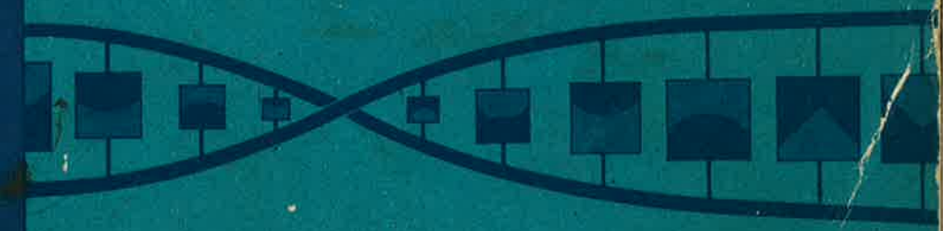
BIOLOGICAL SCIENCES CURRICULUM STUDY

Biologia

DAS MOLÉCULAS AO HOMEM

Parte I

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO



BIBLIOTECA
DO
CECISP
SÃO PAULO

Biologia

Parte 1

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

3043 ex 9
31/1/69

570
B...b

Biologia

Parte I

Texto organizado pelo
Biological Sciences Curriculum Study

Cecisp
Cadastro n.º 842
18.5.70

Edição Preliminar
1965

CENTRO DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS DA ALIANÇA

MISSÃO NORTE-AMERICANA DE COOPERAÇÃO ECONÔMICA E TÉCNICA NO BRASIL - USAID

RIO DE JANEIRO — 1965

NOTA PARA ESTA EDIÇÃO:

Esta publicação é uma tradução da obra "Biological Science — Molecules to Man" (Blue Version) publicada em inglês pelo Biological Sciences Curriculum Study, em 1963. A presente edição foi publicada cooperativamente pela Missão Norte-Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil — USAID — em prol da Aliança para o Progresso e pela Editôra Universidade de Brasília, como parte do programa do IBECC (São Paulo) desenvolvido com auxílio das Fundações Ford e Rockefeller.

Título do original:

Biological Science — Molecules to Man (Blue Version)

Editor responsável: Houghton Mifflin Company, Boston, E.U.A.

Direitos de impressão: 1963, por The American Institute of Biological Sciences.

Parte alguma do material protegido por êstes direitos pode ser reproduzida, sob qualquer forma, sem permissão escrita do editor.

Tradução autorizada, com direitos reservados para o Brasil, pelo IBECC — UNESCO, Seção de São Paulo.

Caixa Postal 2921, São Paulo, Brasil.

Impresso nos Estados Unidos do Brasil 1965.

Parte I

Traduzida e adaptada pelas Prof.as Myriam Krasilshik, Nícia Wendel de Magalhães, Norma Maria Cleffi, com a colaboração dos professôres participantes do III Curso de Verão de Biologia.

INTRODUÇÃO

O IBECC de São Paulo iniciou suas atividades conjuntas com o Biological Sciences Curriculum Study em 1961, enviando dois professôres para participarem da segunda Conferência de Redação dos textos. Nessa época, a legislação do ensino impedia que se utilizassem nas escolas brasileiras os livros tal como tinham sido planejados. Com a promulgação da lei de diretrizes e bases, que proporcionou mais liberdade de distribuição da matéria, pôde-se adaptar integralmente uma das Versões produzidas pelo BSCS — a Versão Azul.

Neste trabalho, procurou-se adaptar o texto não só em têrmos do material biológico utilizado nos exemplos como também à situação do ensino médio no Brasil. Estamos certos de que êsse esfôrço servirá para melhorar o ensino da Biologia em nosso país.

Agradecemos aos componentes do BSCS, que nos auxiliaram de tôdas as formas possíveis, e aos professôres Michel P. Rabinovitch, Antonio B. Cunha, Luiz Edmundo de Magalhães e William Milstead, que colaboraram com seus conselhos e críticas para a realização dêste trabalho.

ISAIAS RAW

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

PREFÁCIO

Em cada geração, o patrimônio de conhecimentos científicos é quintuplicado. Êsse progresso notável explica, em parte, a insatisfação geral com os métodos e conteúdo dos cursos de ciência ministrados nas escolas secundárias. No American Institute of Biological Sciences, *associação que representa 85.000 biólogos, surgiu uma resposta prática a essa insatisfação: em janeiro de 1959, o AIBS instituiu o* Biological Sciences Curriculum Study *(BSCS) como um meio de contribuir para a reestruturação do ensino de Biologia nas escolas. Organizou-se uma Comissão Diretora para estabelecer as normas que deveriam orientar os trabalhos. Essa comissão, composta de professôres universitários, secundários e de educadores interessados em melhorar o ensino de Biologia, instalou-se na Universidade de Colorado, em Boulder, sendo mantida financeiramente pela* National Science Foundation.

Em tôda a obra do BSCS, foi dada ênfase à investigação e pesquisa, como o melhor método de se conseguir conhecimentos científicos significativos. Para apresentar a Biologia moderna, sem negligenciar os conhecimentos dos antigos sábios e sem preocupações com coisas supérfluas, decidiu-se selecionar vários setores das ciências biológicas e estudá-los em profundidade. Como resultado dessa seleção e como não há apenas uma maneira, que seja a melhor, para se apresentar a matéria à grande diversidade de estudantes, o material produzido pelo BSCS apresenta vários currículos para o ensino de Biologia na escola secundária.

Talvez, o aspecto mais importante na elaboração dêsse material tenha sido a colaboração intensa entre biólogos dedicados a pesquisas científicas e professôres que militam no ensino. A produção dos materiais do BSCS exigiu um esfôrço intenso que abrangeu vários anos de trabalho.

Durante os meses de junho e julho de 1960, o BSCS reuniu um grupo de 70 pesquisadores e professôres secundários para preparar o material preliminar, que seria testado nas escolas. Os livros produzidos foram experimentados em cêrca de 100 escolas americanas e, com base nos resultados, foram completamente revistos em 1961. Após essa revisão, foram usados em 500 escolas no período letivo de 1961 a 1962 e em cêrca de 950 escolas no ano seguinte. Os livros, tal como se apresentam hoje, receberam os aperfeiçoamentos conseqüentes dessas experiências com as edições preliminares. O BSCS considera extremamente valiosas para o ensino da Biologia as contribuições de cêrca de 1.000 professôres e 150.000 estudantes que utilizaram as edições experimentais.

O material organizado pelo BSCS foi preparado para a maioria dos estudantes dos cursos secundários americanos, independentemente de suas aptidões ou das carreiras que pretendem seguir. A avaliação preliminar intensiva, feita nas salas de aula, demonstrou que os estudantes poderiam alcançar um nível de desenvolvimento intelectual que, até então, se acreditara impossível.

O material produzido nas diversas Conferências de Redação do BSCS consta principalmente de três versões de livro de texto, guia de laboratório, guia do professor e filmes. Em conjunto, os trabalhos elaborados pelo BSCS apresentam uma variedade de programas equilibrados e de alto nível. Cada uma das versões, constando de livro de texto e manual de laboratório, constitui um curso moderno de Biologia para a escola secundária. Cada uma delas tem suas próprias características e desenvolve-se em tôrno de um tema central.

Uma dessas versões, conhecida durante o período experimental por Versão Azul, *cresceu e modificou-se até formar o presente livro. A fun-*

damentação para o desenvolvimento dêsse curso é dada no prefácio seguinte, escrito pelo Dr. Claude A. Welch, supervisor do grupo que produziu a Versão Azul.

O BSCS iniciou uma série de outros projetos que pretendem melhorar o nível do ensino de Biologia nas escolas secundárias. As pessoas interessadas em obter informações sôbre êsses programas podem escrever ao Diretor, A I B S Biological Sciences Curriculum Study, University of Colorado, Boulder, USA.

Centenas de biólogos e professôres trabalham diligentemente na produção dos materiais do BSCS; esperamos que os estudantes secundários e seus professôres continuem a achar que êsse trabalho tenha alguma valia.

BENTLEY GLASS,
Baltimore, Maryland

ARNOLD GROBMAN,
Boulder, Colorado

AO ESTUDANTE

A Biologia passa, atualmente, por uma fase de grande progresso e êste livro oferece a você uma oportunidade de tomar conhecimento do que se está fazendo nesse campo. Muitas das atuais descobertas já ultrapassaram previsões feitas há alguns anos atrás, sôbre o que o homem conseguiria. Algumas delas modificarão, certamente, o futuro do homem e influenciarão sua posição diante de novos problemas. Você verá como essas descobertas estão auxiliando os biólogos a obter novos elementos para a solução de alguns dos problemas mais antigos.

Os tradicionais problemas de hereditariedade e de variação, por exemplo, estão sendo interpretados hoje em têrmos moleculares. Uma das finalidades dêste livro é tornar essa interpretação compreensível para você. Você verá também como as teorias sôbre o gen, a célula e a evolução estão se fundindo numa única idéia.

Seria, contudo, errôneo supor que a nossa principal finalidade seja apenas apresentar informações sôbre as últimas descobertas feitas em Biologia; além dela, temos em mente um outro propósito tão ou mais importante e que é auxiliá-lo a compreender a natureza da Ciência, como uma interação de fatos e idéias.

Os fatos biológicos não serão apresentados apenas como uma série de conclusões nem as teorias serão apresentadas como fatos. Em vez disso, tentamos apresentar a Biologia como uma aventura no campo das idéias, na qual as idéias se referem a observações específicas e a experiências sôbre sêres vivos. Uma compreensão da origem, desenvolvimento e função dêsses conceitos biológicos será parte importante da sua educação. Você terá oportunidade de ler algumas transcrições de obras, cujos autôres vêm contribuindo para essa aventura, com seu pensamento e trabalho pioneiros.

O significado total de novas descobertas nas ciências biológicas não pode ser apreendido inteiramente apenas pelo estudo de livros de texto; é por esta razão que os exercícios apresentados no manual de laboratório, que consta dêste livro, são parte integrante do curso. Em todo o texto, você encontrará numerosas referências a exercícios específicos que poderá realizar. Esperamos que seja capaz de aproveitá-los eficazmente.

Êste livro é produto do trabalho de um grupo de colaboradores, cujos nomes são dados na página 277. Uma nota especial de reconhecimento deve ser dada aos seguintes biólogos e professôres que foram membros do grupo de redação de 1962-1963:

Charles R. Botticelli — *Harvard University*

Frank E. Erk — *State University of New York*

Jack Fishleder — *West Proenix High School, Arizona*

Gordon E. Peterson — *San Marino High School, California*

Francis W. Smith Jr. — *Los Altos High School, California*

Dennis W. Strawbridge — *Michigan State University*

Richard W. van Norman — *University of Utah*

Centenas de biólogos, professôres de Biologia e milhares de estudantes auxiliaram a fazer êste livro tal como é hoje. Sugestões para seu aperfeiçoamento serão muito apreciadas.

Claude A. Welch, *Supervisor da Versão Azul, Michigan State University*

Índice Geral

PARTE I

PRIMEIRA UNIDADE: Biologia: Interação de Fatos e Idéias

Capítulo 1: Ciência como Investigação

Como surgem os problemas científicos. **1-1** Cientistas lidam com problemas, 17. **1-2** O trabalho do cientista é comparável ao do detetive, 18. **1-3** A parte criadora da Ciência, 18. *Um exemplo de problema.* **1-4** Como são formadas as ilhas de coral?, 19. **1-5** A hipótese de Darwin contém uma previsão, 20. **1-6** A previsão de Darwin é testada, 20. *A atividade científica.* **1-7** Cientistas coletam fatos pelas observações, 22. **1-8** Formulação de hipóteses, 22. **1-9** As hipóteses são testadas pela experimentação, 23. **1-10** Exemplo de problema sugerido por Einstein, 24.

Sumário, 24. Questionário, 25. Obras mencionadas, 25. Leituras recomendadas, 25.

Capítulo 2: A Variedade dos Sêres Vivos

Classificando os sêres vivos. **2-1** Os métodos de classificação diferem, 27. **2-2** Primeiras tentativas em classificação, 28. **2-3** Organismos de difícil classificação, 30. *A variedade dos sêres vivos e a teoria da evolução.* **2-4** A teoria da evolução auxilia a explicar a variedade dos sêres vivos, 32. **2-5** Os fósseis fornecem provas para a evolução, 32. **2-6** A teoria da evolução determinou mudanças na classificação biológica, 34. **2-7** Quadro das principais categorias, 35. **2-8** A investigação científica e a variedade de vida, 35.

Sumário, 36. Questionário, 36. Obras mencionadas, 37.

Capítulo 3: Mecanismo da Evolução
Dois Pontos de Vista em Conflito

Pontos de vista sôbre a evolução antes de Darwin. **3-1** Primeiras idéias sôbre evolução, 38. **3-2** Lamarck explica a evolução, 38. *Trabalhos de Darwin.* **3-3** A viagem do "Beagle", 40. **3-4** A influência de Malthus, 42. **3-5** Dados obtidos pela observação e experimentação, 43. **3-6** Darwin e sua teoria da evolução pela seleção natural, 45. **3-7** Darwin anuncia sua hipótese, 46. **3-8** Comparação entre as hipóteses de Lamarck e Darwin, 47. *Adaptações e seleção.* 3-9 Como as adaptações se relacionam com a seleção natural, 49. **3-10** Experiências que confirmam a seleção natural, 49, **3-11** Exemplos recentes de seleção natural, 51.

