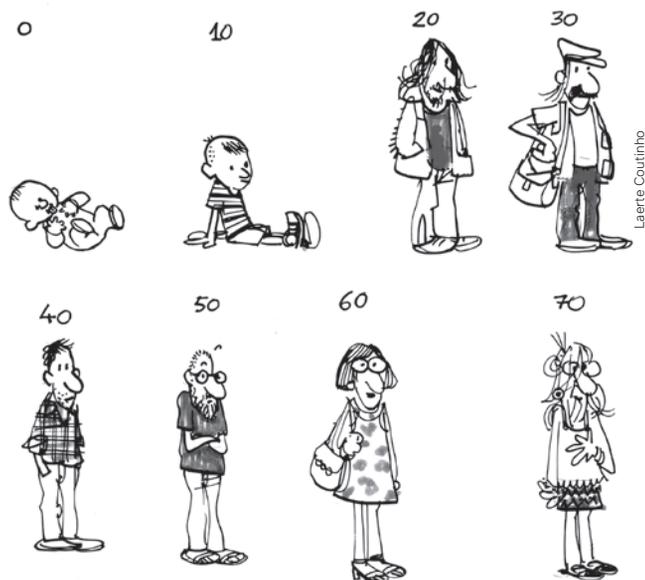


**Video**  
Luta pelos direitos LGBTQIAPN+ no Brasil

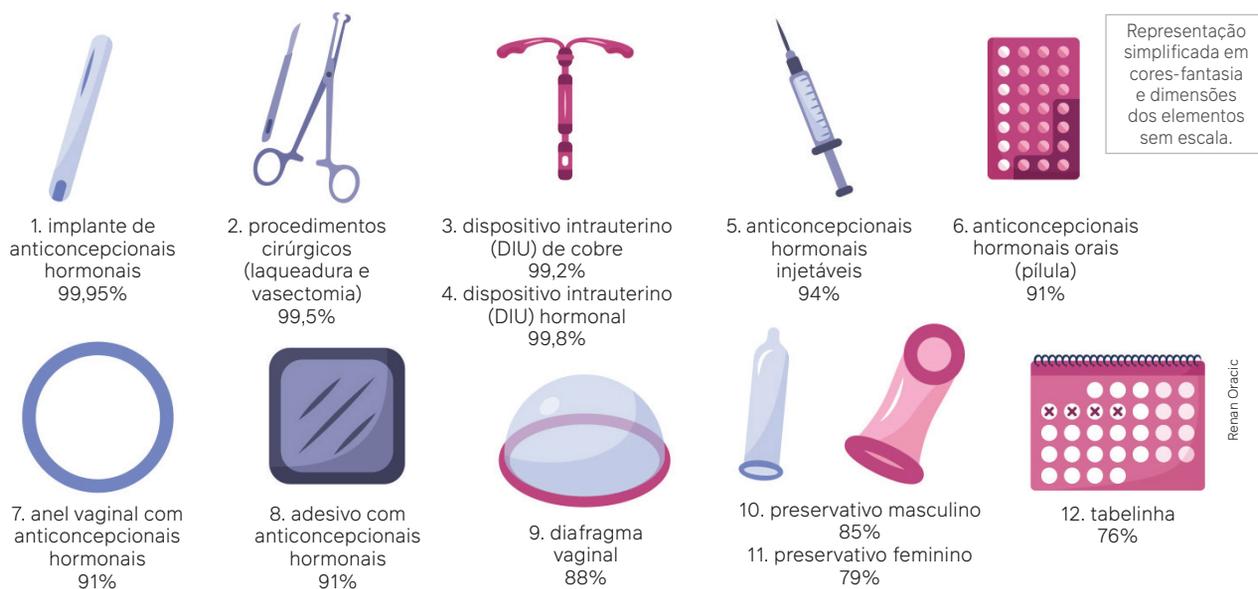
Exemplos da diversidade de gênero. Ela está relacionada à identidade de gênero, à orientação sexual, ao sexo biológico e à expressão do gênero.

Os direitos sexuais e reprodutivos também estão associados ao papel do Estado na disseminação de conhecimento sobre reprodução, consentimento e respeito mútuo e na prevenção de abusos sexuais. Nesse contexto, ganham destaque as ferramentas necessárias para a garantia dos direitos coletivos à saúde reprodutiva e sexual, abrangendo tópicos como métodos contraceptivos, prevenção de infecções sexualmente transmissíveis, a prevenção da gravidez na adolescência e o planejamento familiar. Essas são diferentes ações que visam garantir que as pessoas tenham informações e ferramentas a fim de que possam escolher ter ou não filhos e quando será o melhor momento para que isso ocorra.

Charge de Laerte Coutinho, cartunista brasileira, retratando seu envelhecimento. O gênero pode ser entendido como uma construção social: vestir-se e comportar-se de uma forma ou de outra não está relacionado ao sexo biológico, mas, entre outras coisas, à maneira como a pessoa se percebe.



## Eficácia dos métodos contraceptivos



Representação esquemática dos principais métodos contraceptivos, ordenados por eficácia aproximada. O implante de anticoncepcionais hormonais, procedimentos cirúrgicos e DIU lideram a lista de eficácia, com mais de 99%. A escolha do método deve considerar as especificidades individuais, com orientação médica.

OLIVEIRA, M. P. B. *et al.* Eficácia e segurança de métodos contraceptivos de longa duração em comparação com métodos de curta duração: revisão sistemática. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, Macapá, v. 6, n. 4, p. 1360-1367, 2024. Disponível em: <https://bjih.emnuvens.com.br/bjih/article/view/1891>. Acesso em: 18 set. 2024.

## Atividades propostas



- A duração de um ciclo menstrual é, em média, de 28 dias. Convencionou-se designar o primeiro dia da menstruação como o primeiro dia do ciclo. A regulação do ciclo depende de hormônios gonadotróficos (FSH e LH) e de hormônios esteroides (estrógeno e progesterona). Consulte os gráficos da página 413. Neles é possível identificar dois ciclos femininos integrados: o ovariano e o uterino. Considerando que os gráficos se referem a uma pessoa adulta do sexo biológico feminino com ciclo menstrual regular de 28 dias, infere-se que:
  - O pico de LH ocorre próximo ao 14º dia, promovendo a ovulação e o aumento da produção de progesterona.
  - O estrógeno atinge seu nível máximo no início da fase lútea, entre os dias 20 e 22 do ciclo.
  - O FSH permanece constante durante todo o ciclo menstrual, sem variações significativas.
  - A produção de progesterona é maior durante a fase folicular do ciclo, antes da ovulação.
  - O LH e o FSH atingem seus picos no final da fase lútea, provocando o início da menstruação.
- Quando se trata de reprodução, a pessoa do sexo biológico feminino está em evidência, pois é ela que gesta o bebê e que entra em trabalho de parto. Muitas vezes, em nossa sociedade, a responsabilidade de uma gravidez (planejada ou não) recai totalmente sobre a pessoa do sexo biológico feminino. A Lei nº 14.623, de 17 de julho de 2023, instituiu o dia 14 de agosto como o Dia Nacional de Conscientização sobre a Paternidade Responsável. Pesquise o tema e debata com colegas o que é paternidade responsável. Anotem no caderno as principais ideias sobre o assunto.
- Como as restrições atuais ao aborto e a alguns métodos contraceptivos influenciam na autonomia individual e nos direitos reprodutivos, e qual é o papel do acesso à informação e à educação sexual na promoção desses direitos? Analise também o posicionamento da sociedade sobre essas questões e seu impacto.
- As representações do corpo humano recebem influências culturais que se refletem no modo de vestir, agir e interagir, condicionando padrões – nem sempre inclusivos – dos conhecimentos e valores da humanidade. Pesquise, como os padrões de beleza feminina e masculina foram alterados ao longo do tempo e elabore um vídeo de sensibilização que ilustre como a expressão de gênero pode ser entendida como expressão sociocultural, diferenciando os conceitos do sexo biológico, orientação sexual e identidade de gênero.

5. A respeito do crime de violência sexual, leia as informações a seguir e responda.
- A castração química é um tratamento hormonal que objetiva reduzir a libido e os impulsos sexuais. A imposição da castração química como pena a estupradores é tema de debates na sociedade e no cenário jurídico nacional e internacional. Pesquise mais sobre castração química e Projetos de Lei em âmbito nacional que envolvem esse tema. Depois debata com os colegas, argumentando a favor ou contra os projetos pesquisados.
  - Analise os gráficos apresentados, identifique as vítimas mais vulneráveis e, em grupo com três colegas, pesquise sobre campanhas de prevenção ao abuso sexual. Elaborem uma cartilha *on-line* de prevenção com foco nestas vítimas. Depois de pronta, compartilhem nas redes sociais.



6. A heteronormatividade é uma padronização da sexualidade que assume que todos são heterossexuais e se encaixam em papéis de gênero binário: homem-mulher. É um padrão presente em muitos aspectos da vida, inclusive na escola, de uma forma nem sempre óbvia: na forma como os prédios são construídos, nas regras, nos livros e nas atividades. Isso pode fazer com que as pessoas que não se encaixam nesses padrões se sintam invisíveis ou excluídas.
- Em duplas, pensem em situações em que vocês notaram que as regras ou expectativas da escola eram baseadas no modelo heteronormativo. Listem essas situações e discutam acerca do tema.
  - Coletivamente, pensem em maneiras de tornar a escola um lugar mais acolhedor, independentemente da orientação sexual ou da identidade de gênero daqueles que a frequentam. Elaborem propostas para criar um ambiente onde todos se sintam aceitos e respeitados. Discutam como colocá-las em prática.
7. Ainda há muita discriminação, velada ou explícita, contra pessoas LGBTQIAPN+, que sofrem diversos tipos de violências, denominadas LGBTfobia. Desde 2019, a LGBTfobia é criminalizada no Brasil, mas ainda são frequentes os relatos e os casos de impunidade com quem pratica esse crime. Em grupo com três colegas, pesquise sobre a construção histórica da bandeira LGBTQIAPN+ e sobre as reivindicações dessa comunidade no Brasil e no mundo. Identifiquem possíveis casos de LGBTfobia na escola. Apresentem aos demais colegas e juntos, discutam estratégias que podem ser realizadas na escola contra a LGBTfobia.



Bandeira LGBTQIAPN+, lançada na 27ª Parada do Orgulho de Copacabana.

## Ciência por dentro



### A nossa comunidade e os métodos contraceptivos

O tema dos métodos contraceptivos dentro de uma comunidade envolve considerações culturais, sociais e de acesso à saúde. A educação sexual é uma atividade que você pode ajudar a construir, desde que trabalhe com consciência e respeito, utilizando como subsídio o embasamento científico, além das características culturais e sociais específicas da sua comunidade. Nesta atividade, você vai, junto dos colegas, investigar a percepção e o conhecimento das pessoas da comunidade sobre os métodos contraceptivos, para elaborar um material de disseminação de conhecimento científico e sociocultural sobre a temática.

## Material:

- caderno;
- lápis ou caneta;
- equipamentos eletrônicos com acesso à internet.

## Procedimento

1. Em grupos, realizem uma pesquisa sobre os métodos contraceptivos, levantando informações sobre os mecanismos de ação dos métodos contraceptivos mecânicos, hormonais e químicos; e sobre quais métodos previnem contra Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs). Compartilhem e discutam os dados com os outros grupos.
2. Elaborem questões com o objetivo de avaliar a percepção e o conhecimento da comunidade acerca dos métodos contraceptivos. Considerem que a comunidade é composta por pessoas de diferentes idades, origens culturais e experiências. Além disso, é importante incorporar questões que incentivem reflexões sobre atitudes, crenças e barreiras percebidas em relação aos métodos contraceptivos além do papel dos sistemas de saúde na disseminação de conhecimentos e orientação sobre o uso dos métodos contraceptivos e no acesso gratuito a alguns desses métodos.
3. Os questionários podem conter perguntas abertas, como: “Você usa métodos contraceptivos? Quais?”; ou podem, ainda, trazer perguntas fechadas, como: “Quais desses métodos contraceptivos são mais eficazes?”, seguida de uma lista de métodos como alternativas. Com o questionário pronto, vão a campo e colem as informações. Outra opção é a aplicação de questionários *on-line*. Avalie junto ao professor qual é a melhor alternativa considerando a realidade na qual a escola está inserida. Lembre-se de explicar os objetivos da pesquisa e de informar que o questionário será respondido de maneira anônima.
4. Ao finalizarem essa etapa, analisem coletivamente os resultados obtidos. Nesse sentido, valoriza-se a utilização de planilhas colaborativas *on-line* para o compartilhamento das informações entre os grupos. Identifiquem lacunas no conhecimento e potenciais áreas de má compreensão ou desinformação. Com base nessas descobertas, elaborem iniciativas educativas (podem ser materiais educativos impressos ou digitais ou momentos de reflexão e diálogo, como rodas de conversa) que se alinhem às percepções e necessidades específicas da comunidade. Caso seja possível, busquem parceria com o sistema de saúde local, a fim de indicar um profissional de saúde para realizar uma conversa sobre métodos contraceptivos e sobre a atuação profissional dos agentes de saúde na promoção da saúde sexual da comunidade.
5. Lembre-se, o objetivo é não apenas informar, mas também envolver a comunidade de maneira participativa e respeitosa. As questões do **Trocando ideias** foram elaboradas para guiar os procedimentos e a análise dos resultados.