Sumário, 52. Questionário, 52. Obras mencionadas, 53. Leituras recomendadas, 53.

Capítulo 4: Origem dos Sêres Vivos

Geração espontânea. **4-1** Aristóteles propõe uma hipótese para explicar a origem da vida, 54. **4-2** A teoria da geração espontânea torna-se largamente aceita, 55. *Biogênese: um desafio à geração espontânea.* **4-3** Famosa experiência de Redi levanta problemas, 56. **4-4** O aperfeiçoamento do microscópio volta a favorecer a idéia de geração espontânea, 58. **4-5** Os trabalhos de Needham e Spallanzani, 58. *Queda da teoria da geração espontânea.* **4-6** Experiências conclusivas de Pasteur, 60. **4-7** A teoria da biogênese levanta novas questões, 61. *Hipóteses sôbre a origem da vida na Terra.* **4-8** Vida extra-espacial, 62. **4-9** A hipótese autotrófica, 63. **4-10** A hipótese heterotrófica, 63.

Sumário, 64. Questionário, 64. Obras mencionadas, 65. Leituras recomendadas, 66.

SEGUNDA UNIDADE: A Evolução da Célula

Capítulo 5: Precursores da Vida

Condições existentes na Terra antes do aparecimento da vida. **5-1** A Terra primitiva, 69. **5-2** A atmosfera primitiva, 70. *A evolução de compostos químicos.* **5-3** Formação de compostos orgânicos, 71. **5-4** Moléculas de aminoácidos, 72. **5-5** Os aminoácidos produzem proteínas, 73. **5-6** Uma experiência com aminoácidos, 74. *Compostos orgânicos nos oceanos primitivos.* **5-7** Grumos de moléculas orgânicas, 75. 5-8 Interação de coacervados e outros materiais orgânicos, 76. **5-9** A natureza da vida, 77.

Sumário, 78. Questionário, 78. Obras mencionadas, 80. Leituras recomendadas, 80.

Capítulo 6: Energia Química Para a Vida

Coacervados e energia. **6-1** Organização e energia, 81. **6-2** Fonte de energia para os coacervados, 81. **6-3** Libertação de energia das ligações químicas, 82. *Libertação de energia nos heterótrofos primitivos.* **6-4** Catalisadores nos sêres vivos, 84. **6-5** Matérias-primas para reações que libertam energia, 85. **6-6** Uma outra maneira de ativar reações, 86. **6-7** ATP, enzimas e fermentação, 88. **6-8** Fermentação como fonte de energia, 89. *Entrada de substâncias nos organismos primitivos.* **6-9** A natureza da membrana celular, 91. **6-10** Movimento de moléculas através da membrana celular, 92. **6-11** Difusão da água, 92. **6-12** O processo de transporte ativo, 93, **6-13** Células que bebem: pinocitose, 95.

Sumário, 97. Questionário, 97. Leituras recomendadas, 98.

Capítulo 7: Moléculas Mestras

Os ácidos nucléicos. **7-1** Os ácidos nucléicos são encontrados em todos os sêres vivos, 99. 7-2 Constituição da molécula dos ácidos nucléicos, 100. *Ácidos nucléicos em ação.* **7-3** Os ácidos nucléicos podem transformar certos tipos de bactérias em novos, 103. **7-4** Vírus e ácidos nucléicos, 106. **7-5** As atividades de um bacteriófago, 106. **7-6** Os ácidos nucléicos controlam as atividades celulares, 106. **7-7** Necessidade de duplicação, 108. **7-8** Relação entre volume e superfície durante o crescimento, 109. **7-9** O que leva a célula a se dividir? 110. **7-10** Problemas ulteriores à duplicação, 110. *Um modêlo molecular de DNA.* **7-11** Indícios para resolução do mistério do DNA, 112. **7-12** Um modêlo molecular, 113. **7-13** O modêlo em "escada de corda", 114. **7-14** A utilidade do modêlo, 115. **7-15** Teste do modêlo, 116.

Sumário, 118. Questionário, 119. Obras mencionadas, 120. Leituras recomendadas, 120.

Capítulo 8: O Código Genético

A linguagem da vida. **8-1** Como a célula transmite as suas características?, 121. **8-2** Símbolos do código, 122. **8-3** O código do DNA, 122. **8-4** Decifrando o código, 123. *Construindo moléculas de proteínas.* **8-5** O DNA e o RNA de uma célula estão intimamente relacionados, 126. **8-6** Onde são produzidas as proteínas, 126. **8-7** Como são fabricadas as proteínas?, 126. **8-8** Proteínas na vida celular, 128. *Novas mensagens em código.* **8-9** A origem de novas mensagens, 128. **8-10** Uma mutação afeta a vida da célula, 129. **8-11** A vida do bolor de pão, 130. **8-12** Fungos com gens danificados, 131. **8-13** Gens e enzimas, 134. *Novos padrões genéticos.* **8-14** Conjunto de moléculas de DNA, 135. 8-15 Gens em novas combinações, 136. **8-16** A transmissão de gens, 136. **8-17** Vantagens da reprodução sexuada para os microrganismos, 138.

Sumário, 139. Questionário, 139. Leituras recomendadas, 140. Tema biológico, 141.

TERCEIRA UNIDADE: Os Organismos em Evolução

Capítulo 9: Luz, Fonte de Energia Para a Vida

Evolução em um mundo em modificação. **9-1** O meio em modificação, 145. **9-2** Uma nova forma de vida — os autótrofos, 146. **9-3** Um problema de transformação de energia, 147. **9-4** A natureza da luz, 148. *A natureza da fotossíntese.* **9-5** Matéria-prima e produtos da fotossíntese, 149. **9-6** Fatôres que interferem na fotossíntese, 149. **9-7** Uma molécula que modifica energia, 152. *Fotossíntese — uma série de reações.* **9-8** O carbono do gás carbônico transforma-se em carbono de carboidrato, 153. **9-9** Transportadores de energia nas reações da fotossíntese, 156. **9-10** Oxigênio — um importante subproduto, 156. *A evolução da fotossíntese.* **9-11** Equação geral da fotossíntese, 157. **9-12** Material vivo para uso experimental, 158. 9-13 O primeiro autótrofo, 158. *Desenvolvimento da respiração.* **9-14** Oxigênio para organismos em evolução, 160. 9-15 Comparação entre respiração e fermentação, 161. **9-16** O condrioma e as enzimas, 161. **9-17** O ciclo do ácido cítrico, 162.

Sumário, 163. Questionário, 165. Obras mencionadas, 166.

Leituras recomendadas, 166. Tema biológico, 167.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

Capítulo 10: A Célula Atual

A célula como unidade funcional. **10-1** Células em geral, 169. **10-2** As células mantêm sua organização, 170. **10-3** Constituintes do citoplasma, 171. *Divisão celular.* **10-4** A natureza da divisão celular, 172. **10-5** Divisão nas células vegetais, 172. **10-6** Divisão em células animais, 174. **10-7** O contrôle da divisão celular, 176. **10-8** Podem existir células sem núcleo?, 176. **10-9** Bactérias: mais células sem núcleo individualizado, 177. **10-10** Movimentos celulares, 178. **10-11** Variedade de estrutura e função, 179. **10-12** Uma curiosidade bioquímica, 181. **10-13** Podem existir células sem citoplasma?, 182.

Sumário, 184. Questionário, 184. Obras mencionadas, 185. Leituras recomendadas, 185.

Capítulo 11: A Teoria Celular

Primeiras observações de células. **11-1** O microscópio leva a novas observações, 186. **11-2** Hooke vê a célula, 187. **11-3** Outros cientistas observam células, 188. *Generalizações sôbre as células.* **11-4** Aumentam gradualmente os conhecimentos sôbre as células, 190. **11-5** A teoria celular é proposta, 190. **11-6** Instrumentos mais aperfeiçoados auxiliam a pesquisa, 191. **11-7** Tôda célula provém de outra célula, 191. **11-8** A substância viva da célula, 192. **11-9** Novos corantes revelam a atividade nuclear, 192. **11-10** As funções do organismo como um todo dependem das células, 193. **11-12** Novos instrumentos determinam o progresso, 194. **11-13** A teoria celular é uma das vigas mestras da Biologia, 194.

Sumário, 195. Questionário, 195. Projeto, 196. Obras mencionadas, 196. Tema biológico, 197.

Capítulo 12: O Organismo Pluricelular

Competição ou cooperação. **12-1** Agregados de células, 199. **12-2** Divisão de trabalho, 200. *O complexo organismo pluricelular.* **12-3** Eficiência energética, 202. **12-4** A vida no ambiente terrestre, 203. **12-5** Estrutura e função, 204. *Problemas decorrentes da complexidade — alguns exemplos.* **12-6** Reprodução e desenvolvimento, 205. **12-7** Matérias-primas e excretas, 205. **12-8** Distribuição de substâncias, 205. **12-9** Integração das atividades, 206. **12-10** Sistemas de finalidades múltiplas, 206.

Sumário, 207. Questionário, 207. Projeto, 208. Leituras recomendadas, 208.

Apêndice, 209.

EXERCÍCIOS DE LABORATÓRIO

Introdução ao trabalho de laboratório

Número	Título	Página	Capítulo correspondente
1	Medidas em Biologia	241	1
2	Observação qualitativa dos sêres vivos	243	1
3	Uma experiência quantitativa controlada	245	1
4	A variedade dos sêres vivos	247	2
5	Uso do microscópio composto	249	1
6	Organismos microscópicos num ambiente de laboratório	251	2
7	Variações em sêres vivos	254	3
8	Seleção natural	255	3
9	Fontes de bactérias	257	4
10	O pH de substâncias biológicas	258	5
11	Formação de coacervados	259	5
12	Síntese ao acaso	260	5
13	Atividade catalítica de diversas enzimas	261	6
14	Efeitos de diversos fatôres na atividade enzimática	262	6
15	Atividades da membrana celular	264	6
16	Permeabilidade das células de lêvedo	266	6
17	Fermentação	267	6
18	Separação e exame dos pigmentos dos cloroplastos	269	9
19	Efeito de diversos fatôres na velocidade da fotossíntese	271	9
20	Divisão celular	272	10
21	Comportamento de um mixomicete	274	11
22	Início da organização pluricelular	275	10-12

2.° VOLUME

QUARTA UNIDADE: Organismos Pluricelulares:
Novos Indivíduos
CAPÍTULO 13: *REPRODUÇÃO*
CAPÍTULO 14: *DESENVOLVIMENTO*

QUINTA UNIDADE: Organismos Pluricelulares:
Continuidade Genética
CAPÍTULO 15: *PADRÕES DA HERANÇA*
CAPÍTULO 16: *GENS E CROMOSSOMOS*
CAPÍTULO 17: *ORIGEM DE NOVAS ESPÉCIES*
CAPÍTULO 18: *A ESPÉCIE HUMANA*

SEXTA UNIDADE: Organismos Pluricelulares:
Utilização de Energia
CAPÍTULO 19: *SISTEMAS FOTOSSINTETIZADORES*
CAPÍTULO 20: *SISTEMAS DE TRANSPORTE*
CAPÍTULO 21: *SISTEMAS RESPIRATÓRIOS*
CAPÍTULO 22: *SISTEMAS DIGESTIVOS*
CAPÍTULO 23: *SISTEMAS EXCRETORES*

SÉTIMA UNIDADE: Organismos Pluricelulares:
Sistemas de Integração
CAPÍTULO 24: *SISTEMAS REGULADORES*
CAPÍTULO 25: *SISTEMAS NERVOSOS*
CAPÍTULO 26: *SISTEMAS ESQUELÉTICO E MUSCULAR*
CAPÍTULO 27: *O ORGANISMO INTEGRADO E COMPORTAMENTO*

OITAVA UNIDADE: Níveis de Organização
CAPÍTULO 28: *POPULAÇÕES*
CAPÍTULO 29: *SOCIEDADES*
CAPÍTULO 30: *COMUNIDADES*
APÊNDICE
EXERCÍCIOS DE LABORATÓRIO

PRIMEIRA UNIDADE

INTERAÇÃO DE FATOS E IDÉIAS

Em Ciência, as idéias são tão importantes quanto os fatos. O crescente progresso da Ciência resulta tanto da influência das idéias sôbre os fatos, como da influência dos fatos sôbre as idéias. A variedade dos sêres vivos é um fato evidente para todos. A evolução dos sêres vivos é uma idéia, uma tentativa para explicar essa diversidade. À medida que você estudar esta unidade, verá como o fato de existir uma grande variedade de organismos interagiu com as idéias sôbre sua evolução. Aprenderá que a teoria da evolução causou um impacto sôbre outras idéias que procuravam explicar a origem dos sêres vivos e começará a compreender a natureza da Ciência — vê-la como resultado da influência mútua e contínua do conhecimento de novos fatos e o desenvolvimento das idéias.

CIÊNCIA COMO INVESTIGAÇÃO

CAPÍTULO 1

Que é Ciência? Um conjunto de fatos? Um conjunto de teorias? Um conjunto de métodos para descobrir fatos e desenvolver teorias? Ciência é realmente uma combinação de tudo isso. Êste livro pretende dar ênfase aos processos da Ciência. Freqüentemente se imagina que Ciência seja um conjunto frio de fatos e de teorias rígidas, mas esperamos que você, ao entender sua natureza, veja quão dinâmica e estimulante ela pode ser. Por trás de todos os processos, teorias e fatos há sempre uma fôrça propulsora, a **curiosidade.**

Neste capítulo daremos ênfase ao papel da pesquisa em Ciência, comparando o trabalho do cientista ao trabalho do detetive; em seguida, daremos a você a oportunidade de identificar fatos e teorias num exemplo de investigação científica e, finalmente, estudaremos a natureza dos problemas, fatos e teorias e sua interação. Quando você estiver realizando investigações no laboratório, irá entender melhor o processo científico.

COMO SURGEM OS PROBLEMAS CIENTÍFICOS

1 — 1 Cientistas lidam com problemas

Todos os problemas científicos originam-se, indubitàvelmente, de um traço básico da personalidade humana — a curiosidade. Os jovens são geralmente curiosos, estão sempre querendo saber *os porquês* e *os comos*. Esta curiosidade intelectual, que existe em tôdas as idades, serve como uma grande fôrça propulsora na Ciência. Alfred North Whitehead, grande filósofo e matemático inglês, disse que Ciência é "quase exclusivamente o desenvolvimento de uma agradável curiosidade intelectual".

Os cientistas são pessoas que vêem problemas onde outros nada vêem e se preocupam com a solução dos mesmos. Naturalmente é difícil encontrar as respostas certas, porém, muitos cientistas acham que é ainda mais difícil fazer as perguntas adequadas. Nem sempre é fácil estabelecer claramente o que se quer saber.

Albert Einstein, que foi um dos maiores cientistas de todos os tempos e um mestre em propor novos problemas, disse:

> A formulação de problemas é muitas vêzes mais importante que a sua solução, a qual pode ser apenas uma questão de habilidade matemática ou experimental. Propor problemas novos e encarar os velhos sob um nôvo ângulo, requer imaginação criadora e é o que promove o progresso da Ciência.

Há problemas de tôdas as amplitudes. Não é necessário ser uma pessoa excepcional para ser cientista, pois existem problemas para tôdas as capacidades. O primeiro passo é ver o problema e formulá-lo em linguagem clara e concisa.

1 — 2 O trabalho do cientista é comparável ao do detetive

Para ilustrar a atividade científica, podemos comparar o trabalho do cientista ao do detetive, pois ambos estão contìnuamente tentando resolver problemas.

Einstein também usou essa comparação, como se pode ver na seguinte citação:

> Em quase todo o romance policial, desde as admiráveis estórias de Conan Doyle, chega um momento em que o investigador já coletou todos os fatos de que necessita para solucionar pelo menos uma das etapas de seu problema. Êsses fatos parecem freqüentemente estranhos e incoerentes, inteiramente sem relação entre si. Contudo, o grande detetive percebe não serem necessárias mais investigações no momento e que sòmente o raciocínio o levará a correlacionar os fatos coletados. Então, êle toca o seu violino ou descansa na sua poltrona deliciando-se com seu cachimbo, quando, de repente, lhe ocorre a solução. Êle não sòmente tem uma explicação para os indícios de que dispunha, mas, também, sabe que outros acontecimentos devem ter ocorrido. Sabendo agora, exatamente, onde buscar o que deseja, poderá, se quiser, coletar mais dados para confirmação de sua teoria.
>
> O cientista, lendo o livro da natureza, se nos permitem repetir êsse lugar-comum, deve obter a solução por si, porque êle não pode, como fazem os leitores impacientes de outras estórias, ir logo ao final do livro. Em nosso caso, o leitor é também o investigador, procurando explicar, pelo menos em parte, as relações entre os acontecimentos em sua forma mais completa. Para obter uma solução, mesmo parcial, o cientista tem que coletar os fatos desordenadados disponíveis e, por meio do seu pensamento criador, torná-los coerentes e inteligíveis.[2]

1 — 3 A parte criadora da Ciência

Na citação anterior, Einstein diz que antes de resolver um problema, o cientista ou o detetive deve investigar a situação e coletar os fatos relativos ao caso (**fato** pode ser definido como qualquer observação que possa ser confirmada por muitas pessoas). A parte criadora do seu trabalho começa quando êle consegue uma primeira solução possível para o problema. Esta primeira solução é chamada **hipótese** e deve não só justificar todos os fatos conhecidos, como também prever alguns outros acontecimentos que tenham ocorrido. As duas principais funções de uma hipótese são, portanto, prever e explicar fatos. Baseando-se na sua hipótese, o pesquisador procura, então, outras pistas ou faz novas observações. Charles Darwin disse: "Para ter qualquer utilidade, tôda observação deve ser contra ou a favor de um ponto de vista". Se as novas observações estiverem de acôrdo com a hipótese, esta ficará fortalecida, porém, se forem contrárias, deverá ser revista ou mesmo rejeitada e substituída por outra. Os cientistas, como os detetives, podem ter que formular e testar uma variedade de hipóteses antes de alcançar a solução do problema.

É ainda Einstein quem lembra que a parte criadora na solução de um problema pode ocorrer enquanto o cientista ou o detetive estiver envolvido em atividades não científicas. Muitos dos grandes investigadores relataram que algumas de suas melhores idéias científicas lhes ocorreram durante passeios ou férias. Êste tipo de inspiração, porém, só ocorre depois de um período de raciocínio e de investigação intensos.

...Os problemas surgem da curiosidade inerente aos indivíduos. No seu esfôrço para resolvê-los, o cientista foi comparado ao detetive. Ambos precisam coletar fatos, formular hipóteses e testá-las. Einstein chama atenção especial para a atividade criadora envolvida na pesquisa científica.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Que é uma pista?
2. Uma pista é um fato ou uma hipótese?
3. Qual a relação entre fatos e idéias em Ciência?
4. Como é elaborada uma hipótese?
5. Qual a relação entre curiosidade e Ciência?

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

UM EXEMPLO DE PROBLEMA

1 — 4 Como são formadas as ilhas de coral?

Em 1831, o grande naturalista Charles Darwin partiu numa expedição científica em que daria a volta ao mundo. Nos capítulos seguintes voltaremos várias vêzes a Darwin, suas viagens e suas idéias, mas aqui trataremos especìficamente de algumas observações que êle fêz no sul do Pacífico. Durante essa viagem interessou-se pelas ilhas conhecidas como atóis e que têm sempre a forma de anel, circundando uma laguna central. O diâmetro dessas ilhas varia de cêrca de algumas dezenas de metros até vinte quilômetros, aproximadamente. São formadas por calcário depositado por pequenos animais e plantas. A figura 1-2 mostra pequenos corais e alguns exemplos de rochas coralíneas.

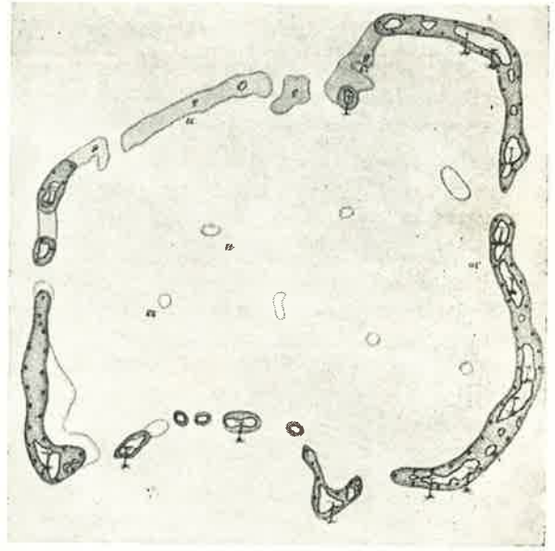


Fig. 1-1 Desenho feito por Darwin de um atol. Os números se referem à profundidade, em fathons (um fathom é igual a aproximadamente 2 m).

Darwin notou que "quase todos os viajantes, que atravessaram o Pacífico, expressaram seu incontido espanto diante das ilhas-lagunas ou atóis e tentaram explicar sua formação[3]." O problema, que estimulou a curiosidade de Darwin, pode ser expresso da seguinte maneira: Por que essas ilhas têm a forma anelada e contêm uma lagoa?

Vamos examinar algumas das hipóteses que foram formuladas para solucionar o problema. Na época de Darwin, uma das explicações mais em voga para a origem dos atóis dizia que: 1) havia crateras de vulcões extintos nas profundidades dos oceanos; 2) rochas coralíneas se acumularam nas bordas dessas crateras; 3) com o crescimento dos corais, as bordas ficaram acima da superfície da água. De acôrdo com essa hipótese, a forma das ilhas seria a das crateras vulcânicas sôbre as quais se formaram (fig. 1-3).

Uma segunda hipótese, a do empilhamento de corais, admitia que: 1) os animais, crescendo em elevações existentes no fundo do mar, foram se superpondo até alcançar a superfície; 2) os ani-

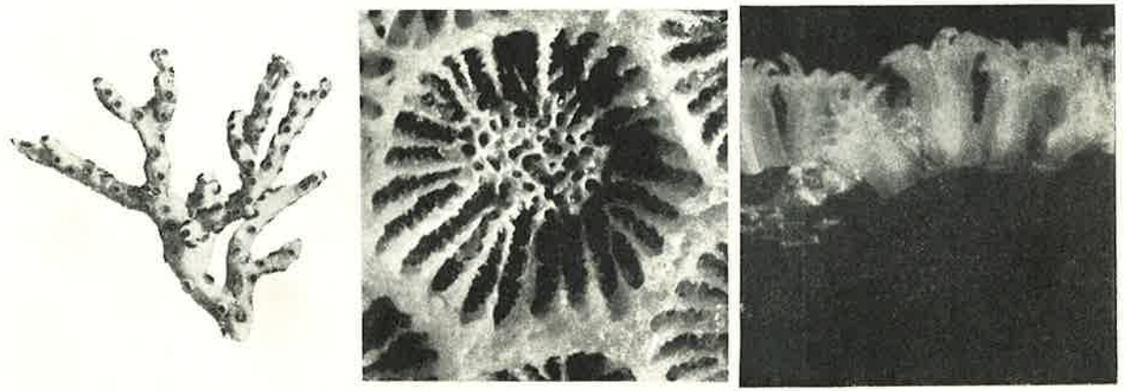


Fig. 1-2 À esquerda um desenho da rocha coralínea mostrando as pequenas cavidades antes ocupadas pelos animais. No centro a fotografia de uma rocha coralínea. À direita uma fotografia de corais vivos, com os tentáculos expandidos.

mais das bordas conseguiriam alimento fornecido pelo mar aberto, mas os que viviam no centro não e, por isso, morreram; 3) o mar, gradualmente, invadiu a região central da ilha, formando uma laguna (fig. 1-3).

1 — 5 A hipótese de Darwin contém uma previsão

Durante a viagem de Darwin, foram feitas medidas de profundidade nas bordas dos atóis e verificou-se que a terra declinava abruptamente. O exame do fundo do mar revelou que a 18 metros de profundidade sòmente havia rochas coralíneas, a 54 metros havia uma mistura de coral e areia e, mais abaixo, o coral não mais aparecia.

Essa observação indicou a Darwin que o coral não poderia ter crescido desde o fundo do mar, levando o a pensar que os corais não pudessem viver senão em águas rasas e calmas. Para explicar os fatos até então conhecidos, fêz as seguintes suposições: 1) uma montanha de origem vulcânica emergiu; 2) corais se fixaram nas bordas dessa montanha, na superfície oceânica e, assim, começou a deposição de rocha coralínea; 3) depois, a montanha começou a submergir gradualmente e ficou abaixo do nível da água, mas, enquanto afundava, os corais continuavam a crescer junto ao nível do mar, principalmente no lado externo da ilha, isto é, no lado voltado para o oceano (fig. 1 — 3).

Esta hipótese explica, ao mesmo tempo, a forma dos atóis e a ausência dos corais nas regiões de maior profundidade e, embora não seja inteiramente satisfatória para muitos, despertou interêsse sôbre o problema. Darwin teve oportunidade de verificar que controvérsias freqüentemente dão origem a novas idéias e descobertas científicas. Com relação à sua hipótese sôbre os atóis, êle disse:

> Se estiver errado, quanto mais cedo levar na cabeça e fôr arrasado, tanto melhor... Faço votos para que algum milionário se interesse pelo problema e decida fazer perfurações em alguns atóis do Pacífico e Índico e traga, para serem analisadas, amostras retiradas de profundidades de 150 ou 200 metros[4].

Por essa citação, podemos perceber que Darwin conhecia os meios pelos quais sua hipótese poderia ser testada. Ela, além de explicar um certo número de fatos, continha também uma previsão: se fôssem feitas perfurações em profundidades adequadas, as amostras seriam de rocha vulcânica.

1 — 6 A previsão de Darwin é testada

A partir de 1900 foram feitas várias perfurações nos atóis. Uma delas, realizada na Ilha de Eniwetok, alcançou rocha vulcânica depois de passar por 1.200 metros de calcário e, embora essa rocha estivesse numa profundidade muito maior do que a prevista por Darwin, a sua existência confirmou a hipótese de que tais ilhas ficavam sôbre uma base vulcânica.