## Trocando ideias



1. Quais conhecimentos científicos são necessários para uma tomada de decisão mais consciente sobre a escolha do melhor método contraceptivo?
2. Qual é o papel dos serviços de saúde na disseminação de conhecimento sobre os métodos contraceptivos? Como barreiras financeiras e geográficas podem atrapalhar sua eficácia?
3. Qual é o grau de conhecimento da sua comunidade acerca dos métodos contraceptivos? Quais temas geram mais dúvidas na comunidade?
4. As pessoas, em geral, praticam uma comunicação aberta com seus familiares sobre saúde sexual e métodos contraceptivos?
5. Na opinião de vocês, a comunidade empodera as mulheres, fortalecendo suas próprias decisões e autonomia reprodutiva?
6. Apesar das campanhas sobre métodos contraceptivos realizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), o Brasil é um país com altos índices de gravidez na adolescência e prevalência de infecções sexualmente transmissíveis. Como podemos resolver problemas tão complexos como esses?

## Recapitule



No contexto da reprodução humana, foram explorados os sistemas genitais e aspectos relacionados aos direitos sexuais e reprodutivos. Elabore um conto fictício que aborde os desafios e dilemas enfrentados por diferentes personagens. O conto poderá integrar a experiência de uma personagem transgênero lidando com questões de fertilidade, um casal enfrentando a escolha de métodos contraceptivos sob pressões sociais, ou pessoa jovem do sexo biológico feminino enfrentando uma gravidez não planejada, ao mesmo tempo em que busca sua autoidentificação de gênero. Utilize a narrativa para explorar as complexidades emocionais e sociais vivenciadas por cada personagem, oferecendo uma visão crítica e empática sobre os desafios enfrentados.



A saúde pública envolve, além da prevenção e cuidados com a saúde individual e coletiva, o cuidado com os espaços, as atividades e as interações entre os membros da comunidade. Aula de yoga ao ar livre no Parque Municipal Roberto Mário Santini. Santos (SP), 2020.

### ▼ Para refletir

1. O que você entende pela expressão “saúde pública”? Quais são, na sua opinião, os elementos essenciais para garantir a saúde de uma comunidade?
2. Ao pensar nos serviços de saúde que você utiliza ou já utilizou, percebe alguma desigualdade ou barreira no acesso? Como você acredita que as políticas de saúde podem contribuir para tornar o acesso mais justo e igualitário?
3. Já vivenciou alguma situação em que uma doença afetou sua comunidade? Como os sistemas de saúde e a conscientização da população podem trabalhar juntos para promover a saúde? Discuta com colegas.

### Objetivos do capítulo

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos deste capítulo.

- Articular os conceitos fundamentais relacionados à saúde pública, incluindo definições, objetivos e a importância desses conhecimentos na sociedade.
- Analisar criticamente as políticas de saúde e compreender o acesso aos serviços de saúde, identificando barreiras e desigualdades no sistema.
- Aplicar os princípios epidemiológicos para compreender e discutir a incidência de doenças na comunidade, bem como relacionar a saúde ambiental e ocupacional aos fatores de risco.
- Promover a conscientização sobre questões de saúde pública e se engajar em ações que contribuam para a promoção do bem-estar coletivo.

## Introdução à saúde pública

A **saúde pública** é um campo de estudo e prática abrangente que visa promover e preservar o bem-estar da sociedade. Ela difere da medicina clínica ao concentrar-se não apenas no tratamento individual de doenças, mas na prevenção e promoção da saúde em comunidades inteiras. Enquanto a medicina clínica lida com diagnóstico e tratamento de enfermidades no nível individual, a saúde pública busca melhorar as condições de saúde em larga escala, abordando fatores sociais, ambientais e comportamentais que afetam a população.

Os objetivos da saúde pública são abrangentes. Incluem prevenir doenças, promover estilo de vida saudável e garantir a equidade no acesso aos serviços de saúde. Além disso, busca entender e abordar os fatores sociais, ambientais e comportamentais que influenciam a saúde de uma comunidade, criando condições para que todos possam alcançar seu potencial máximo de bem-estar.

## Saúde pública no Brasil

A história da saúde pública no Brasil é marcada por desafios, conquistas e constante busca por melhores condições de vida para a população.

Durante o Período Colonial, as condições sanitárias eram precárias, e doenças como a febre-amarela, a malária e a varíola eram recorrentes. A falta de saneamento básico e a escassez de conhecimento acerca da transmissão de doenças contribuíram para surtos frequentes.

No século XIX surgiram as primeiras iniciativas de reformas sanitárias no Brasil. Destacam-se as ações do médico Oswaldo Cruz (1872-1917), em 1904, que visavam combater a varíola por meio da vacinação em massa. Essa fase foi crucial para a criação do Instituto Oswaldo Cruz (Fiocruz) e para o fortalecimento das políticas públicas de saúde.

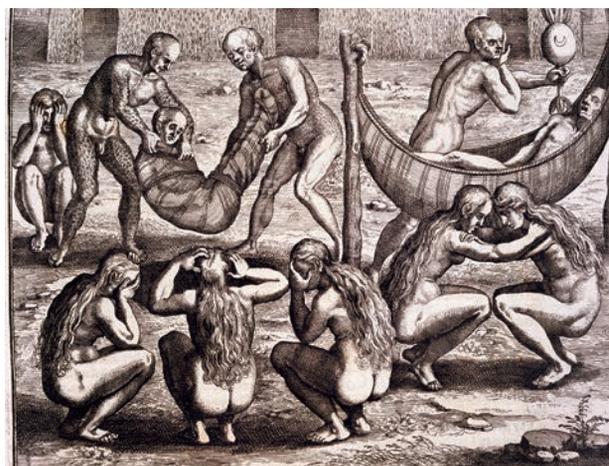
A década de 1980 foi um marco fundamental na saúde pública brasileira devido à criação do Sistema Único de Saúde (SUS). O SUS trouxe o princípio da universalidade, buscando oferecer assistência médica a todos, independentemente de sua condição social. Isso representou uma mudança significativa na abordagem da saúde no Brasil.

A Revolta da Vacina (1904) ilustrada em uma charge feita por Leonidas Freire (1882-1943) e publicada em jornal da época – O Malho, nº 111, 29/10/1904. A revolta da vacina foi uma manifestação popular que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro em função da lei que tornava obrigatória a vacinação contra a varíola.



Cesar Diniz/Pulsar Imagens

A atuação dos agentes de saúde é fundamental para a melhoria da qualidade dos serviços de saúde pública prestados à comunidade. Como a orientação sobre prevenção de focos de mosquitos *Aedes aegypti*. São Paulo (SP), 2024.



Historical Picture Archive/Corbis Historical/Getty Images

Os colonizadores trouxeram diversas doenças que contribuíram para dizimar a população indígena no Brasil. Theodore de Bry. *O pequeno rei Pipo Jep Wasu volta para casa doente*. In: AMERICAE Tertia Pars, p. 371, 1562. Xilogravura que retrata uma cena na qual membros tupinambás estavam doentes numa aldeia em Ubatuba e alguns deles morreram.



Fundação Biblioteca Nacional, Rio de Janeiro, RJ



## Revolta da Vacina

No contexto atual, com o avanço das redes sociais, a disseminação rápida de informações, muitas vezes não verificadas, e a facilidade de compartilhamento amplificaram a propagação da desinformação sobre vacinas. Porém, em outros momentos históricos, as teorias infundadas, mitos e notícias falsas já contribuíam para a hesitação e recusa da vacinação por parte da população, prejudicando esforços para controlar doenças preveníveis por meio da imunização. Sobre esse assunto, leia o texto a seguir.

Foram apenas cinco dias, mas marcaram a história da saúde pública no Brasil. No início de novembro de 1904, o Rio de Janeiro, então capital federal, foi palco da maior revolta urbana que já tinha sido vista na cidade. A Revolta da Vacina deixou um saldo de 945 prisões, 110 feridos e 30 mortos, segundo o Centro Cultural do Ministério da Saúde. O estopim da rebelião popular foi uma lei que determinava a obrigatoriedade de vacinação contra a varíola. Mas havia um complexo e polêmico panorama social e político por trás da revolta, e diferentes fatores ajudam a explicar melhor os protestos.

[...]

### Contexto histórico: República, abolição e reforma

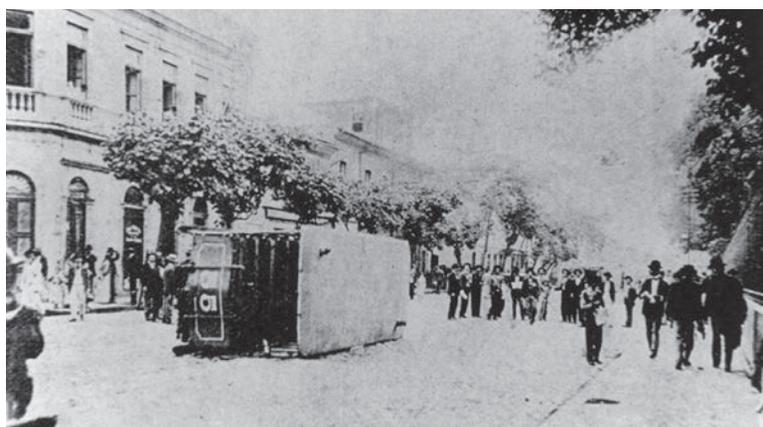
[...] No Rio de Janeiro, a vacinação da doença era obrigatória para crianças desde 1837 e para adultos desde 1846, conforme o Código de Posturas do Município. No entanto, a regra não era cumprida porque a produção de vacinas era pequena, tendo alcançado escala comercial apenas em 1884. O imunizante também não era bem aceito pelo povo, ainda desacostumado com a própria ideia da vacinação, e diferentes boatos corriam na época, como o de quem se vacinava ganhava feições bovinas.

Porém, havia muitos outros fatores que criavam um cenário de tensão na cidade, como explica o historiador e pesquisador Carlos Fidelis da Ponte, do Departamento de Pesquisa em História das Ciências e da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz (COC/Fiocruz). O país tinha abolido a escravidão e adotado o regime republicano há menos de quinze anos. Havia grupos descontentes com os rumos políticos e sociais do governo. [...] Foi nesse contexto que o presidente Rodrigues Alves iniciou um projeto para mudar a imagem no país no exterior – o que significava, principalmente, mudar a imagem da capital federal. [...] Parte do plano incluía uma campanha de saneamento e o combate às doenças, que ficou sob responsabilidade do médico Oswaldo Cruz. Nomeado diretor geral de Saúde Pública, formado no Instituto Pasteur, na França, em pouco tempo conseguiu controlar a febre amarela na cidade, por meio da limpeza de focos de mosquitos *Aedes aegypti* e o isolamento de pessoas doentes. [...]

### A revolta

A gota d'água para a Revolta da Vacina iniciar foi a aprovação da lei nº 1.261 em 31 de outubro de 1904, e a regulamentação em seguida, em 9 de novembro. [...] Sugerida por Oswaldo Cruz, tornava obrigatória a exigência de comprovantes de vacinação contra a varíola para a realização de matrículas nas escolas, obtenção de empregos, autorização para viagens e certidões de casamentos. A medida previa também o pagamento de multas para quem resistisse à vacinação.

A população não aceitava ter a casa invadida para ser vacinado e havia uma forte discussão sobre o direito de o Estado mandar no corpo dos cidadãos. A mesma questão que voltou à tona recentemente, com vacinação contra a covid-19”, lembra Fidelis da Ponte. “Não foi apenas uma questão de ignorância da população, motivada pelos boatos. Figuras como Ruy Barbosa, um intelectual, fizeram discursos inflamados contra a obrigatoriedade da vacina. É importante entender a novidade que a vacinação representava e os muitos fatores relacionados à revolta”, completa.



Acervo Fundação Oswaldo Cruz

Fotografia feita em 14 de novembro de 1904, durante a Revolta da Vacina na Praça da República, no Rio de Janeiro.

## Depois de a poeira abaixar

Embora os protestos tenham começado pela vacinação, logo se dirigiu aos serviços públicos em geral e ao governo. A Revolta da Vacina durou cinco dias, e nas ruas da capital, bondes foram atacados, virados e queimados. [...] A lei que determinava a obrigatoriedade da imunização foi revogada em 16 de novembro, quando também foi decretado o estado de sítio no Rio de Janeiro. [...]

Para Fidelis da Ponte, a estratégia usada contra a varíola, por meio da vacinação obrigatória, errou, principalmente, no aspecto da comunicação. “Oswaldo Cruz escrevia tratados, artigos de jornal, textos de cunho acadêmico e científico que detalhavam como a vacina funcionava e os seus efeitos positivos. Mas a grande maioria da população era analfabeta ou semianalfabeta. Os críticos do médico se aproveitavam disso e utilizavam charges publicadas nos jornais, marchinhas e mesmo os boatos para ironizarem a iniciativa. Eram armas poderosíssimas que convenciam o povo”, salienta o historiador.

O resultado foi que no ano de 1908, uma nova e intensa epidemia de varíola voltou a atingir o Rio de Janeiro, com mais de 6.500 casos, segundo dados da Casa de Oswaldo Cruz. Foi só então que a população começou a procurar voluntariamente os postos de saúde para se vacinar. Muito esforço seria necessário, ainda, para que o Brasil finalmente conseguisse erradicar a varíola em 1971.

“A vacina é, certamente, o melhor instrumento de saúde pública já inventado. Na ausência dos imunizantes, teríamos tido muito mais mortes por um grande número de doenças e teríamos vivido muito mais pandemias. Infelizmente, a vacina voltou a ser questionada recentemente e precisamos defendê-la. A vacina é segura e funciona. A revolta deixa como importante ensinamento que a vacinação não é só uma questão médica, como também sociológica, cultural, antropológica e histórica. Para uma campanha de imunização ser bem-sucedida, é necessário o envolvimento de profissionais de diferentes áreas”, finaliza o historiador Carlos Fidelis da Ponte.

DANDARA, L. Cinco dias de fúria: Revolta da Vacina envolveu muito mais do que insatisfação com a vacinação. *Portal Fiocruz*, Rio de Janeiro, 9 jun. 2022. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/cinco-dias-de-furia-revolta-da-vacina-envolveu-muito-mais-do-que-insatisfacao-com-vacinacao>. Acesso em: 29 jul. 2024.