Muitos anos depois, Reginald Daly propôs uma nova hipótese que levava em consideração as grandes glaciações continentais ocorridas nos últimos milênios. Havia sido calculado que, à medida que as geleiras se formavam, era retirada água do oceano, em quantidade suficiente para fazer baixar o nível de centenas de metros. Essa variação no nível do mar faria emergir muitos picos de montanhas ,antes submersos que, agora, passariam a sofrer a ação corrosiva das ondas. Os corais se fixariam nas bordas das superfícies corroídas (veja o esquema correspondente a essa hipótese na fig. 1-3). Mais tarde, quando as geleiras se derretessem e o nível do mar voltasse a subir, as montanhas ficariam novamente submersas, mas os corais continuariam a se acumular à medida que o nível das águas se elevasse gradativamente.

A existência de 1.200 metros de calcário na Ilha de Eniwetok pode servir de argumento tanto para esta última hipótese como para a de Darwin. Até hoje, ambas são usadas para interpretar a formação dos atóis, mas nenhuma delas explica os dados de maneira inteiramente satisfatória para todos os cientistas. À medida que novos fatos forem descobertos, novas hipóteses surgirão para explicá-los. Como já salientamos, a Ciência é uma interação de fatos e idéias.

. . . Utilizamos, neste capítulo, um exemplo para ilustrar a interação de fatos e idéias em Ciência. Descrevemos certos fatos a respeito dos atóis — sua natureza calcária, seu formato peculiar e a presença de corais, são fatos que todos podem

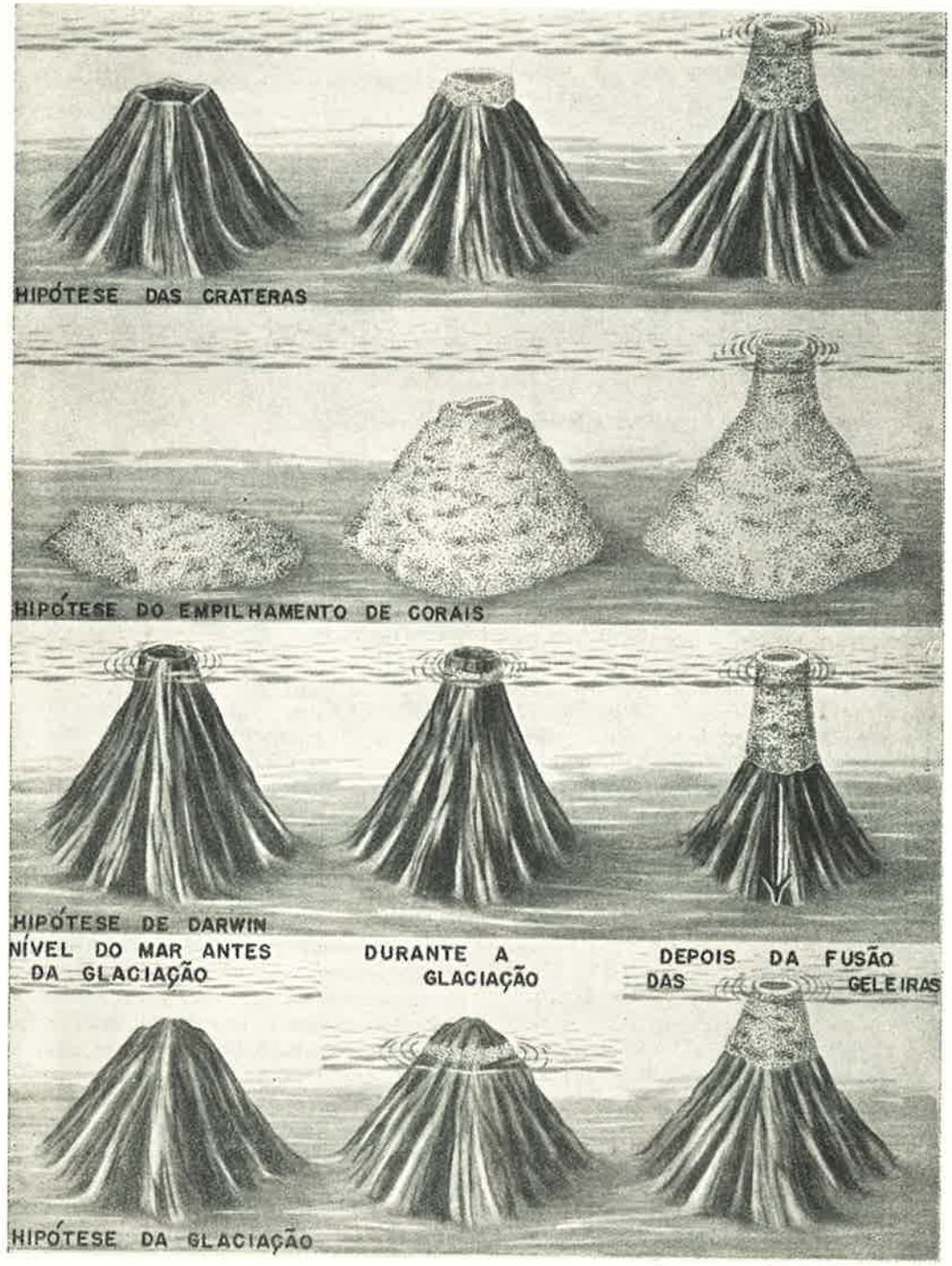


Fig. 1-3 Um esquema que representa as quatro hipóteses sôbre a formação dos atóis.

observar. Várias hipóteses tentam explicar as observações: a de Darwin contém uma previsão específica. As hipóteses não são fatos; ao contrário, cada hipótese é composta por uma seqüência de suposições, que vão sendo modificadas à medida que se torna necessário explicar novos fatos. Elaborar e testar hipóteses são atividades dinâmicas que estimulam os cientistas.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais os fatos conhecidos sôbre as ilhas de coral antes da viagem de Darwin?
2. Que fatos Darwin acrescentou às informações já existentes?
3. Por que a hipótese de Darwin, sôbre a origem dos atóis, foi considerada satisfatória?
4. Quais os novos fatos, a respeito dos atóis, que foram acrescentados desde a época de Darwin?
5. Que deve fazer um cientista quando os fatos recém-descobertos não podem ser explicados por uma determinada hipótese?

A ATIVIDADE CIENTÍFICA

1 — 7 Cientistas coletam fatos pelas observações

Fatos foram definidos como observações que podem ser confirmadas por muitas pessoas; portanto, um cientista deve ser capaz de repetir suas observações ou experiências que, por sua vez, devem poder ser repetidas por outros cientistas. (Lembre-se dos fatos que Darwin coligiu em relação ao problema dos atóis). Uma observação inclui qualquer informação obtida direta ou indiretamente através dos órgãos dos sentidos, com ou sem o auxílio de instrumentos ou aparelhos. Os fatos relativos a um determinado problema são os *dados*. Os Exercícios 1 e 2 darão a você a oportunidade de coletar dados. É importante frisar que apenas coletar dados não é fazer Ciência. Os dados devem ser coletados com alguma finalidade.

Na maioria dos casos os cientistas não discordam em relação aos dados; é a *interpretação* dos fatos que freqüentemente, ocasiona controvérsias. Quando o cientista interpreta fatos, geralmente o faz à luz de uma determinada hipótese; foi o que vimos no caso dos atóis.

1 — 8 Formulação de hipóteses

A formulação de uma hipótese é uma atividade criadora. Muitos cientistas descreveram a elaboração de suas hipóteses como sendo "palpites felizes", "intuições" ou "inspirações." É fácil descrever a estrutura e a função de uma hipótese, mas descrever sua criação é difícil.

Uma hipótese consta, geralmente, de um conjunto de afirmações ou *suposições* inter-relacionadas, que o cientista supõe ser uma solução possível para o problema, mas, também, pode conter sòmente uma suposição. Alguns cientistas usam os têrmos hipótese e teoria como sendo sinônimos; outros preferem usar *hipótese* apenas para descrever os passos iniciais na solução do problema e, se a hipótese, depois de testada, fôr confirmada e puder ser generalizada, então é chamada **teoria.**

Como foi dito por Einstein, a função da hipótese é dupla: primeiro, deve servir para explicar todos os fatos conhecidos (dados) relacionados com o problema específico; segundo, deve levar o cientista a prever fatos novos. Se a hipótese prevê um fato nôvo e as experiências confirmarem essa previsão, a hipótese ficará reforçada.

Por exemplo, a hipótese de Darwin tinha que explicar três fatos: 1) as ilhas têm lagunas centrais; 2) as costas externas declinam abruptamente; 3) abaixo de 54 metros não é encontrado nenhum coral. Veja, na figura 1-4, êsses fatos simbolizados pelas letras A, B e C. No diagrama, as linhas pontilhadas, partindo de fatos iniciais para a hipótese, indicam que os fatos eram conhecidos antes da hipótese ter sido formulada e *podem* ter contribuído para a sua elaboração. As linhas cheias, da hipótese aos fatos, indicam que a hipótese deve explicar êstes fatos.

A hipótese de Darwin não só explicou os fatos A, B e C, como o habilitou a predizer que as ilhas se situavam sôbre base de rocha vulcânica; testes posteriores confirmaram essa previsão (representada por D, na figura 1-4), fornecendo maior apoio à hipótese e, também, revelando novos fatos que tinham que ser incorporados ao que se sabia sôbre os atóis.

A confirmação de um fato previsto (pressuposição) é importante para o cientista por duas razões: 1.º) auxilia-o a verificar se está ou não na trilha certa; diversas hipóteses podem considerar os fatos A, B e C, mas deve haver sòmente uma que também preveja o fato D. Uma previsão confirmada possibilita ao cientista escolher entre as diversas hipóteses. 2.º) os fatos novos podem levá-lo, pelas correlações que sugerem, a descobertas ainda mais amplas.

A segunda unidade dêste livro está organizada em tôrno de uma hipótese relativa à origem da vida na Terra. Esta hipótese consiste numa série de suposições relacionadas entre si que, como você verá, serve para explicar fatos conhecidos e prever outros.

1 — 9 As hipóteses são testadas pela experimentação

A experimentação é importante para testar hipóteses. Os fatos previstos devem ser confirmados pela observação e experimentação que deve ter como objetivo a solução de um problema específico. Em muitos casos, um cientista é lembrado não pela hipótese que formulou, mas pela experiência que planejou para testá-la. Veremos alguns dêsses casos ainda neste livro.

Uma fase importante do trabalho de laboratório é a da **experiência controlada,** onde sòmente um fator do problema é examinado de cada vez. Por exemplo, suponhamos que um biólogo descobriu que os animais que mantém em seu laboratório, apresentam uma doença que afeta a capacidade de aproveitar o açúcar. Êsses animais são alimentados com uma dieta que consiste de cereais, carne, açúcar e vitaminas. Se êle desejar saber, exatamente, qual o efeito do açúcar na doença, deverá variar a quantidade do mesmo na dieta. Precisará, entretanto, estar seguro de que todos os outros fatôres como: temperatura, água, umidade, quantidade de cereais, carne e vitaminas, se mantêm constantes. Dêsse modo, qualquer modificação notada nos animais só poderá ser atribuída à variação na quantidade de açúcar e não a outra causa qualquer. Ao fazer o Exercício n.º 3, você compreenderá melhor a importância da experiência controlada.

Nem sempre a experiência é uma atividade planejada cuidadosamente; um exemplo clássico são os trabalhos dos alquimistas medievais que tentavam obter ouro de misturas variadas de substâncias de fácil obtenção. Seu método consistia em tentar uma mistura após outra, com os in-

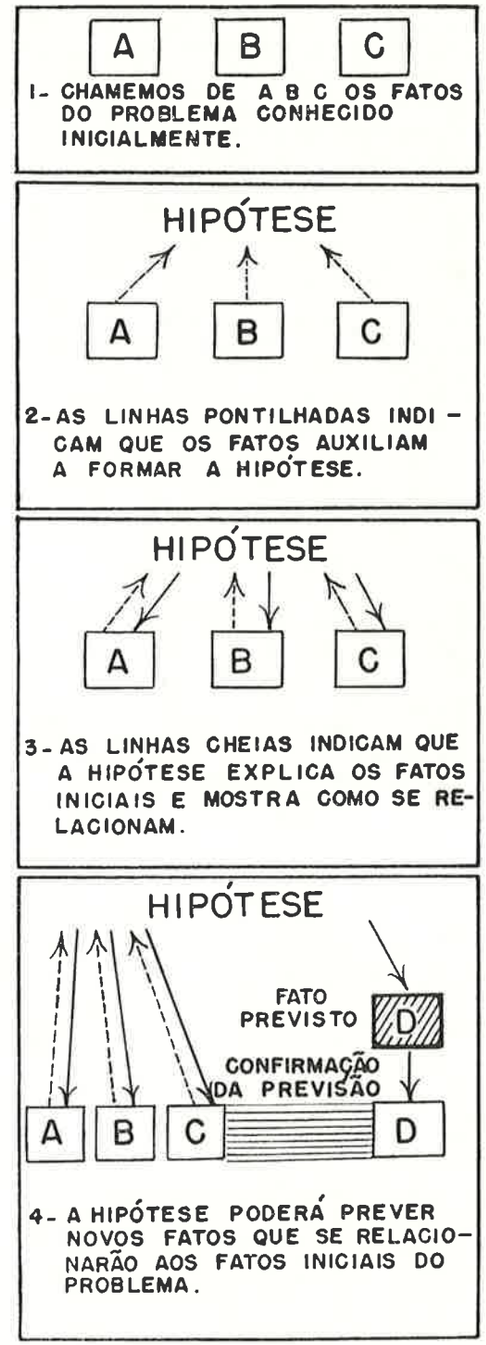


Fig. 1-4 Um esquema que representa as relações entre fatos e hipóteses.

gredientes escolhidos ao acaso. Podemos chamar êsse método de "tentativa-e-êrro", mas os cientistas preferem usar o têrmo empirismo. *Empirismo* baseia-se em observações do tipo tentativa-e-êrro, sem usar hipóteses assentadas em fatos conhecidos. O conhecimento empírico se fundamenta, essencialmente, na observação direta.

Como você sabe, um dos grandes problemas científicos atuais é o da descoberta da causa e da cura do câncer. Um exemplo de experiência, tipo tentativa-e-êrro, para resolver êsse problema, poderia ser imaginado assim: colocam-se tecido canceroso e tecido normal num grupo de tubos de ensaio, com alimento adequado para sua manutenção. Suponha que se adicione uma série de substâncias, uma a uma, ao acaso, na esperança de que uma delas mate as células cancerosas sem afetar as normais. Êste tipo de experiência só é usado, atualmente, em casos raros, quando os cientistas não dispõem de outros meios, pois, além de ser um processo lento, seu resultado é muito duvidoso.

1 — 10 Exemplo de problema sugerido por Einstein

Vamos usar um exemplo sugerido por Einstein para discutir alguns dos aspectos fundamentais da Ciência que já foram descritos. Êle faz distinção entre fatos e suposições quando diz:

> ...No nosso esfôrço para compreender a realidade, somos como um homem tentando entender o mecanismo de um relógio fechado. Êle vê o mostrador e os ponteiros, ouve o seu tique-taque, mas não tem meios para abrir a caixa. Se êsse alguém fôr habilidoso poderá imaginar um mecanismo responsável pelo que observa, mas nunca poderá ficar completamente seguro de que sua explicação seja a única possível[5].

Os fatos ou observações, nessa situação, são os seguintes: o mostrador, os ponteiros em movimento, os tique-taques. O mecanismo imaginado *seria* uma hipótese. Uma hipótese pode conter várias suposições. Nesse exemplo, como no caso dos atóis, pode haver várias hipóteses, com suposições diferentes. Note, contudo, que as hipóteses, mesmo quando bem aceitas, estão sujeitas a modificações. As suposições específicas não são fatos ou observações e, como Einstein lembra, um cientista "nunca pode ficar completamente seguro de que sua explicação seja a única possível para os fatos que êle observa".

Falamos muito sôbre observações, dados empíricos, suposições, hipóteses e teorias, mas isso é apenas o comêço. Êste livro mostrará como tudo o que se conhece, até hoje, no campo da Biologia, foi conseguido através de processos que se enquadram nas categorias acima mencionadas. Auxiliaremos você a tornar-se hábil em distinguir observações de suposições e esperamos que o laboratório lhe dê oportunidade para um verdadeiro trabalho de cientista. Queremos que você colete dados, formule suas próprias hipóteses e aprenda a estabelecer suposições. Através das experiências, você verá como os fatos interagem com as idéias no campo da Biologia.

...Os fatos científicos são observações que podem ser repetidas e verificadas e sôbre as quais não se admitem controvérsias. A curiosidade é elemento vital na solução de problemas científicos. Uma apresentação clara e concisa dos problemas é essencial para o progresso da Ciência. As experiências controladas são importantes para testar hipóteses, ao passo que o empirismo, ou experiências tipo tentativa-e-êrro, devem ser evitadas sempre que possível. A função de uma hipótese é explicar ou relacionar os fatos associados a um determinado problema, podendo, também, predizer novas informações.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais as duas principais funções de uma hipótese?
2. Por que é difícil explicar a elaboração de uma hipótese?
3. Qual a relação entre as hipóteses e as experiências?
4. Em que uma experiência controlada difere do método empírico?
5. Por que o empirismo é pouco recomendável para o trabalho do cientista?

SUMÁRIO

Ciência é um conjunto de informações obtidas a partir de fatos, um conjunto de hipóteses e de teorias, enfim, uma atividade que relaciona fatos e hipóteses.

Fatos que possam ser repetidos e observações que possam ser confirmadas são fundamentais para a Ciência. Fatos e um espírito curioso auxiliam a formular problemas científicos. As hipóteses e teorias têm como função fornecer soluções lógicas para êsses problemas. Uma hipótese só é frutífera se sugerir novas idéias e previsões que, por sua vez, possam ser testadas. Quando uma hipótese fôr testada, confirmada e aceita pode ser considerada uma teoria.

As experiências controladas são essenciais para verificação de hipóteses e para a descoberta de novos fatos. Uma experiência controlada implica na tentativa de conservar tôdas as condições constantes, exceto aquela cuja influência se quer verificar. A experiência por tentativa-e-êrro (empirismo) é, geralmente, perda de tempo. A tentativa de explicar a origem dos atóis é um dos exemplos do tipo de trabalho de investigação que os cientistas têm que realizar e, por isso, foi usado por nós. Há muitas hipóteses para explicar a existência das ilhas de coral, mas nenhuma fornece explicação satisfatória. O problema permanece sem solução e como êste há muitos outros em Ciência.

QUESTIONÁRIO

(*A*) 1. Como é formulada uma hipótese?

2. Qual a pressuposição contida na teoria de Darwin sôbre a origem dos atóis?
3. Como foi ela testada?
4. Por que um cientista deve ser, antes de tudo, um bom observador?
5. Qual a diferença entre hipótese e teoria?
6. Que é uma experiência controlada?

(*B*) 7. Que deve um cientista fazer depois de estabelecer uma hipótese?

8. Qual a estrutura geral de uma hipótese? Dê um exemplo.
9. Quais as funções e finalidades das hipóteses? Exemplifique.
10. Qual a importância das experiências controladas?
11. É possível evitar-se completamente o o empirismo? Explique.

(*C*) 12. Compare as três suposições contidas na teoria de Darwin sôbre os atóis com as três existentes na hipótese das crateras. Quais foram as modificações introduzidas por êle?

13. Quais as informações provenientes das perfurações feitas na Ilha de Eniwetok?
14. Qual a hipótese atual sôbre a existência dos atóis?

OBRAS MENCIONADAS

1 EINSTEIN, A. and I. INFELD: *The Evolution of Physics*. New York, Simon and Schuster, 1952, p. 95.

2 *Ibid.*, p. 4.

3 DARWIN, Charles. *The Voyage of the Beagle* (1840). New York, Harper and Brothers, 1959, p. 301.

4 DARWIN, Charles. *The Autobiography of Charles Darwin*. New York, Dover Publications, 1958, p. 299.

5 EINSTEIN, A. anl I. INFELD. *Op. cit.*, p. 33.

LEITURAS RECOMENDADAS

CAJAL, S. Ramon y. *Regras e Conselhos sôbre a Investigação* Científica (trad.). Ed. Zélio Valverde, Rio, 1942.

HOEL, Paul G. *Estatística Elementar* (trad.). Ed. Fundo de Cultura, 1962.

ROSTAND, Jean. *Fanáticos e Sábios* (trad.). Ed. Ibrasa, 1959.

HOGBEN, Lancelot. *O Homem e a Ciência* (trad.). Ed. Globo, Fundo de Cultura Geral, 1952.

WALD, George. "A Origem da Vida" — capítulo 1.º do livro *Física e Química da Vida (Scientific American)*. Ed. Ibrasa, 1961.

A VARIEDADE DOS SÊRES VIVOS

CAPÍTULO 2

Há, na Terra, milhares e milhares de organismos que vivem no ar, no solo e na água. Não só existem em grande número como apresentam grande variedade de tipos, desde sêres microscópicos até animais e vegetais gigantescos. Essa diversidade imensa fornece muitos dos problemas com que os biólogos se deparam; nela ainda há mistérios a serem desvendados.

Seria impossível estudar separadamente cada um dos diferentes tipos de organismos e, antes de poder enfrentar os numerosos problemas relacionados com os sêres vivos, o homem teve que criar algum sistema para classificá-los, ou seja, separá-los em grupos. Nenhum dos sistemas de classificação existentes é completamente satisfatório, uma vez que há sêres que não se enquadram perfeitamente em nenhuma categoria dessas classificações.

CLASSIFICANDO OS SÊRES VIVOS

2 — 1 Os métodos de classificação diferem

Você já está familiarizado com certos tipos de sêres vivos ou *organismos* que o rodeiam. Sabe, por exemplo, que podem ser classificados como plantas ou animais, não ignorando, também, que existem diferentes espécies tanto de uns quanto de outros. Se lhe pedissem para fazer uma relação dos animais que conhece, com certeza incluiria os mais comuns, como o cavalo, o cachorro, o rato, o peixe, a minhoca, a borboleta, etc. Quanto às plantas, você citaria a alface, as margaridas, a rosa, a grama, o jacarandá, o cipreste, etc. Você poderá, talvez, enumerar algumas centenas de diferentes tipos de organismos, no entanto, os biólogos calculam as espécies existentes atualmente em cêrca de dois milhões e novas espécies estão sendo sempre descobertas.

Para que os cientistas pudessem encontrar solução para os problemas originários desta grande diversidade, foi necessário separar os maiores grupos, animais e vegetais, em grupos menores. As semelhanças e diferenças que notamos entre os organismos auxiliam-nos a agrupá-los. A colocação de um ser num grupo ou categoria é chamada *classificação*.

O homem tem tendência para colocar tôdas as coisas em grupos ou categorias porque, mentalmente, isso lhe parece conveniente. Por exemplo, os membros de clubes automobilísticos têm seus próprios métodos para classificar veículos. Você pode colecionar selos e classificá-los conforme os países que os emitiram, mas alguns colecionadores agrupam seus selos segundo as figuras nêles existentes. Todos êsses sistemas de classificação têm, porém, uma coisa em comum: são baseados inteiramente na observação (fig. 2-1).

No Capítulo 1, o conhecimento baseado inteiramente na observação foi definido como conhecimento empírico. Da mesma maneira, uma classificação baseada ùnicamente na observação das semelhanças existentes entre as coisas pode ser chamada de classificação empírica. Suponha que dessem a você uma caixa com rochas e lhe pedissem que as separasse. Você poderia separá-



Fig. 2-1 De quantos modos diferentes você pode classificar êstes selos?

las usando os mais diversos critérios: côr, pêso, dureza (resistência que oferecem ao risco), etc., mas qualquer um dêles seria baseado apenas na observação e você estaria usando um método empírico.

Os geólogos, quando analisam essas mesmas rochas, vão além dêsses critérios para classificá-las. Seu método não se baseia apenas no que observam, mas, também, na maneira como êles *supõem* que elas tenham se formado. Portanto, vão além do conhecimento empírico, pois estão usando uma hipótese para descobrir relações que não poderiam ser verificadas pela observação direta.

Os primeiros biólogos usaram o método empírico para classificar os sêres vivos e, ainda hoje, muito da classificação biológica continua sendo empírica. Mas os biólogos modernos tentaram, como os geólogos, ir além da classificação baseada ùnicamente na observação e, no seu método, usam hipóteses para estabelecer relações entre os sêres vivos.

2 — 2 Primeiras tentativas em classificação

Aristóteles, o grande filósofo grego que viveu de 384 a 322 a. C., deparou com o mesmo problema que se nos apresenta hoje, embora pensasse que existissem apenas algumas centenas de tipos de animais e vegetais. É dêle a seguinte citação:

> Devemos nós, por exemplo, começar por discutir cada espécie em separado — homem, leão, boi, etc., tomando cada tipo independentemente do resto, ou devemos procurar descobrir o que êles têm em comum...?[1]

Aristóteles e seu discípulo Teofrasto fizeram uma tentativa de classificação para o número limitado de espécies animais e vegetais conhecidas na época. Os vegetais foram classificados em ervas, arbustos e árvores. Os animais, por sua vez, foram classificados de acôrdo com o lugar em que viviam: terra, água ou ar. Outro filósofo desenvolveu um sistema que separava os animais em três categorias: os úteis, os daninhos e os inúteis. Muitos outros sistemas foram imaginados, mas todos inteiramente empíricos, baseados exclusivamente na observação.

Foi sòmente no século XVII que um inglês, John Ray, tentou estabelecer um critério seguro de classificação, definindo espécie. De acôrdo com Ray, uma espécie é um grupo de indivíduos semelhantes que têm ancestrais comuns. Disse êle: "Uma espécie nunca nasce de outra espécie[2]... Em outras palavras, uma espécie não é produzida a partir de outra. Segundo Ray, vários organismos, apresentando diferenças pequenas, poderiam pertencer à mesma espécie se tivessem os mesmos ancestrais. Seu trabalho mostra o comêço de uma combinação entre empirismo e conhecimento teórico: à observação dos sêres vivos foi acrescentada uma hipótese sôbre as espécies. É necessário assinalar, contudo, que Ray, da mesma maneira que as pessoas de sua época, acreditava que "o número de verdadeiras espécies na natureza é fixo e limitado e, como podemos acreditar, constante e imutável[3]..."