## Trocando ideias



1. Pesquise casos recentes de desinformação sobre vacinas nas redes sociais, utilizando *sites* de checagem de fatos e relatórios de organizações de saúde e responda: Quais são as semelhanças e diferenças entre a resistência na Revolta da Vacina e os desafios atuais relacionados à vacinação?
2. Como a desinformação afeta a confiança nas vacinas e, conseqüentemente, a saúde pública?
3. Em grupos, desenvolvam um plano de ação para combater a desinformação sobre vacinas em sua comunidade. Pesquisem campanhas bem-sucedidas de conscientização como fontes de inspiração, priorizando estratégias factíveis em sua realidade. Considere o envolvimento da comunidade e parcerias com profissionais de saúde. Apresente suas estratégias em sala de aula e discutam sobre a viabilidade e eficácia das propostas. Elaborem um plano de ação coletivo, com as etapas de implementação. Avaliem com o professor a melhor maneira de colocá-lo em prática.
4. Elabore uma reflexão individual sobre a experiência de elaboração coletiva do plano, destacando aprendizados sobre a relação entre ciência, história e saúde pública. Compartilhe suas reflexões com os colegas.

## Atividades propostas



1. Conforme o artigo 3º da Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, que dispõe sobre as condições para a promoção, a proteção e a recuperação da saúde:

“A saúde tem como fatores determinantes e condicionantes, entre outros, a alimentação, a moradia, o saneamento básico, o meio ambiente, o trabalho, a renda, a educação, o transporte, o lazer e o acesso aos bens e serviços essenciais; os níveis de saúde da população expressam a organização social e econômica do País.”

BRASIL. *Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990*. Dispõe sobre as condições para promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1990. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=733830](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=733830). Acesso em: 13 jul. 2024.

  - a) Forme um grupo com colegas e, considerando os fatores determinantes e condicionantes de saúde expostos na Lei nº 8.080/1990, analisem e discutam a situação de saúde da comunidade do entorno da escola, atendendo para a organização social, política e econômica.
  - b) Coletivamente reflitam, entre os fatores determinantes para a garantia de saúde destacados no artigo referido, quais são os que mais afetam os jovens. Em seguida, proponham ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar para esse público em especial.

## Sistema Único de Saúde (SUS)

O SUS é a principal política de saúde no Brasil, estabelecida pela Constituição de 1988. Ele é um serviço gratuito, financiado por recursos provenientes dos três níveis de governo: municipal, estadual e federal. Ele opera com base nos seguintes princípios fundamentais:

- **Universalidade:** todos têm direito de acesso aos serviços de saúde, sem discriminação ou privilégios.
- **Equidade:** as necessidades de saúde são atendidas conforme a gravidade, independentemente de condições sociais ou econômicas.
- **Integralidade:** proporciona assistência de forma completa, considerando promoção, prevenção, tratamento e reabilitação.
- **Participação social:** inclui a participação da comunidade na gestão e fiscalização das políticas de saúde, assegurando transparência e democracia no processo.

## Atenção básica

A atenção básica é a porta de entrada do cidadão no sistema de saúde. Ela é desenvolvida por meio de ações de promoção, prevenção, diagnóstico, tratamento e reabilitação. Destaca-se pelo acolhimento e continuidade do cuidado, sendo realizada por equipes de saúde da família, agentes comunitários e unidades básicas de saúde.

A atenção básica enfatiza a prevenção de doenças e a promoção da saúde por meio de campanhas educativas, vacinação e práticas saudáveis. Os profissionais da atenção básica buscam conhecer a fundo a realidade de saúde nas comunidades, estabelecendo uma relação mais próxima com os usuários.



Fotografia de uma Unidade Básica de Saúde (UBS). Pranchita, (PR), 2020.

## Programas de saúde específicos

Os programas de saúde específicos são estratégias direcionadas para o controle de determinadas doenças ou agravos à saúde. Eles abrangem desde campanhas de vacinação até ações voltadas para o enfrentamento de problemas específicos.

O **Programa Nacional de Imunizações (PNI)**, por exemplo, tem por finalidade a vacinação em massa, enquanto programas de controle de doenças – como diabetes e hipertensão – visam à prevenção e à gestão dessas condições.

O **Programa Farmácia Popular** fornece medicamentos essenciais para o tratamento e controle de condições crônicas a preços acessíveis, ou até gratuitos em algumas situações, o que contribui significativamente para a adesão ao tratamento e para o controle dessas doenças.

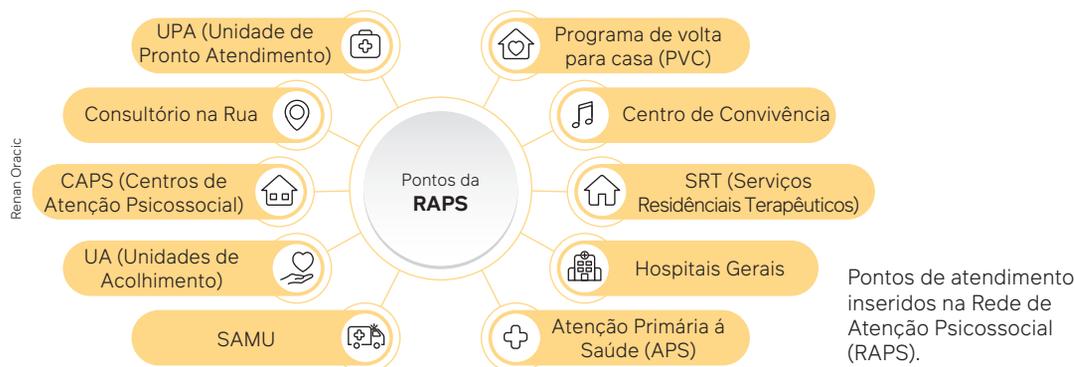
As **Políticas de Saúde da Mulher, Criança e Adolescente** são direcionadas para atender às necessidades específicas desses grupos, reconhecendo suas particularidades e vulnerabilidades. Para mulheres, são desenvolvidas políticas de acompanhamento durante a gestação, parto e pós-parto, que visam assegurar condições adequadas de saúde materna e infantil.



O acompanhamento pré-natal no SUS é um dos programas de políticas públicas voltadas para mulheres e bebês. Gestante recebendo atendimento médico na Unidade de Saúde da Família Venceslau Monteiro. Itaparica (BA), 2019.

A **Política Nacional de Atenção Básica** realiza o acompanhamento das famílias beneficiárias do Bolsa Família, programa federal de transferência direta e indireta de renda às famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica. O acompanhamento tem como objetivo garantir a realização do pré-natal pelas gestantes, o cumprimento do calendário vacinal e o acompanhamento do estado nutricional das crianças. Ações específicas para crianças e adolescentes incluem campanhas de vacinação, acompanhamento do crescimento e desenvolvimento e prevenção de doenças específicas nesses grupos etários.

A **Rede de Atenção Psicossocial (RAPS)** envolve um conjunto de ações e pontos de atendimento especializado em saúde mental. A assistência é direcionada às pessoas em tratamento psiquiátrico ou em sofrimento consequente do uso prejudicial de álcool e outros tipos de droga. A pessoa necessitada recebe atendimento humanizado com apoio multiprofissional e atenção terapêutica de acordo com o tratamento prescrito. A rede conta com diferentes pontos de atendimento e prestação de serviços como os apresentados na figura a seguir:



## Saiba mais

### Política Nacional de Saúde Mental

A Lei nº 10.216, conhecida como “Lei da Reforma Psiquiátrica,” promulgada em 2001, foi resultado da mobilização de movimentos sociais que lutavam desde os anos 1970 pelo fim dos manicômios e pela reformulação do sistema psiquiátrico brasileiro. A lei trouxe diretrizes que priorizam o respeito à cidadania e aos direitos das pessoas com transtornos mentais, promovendo o fechamento de manicômios e a criação de serviços psicossociais humanizados. A Política Nacional de Saúde Mental, baseada na lei, busca a inclusão social e um atendimento multidisciplinar, afastando práticas agressivas e focando na convivência familiar e comunitária.

### Saúde da pessoa idosa

O Brasil está passando por um processo de envelhecimento populacional, caracterizado pelo aumento da proporção de pessoas idosas (com 60 anos ou mais) em relação à população total.

Em 2022, o total de pessoas com 65 anos ou acima dessa faixa etária era cerca de 10,9% (22.169.101) da população brasileira. Esse número tende a crescer nas próximas décadas devido a fatores como redução da taxa de fecundidade, avanço da medicina e aumento da qualidade de vida.

A saúde da pessoa idosa envolve cuidados específicos para garantir uma vida plena e saudável e inclui a promoção de hábitos saudáveis, com alimentação e atividades físicas, prevenção e diagnóstico de doenças, prevenção de quedas, acompanhamento de vítimas de violência, reabilitação, tratamentos e cuidados especializados no que se refere, sobretudo, às doenças que mais acometem os idosos, como: demências, doenças cardiovasculares, hipertensão, diabetes, catarata, osteoporose e infecções respiratórias.

No Brasil, a saúde da pessoa idosa é garantida pelo **Estatuto do idoso**, uma legislação que visa garantir os direitos das pessoas nessa faixa etária, promovendo sua inclusão social, proteção e atenção integral à saúde.

### Participação social

Os **Conselhos de Saúde** atuam na formulação, acompanhamento e avaliação das políticas de saúde no país. Esses conselhos são espaços de deliberação e decisão, compostos de representantes do governo, profissionais de saúde, prestadores de serviços, usuários do sistema e entidades da sociedade civil organizada. Sua principal função é promover o diálogo entre diferentes atores envolvidos na gestão e no funcionamento do sistema de saúde, buscando garantir a transparência, a equidade e a qualidade dos serviços prestados à população.

Os conselhos atuam em diferentes níveis nas esferas municipal, estadual e federal, e são responsáveis por acompanhar a elaboração dos planos de saúde, fiscalizar a execução das políticas públicas, avaliar a aplicação dos recursos financeiros destinados à saúde e propor medidas para melhorar o acesso e a qualidade dos serviços.

## Barreiras de acesso e desigualdades

Embora a saúde pública busque proporcionar cuidados a toda a população, diversas barreiras podem dificultar o acesso aos serviços de saúde, promovendo desigualdades significativas.

Em áreas rurais ou afastadas dos centros urbanos, a escassez de unidades de saúde pode demandar deslocamentos longos para ter acesso a serviços médicos. Em alguns casos, as equipes de saúde fazem o deslocamento para atender a comunidades distantes ou isoladas. A telemedicina também tem sido um recurso utilizado para reduzir as distâncias físicas.

A falta de recursos econômicos do usuário frequentemente inviabiliza o deslocamento até a unidade de saúde pública. Em outros casos, a demora no atendimento e a falta de recursos da rede pública demandariam do paciente a busca por serviços de saúde particulares, como consultas médicas, exames e medicamentos, o que nem sempre é possível devido aos custos associados, caracterizando, para muitos, um obstáculo no acesso a cuidados médicos essenciais.

Mulheres, especialmente adolescentes, podem enfrentar desigualdades no acesso a serviços específicos, como planejamento familiar e cuidados relacionados à saúde reprodutiva. Grupos étnicos e pessoas LGBTQIAPN+ podem sofrer preconceitos e falta de sensibilidade no atendimento, fazendo com que as suas necessidades não sejam contempladas.

Ao oferecer serviços de saúde gratuitos e acessíveis a todos os brasileiros, o SUS promove a redução das disparidades de saúde relacionadas à renda, no entanto, ainda não garante o atendimento a toda população.



André Dib/Pulsar Imagens

Em áreas mais isoladas geograficamente ou com outras dificuldades socioeconômicas, os agentes comunitários de saúde, muitas vezes, podem ser o único apoio para assistência à saúde da comunidade. Atendimento oftalmológico para indígenas da etnia Kisêdjê na Aldeia Khikatxi. Querência (MT), 2021.

## Atividades propostas



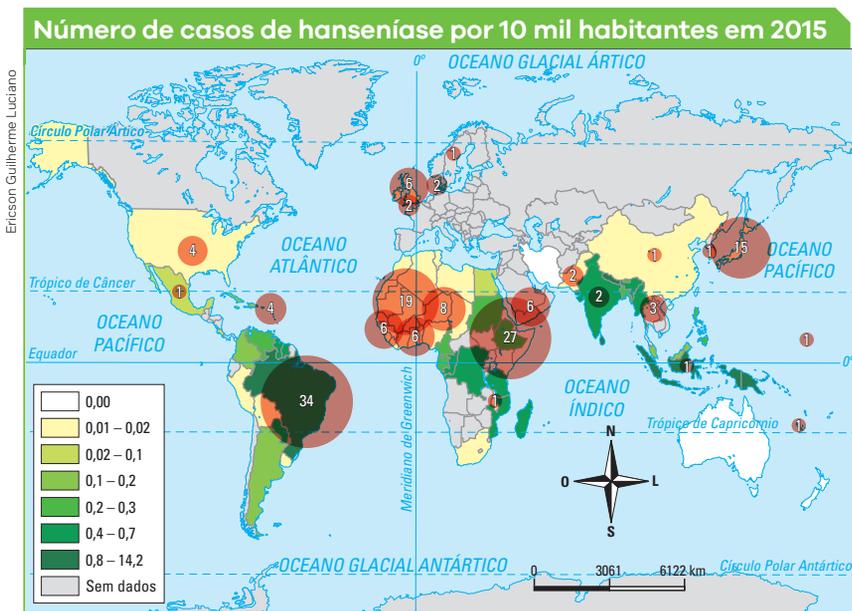
1. Pesquisem, junto aos órgãos municipais, quem são os membros do conselho municipal de saúde da sua cidade; agende reuniões com esses membros e colem informações de como é a participação no conselho, quais os assuntos em pauta e as datas das reuniões. Procurem participar de uma reunião do conselho e, se houver necessidade, levem as demandas de vocês e proponham ao presidente do conselho que as coloquem em pauta.

## Epidemiologia

A **Epidemiologia** é o estudo da distribuição e dos determinantes de doenças em populações. Em vez de focar os casos individuais, a epidemiologia analisa padrões de ocorrência de doenças em larga escala, identificando fatores que influenciam sua propagação.

A epidemiologia busca identificar fatores que aumentam a probabilidade de uma pessoa desenvolver determinada doença; analisa como as enfermidades estão distribuídas em diferentes áreas geográficas, permitindo a identificação de padrões regionais; e, ainda, examina como as taxas de incidência de doenças mudam ao longo do tempo, ajudando na previsão e prevenção futura.

Existem diferentes tipos de estudos epidemiológicos, sendo os principais: os **estudos descritivos** e os **analíticos**. No primeiro, é feita a descrição da distribuição de uma doença em termos de tempo, lugar e pessoa, sem buscar uma relação causal. Enquanto nos estudos analíticos são investigadas as causas e efeitos das doenças, analisando a relação entre fatores de exposição e desenvolvimento de doenças.



A epidemiologia ajuda a traçar doenças e outros fatores em diversos níveis e escalas. No exemplo, um mapa com a distribuição do número de casos registrados de hanseníase por 10 mil habitantes em 2015. Os círculos indicam os lugares e números de casos para um estudo epidemiológico.

Fonte: FERREIRA, V. Mapeamento genético traça evolução do bacilo da hanseníase. *Agência Focruz de Notícias*, Rio de Janeiro, 21 set. 2018. Disponível em: <https://agencia.focruz.br/mapeamento-genetico-traca-evolucao-do-bacilo-da-hanseníase>. Acesso em: 29 jul. 2024.

## Estatísticas epidemiológicas

Os dados estatísticos oferecem uma visão ampla da saúde coletiva, permitindo que profissionais de saúde e formuladores de políticas identifiquem áreas que necessitam de melhoria e aloquem recursos de maneira eficiente.

Além disso, as estatísticas epidemiológicas são essenciais para avaliar a eficácia de intervenções de saúde pública. Ao monitorar as taxas de morbidade (número de pessoas portadoras de uma doença em uma população) e mortalidade (taxa de óbitos por uma determinada doença em uma população) antes e após campanhas ou programas específicos, é possível avaliar o impacto dessas ações.

No planejamento de recursos de saúde, essas estatísticas ajudam a garantir que serviços e profissionais estejam disponíveis nos locais mais necessários. Além disso, ao analisar as estatísticas por diferentes grupos demográficos, é possível identificar desigualdades em saúde e direcionar esforços para reduzi-las.

Vamos explorar algumas estatísticas-chave da epidemiologia:

**Taxa de incidência:** número de novos casos de uma doença em uma população específica durante um determinado período. Exemplo: Se em uma cidade com 100 000 habitantes, 500 novos casos de uma doença ocorrerem em um ano, a taxa de incidência seria 500/100 000.

$$I = \text{Número de novos casos} / \text{População em risco} \cdot (10^n)$$

**Prevalência:** número total de casos de uma doença em uma população em um determinado momento. Exemplo: Se em uma cidade de 100 000 habitantes, 500 pessoas têm uma doença específica, a prevalência seria 500/100 000.

$$P = \text{Número de pessoas com a doença} / \text{População em risco} \cdot (10^n)$$

**Razão de mortalidade:** número de mortes devido a uma doença em relação à população total. Exemplo: Se, em um ano, 500 pessoas morrerem de uma doença em uma cidade de 100 000 habitantes, a razão de mortalidade seria 500/100 000.

$$\text{Taxa de mortalidade geral} = \text{Número de óbitos no período} / \text{População no meio do período} \cdot (10^n)$$

A taxa de incidência, a prevalência e a taxa de mortalidade geralmente são expressas em casos por 100 (%) ou por 1000 (‰) pessoas, por isso multiplica-se o resultado pelo fator de conversão que é dado por  $10^n$ .

**Risco relativo:** medida de quão provável um grupo é de desenvolver uma doença quando comparado a outro grupo. Exemplo: Se o risco de desenvolver uma doença é duas vezes maior em um grupo exposto em comparação a um grupo não exposto, o risco relativo seria 2.



1. Suponha que você está investigando a incidência de dengue em uma cidade de 6 000 habitantes. A cidade teve, no mês de dezembro de 2023, 5 casos de dengue. No primeiro mês de 2024, a cidade teve 10 novos casos da doença, dobrando, portanto, o número do mês anterior. Calcule a taxa de incidência de dengue para essa comunidade e explique por que essa taxa é importante.

### Resolução:

A fórmula da taxa de incidência é dada por:

$$\text{Taxa de incidência} = (\text{número de novos casos/população em risco}) \cdot \text{fator de conversão}$$

Substituindo os valores conhecidos:

$$\text{Taxa de incidência} = (10/6000) \cdot 1000$$

A taxa de incidência de dengue na comunidade é de 1,6 por 1000 pessoas. A taxa de incidência é importante, pois acompanha o número de novos casos em uma população, fornecendo percepções acerca da dinâmica das doenças. Ela permite avaliar a eficácia de intervenções de saúde pública ao comparar as taxas antes e depois das ações, além de ajudar a identificar grupos mais vulneráveis, orientando estratégias específicas de proteção.

## Principais doenças no Brasil

O panorama de saúde no Brasil reflete diversos desafios, inclusive os casos de algumas doenças contemporâneas, que afetam a população e demandam uma atenção especial do SUS.

Entre elas, temos a **dengue**, que é uma doença viral transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*. Existem quatro tipos do vírus, e a infecção pode variar de leve a grave. Os sintomas incluem febre alta, dor de cabeça, dor nos olhos, dores musculares e articulares, erupção cutânea e, em casos graves, pode levar a complicações sérias. O SUS concentra esforços na prevenção e controle da doença promovendo campanhas de conscientização, eliminação de criadouros e fornecendo o tratamento adequado. Desde dezembro de 2023, a vacina contra dengue foi incorporada no SUS.

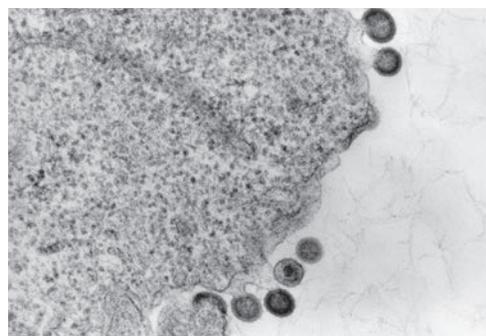
Outro exemplo é a **tuberculose**, uma infecção bacteriana causada pelo *Mycobacterium tuberculosis*. Ela afeta principalmente os pulmões, mas pode ocorrer em outros órgãos. Os sintomas incluem tosse persistente, febre, perda de peso, fadiga, suores noturnos e, em casos avançados, podem ocorrer dificuldades respiratórias. Medidas individuais de prevenção incluem manter ambientes bem ventilados, higiene da tosse (proteger a boca com um lenço ou com o antebraço ao tossir e espirrar) e evitar aglomerações. O SUS realiza ações específicas para o diagnóstico precoce, tratamento eficaz e prevenção da tuberculose, visando reduzir sua incidência.

A infecção pelo HIV (Vírus da Imunodeficiência Humana) ataca o sistema imunológico, podendo levar à **Síndrome da Imunodeficiência Adquirida** (aids). Nas fases iniciais, os sintomas podem incluir febre, fadiga e dor de cabeça. Já na fase avançada, há uma vulnerabilidade extrema a infecções oportunistas e cânceres. Embora presente em todo o país, a incidência do HIV/aids pode variar, sendo mais acentuada em áreas urbanas. A prevenção individual relaciona-se ao uso de preservativos durante a relação sexual e ao não compartilhamento de seringas e agulhas. O SUS oferece preservativo masculino gratuitamente, tratamento antirretroviral sem custo, promove campanhas de prevenção e realiza testes de detecção, visando controlar a disseminação do vírus.



khlungcenter/Shutterstock.com

O principal vetor da dengue é a fêmea contaminada do mosquito *Aedes aegypti*. Chikungunya e zika são doenças também transmitidas pelo *Aedes aegypti* e apresentam alguns sintomas semelhantes. Eliminar o mosquito é fundamental para controlar essas doenças.



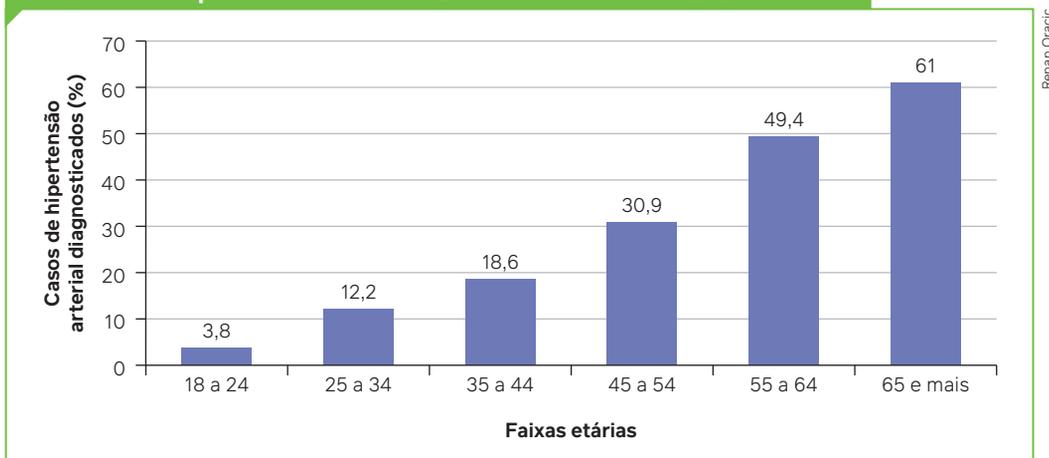
DENNIS KUNKEL MICROSCOPY/SPL/Fotoarena

Vírus HIV (partículas mais escuras), causador da aids, infectando células do sistema imune humano. Fotomicrografia feita com microscópio eletrônico de transmissão. Aumento aproximado de 3200 vezes.

No Brasil, também ocorre a **leishmaniose**, que é uma doença parasitária causada por protozoários do gênero *Leishmania*, transmitida por picadas de fêmeas infectadas do mosquito do gênero *Lutzomyia*. Os sintomas podem variar, desde úlceras na pele até formas mais graves que afetam órgãos internos, provocando febre, perda de peso e anemia. A leishmaniose é mais prevalente em regiões quentes e úmidas, sendo uma preocupação em algumas áreas do país. As medidas de prevenção incluem reduzir a proliferação do mosquito e se proteger das picadas com uso de repelentes e mosquiteiros, usar telas em portas e janelas, principalmente em áreas de prevalência do mosquito. O SUS dedica esforços à prevenção, diagnóstico e tratamento da leishmaniose, buscando reduzir sua incidência.

Já a **hipertensão arterial** é caracterizada pela pressão arterial elevada nas artérias, o que pode sobrecarregar o coração e ocasionar complicações. Geralmente, é assintomática, mas em estágios avançados podem ocorrer dores de cabeça, tonturas, visão embaçada e, em casos mais graves, insuficiência cardíaca. Estudos apontam que, no Brasil, a hipertensão é uma doença com maior prevalência em adultos acima de 55 anos. A prevenção da hipertensão inclui adotar um estilo de vida saudável, com alimentação equilibrada e evitando o excesso de sal e comidas gordurosas, além da prática regular de atividade física, evitar o fumo e o consumo de álcool. Estratégias do SUS incluem a promoção de hábitos saudáveis, detecção precoce e tratamento medicamentoso da hipertensão para prevenir complicações cardiovasculares.

### Prevalência de hipertensão arterial diagnosticada em maiores de 18 anos nas capitais brasileiras e Distrito Federal em 2021



Fonte: BRASIL. Ministério da Saúde. *Brasil 2021: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico*. Brasília, DF: VIGITEL, 2021. p. 93. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel\\_brasil\\_2021.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel_brasil_2021.pdf). Acesso em: 13 jul. 2024.

## Atividades propostas

1. Analise os dois estudos epidemiológicos a seguir e identifique se são estudos analíticos ou descritivos. Depois diferencie os dois tipos e explique por que ambos são fundamentais para o entendimento das doenças na comunidade.

O estudo **I** investigou a incidência de diabetes tipo 2 em uma determinada região ao longo de 10 anos. Ele analisou dados de registros de saúde para determinar quantas novas ocorrências de diabetes foram registradas a cada ano e como essa incidência variou ao longo do tempo.

O estudo **II** investigou a associação entre o tabagismo e o câncer de pulmão. Comparou a incidência de câncer de pulmão em um grupo de fumantes com a incidência em um grupo de não fumantes, controlando outros possíveis fatores de confusão, como idade e histórico familiar de câncer.

2. (Enem – 2022) De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a filariose e a leishmaniose são consideradas doenças tropicais infecciosas e constituem uma preocupação para a saúde pública por ser alto o índice de mortalidade a elas associado.

Uma medida profilática comum a essas duas doenças é o(a)

- a) incineração do lixo orgânico.
- b) construção de rede de esgoto.
- c) uso de vermífugo pela população.
- d) controle das populações dos vetores.
- e) consumo de carnes vermelhas bem cozidas.



## Conhecer e prevenir: saúde em nossa comunidade

O cuidado com a saúde não é apenas uma necessidade individual, mas uma responsabilidade compartilhada. O entendimento das enfermidades e, em especial, daquelas que circulam em nossa região, não apenas fortalece nossa defesa pessoal, como também contribui para o bem-estar coletivo, pois nos permite adotar medidas preventivas individual e coletivamente. Identificar os riscos locais é um passo importante para um estilo de vida mais seguro.