O naturalista sueco Lineu (Karl von Linné) desenvolveu cuidadosamente um notável sistema de classificação, baseado no conceito de espécie de Ray. Lineu considerava que o principal objetivo da Ciência era encontrar a ordem na natureza. Para êle, cada organismo tinha seu lugar especial no esquema da vida e por isso, desejava classificar cada espécie de acôrdo com o lugar que ocupasse nesse esquema. Passou sua vida revendo seu trabalho de classificação, acrescentando sempre novas plantas e animais. Nosso sistema de classificação atual é baseado no seu trabalho *Systema Naturae* (10.ª edição, 1758).

Para Lineu, uma espécie era constituída por um grupo de organismos semelhantes a um determinado tipo ideal. Pensava, nessa época, que o número de espécies fôsse fixo e tivesse permanecido constante desde sua criação e que as espécies jamais se modificassem. Por isso, cada organismo poderia ser comparado a um tipo padrão e colocado com êle num mesmo grupo. Se um organismo se desviasse do tipo ideal, seria desprezado.

Na época de Lineu, tornou-se necessária uma classificação abalizada por causa do grande número de vegetais e animais que vinha sendo observado e descrito pelos naturalistas. Suponha, por exemplo, que cêrca de 6.000 plantas tivessem sido descritas até o ano de 1600; nos cem anos seguintes, um número três vêzes maior tornou-se conhecido, em conseqüência das viagens aos continentes recém-descobertos.

O sistema de Lineu reunia espécies semelhantes num grupo maior que constituia um *gênero*. Usou nomenclatura latina para os gêneros e espécies, de maneira que pudesse ser compreendida e usada no mundo inteiro; alguns dêsses nomes permanecem ainda hoje. Assim, Lineu deu o nome *Canis familiaris* para o cão e *Canis lupus* para o lôbo. *Canis familiaris* e *Canis lupus* designam as espécies. Para êle, as duas espécies eram evidentemente semelhantes e por isso deveriam pertencer ao mesmo gênero: *Canis*.

Lineu, como a maioria dos biólogos de seu tempo, acreditava que as espécies não se modificavam, ainda que não pudesse negar o fato de que muitas delas se extinguiram. Nas suas viagens coletou conchas fósseis de animais que eram desconhecidos na sua época e isso o levou a pensar na existência de espécies que desapareceram; tal idéia, porém, foi logo abandonada, porque não coincidia com sua suposição fundamental de que as espécies eram fixas e imutáveis.

Desde o tempo de Lineu, muitos biólogos vêm fazendo observações sôbre os organismos, numa tentativa de encontrar um sistema mais exato para agrupá-los. Começaram por estudar os tipos de esqueleto e formas do corpo dos animais, a disposição das pernas e a estrutura das partes internas. Em todos os casos, a observação da estrutura era a base da classificação; dificilmente deixavam de considerar o mais simples detalhe da anatomia. Então, tendo como base as muitas semelhanças e diferenças, tentaram organizar um sistema ordenado que incluísse cada animal e cada vegetal.

Uma vez que êste tipo de atividade empírica persiste até hoje, o sistema original de Lineu tem sido freqüentemente reorganizado. Alguns cientistas preferem situar todos os organismos em poucos grupos grandes, considerando características generalizadas, enquanto que outros preferem situá-los em muitos grupos pequenos. Apesar dessas divergências, ainda são mantidas as categorias básicas do sistema de classificação de Lineu.

A unidade de classificação usada pelos biólogos é ainda chamada espécie, porém a palavra

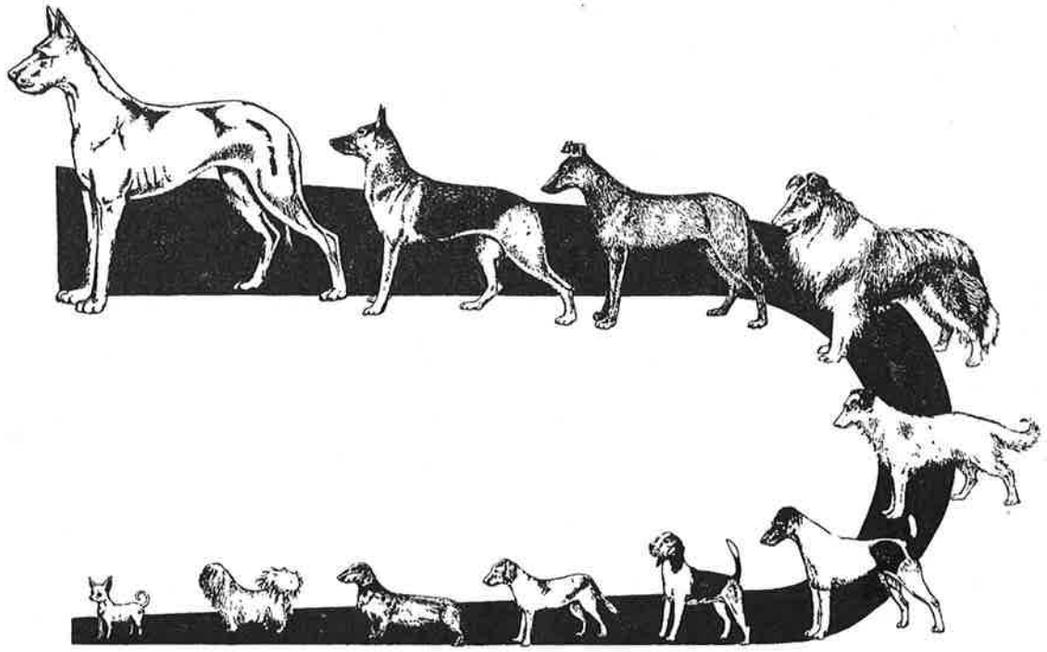


Fig. 2-2 Diversidade dentro de uma espécie.

espécie é usada para animais ou vegetais tão semelhantes que, não só tenham as mesmas características estruturais, *como também possam ser cruzados e produzir descendentes férteis.* Êste é um conceito mais ou menos semelhante ao dado por John Ray no século XVII. Assim, todos os homens pertencem a uma mesma espécie, todos os nossos cães domésticos são, também, da mesma espécie, embora possam diferir muito no tamanho, na côr e na forma (fig. 2 — 2).

Hoje, como no tempo de Lineu, as espécies muito semelhantes são colocadas num grupo maior, denominado gênero. Assim, como já foi visto, o cachorro e o lôbo são colocados no mesmo gênero *(Canis).* Por sua vez, como no sistema de Lineu, gêneros semelhantes são agrupados formando uma *família;* famílias com características semelhantes constituem uma *ordem;* um conjunto de ordens, com características comuns, constituem uma *classe.* Finalmente, um grupo de classes, também com características semelhantes, constitui um *filo (phylum).* Êste abrange um número tão grande de indivíduos que todos os animais conhecidos podem ser agrupados num número relativamente pequeno de filos. Exemplos de classificação de cinco organismos diferentes são dados na tabela 2 — 1 e exemplos de organismos dos principais filos são ilustrados no final do livro.

2 — 3 Organismos de difícil classificação

Muitas vêzes é difícil colocar um determinado organismo numa das categorias estabelecidas, pois, êle pode ter algumas características de um grupo e outras de outro grupo. Um organismo microscópico, como a *Euglena,* tem sido considerado como animal pelos zoólogos e como vegetal, pelos botânicos. Os zoólogos dizem que a *Euglena* apresenta muitas características próprias dos animais, mas os botânicos alegam que ela sintetiza alimento, como as plantas (fig 2 — 3). Se a *Euglena* fôsse o único problema, poderíamos desprezá-la, considerando-a um tipo excêntrico, mas as bactérias, os lêvedos e protozoários são outros problemas — nem animais nem vegetais. Resolveu-se parcialmente a questão colocando-os num grupo à parte, denominado grupo dos *protistas.*

Qualquer sistema de classificação dos sêres vivos apresentará dificuldades. No idealizado por Lineu, não havia lugar para variações do tipo ideal, porque o sistema se baseava na suposição de que as espécies nunca se modificam. Ainda hoje, os cientistas não concordam quanto à classificação de certos organismos dentro desta ou daquela espécie. Em outras palavras, não foi inventado um sistema perfeito de classificação. Algumas das dificuldades, porém, podem ser, pelo menos, entendidas se partirmos de uma nova suposição: a de que os sêres vivos se modificam em longos períodos de tempo. Essa suposição levou ao desenvolvimento da teoria da evolução.

	Ameba	*Rosa*	*Cão*	*Lôbo*	*Homem*
REINO	Protista	Vegetal	Animal	Animal	Animal
FILO	Protozoa	Tracheophyta	Chordata	Chordata	Chordata
CLASSE	Sarcodina	Angiospermae	Mammalia	Mammalia	Mammalia
ORDEM	Amoebina	Rosales	Carnivora	Carnivora	Primatas
FAMÍLIA	Amoebidae	Rosaceae	Canidae	Canidae	Hominidae
GÊNERO	Amoeba	Rosa	Canis	Canis	Homo
ESPÉCIE	*A. proteus*	*R. multiflora*	*C. familiaris*	*C. lupus*	*H. sapiens*

Tabela 2 — 1. Classificação de cinco organismos

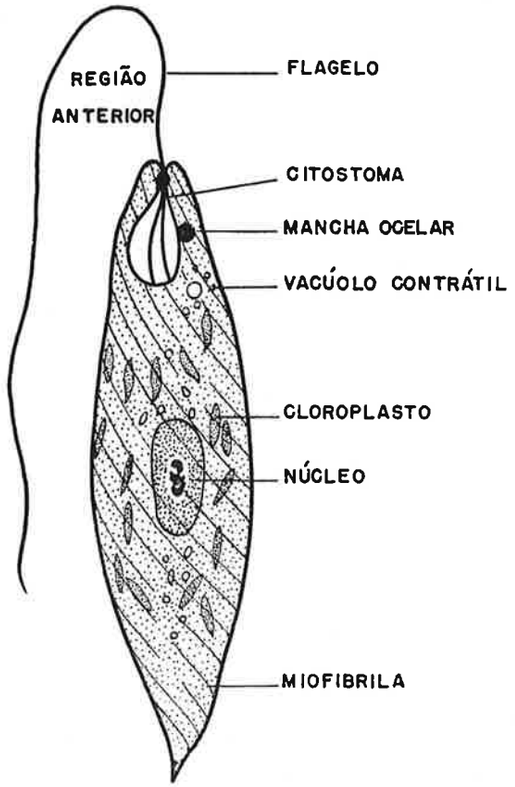


Fig. 2-3 Euglena é um organismo com características tais que tornam sua classificação difícil.

...Para estudar a grande variedade de sêres vivos foi necessário um processo de classificação. Até cêrca de 300 anos atrás, a classificação de animais e vegetais era apenas empírica. Os organismos eram classificados tomando-se como base as várias semelhanças que pudessem ser observadas. A definição de espécie *dada por John Ray e o trabalho de Lineu deram origem a um sistema de classificação que usava a semelhança de estrutura como base. A suposição de que as espécies fôssem fixas e imutáveis era o fundamento dêste sistema de classificação, baseado numa combinação de empirismo e hipótese. O sistema de Lineu apresentou dificuldades, uma vez que muitos indivíduos diferem dos tipos ideais. Esta variedade forneceu o maior indício para o sistema moderno de classificação biológica, que ainda faz uso de observações empíricas, mas é firmemente baseado na teoria da evolução.*

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Que significa classificação?
2. Em que se baseia uma classificação empírica?
3. Em que se baseou Aristóteles para classificar os animais e vegetais?
4. De que maneira Ray contribuiu para o desenvolvimento de um sistema de classificação melhor?
5. Qual foi a suposição básica que Ray e Lineu fizeram sôbre a espécie?
6. O fato de identificar um objeto pelo nome tem alguma coisa a ver com classificação? Explique.
7. Qual é o conceito atual de *espécie?*

A VARIEDADE DOS SÊRES VIVOS E A TEORIA DA EVOLUÇÃO

2 — 4 A teoria da evolução auxilia a explicar a variedade dos sêres vivos

A idéia de que os organismos evoluem através dos tempos intrigou muitos dos primeiros naturalistas. Os manuscritos dos antigos filósofos gregos mostram que êles admitiam a possibilidade de novas formas vivas terem-se originado de outros tipos pré-existentes. No século XIX, Charles Darwin apresentou provas que fizeram com que esta teoria fôsse aceita definitivamente. O trabalho de Darwin será discutido com detalhes no Capítulo 3.

O que significa a teoria da evolução para o biólogo? Significa, no seus têrmos mais simples, que os sêres vivos podem se modificar; que tôda uma espécie pode se alterar com o tempo; que algumas espécies podem se extinguir e outras aparecer. Significa, ainda, que os tipos de vegetais e animais que existem atualmente na Terra não pertencem às mesmas espécies a que pertenceram os organismos primitivos; muitas espécies de animais e vegetais que dominaram no passado, não mais existem e nós as conhecemos sòmente através dos seus fósseis.