O avanço científico é a maior ferramenta na compreensão das doenças. A tecnologia possibilita mapear surtos, entender os fatores de propagação e desenvolver métodos de prevenção mais eficazes. Por meio da pesquisa, é possível antecipar e mitigar os impactos negativos na saúde da comunidade.

### Material:

- caderno de campo;
- dispositivos eletrônicos com acesso à internet para pesquisa.

### Procedimento

#### Etapa 1 – Pesquisa em grupo

**Objetivo:** Compreender as doenças mais comuns na comunidade.

1. Reúnam-se em grupos, pesquisem e elenquem as três doenças mais comuns na sua comunidade. Pesquisem a respeito de cada doença: como é adquirida, qual a incidência na comunidade, faixa etária afetada, impacto socioeconômico, medidas de prevenção e tratamento disponíveis na rede pública de saúde. Compartilhem as informações com os outros grupos.

#### Etapa 2 – Estudo de caso pessoal

**Objetivo:** Compreender as experiências pessoais relacionadas às doenças mais comuns na comunidade.

1. Cada estudante escolherá uma pessoa do seu convívio que tenha enfrentado uma das doenças pesquisadas na primeira etapa. Realize uma entrevista para entender não apenas os aspectos físicos, mas também os emocionais e financeiros associados à doença e ao tratamento. Façam um registro das informações coletadas e preparem uma breve apresentação para compartilhar com a turma.
2. Com base nos dados levantados nas duas etapas, elaborem coletivamente propostas para melhorar a prevenção das doenças mais comuns na sua comunidade. Divulguem as medidas preventivas na comunidade escolar.

### Trocando ideias



1. Quais aspectos da vida pessoal e coletiva são impactados pelas doenças mais comuns na comunidade?
2. Quais as possíveis soluções para melhorar a prevenção e o tratamento das doenças mais comuns na comunidade? Registrem as propostas de maneira clara, destacando os benefícios esperados.

## Saúde ambiental e ocupacional

A saúde humana é intrinsecamente conectada ao ambiente em que vivemos e ao trabalho que realizamos diariamente. A saúde ambiental e a saúde ocupacional emergem como campos vitais para compreender e promover o bem-estar social.

A **saúde ambiental** foca os elementos que nos cercam, examinando como a qualidade do ar e da água, a presença de agentes patogênicos e até mesmo as mudanças climáticas e a ausência de atividades de lazer influenciam a saúde humana. A **saúde ocupacional** concentra-se nas condições do ambiente de trabalho, considerando riscos físicos, químicos, biológicos, psicológicos e ergonômicos que podem impactar a saúde dos trabalhadores.



Cesar Diniz/Pulsar Imagens

Agentes municipais de vigilância em saúde no combate aos focos de mosquitos *Aedes aegypti* atuam na saúde ambiental. São Paulo (SP), 2024.

## Impacto ambiental na saúde pública

A poluição do ar, resultante da emissão de poluentes como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado, assim como a fumaça do cigarro em ambientes internos, podem ter efeitos significativos na saúde respiratória. Doenças respiratórias, como asma e bronquite, podem ser exacerbadas pela exposição prolongada à poluição do ar. Além disso, partículas finas podem penetrar nos pulmões, contribuindo para problemas cardiovasculares.

A presença de substâncias tóxicas na água, seja de origem industrial, agrícola, seja doméstica, representa uma ameaça à saúde pública. A ingestão de contaminantes químicos, como mercúrio, solventes e pesticidas, a longo prazo, também está associada a distúrbios gastrointestinais e problemas neurológicos. Além disso, algumas doenças também podem ser transmitidas pelo consumo de água não tratada, como cólera e hepatite A.

Mudanças nos padrões de transmissão de doenças, como a malária, podem ocorrer devido à perturbação de habitats naturais. Além disso, o desmatamento e a perda de biodiversidade podem levar à extinção de plantas potencialmente medicinais, prejudicando a busca por novos tratamentos.

A exposição constante a níveis elevados de ruído pode ter implicações na saúde mental e física. Distúrbios do sono, estresse crônico e problemas auditivos são algumas consequências da poluição sonora, afetando a qualidade de vida, principalmente das populações urbanas.

O descarte inadequado de resíduos sólidos contribui para a poluição ambiental. A contaminação do solo e da água por substâncias presentes nos resíduos pode resultar em diversos problemas de saúde, como distúrbios gastrointestinais. A proliferação de insetos e roedores transmissores de doenças também é uma preocupação decorrente do descarte inadequado de resíduos.

O saneamento básico é uma estratégia de saúde pública garantida pelo SUS por meio da Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Garantir o abastecimento populacional com água potável, coleta e tratamento de esgoto e dos resíduos sólidos é fundamental para se obter a prevenção e o controle de doenças.

O acesso à água potável evita doenças como diarreia, cólera, hepatite A, leptospirose, febre tifoide, esquistossomose e salmonelose. A coleta e destinação final adequada dos resíduos sólidos diminuem a proliferação de vetores de doenças como febre amarela, dengue e leishmaniose.

Os sistemas de coleta e tratamento de esgoto promovem melhorias sanitárias e habitacionais que, por sua vez, contribuem para a redução de diarreias, verminoses, esquistossomose, cisticercose e teníase.



O desmatamento afeta o ecossistema e provoca diversos problemas socioambientais. Vista aérea de área desmatada na Floresta Amazônica. Autazes (AM), 2023.

MICHAEL DANTAS/AFP/Getty Images



O descarte irregular de resíduos em lixões causa diversos problemas ambientais. Depósito de lixo doméstico a céu aberto. Galinhos (RN), 2021.

Leo Caldas/Pulsar Imagens

## Riscos à saúde no ambiente de trabalho

Os locais em que realizamos nossas atividades profissionais podem apresentar uma série de desafios à saúde. Substâncias químicas presentes no ambiente de trabalho, como solventes, metais pesados e produtos químicos industriais, podem causar irritações, alergias, danos aos órgãos internos e, em alguns casos, efeitos carcinogênicos.

Fatores como ruído, vibração, radiação e temperaturas extremas podem afetar a saúde dos trabalhadores, provocando problemas auditivos, lesões musculoesqueléticas, distúrbios térmicos e outros impactos físicos. Por esses motivos, torna-se imprescindível o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) no ambiente de trabalho.

Algumas condições de trabalho podem promover desconforto físico, fadiga, problemas posturais, lesões por esforço repetitivo (LER), dores nas costas e distúrbios musculares associados a atividades laborais repetitivas.

Pressões e demandas excessivas no ambiente de trabalho podem gerar distúrbios psicológicos, como ansiedade e depressão, além de impactos fisiológicos, como distúrbios do sono e problemas cardiovasculares.

Comportamentos inadequados no ambiente de trabalho, incluindo assédio moral, sexual e discriminação, causam impactos psicológicos significativos, como estresse crônico, ansiedade e depressão; além de problemas sociais e profissionais, como baixa autoestima, insegurança, queda na produtividade, sentimento de culpa, entre outros.



É necessário usar equipamentos de proteção individual (EPI) no exercício de algumas profissões, uma vez que a sua função é minimizar as chances de acidentes no trabalho.

### Atividades propostas



1. A instalação de uma empresa de fundição em uma cidade de pequeno porte, próxima à área rural, é um evento significativo que pode ter impactos amplos e duradouros tanto no meio ambiente quanto na saúde da comunidade local. A fundição é uma indústria que envolve processos complexos de fusão de metais, moldagem e fabricação de peças, e esses processos podem gerar uma série de desafios ambientais e ocupacionais. Pesquise as características desse setor industrial, identifique a possível toxicidade dos resíduos e cite medidas importantes para promover a saúde ambiental e ocupacional.
2. Analisem o ambiente escolar e identifiquem as necessidades relacionadas à saúde, segurança e bem-estar dos estudantes e funcionários. Em grupos, percorram a escola e anotem o que perceberam necessitar de melhorias. Em sala, proponham ações de melhorias e destaquem o que pode ser feito pelos estudantes. Apresentem suas propostas ao restante da turma, justificando suas escolhas e destacando a importância das medidas propostas para a saúde e segurança no ambiente escolar. Ouçam as propostas dos colegas, estructurem um documento e apresentem à gestão da escola.
3. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2021, cerca de 1,5 milhão de brasileiros não tinham acesso regular à água potável. Em regiões mais remotas e em comunidades de baixa renda, a falta de infraestrutura adequada muitas vezes resulta em condições precárias de saneamento básico. A falta de acesso à água potável contribui para a propagação de doenças como diarreia, cólera, hepatite A, entre outras, que representam sérios riscos à saúde. A escassez de água de qualidade agrava as condições de saúde em comunidades que já lidam com desafios, como desnutrição e falta de acesso a serviços de saúde adequados. A carência de acesso à água potável frequentemente reflete e amplifica as desigualdades sociais, impactando mais severamente as populações vulneráveis.

Pesquise por informações acerca dos domicílios com acesso à água potável e coleta de esgoto em seu município. Elabore um texto sobre as condições sanitárias que você investigou. Compartilhe as informações com os colegas.

## Desafios e futuro da saúde pública

A saúde pública enfrenta desafios complexos que ultrapassam fronteiras e demandam abordagens globais. No cenário internacional, a pandemia de covid-19 evidenciou a importância da prontidão e da resposta global diante de emergências de saúde. A rápida disseminação de patógenos e as dificuldades no acesso às vacinas, destacam a necessidade de cooperação internacional em períodos de crises.

Além das pandemias, as mudanças climáticas representam outro desafio global. As alterações climáticas impactam os padrões de doenças, alterando, entre outros fatores, a disseminação de vetores e aumentando a frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a adaptação dos sistemas de saúde, a mitigação dos impactos na saúde e a promoção de práticas sustentáveis tornam-se imperativas.

Outro ponto importante é a persistente desigualdade em saúde em escala global. As disparidades no acesso aos cuidados de saúde e recursos prejudicam a saúde de populações vulneráveis. O desafio, portanto, está na promoção da equidade, acesso universal aos serviços de saúde e na redução das disparidades socioeconômicas em nível global.

No contexto brasileiro, o Sistema Único de Saúde (SUS) enfrenta desafios relacionados à sua estrutura, capacidade de atendimento, infraestrutura e financiamento. Para fortalecer o sistema de saúde, é essencial investir na eficiência, ampliação do acesso e melhoria da infraestrutura.

O envelhecimento populacional também figura como um desafio futuro. Com o aumento da expectativa de vida, é preciso adaptar os serviços de saúde, promover o envelhecimento saudável e lidar com as doenças crônicas associadas à idade.



Deifim Martins/Pulsar Imagens

O uso de equipamentos de proteção individual (EPI) pelos profissionais de saúde e a realização de testes foram fundamentais na pandemia da covid-19, especialmente quando o número de casos de contaminação, internações e óbitos estavam elevados e ainda não havia vacinas disponíveis.



fizkes/Shutterstock.com



A atenção e cuidado com a saúde, incluindo exames periódicos nas diversas fases da vida, são fundamentais para o envelhecimento saudável.

A Resistência Antimicrobiana (RAM) representa uma ameaça à eficácia dos tratamentos médicos em todo o mundo. O uso inadequado de antibióticos e outros agentes antimicrobianos contribuem para essa resistência, exigindo estratégias que promovam o uso responsável desses medicamentos e estimulem a pesquisa de novas alternativas terapêuticas.



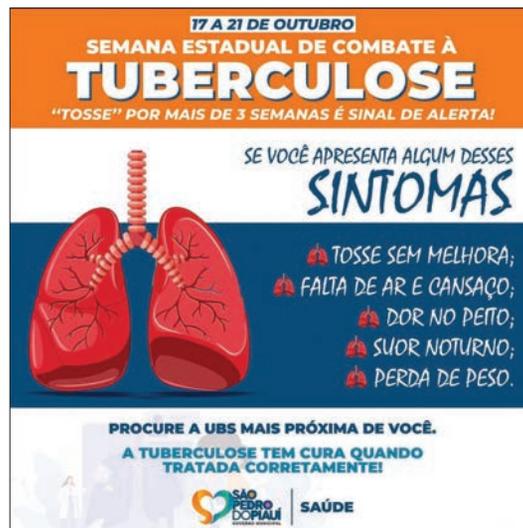
O trânsito intenso de pessoas, como as que viajam para diferentes estados e países de avião, dificulta o controle de doenças transmissíveis. Aeroporto de Congonhas em São Paulo (SP), 2019.

Ainda nessa direção, a interação constante com ambientes digitais e o uso intenso de redes sociais colocam em evidência a importância de ações para promover a saúde mental na era digital. Nesse cenário, é crucial conscientizar sobre o impacto da exposição digital e promover o uso equilibrado da tecnologia ao mesmo tempo em que são oferecidos recursos de apoio *on-line* para a saúde mental.

## Atividades propostas



1. Analise o cartaz de uma campanha do SUS, considerando a importância da conscientização acerca de questões de saúde pública na promoção do bem-estar coletivo. Elabore um pequeno texto sobre o assunto e forneça outros exemplos práticos.



## Recapitule



Ao longo deste capítulo, foram exploradas as complexidades e desafios que envolvem a saúde pública, destacando sua importância para o bem-estar coletivo. O capítulo apresentou as políticas de saúde e o acesso aos serviços, identificando barreiras e desigualdades no sistema de saúde, além de reflexões sobre como as políticas podem ser moldadas para promover a equidade e garantir que todos tenham acesso a cuidados de qualidade. Retome a seguinte questão de abertura desta Unidade: "Como a atividade física, alimentação saudável e equilíbrio mental favorecem a qualidade de vida?" Em seguida, elabore uma resposta por meio de um mapa conceitual, utilizando os conceitos abordados nos Capítulos 21, 22, 23 e 24.