Como a evolução é um assunto nôvo para alguns estudantes, êstes poderão perguntar: "os biólogos acreditam realmente em evolução?" A resposta é que "acreditar" não é o têrmo adequado para exprimir o ponto de vista do cientista em relação à evolução. Evolução não é um credo, mas uma teoria científica que se desenvolveu baseada num conjunto de fatos e tem sido testada por mais de um século, diante de um acúmulo de conhecimentos cada vez maior.

Como tôdas as teorias científicas, a teoria da evolução tem sido fortalecida e revista, à medida que a pesquisa revela fatos novos. Por isso, a teoria moderna difere dos aspectos apresentados por Darwin. Uma das provas mais fortes a seu favor é que os fatos acumulados levaram, não à sua queda, mas ao seu desenvolvimento que permitiu explicar um número ainda maior de fatos.

2 — 5 Os fósseis fornecem provas para a evolução

Não apresentaremos, neste capítulo, tôdas as provas que apóiam a teoria da evolução, mas elas serão encontradas na seqüência dêste livro, por ser essa teoria um dos temas unificadores da Biologia moderna — ela é a estrutura que auxilia a unir os campos especializados das ciências biológicas. Apenas o testemunho fóssil será discutido, embora de maneira sucinta, por constituir a base da teoria da evolução.

Os fósseis se formaram e foram preservados devido a uma sucessão de acasos felizes. A menos que ocorra um dêsses acasos, os organismos mortos, mais cedo ou mais tarde, desaparecem. Se um animal morre num campo aberto ou numa floresta densa, sua carne será imediatamente atacada por vários tipos de organismos, desde urubus e chacais, até larvas e bactérias. Tudo, com exceção dos ossos, desaparecerá ràpidamente e mesmo os ossos apodrecerão com o tempo, a não ser que sejam preservados de alguma maneira especial. Nos vegetais, a madeira, as fôlhas e os frutos sofrem um destino semelhante.

Algumas vêzes, no entanto, um animal ou planta morre junto a um leito d'água e é coberto por sedimentos trazidos pela corrente; os animais maiores não podem alcançá-lo. A água impede ataques de muitos outros organismos e, muitas vêzes, substâncias minerais transportadas por ela podem impregnar os ossos. Êste mesmo conjunto de circunstâncias pode repetir-se no fundo de oceanos ou de mares rasos (fig. 2 — 4). Outras vêzes, a erupção de um vulcão cobre todos os animais e vegetais das vizinhanças, com espêssas camadas de cinza e poeira, de modo a conservá-los.

Com o passar dos anos, as camadas de lama, cascalho, cinzas ou de outros sedimentos, nos quais os restos estão sepultados, são cobertos por outros depósitos. As camadas superiores fazem pressão sôbre as que contêm os restos e êstes ficam incrustados nas rochas. Anos mais tarde, porém, êles podem ficar expostos, devido às mudanças na superfície da Terra; a crosta terrestre pode sofrer levantamentos e, quando isto acontece, os rios, aprofundando seus vales, podem cortar camadas fossilíferas; também a erosão levada a efeito pela ação do vento, chuva e gêlo pode chegar ao mesmo resultado (fig. 2 — 5).

Os testemunhos das rochas mostram remanescentes fósseis da vida nas diversas épocas geológicas. As rochas mais antigas revelam sòmente tipos extintos das mais simples formas de vida. As rochas das épocas sucessivas revelam tipos mais complexos de fósseis. Em alguns casos, a

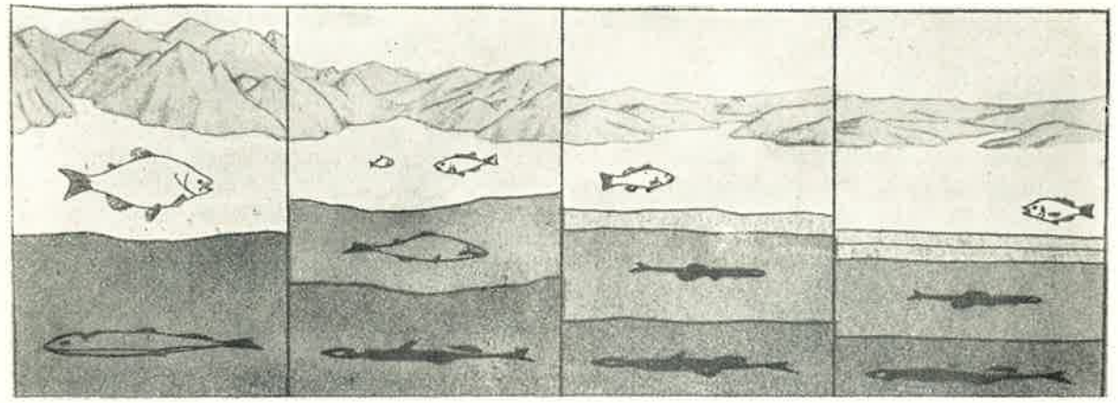


Fig. 2-4 Formação de fósseis no leito de um rio. 1- Um peixe é coberto pelos sedimentos. 2- Um segundo peixe fica recoberto pelos sedimentos e material inorgânico começa a penetrar nos ossos do primeiro peixe. Com o tempo os ossos vão sendo completamente substituídos por substâncias inorgânicas. 4- Novas camadas de sedimento vão se depositando com o correr dos anos.

história de grupos de sêres estreitamente relacionados pôde ser delineada desde os primeiros tempos até nossos dias, graças aos fósseis. Em muitos casos, os fósseis confirmam a suposição de que a vida evoluiu, durante longos períodos, de formas simples para mais complexas.

Um das finalidades do estudo dos fósseis é determinar o curso da evolução que nos leva a saber quais os ancestrais dos vários animais e vegetais. Para isso, é necessário um método que determine a idade dos fósseis. A idade relativa pode ser geralmente determinada pela posição do fóssil nas rochas sedimentares. Os componentes das rochas sedimentares são areia e outros materiais depositados no fundo de formações aquáticas e, as camadas mais inferiores destas rochas, na maioria das vêzes contêm fósseis mais antigos, enquanto que as superiores contêm os mais recentes.

Têm sido desenvolvidas novas técnicas, que auxiliam a determinar a idade dos fósseis e permitiram descobertas notáveis. Por exemplo, foi descoberto fossilizado um pequeno quadrúpede, com cêrca de 60 centímetros de comprimento. As técnicas modernas indicaram que a rocha e êsse fóssil têm cêrca de 60 milhões de anos. A descoberta de outros fósseis permitiu traçar uma linha contínua, com mudanças graduais, desde êsse fóssil até o cavalo moderno (fig. 2 — 7). Da mesma maneira foi estabelecida a evolução dos

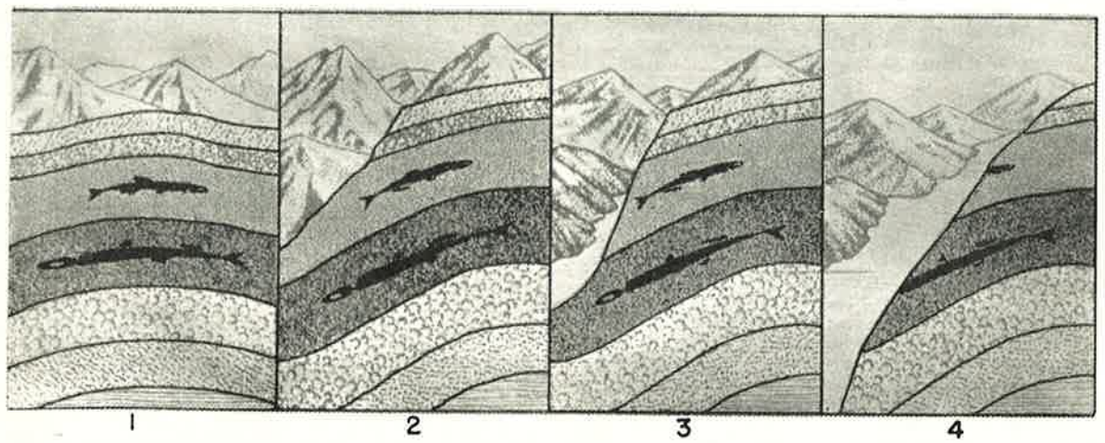


Fig. 2-5 Exposição dos fósseis. 1- As camadas de sedimento são levantadas acima do nível do mar. 2- A erosão remove os sedimentos. 3- Um curso de água se forma e corrói mais sedimentos. 4- O fóssil fica exposto.

elefantes, girafas, camelos e muitos outros animais.

Os fósseis fornecem provas que mostram que a vida vem se modificando vagarosamente durante milhões de anos. Não existe para os biólogos nenhum motivo razoável de dúvida quanto a ocorrência da evolução.

2 — 6 A teoria da evolução determinou mudanças na classificação biológica

A teoria da evolução afirma que os sêres vivos *modificam-se* através dos tempos. De acôrdo com ela, certas formas de vida descendem de outras; modificações nos sêres vivos foram e estão contìnuamente ocorrendo. Assim, os sêres considerados por Lineu como exceções, porque se desviavam dos tipos padrões, adquirem um maior significado, pois mostram que formas novas de vida se originam de formas mais antigas. Os organismos que não se enquadram em nenhum grupo particular podem fornecer indícios para explicar a formação de novas espécies. Algumas variedades de vida podem continuar a existir, outras podem se extinguir e outras podem, ainda, se modificar dando origem a formas diferentes. O que foi outrora considerado uma situação estática, imutável, é na realidade uma situação dinâmica, contìnuamente em modificação.

Com o sistema atual de classificação, os biólogos estão numa situação semelhante à dos geólogos. Êles podem, simplesmente, classificar os organismos de acôrdo com as várias semelhanças de estrutura, como também, de acôrdo com uma teoria — a da evolução. Nosso moderno sistema de classificação é baseado em suposições de como certas formas de vida evoluíram a partir de outras.

Um exemplo interessante que mostra como a classificação pode ser modificada, devido à teoria da evolução, é o caso do *Limulus* (fig. 2 — 8). Até bem recentemente, êste animal era colocado na classe *Crustacea,* ao lado dos caranguejos, devido a algumas semelhanças morfológicas que apresentam; contudo, análises químicas do sangue revelaram que o *Limulus* não é crustáceo! Está muito mais relacionado, sob o ponto de vista evolutivo, com as aranhas. Hoje, o *Limulus* é colocado junto com as aranhas na classe Arachnida. Pode-se ver, assim, como o método de classificação baseado na teoria da evolução vai além do método primitivo, empírico.

Poder-se-ia perguntar como o método de Lineu, baseado principalmente na observação, resultou num sistema de classificação que ainda pode ser considerado satisfatório. A resposta é que, na teoria da evolução, está implícita a idéia de que os organismos que têm estrutura semelhante, são ìntimamente relacionados. Além disso, a teoria subentende que os organismos que diferem muito uns dos outros acumularam, de alguma maneira, essas diferenças através dos tempos e se mostram agora menos relacionados do que em tempos passados. É por isso que a semelhança de estrutura é ainda usada como base para agrupamento, como vem sendo desde o tempo de Lineu, porém, hoje nós interpretamos as semelhanças de acôrdo com a teoria da evolução.

Essa teoria explica também a imensa variedade de formas de vida e os desvios dos chamados "tipos ideais", pois, segundo ela, podemos supor que tais diferenças ocorrem em tôda a natureza e não são exceções como imaginou Lineu.

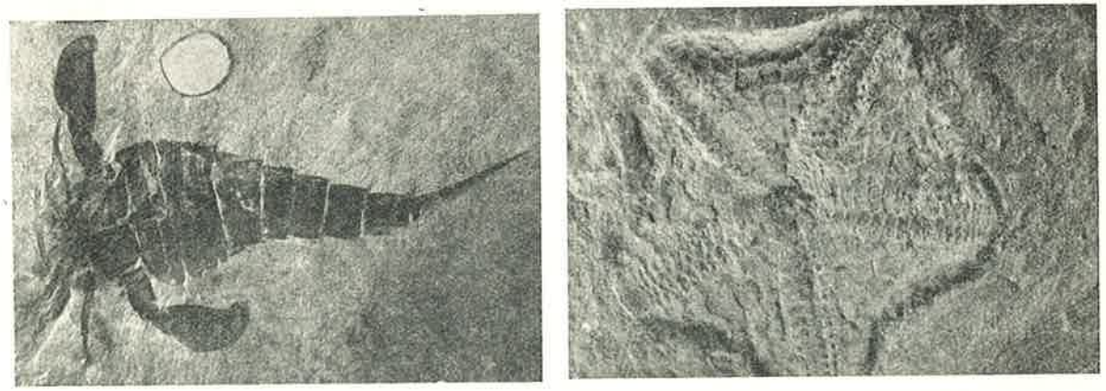


Fig. 2-6 Diversos fósseis. À esquerda *Hyaltechinus pentagonis,* um possível ancestral dos equinodermos e à direita *Eurypterus remipes* um artrópode aquático extinto.

2 — 7 Quadro das principais categorias

No fim dêste livro está incluído um Apêndice mostrando as principais categorias de organismos. Seu objetivo é apresentar-lhe a grande variedade de sêres vivos.