## Mudanças climáticas e os impactos na Saúde Pública

Na última década, as pesquisas têm apontado que os efeitos na saúde provocados pelas mudanças climáticas estão surgindo mais rapidamente e de forma mais grave do que se esperava. Sabe-se ainda que eles não atingem todas as pessoas da mesma maneira. Em um balanço do problema realizado em 2022, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que 3,6 bilhões de pessoas vivem em zonas altamente sensíveis. Em sua maioria, os mais afetados são habitantes de países com baixo índice de desenvolvimento econômico, que pouco ou nada fizeram para mitigar as mudanças climáticas.

Além dos riscos e efeitos imediatos relacionados aos fenômenos extremos (ondas de calor, tempestades e inundações), a OMS chama a atenção para uma série de outras transformações que deverão impactar diretamente tanto a saúde das populações quanto a capacidade de resposta dos sistemas de saúde. Veja, a seguir, alguns desses problemas:

- aumento de incidência de zoonoses durante e nos períodos posteriores a eventos catastróficos;
- aumento dos vetores que transmitem doenças, como os mosquitos;
- piora na qualidade da água disponível e, conseqüentemente, menor disponibilidade e maior preço associado à água potável;
- ampliação do número de pessoas em situação de insegurança alimentar e doenças correlatas à desnutrição e alimentação inadequada;
- aumento nos casos de doenças respiratórias provocadas pela piora na qualidade do ar.

A OMS alerta ainda que as situações de sobrecarga nos sistemas de saúde atrapalham e, por vezes, inviabilizam os atendimentos preventivos, como a realização de exames e de cirurgias eletivas. Os riscos também serão sentidos de maneira desproporcional por pessoas em situação de vulnerabilidade social e física, como as crianças e os idosos.

Outros efeitos inevitáveis serão os decorrentes de deslocamentos de populações que vivem em áreas atingidas diretamente por catástrofes, como ambientes costeiros e ilhas. Essas mudanças populacionais acabam gerando aumento na demanda por atendimento de saúde, tensionando os sistemas de atendimento já sobrecarregados.

Nesse cenário, as ferramentas de monitoramento da saúde pública tornam-se essenciais para planejar e organizar o atendimento e os recursos humanos e financeiros disponíveis; por exemplo, ferramentas que viabilizem coleta de dados sobre a saúde das pessoas de forma confiável, sistemática e ininterrupta, especialmente durante momentos de crise.



Seca extrema na Amazônia dificultou o deslocamento da população e o acesso a serviços de saúde. Tefé (AM), 2023.

Bruno Kelly/Reuters/Fotoarena



NELSON ALMEIDA/AFP/Getty Images

Eventos climáticos extremos podem causar danos a moradias. Provocando o deslocamento de pessoas e o uso de abrigos improvisados que podem ter condições favoráveis à transmissão de algumas doenças. Porto Alegre (RS), 2024.

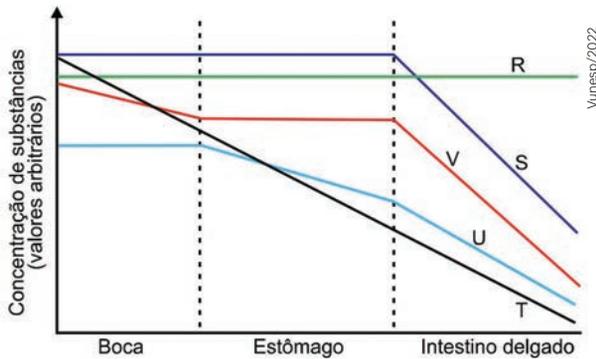
### Agora é com você!

Identifique de que maneira as mudanças climáticas ameaçam a sua região e quais problemas de saúde poderão se tornar cada vez mais frequentes. Depois, planeje e elabore um projeto de ciência cidadã para que se possa acompanhar, por meio de ferramentas de monitoramento, a saúde individual e coletiva de sua comunidade.





1. (FCMSC-SP – 2022) Diversos compostos químicos presentes nos alimentos podem ou não ser transformados ao longo do tubo digestório. O gráfico ilustra possíveis transformações de três compostos: ácidos nucleicos, proteínas e celulose.



As curvas que correspondem às possíveis concentrações de ácidos nucleicos, proteínas e celulose são, respectivamente,

- V, U e T.
  - S, T e U.
  - S, U e R.
  - R, V e R.
  - R, U e V.
2. (Fuvest-SP – 2022) A figura sintetiza, de forma simplificada, a variação da pressão sanguínea (mmHg), da velocidade de circulação sanguínea (cm/s) e da área total (cm<sup>2</sup>) em relação aos diversos tipos de vasos do sistema sanguíneo humano (artérias, arteríolas, capilares, vênulas, capilares, vênulas e veias):

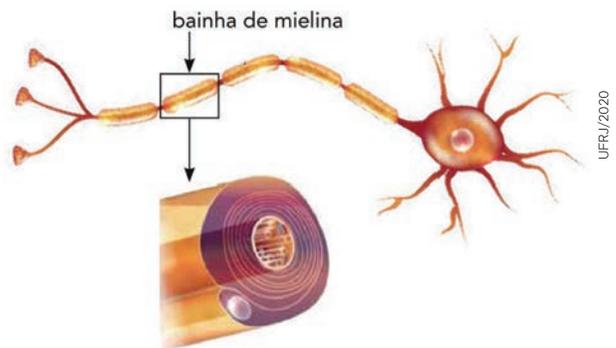


Com base na figura, é correto afirmar que

- a velocidade aumenta nas vênulas, o que permite às hemoglobinas descarregarem o O<sub>2</sub>.
- a pressão sanguínea cai nos capilares, vênulas e veias pela presença de válvulas nesses vasos.
- a pressão diminui a partir dos capilares, o que evita acidentes vasculares em vasos menores.
- a área aumenta na região dos capilares, o que permite maior eficiência nas trocas gasosas.

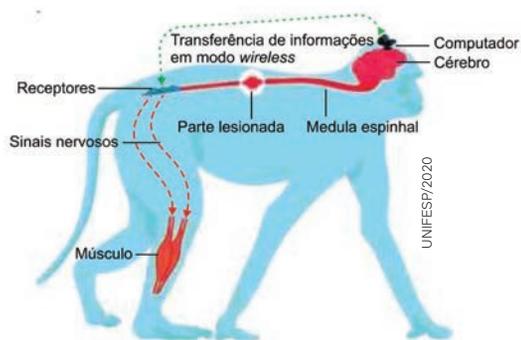
e) a velocidade é inversamente proporcional à área por conta do batimento sistólico do coração.

3. (Uece – 2023.1) Em relação às estruturas e funções dos tecidos animais, é correto afirmar que o tecido
- epitelial apresenta grande quantidade de substância intercelular, ou seja, as células ficam bem separadas.
  - conjuntivo pode ser classificado em três tipos: estriado esquelético, estriado cardíaco e não estriado.
  - muscular apresenta grande capacidade de contração devido à presença de células que possuem filamentos de miosina e actina.
  - nervoso pode ser classificado em glandular e de revestimento.
4. (Uerj – 2020) O axônio de algumas células nervosas é envolvido pela bainha de mielina, uma membrana plasmática rica em lipídeos. Observe:

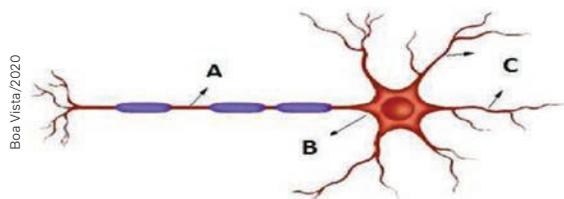


A composição da bainha de mielina permite que ela desempenhe a seguinte função:

- isolar o impulso nervoso.
  - aumentar a polarização do neurônio.
  - fornecer energia para o sinal elétrico.
  - estimular a bomba de sódio-potássio.
5. (Unifesp-SP – 2020) Pesquisadores conseguiram fazer com que macacos que sofriam de paralisia em uma das pernas, devido a lesões na espinha, pudessem retomar o movimento com o uso de um dispositivo *wireless* implantado no cérebro. Os macacos tiveram *chips* implantados nas partes do cérebro que controlam o movimento. Os *chips* detectam os impulsos elétricos com as instruções para mexer a perna e enviam os dados para um computador sobre a cabeça dos macacos. O computador decifra as mensagens e envia as instruções em modo *wireless* para receptores, adaptados à coluna, que estimulam os nervos correspondentes por meio de sinais elétricos. A transferência de informações em modo *wireless* ocorre sempre em um único sentido.



- a) Que células interagem com os *chips* implantados no cérebro dos macacos? Como se denominam os nervos que conectam a medula espinhal às células musculares que movimentam a perna dos macacos?
- b) Ao espetar com um alfinete a perna que sofre paralisia, há reação de afastamento repentino da perna, porém os macacos não sentem que foram espetados. Qual o papel da medula espinhal nesse afastamento repentino? Por que a transferência de informações em modo *wireless* não permite que os macacos sintam que essa perna foi espetada pelo alfinete?
6. (IFRR-CBV – 2020.1) O neurônio é uma célula de imensa importância para que ocorra o impulso nervoso e conseqüentemente funcione o Sistema Nervoso Central presente no corpo humano. Analise a imagem esquemática abaixo e marque a alternativa correta correspondente aos nomes que devem ocupar o lugar de cada letra destacada.

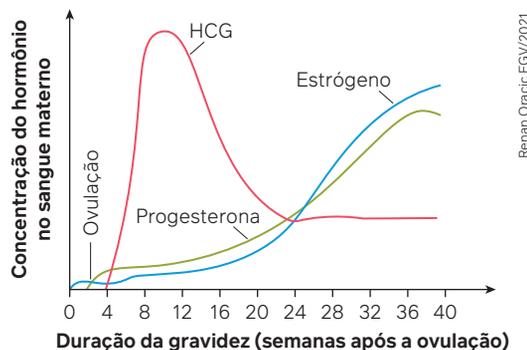


- a) A (Axônio), B (Botão Sináptico) e C (Dendrito).  
 b) A (Corpo Celular), B (Axônio) e C (Dendrito).  
 c) A (Axônio), B (Corpo Celular) e C (Dendrito).  
 d) A (Dendrito), B (Corpo Celular) e C (Axônio).  
 e) A (Capilar nervoso), B (Corpo Celular) e C (Dendrito).
7. (UFRGS-RS – 2019) O número de pessoas que se recusam a vacinar seus filhos, influenciadas principalmente por informações não científicas veiculadas nas redes sociais, tem crescido significativamente. Considere as seguintes afirmações sobre as vacinas.
- I - A volta de doenças que já haviam sido controladas no país está relacionada à resistência às vacinas, desenvolvida pelos organismos patogênicos.
- II - A base do funcionamento das vacinas é a produção de células de memória que facilitarão a proteção

contra o patógeno, em contatos futuros.

- III - As vacinas consistem em anticorpos isolados de microrganismos causadores de doenças ou mesmo de microrganismos vivos.
- Quais estão corretas?
- a) Apenas I.  
 b) Apenas II.  
 c) Apenas III.  
 d) Apenas II e III.  
 e) I, II e III.

8. (FGV – 2021) O gráfico mostra a variação da concentração dos hormônios HCG (Gonadotrofina Coriônica Humana), estrógeno e progesterona no sangue de mulheres gestantes.

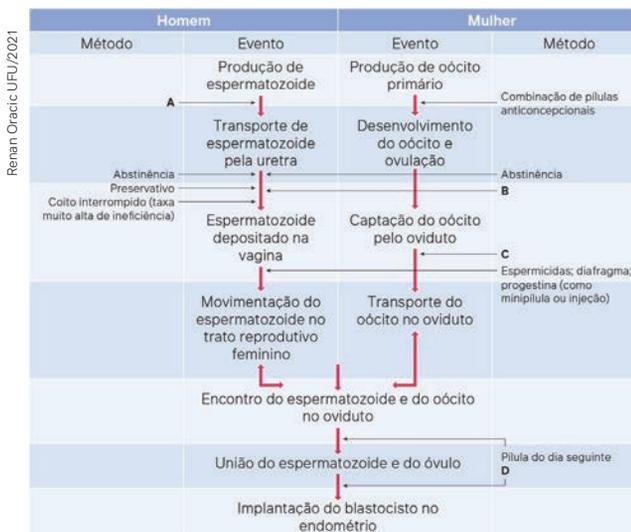


(John E. Hall. Guyton and Hall textbook of medical physiology, 2006. Adaptado.)

Uma mulher grávida teve de retirar os dois ovários na vigésima oitava semana após a ovulação. A gestação da criança foi mantida naturalmente após o procedimento porque

- a) a concentração de HCG no sangue materno já estava constante.  
 b) o estrógeno e a progesterona continuaram sendo produzidos pela placenta.  
 c) a ausência do corpo lúteo ovariano foi compensada pela ação do HCG.  
 d) a hipófise manteve a produção dos dois hormônios que mantêm o endométrio.  
 e) as tubas uterinas mantiveram a produção de progesterona e HCG.
9. (UEMG – 2019) O hormônio folículo estimulante, FSH, é secretado pela hipófise anterior e exerce função reprodutiva na mulher, estimulando o crescimento dos folículos ovarianos. No homem, esse hormônio também atua
- a) ativando o início da espermatogênese.  
 b) estimulando a secreção de testosterona.  
 c) formando os líquidos que fazem parte do sêmen.  
 d) no aparecimento das características sexuais secundárias.

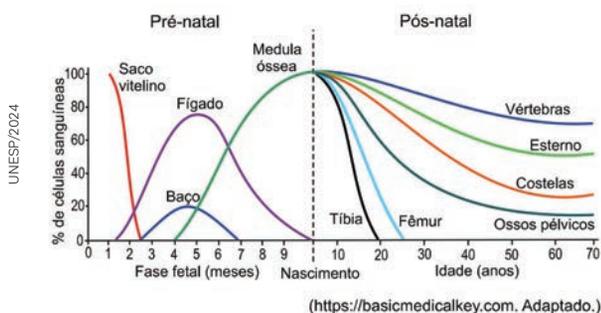
10. (UFU-MG – 2021) A figura, abaixo, apresenta os mecanismos de métodos contraceptivos. As setas horizontais indicam onde os métodos, os dispositivos ou os produtos interferem nos eventos desde a produção do espermatozoide e do ovócito primário até a implantação de um embrião humano em desenvolvimento.



A partir da análise da figura, conclui-se que os métodos indicados pelas letras A, B, C e D são, respectivamente,

- camisinha; anel vaginal; DIU e laqueadura tubária.
- vasectomia; preservativo feminino; laqueadura tubária e DIU.
- vasectomia; DIU; laqueadura tubária e diafragma.
- camisinha; diafragma; anel vaginal e preservativo feminino.

11. (Unesp – 2024) Analise o gráfico que apresenta a porcentagem de células sanguíneas (hematopoiese), que diferentes órgãos humanos produzem ao longo das fases pré-natal e pós-natal.



De acordo com o gráfico, as células sanguíneas são produzidas

- no início da fase pré-natal, por um anexo embrionário que reserva excretas nitrogenadas.

- no final da fase pré-natal, pela medula óssea amarela e pela medula óssea vermelha.
- na fase pré-natal, por um órgão responsável pela produção de sais biliares.
- na fase pós-natal, por órgãos do sistema locomotor ligados a músculos lisos.
- na fase pós-natal e a partir dos 30 anos de idade, pelos ossos do sistema esquelético axial.

12. (Unicamp-SP – Vestibular indígena – 2021)

## ASSÉDIO SEXUAL É DIFERENTE DE PAQUERA

**QUALQUER ATITUDE INVASIVA OU DESRESPEITOSA DE NATUREZA SEXUAL CONTRA UMA MULHER É CONSIDERADA UM ATO DE ASSÉDIO. POR EXEMPLO:**

- beijá-la à força
- tocar em suas partes íntimas sem seu consentimento
- não aceitar rejeição e continuar insistindo
- agredi-la física ou verbalmente depois de ser rejeitado

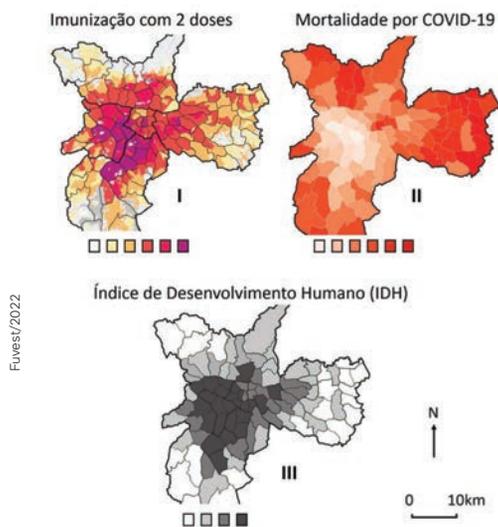
**ASSÉDIO SEXUAL É CRIME – LEI Nº 13.718/18**  
**PENA: RECLUSÃO DE 1(UM) A 5(CINCO) ANOS, SE O ATO NÃO CONSTITUIR CRIME MAIS GRAVE.**

SE PRESENCIOU OU FOI VÍTIMA DE ASSÉDIO SEXUAL,  
**DISQUE 180.**

Depreende-se dos dizeres do cartaz acima que

- um ato de assédio sexual pode acarretar o pagamento de multa pesada para o agressor.
- um ato realizado com a permissão expressa de uma mulher não é considerado assédio sexual.
- para ser considerado crime, o assédio sexual tem que necessariamente terminar em estupro.
- xingar ou insultar uma mulher depois de ter sido por ela recusado não é entendido como crime.

13. (Fuvest-SP – 2022) Os mapas mostram uma parte do município de São Paulo. O mapa I refere-se à população vacinada contra Sars-Cov-2; o mapa II refere-se à taxa de mortalidade por COVID-19; e o mapa III refere-se ao Índice de Desenvolvimento Humano. Tons mais claros indicam valores menores e tons mais escuros, valores maiores.



Disponível em: <https://www.labcidade.fau.usp.br/>. Maio/2021. Adaptado.

A partir desses dados, é correto afirmar que

- a efetividade da campanha de vacinação coincide com as áreas de maior IDH.
- a virulência das variantes de Sars-Cov-2 é menor em áreas de menor IDH.
- as vacinas em áreas de menor IDH demandam maior tempo para a resposta imunológica do indivíduo.
- a taxa de mortalidade varia porque a população no centro do município é maior e mais agregada.
- a prevalência das variantes de Sars-Cov-2 é maior em áreas de maior IDH.

14. (UFU-MG – 2023) Analise a charge abaixo.

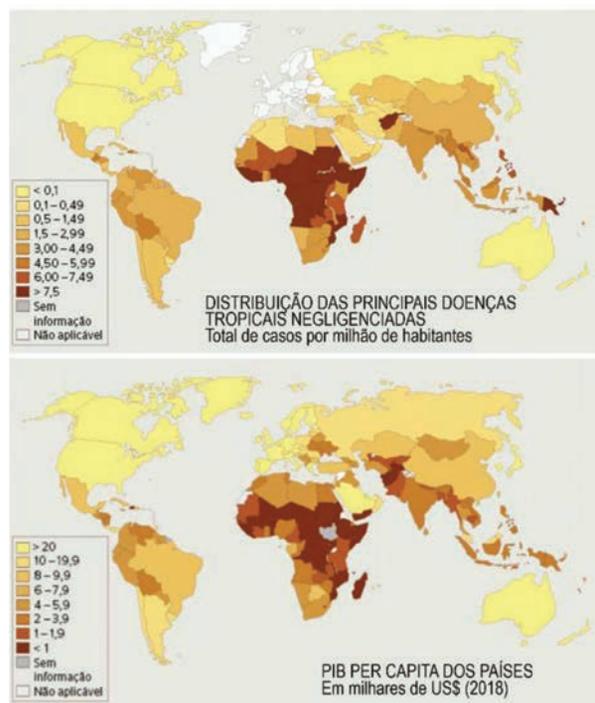


O movimento apresentado na charge tem implicações no retorno do sarampo no Brasil, pois o uso de vacina intensifica

- a imunização passiva, estimulando a produção de antígeno contra o agente causador da doença.
- a transferência de anticorpos prontos, suprimindo a produção de células de defesa no organismo.
- a resposta imunológica, estimulando a produção de anticorpos contra o agente causador da doença.

d) a produção de glóbulos vermelhos, neutralizando a resposta imunológica do agente causador da doença.

15. (Fuvest-SP – 2022) A pandemia da COVID-19 acendeu o alerta sobre os impactos que a rápida disseminação de enfermidades produz em um mundo cada vez mais globalizado. Além disso, ressaltou a importância das pesquisas científicas na descoberta, tratamento e controle de doenças tropicais negligenciadas, muitas delas recorrentes em diferentes países do mundo. Os mapas a seguir indicam as taxas de incidência de doenças tropicais negligenciadas (total de casos por milhão de habitantes) e o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* dos respectivos países.



Fabrizio Marques. "Uma agenda para as doenças esquecidas". Revista Pesquisa FAPESP, abril/2021. Adaptado.

Em relação à incidência de doenças tropicais negligenciadas, é correto afirmar:

- Na África, é maior nos países com os maiores PIB *per capita*, em especial na região subsaariana.
- Na Ásia, é menor nos países com os menores PIB *per capita*, com destaque para Ásia Setentrional.
- Na América do Sul, é menor nos países da América Platina, com os menores PIB *per capita* da região.
- Na América do Norte, com elevado PIB *per capita*, a incidência é menor em comparação ao Oriente Médio.
- Na Oceania, apesar do PIB *per capita* elevado, verifica-se alta incidência, com destaque para a Austrália.

# SEGURANÇA NO LABORATÓRIO



## Armário de reagentes

É fundamental verificar os símbolos e as informações presentes nos rótulos dos frascos de reagentes e nas fichas de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), que devem acompanhar esses produtos.

## Resíduos

Não devemos descartar os resíduos químicos diretamente nas pias. Siga as orientações do professor ou responsável pelo laboratório.

## Equipamentos de proteção

Calças compridas, calçados fechados, avental, óculos de proteção e luvas são equipamentos de proteção para a atividade prática.

## Gás e eletricidade

Devem ser utilizados com atenção e cuidado. A voltagem de equipamentos elétricos deve ser observada antes de ligá-los. Não devemos manipular substâncias inflamáveis próximas de chamas. Ao final das atividades, certifique-se de ter desligado o registro de gás e os interruptores elétricos.

### Primeiros socorros

Em caso de acidente, devemos comunicar ao professor ou a outro responsável da escola. Tente lembrar-se das substâncias químicas ou aparelhos eletrônicos envolvidos no acidente. Os telefones de emergência são 192 (Samu) e 193 (Corpo de Bombeiros).

### Capela de exaustão

Local onde se deve manipular substâncias que liberam gases ou vapores tóxicos e/ou inflamáveis, pois dispõe de um sistema de exaustão, que os impede de se concentrarem dentro do laboratório.

### Lava-olhos e chuveiro

Equipamento que permite a lavagem dos olhos e do corpo de maneira rápida. Caso uma substância química entre em contato com seu corpo, lave-se com água em abundância.

### O que fazer?

Devemos prestar muita atenção às explicações do professor antes de iniciar uma atividade prática. Se mesmo assim houver dúvidas ou acontecer algum imprevisto, comunique ao professor.

- Amarre cabelos longos.
- Não leve as mãos à boca, aos olhos ou ao nariz enquanto estiver no laboratório, principalmente ao manusear produtos químicos.
- Entre no laboratório apenas na presença de um responsável.
- Não se sente nas bancadas do laboratório.
- Nunca entre na sala de estoque de produtos químicos.
- Nos experimentos em que há aquecimento, fique atento à fonte de calor.
- Se quebrar ou derramar algo, avise o professor imediatamente.
- Não coloque produtos químicos na pia, a não ser que tenha sido orientado.
- Não coma ou beba no laboratório.

# Gabarito

## Unidade 1

### Capítulo 1

#### Página 21

Atividades propostas

5. b.

#### Página 27

Atividades propostas

2. b.

### Capítulo 2

#### Página 39

Atividades propostas

2. e.

### Capítulo 3

#### Página 60

Atividades propostas

2. b.

### Capítulo 4

#### Páginas 78 a 81

Enem e vestibulares

1. a.

2. c.

3. a.

4. b.

5. c.

6. e.

7. c.

8. 01, 02 e 08.

9. d.

10. d.

11. a.

12. b.

13. d.

15. b.

## Unidade 2

### Capítulo 5

#### Página 88

Atividades propostas

2. d.

#### Página 90

Atividades propostas

3. c.

#### Página 96

Atividades propostas

2. c.

### Capítulo 6

#### Página 110

Atividades propostas

1. a.

### Capítulo 7

#### Página 121

Atividades propostas

1. I-F;

II-V;

III-F;

IV-V.

2. c.

#### Página 125

Atividades propostas

1. e.

#### Página 128

Atividades propostas

1. e.

#### Página 130

Atividades propostas

2. c.

## Capítulo 8

### Página 134

Atividades propostas

3. c.

### Página 138

Atividades propostas

5. b.

### Páginas 148 a 151

Enem e vestibulares

1. d.

2. b.

3. d.

4. b.

5. a.

6. b.

7. d.

8. a.

9. d.

10. b.

11. e.

13. a.

14. b.

16. c.

17. d.

18. e.

19. c.

20. b.

## Unidade 3

### Capítulo 9

#### Página 165

Atividades propostas

3. a.

### Capítulo 10

#### Página 175

Atividades propostas

1. b.

## Capítulo 11

### Página 187

#### Atividades propostas

3. c.

## Capítulo 12

### Páginas 211 e 212

#### Atividades propostas

4. e.
6. c.
7. a-F; b-V; c-F; d-F.

### Páginas 213 a 215

#### Enem e vestibulares

1. a.
2. c.
4. a.
5. c.
6. e.
7. e.
8. c.
9. e.
10. a.
11. b.
12. b.
13. e.

## Unidade 4

### Capítulo 13

#### Páginas 233

#### Atividades propostas

1. I-V; II-F; III-V; IV-V.

### Capítulo 15

#### Página 254

#### Atividades propostas

2. b.

### Capítulo 16

#### Página 277

#### Atividades propostas

2. F-V-F-V-V.

## Páginas 292 e 293

#### Enem e vestibulares

1. e.
2. c.
4. d.
5. a.
6. b.
8. c.
9. a.

## Unidade 5

### Capítulo 17

#### Página 298

#### Atividades propostas

2. e.

### Capítulo 18

#### Página 328

#### Atividades propostas

4. a-V; b-V; c-F.

### Capítulo 19

#### Página 346

#### Atividades propostas

1. c.

### Capítulo 20

#### Páginas 363 a 365

#### Enem e vestibulares

1. d.
2. b.
4. b.
5. a.
7. a.
8. b.
10. c.
11. c.
12. b.

## Unidade 6

### Capítulo 21

#### Página 372

#### Atividades propostas

1. b.

#### Página 381

#### Atividades propostas

2. c.

#### Página 383

#### Atividades propostas

2. d.

### Capítulo 22

#### Página 391

#### Atividades propostas

2. a-V; b-F; c-F; d-V; e-V.

#### Página 398

#### Atividades propostas

1. I. V; II. V; III. F; IV. F.

### Capítulo 23

#### Página 419

#### Atividades propostas

1. a.

### Capítulo 24

#### Página 431

#### Atividades propostas

1. d.

#### Páginas 438 a 441

#### Enem e vestibulares

- |       |        |
|-------|--------|
| 1. c. | 9. a.  |
| 2. d. | 10. b. |
| 3. c. | 11. c. |
| 4. a. | 12. b. |
| 6. c. | 13. a. |
| 7. b. | 14. c. |
| 8. b. | 15. d. |

## Referências comentadas

- ADL, S. M. *et al.* Revision on the classification, nomenclature, and diversity of Eukaryotes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, New York, v. 66, n. 1, p. 4-119, 2019.  
Revisão da classificação de eucariotos que subsidia a classificação em larga escala.
- ALBERTS, B. *et al.* *Biologia molecular da célula*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.  
Obra que oferece uma análise detalhada dos processos moleculares que ocorrem nas células.
- AVANZI, I. R. *Áreas afetadas por BTEX na região de Cubatão: isolamento de microrganismos com potencial para a biorremediação e impactos ambientais causados por estes compostos*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.  
Estudo que relata o isolamento e a caracterização de quatro cepas de bactérias de um solo contaminado com BTEX em Cubatão (SP).
- BALDAUF, S. L. An overview of the phylogeny and diversity of eukaryotes. *Journal of Systematics and Evolution*, Beijing, v. 46, n. 3, p. 263-273, 2008. Disponível em: <https://www.jse.ac.cn/EN/10.3724/SP.J.1002.2008.08060>. Acesso em: 30 jul. 2024.  
O artigo traz uma visão geral das hipóteses filogenéticas relacionadas à evolução dos eucariotos, apresentando os principais grupos e características.
- BARRESI, M. J. F.; GILBERT, S. F. *Development Biology*. 12. ed. Nova York: Oxford University Press, 2020.  
Livro que aborda a biologia do desenvolvimento dos organismos multicelulares.
- BELSHE, R. B. The Origins of Pandemic Influenza – Lessons from the 1918 Virus. *The New England Journal of Medicine*, Waltham, v. 353, p. 2209-2211, 2005.  
Artigo aborda as origens e as variações das cepas do vírus influenza.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Brasil 2021: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico*. Brasília, DF: MS, 2021. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel\\_brasil\\_2021.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel_brasil_2021.pdf). Acesso em: 13 jul. 2024.  
Relatório apresenta dados sobre hábitos e comportamentos de risco da população brasileira relacionados a doenças crônicas.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Livro vermelho da Fauna Brasileira ameaçada de extinção*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: ICMBio, 2018. v. 3.  
Publicação que lista as espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção.
- BRETAS, R. V.; YAMAZAKI, Y.; IRIKI, A. Phase transitions of brain evolution that produced human language and beyond. *Neuroscience Research*, [s. l.], v. 161, p. 1-7, dez. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168010219304882>. Acesso em: 10 jun. 2024.  
O artigo contempla as transições evolutivas no cérebro que possibilitaram o desenvolvimento da linguagem humana.
- BRINKMANN, H. Complete Mitochondrial Genome Sequences of the South American and the Australian Lungfish: Testing of the Phylogenetic Performance of Mitochondrial Data Sets for Phylogenetic Problems in Tetrapod Relationships. *Journal of Molecular Evolution*, Berlin, v. 59, n. 6, p. 834-848, 2004.  
Artigo que explora as relações filogenéticas basais dos tetrápodes e seus grupos-irmãos.
- CAIN, M. L. *et al.* *Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.  
A obra aborda conceitos e aplicações da ecologia.
- CAMPBELL, N. A. *et al.* *Biology: a global approach*. 11. ed. New York: Pearson, 2017.  
Obra de referência que explora de forma abrangente e detalhada os princípios fundamentais da Biologia.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Raven: biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. *E-book*.  
Obra que aborda os conceitos essenciais da Biologia vegetal.
- FERREIRA, M. U. *Parasitologia contemporânea*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.  
A obra estabelece associações entre as características biológicas de parasitas e a fisiopatologia das doenças a eles associadas.
- GARCIA, S. M. L.; FERNANDEZ, C. G. *Embriologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 40.  
A obra explora os processos de desenvolvimento embrionário.
- GRIFFITH, A. J. F. *et al.* *Introduction to Genetic Analysis*. 7. ed. Nova York: WH Freeman and Co., 1999.  
A obra aborda de maneira ampla os fundamentos da genética mendeliana, as pesquisas e as aplicações.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.  
Obra de referência sobre a fisiologia humana.
- HANSEN, J. E.; SATO, M. Climate Sensitivity Estimated From Earth's Climate History. *In: COLUMBIA UNIVERSITY*. Nova York, 2012. Disponível em: [https://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120508\\_ClimateSensitivity.pdf](https://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120508_ClimateSensitivity.pdf). Acesso em: 31 jul. 2024.

- O artigo aborda a sensibilidade climática e as variações de temperatura em climas passados.
- IBGE. *Atlas geográfico escolar*. Rio de Janeiro: IBGE, [20--]. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/brasil/3043-diversidade-ambiental/biomas.html>. Acesso em: 7 set. 2024.  
Página do IBGE em que podem ser encontradas informações e mapas dos biomas brasileiros.
- IBGE. *Diversidade ambiental: águas subterrâneas*. Rio de Janeiro: IBGE, [20--]. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/mapas/pdf/brasil-diversidade-ambiental-aguas-subterraneas-p-111.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.  
Texto sobre as águas subterrâneas, destacando sua distribuição, importância para o abastecimento e questões relacionadas à conservação desse recurso.
- JONES, J. E.; LE SAGE, V.; LAKDAWALA, S. S. Viral and host heterogeneity and their effects on the viral life cycle. *Nature Reviews Microbiology*, London, v. 19, p. 272-282, 2021.  
Revisão que analisa as principais etapas do ciclo de replicação viral, destacando avanços recentes relacionados à variabilidade durante a infecção.
- KARDONG, K. V. *Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution*. 6. ed. Nova York: McGraw Hill Education, 2012.  
O livro aborda os vertebrados sob uma perspectiva comparativa.
- KNOWLES, D. G.; MCLYSAGHT, A. Recent de novo origin of human protein-coding genes. *Genome Research*, [s. l.], v. 19, p. 1752-1759, 2009.  
O artigo investiga a origem recente de genes codificadores de proteínas em humanos.
- LAPORTA, G. Z. *et al.* Malaria transmission in landscapes with varying deforestation levels and timelines in the Amazon: a longitudinal spatiotemporal study. *Scientific Reports*, [s. l.], v. 11, n. 6477, 19 mar. 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-85890-3#Sec6>. Acesso em: 12 set. 2024.  
O estudo aborda a malária de fronteira e propõe uma hipótese unificadora para explicar seu surgimento e orientar intervenções de controle.
- LARA, M. D. R. *et al.* Arctic: Traditional Knowledge, Livelihoods and Community Engagement. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, p. 1-70, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/328981212\\_Arctic\\_Traditional\\_Knowledge\\_Livelihoods\\_and\\_Community\\_Engagement\\_Setting\\_the\\_Scene](https://www.researchgate.net/publication/328981212_Arctic_Traditional_Knowledge_Livelihoods_and_Community_Engagement_Setting_the_Scene). Acesso em: 10 jun. 2024.  
O relatório explica a importância do conhecimento tradicional e dos modos de vida das comunidades árticas.
- LEWIN, R. *Human Evolution: an Illustrated Introduction*. 5. ed. Boston: Blackwell Scientific Publications, 2005.  
Livro que oferece uma introdução abrangente à evolução humana.
- MARK, M.; RIJLI, F.; CHAMBON, P. Homeobox Genes in Embryogenesis and Pathogenesis. *Pediatric Research*, [s. l.], v. 42, p. 421-429, out. 1997. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/pr19972506>. Acesso em: 19 jun. 2024.  
Revisão de estudos recentes sobre o papel funcional dos genes homeobox no desenvolvimento típico de mamíferos e sua relação com malformações congênitas e oncogênese.
- MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. *Bioquímica básica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.  
O livro aborda a estrutura e a função das moléculas biológicas e os processos metabólicos.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger: princípios de bioquímica*. 3. ed. São Paulo: Savier, 2002.  
Obra de referência no campo da bioquímica, com abordagem dos princípios e processos bioquímicos.
- NICOLLS, M. What is an animal's Arc of Vision? *In: NICOLLS, M. Similar but different in the animal kingdom. Strategic Book Publishing*, [s. l.], 6 jan. 2021. Disponível em: <https://similarbutdifferentanimals.com/2021/01/06/what-is-an-animals-arc-of-vision>. Acesso em: 10 jun. 2024.  
O artigo discute a variação na capacidade visual entre diferentes espécies de animais.
- NIRUPAMA, R.; SPARKENBAUGH, E. M. The APC-EPCRPAR1 axis in sickle cell disease. *Frontiers in Medicine*, [s. l.], 11 jul. 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2023.1141020/full>. Acesso em: 16 jul. 2024.  
Revisão que discute mecanismos, sistemas e proteínas envolvidos na doença anemia falciforme.
- ODUM, E.; BARRET, G. W. *Fundamentos de Ecologia*. 5. ed. Ciudad de México: Cengage Learning Editores, 2008.  
Obra de referência de ecologia.
- ONU. *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Brasília, DF: ONU Brasil, 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jun. 2024.  
O texto apresenta as iniciativas da ONU no Brasil para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).
- PAPS, J. What Makes an Animal? The Molecular Quest for the Origin of the Animal Kingdom. *Integrative and comparative Biology*, Oxford, v. 58, n. 4, p. 654-665, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/icb/article/58/4/654/5020172>. Acesso em: 19 set. 2024.  
Artigo explora a hipótese do último ancestral comum dos animais atuais.

- PARÂMETROS bióticos. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro, [20--]. Disponível em: <http://www.ufrjr.br/institutos/it/de/acidentes/bio.htm>. Acesso em: 26 jun. 2024.  
Página para ampliar conteúdos sobre limnologia e parâmetros bióticos de ambientes lacustres.
- PILAR, A. F. Boletim da Fiocruz destaca eficiência da vacinação no bloqueio da covid-19. *Instituto Humanitas Unisinos*, São Leopoldo, 8 out. 2021. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/613590-boletim-da-fiocruz-destaca-eficiencia-da-vacinacao-no-bloqueio-da-covid-19>. Acesso em: 10 jul. 2024.  
Artigo sobre a vigilância sanitária em relação ao número de casos e óbitos decorrentes da covid-19.
- RAVEN, P. H.; JOHNSON, G. B. *Biology*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2001.  
Obra abrangente de biologia que aborda evolução, ecologia, genética, fisiologia e biodiversidade.
- REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.  
O livro oferece aos leitores um conteúdo amplo dos fenômenos e processos biológicos e suas aplicações no mundo real.
- RICHARDSON, K. et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, Washington, v. 9, n. 37, 13 set. 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>. Acesso em: 22 jul. 2024.  
O artigo discute como a Terra já ultrapassou seis das nove fronteiras planetárias, alertando para os riscos ecológicos e a urgência de ações sustentáveis.
- ROLE of p53 in the Cell Cycle. In: BIOINTERACTIVE. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.biointeractive.org/classroom-resources/role-p53-cell-cycle>. Acesso em: 28 jul. 2024.  
Proposta de atividade que analisa um estudo que investigou o papel da proteína p53 na regulação do ciclo celular.
- SADAVA, D. et al. *Vida: a Ciência da Biologia*. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2020.  
Coleção que abrange os fundamentos da Biologia.
- SANTOS, F. R. Evolução Humana I: A ordem Primata e nossos parentes mais próximos. In: UFMG. Departamento de Biologia Geral, Minas Gerais, 2012. Disponível em: <https://labs.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/evol/aula24-evolhuml-primatas.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2024.  
Este material aborda a evolução dos primatas e sua diversidade, destacando as relações filogenéticas entre eles e os humanos.
- SANTOS, M. C. O. *Baleias e golfinhos do litoral paulista: estórias que contam uma bela história*. São Paulo: LABCMA, 2021. E-book. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/1083/989/3646>. Acesso em: 24 jun. 2024.  
Livro que aborda características e diversidade de baleias e golfinhos no litoral paulista.
- SOBOTTA, J. *Sobotta atlas de anatomia humana: anatomia geral e sistema muscular*. 22. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. v. 1.  
Atlas que aborda a anatomia geral humana, com foco específico no sistema muscular.
- SUSAN C. A. et al. Evolution of early *Homo*: An integrated biological perspective. *Science*, Washington DC, v. 345, n. 6192, 2014. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1236828>. Acesso em: 10 jun. 2024.  
O artigo investiga a evolução do gênero *Homo* combinando dados fósseis, anatômicos e genéticos.
- TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Princípios de anatomia e fisiologia*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.  
O livro oferece uma visão abrangente e detalhada dos conhecimentos teóricos e práticos sobre a anatomia e fisiologia do corpo humano.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. 13. ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2018.  
Obra de referência sobre a área da microbiologia.
- USGS. *Biogeochemical cycling diagram showing climatic processes, hydrologic*. USA: USGS, 13 out. 2016. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/biogeochemical-cycling-diagram-showing-climatic-processes-hydrologic>. Acesso em: 19 jun. 2024.  
O texto destaca a interação entre processos climáticos e hidrológicos e traz uma visão geral das trocas de matéria e energia no meio ambiente.
- USGS. *Rejoined continents*. [USA]: United States Geological Survey, 5 maio 1999. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/continents.html>. Acesso em: 28 maio 2024.  
O documento explora evidências geológicas que corroboram a teoria da deriva continental e o movimento das placas tectônicas.
- WEEDEN, N. F. Are Mendel's Data Reliable? The Perspective of a Pea Geneticist. *Journal of Heredity*, Oxford, v. 107, n. 7, p. 635-646, 2016.  
O artigo analisa a confiabilidade dos trabalhos de Mendel, discutindo inconsistências em seus resultados e considerando fatores históricos e metodológicos.
- ZIMMER, C. *The Tangled Bank: An Introduction to Evolution*. Greenwood Village: Roberts and Company Publisher, 2010.  
Livro que aborda os princípios fundamentais da evolução biológica.