2 — 8 A investigação científica e a variedade de vida

Fizemos um breve apanhado a respeito da variedade dos sêres vivos, por diversas razões:

1. Os organismos vivos são o objetivo da Biologia. Êste capítulo, o seu trabalho no laboratório, e mais as excursões que deverão ser feitas durante o curso de Biologia, apresentarão a você uma grande variedade de organismos.

2. À medida que você prossegue no estudo dêste livro, verá que muitos organismos específicos serão discutidos, mas com relação a algum princípio geral. O Apêndice apresentado no fim do livro servirá como um meio de referência fácil que lhe permitirá conhecer os caracteres gerais de um organismo qualquer. Por exemplo, se você ler: "nos artrópodes o sistema nervoso é..." poderá procurar êsse grupo no Apêndice. O quadro não pretende ser completo, simplesmente serve para pô-lo em contato com alguns dos organismos que você irá estudar êste ano.

3. A variedade de organismos e a maneira pela qual foram classificados, o introduzirão à alguns dos problemas importantes da Biologia. Como foi evidenciado no primeiro capítulo, o cientista não se satisfaz com observações empíricas e classificação de fatos. Isto é só o começo da Ciência. Só quando um cientista pode formular hipóteses que possam relacionar significativamente certos fatos com outros, dentro de um quadro maior e mais geral, é que progride realmente.

Êste último ponto é a base para a discussão da teoria da evolução.

...A teoria da evolução introduziu a idéia de que as espécies se modificam e que, durante longos períodos de tempo, novas formas resultam de outras mais antigas. Essa teoria explica como certas formas extintas são ancestrais de formas atuais. Explica, também, que devem ser esperados desvios dos "tipos ideais" considerados por Lineu. Com base na teoria da evolução, os biólogos, se bem que ainda interessados nas semelhanças de estrutura, tentam agora classificar os organismos de acôrdo com a maneira pela qual êles possam ter evoluído.

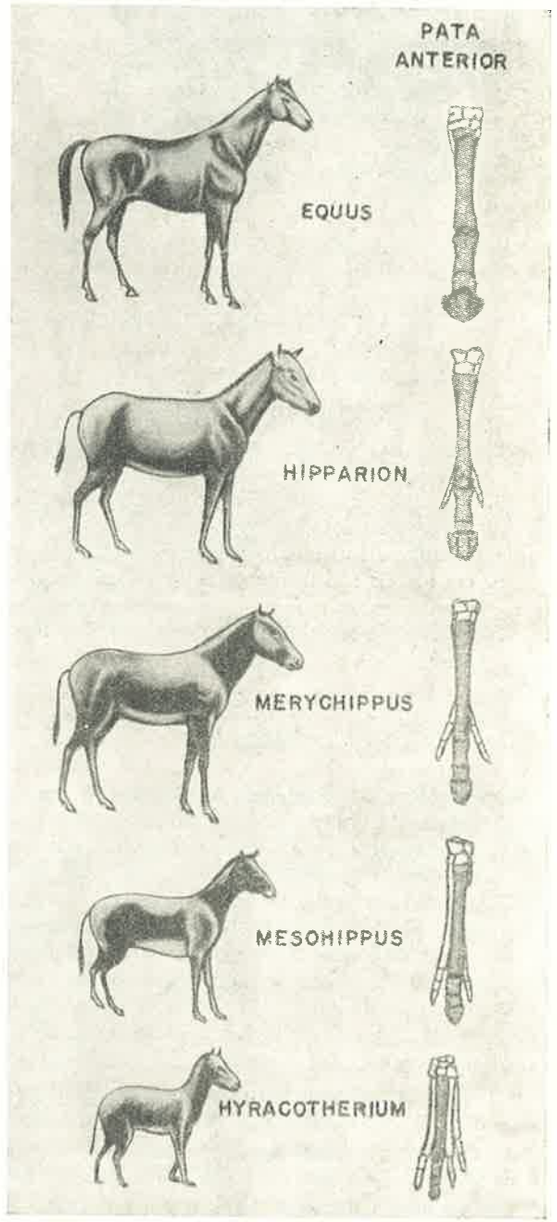


Fig. 2-7 Estágios na evolução do cavalo. Dos quatro pés existentes originalmente no *Hyracotherium,* sòmente um dedo (porção sombreada da figura) permanece no Equus.

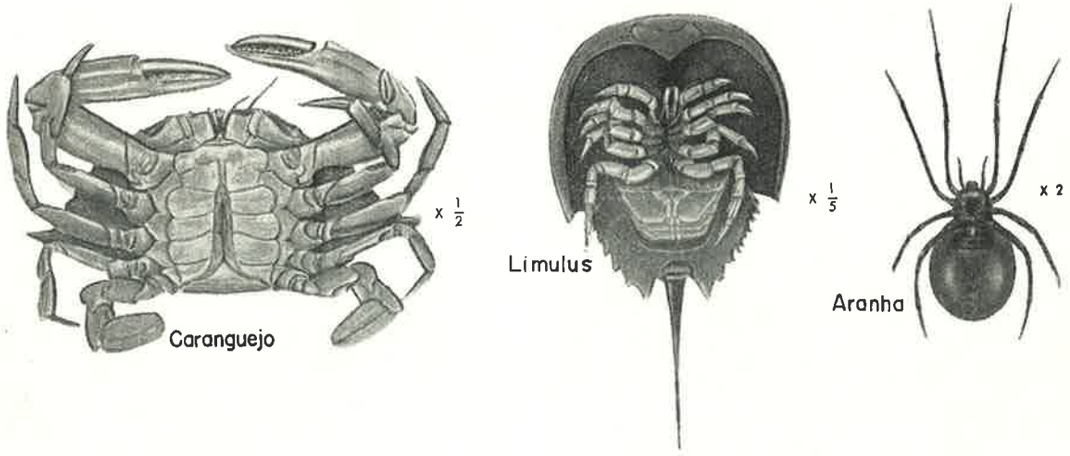


Fig. 2-8 Limulus tem maior parentesco com a aranha do que com o caranguejo.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. O que é a teoria da evolução?
2. Neste livro, onde você procuraria evidências para a teoria da evolução?
3. Em que hipótese se baseia a classificação moderna dos sêres vivos?
4. Como se formam os fósseis?
5. Os fósseis são numerosos ou raros? Explique.
6. Que pode ser descoberto a partir dos fósseis?

SUMÁRIO

Para resolver os problemas resultantes da grande variedade de vida, o homem precisou usar sistemas de classificação. Os sistemas primitivos foram baseados na suposição de que as espécies fôssem fixas e imutáveis. Devido a essa suposição, não havia, nesses sistemas, lugar para as variações que freqüentemente ocorrem. Muitas falhas e sucessos das primeiras classificações podem ser explicados pela teoria da evolução. Para a compreensão desta teoria, é básica a idéia de modificação das espécies, em oposição à teoria fixista.

Em Ciência responder a uma questão leva, geralmente, ao aparecimento de novas questões. Quais são os mecanismos da evolução? Como ocorrem variações nas espécies? No capítulo seguinte iremos comparar duas teorias opostas a respeito dos mecanismos da evolução e, em outros capítulos, outros mecanismos serão discutidos.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. O que é classificação? Dê alguns exemplos.
2. Por que classificamos as coisas?
3. Como Lineu definiu espécie?
4. A teoria da evolução envolve:
   (a) modificação
   (b) novas espécies
   (c) organismos extintos
   (d) espécies mutáveis
   (e) tudo isso
5. Por que alguns organismos são difíceis para serem classificados?
6. Os testemunhos fósseis:
   (a) provam a teoria da evolução
   (b) são provas circunstanciais para a teoria da evolução
   (c) têm muito pouco a ver com a teoria da evolução
   (d) são a única prova da teoria da evolução
   (e) são um embuste para provar a teoria da evolução
7. Como a teoria da evolução explica a variedade dentro das espécies?
8. Qual o conceito de "tipo ideal" usado no sistema de classificação proposto por Lineu?
9. Dê alguns exemplos que ilustrem a variedade de organismos dentro de uma espécie.
10. Qual a diferença entre número de organismos e número de espécies?
11. Por que a *Euglena* tem sido classificada como animal e como vegetal?

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

(B) 12. Como pode um sistema de classificação ser feito de modo menos empírico?
13. Por que a teoria da evolução se tornou cada vez mais aceita pelos cientistas?
14. Qual o papel dos fósseis em relação à teoria da evolução?
15. Por que a classificação de alguns organismos tem sido modificada desde a introdução da teoria da evolução como base para a classificação?
16. A classificação dos organismos dá ênfase às semelhanças existentes entre êles, às diferenças ou a ambas as coisas?
17. Por que Lineu desprezou as conchas fósseis que coletou?
18. Por que o *Limulus* é agora classificado como Aracnídeo?

(C) 19. Pode existir um sistema de classificação que não tenha conecção com conhecimento empírico? Seria útil? Explique. Seria científico?
20. Como a teoria da evolução considera as diferenças e semelhanças entre os organismos?
21. Explique como Lineu usou uma interação de fatos e idéias para desenvolver seu sistema de classificação.
22. Se o gênero a que pertence o gato é chamado *Felis,* que você conclui ao ficar sabendo que o gênero a que pertence o leão era *Felis* e agora é *Pantherus?*
23. Qual era para Lineu o objetivo primário da Ciência?
24. Explique por que os fósseis de vegetais e animais extintos fornecem provas que não se enquadram muito bem na hipótese de Lineu, segundo a qual as espécies são fixas e imutáveis.
25. Se milhões de organismos morrem todos os dias, por que não encontramos maior número de organismos mortos espalhados?
26. Se você colocar a *Euglena* na categoria dos protistas estará fazendo parte do grupo de cientistas "generalizadores" ou "pormenorizadores"? Por que?

OBRAS MENCIONADAS

1 ARISTÓTELES. "Histories about Animals". *The Basic Works of Aristotle,* ed. Richard McKeon. New York, Random House, 1941, p. 643.
2 RAY, John. *General History of Plants* (1686-1704), de acôrdo com a citação de John C. Green, *The Death of Adam.* Ames, Iowa State University Press, 1959, p. 130.
3 *Ibid.,* p. 131.

MECANISMO DA EVOLUÇÃO
DOIS PONTOS DE VISTA EM CONFLITO

CAPÍTULO 3

Foi através do trabalho de Charles Darwin que a teoria da evolução tornou-se aceitável. Esta teoria rejeita a idéia fixista, segundo a qual o número das espécies é sempre o mesmo; afirma, ao contrário, que os sêres vivos se modificam através dos tempos. Explica a grande diversidade de formas de vida mas levanta uma outra questão fundamental: de que maneira se processa a evolução?

Neste capítulo serão discutidas duas hipóteses para responder a essa pergunta; a primeira foi proposta por Jean Baptiste Lamarck, biólogo francês e a segunda, por Charles Darwin. As provas apresentadas, as suposições feitas e a maneira pela qual Darwin propôs sua teoria para explicar o mecanismo da evolução exemplificam o papel da investigação em Biologia.

PONTOS DE VISTA SÔBRE A EVOLUÇÃO ANTES DE DARWIN

3 — 1 Primeiras idéias sôbre evolução

A teoria de Charles Darwin não foi criada sem base. Os fatos que o guiaram e lhe permitiram chegar a ela foram fornecidos pelas descobertas de outros cientistas e pelos seus próprios estudos e experiências.

Já nos séculos XVI e XVII, simultâneamente ao aparecimento da Biologia moderna, começou-se a admitir a possibilidade de haver evolução, mas a idéia foi rejeitada pela maioria das pessoas, mesmo as mais esclarecidas, em favor da crença de que as espécies eram imutáveis (fixismo).

Contudo, no século XVIII, muitos biólogos passaram a se interessar pela idéia da evolução. Em 1794, o avô de Darwin, Erasmus Darwin, publicou um longo tratado, intitulado *Zoonomia,* no qual afirmava sua crença na probabilidade da evolução, mas não apresentava nenhuma hipótese para explicar como ela ocorria.

3 — 2 Lamarck explica a evolução

Um importante trabalho sôbre a evolução foi realizado pelo biólogo francês Jean Baptiste Lamarck. Foi êle o único a propor, antes de Darwin, uma hipótese bem elaborada para explicar como os animais e vegetais evoluem. Suas idéias sôbre o fenômeno da evolução aparecem em seu livro, *Philosophie Zoologique,* publicado em 1809, ano em que nasceu Charles Darwin.

Como base para sua hipótese, Lamarck argumentava que uma grande mudança no meio ambiente provocaria, em uma espécie animal, uma necessidade de se modificar. Essa necessidade levaria à formação de novos hábitos.

Essa idéia e mais a observação da natureza, porém sem contrôle experimental, levaram Lamarck a duas suposições que são os fundamentos da sua teoria. Chamou à primeira de *lei do uso ou desuso* e, segundo ela, quanto mais uma parte do corpo é usada, mais se desenvolve; por outro lado, as partes que não são usadas enfraquecem vagarosamente, atrofiam-se e podem mesmo desaparecer. À segunda suposição chamou de *lei da herança dos caracteres adquiridos:* Lamarck postulou que qualquer animal poderia transmitir a seus descendentes aquelas características que se desenvolveram pelo uso ou se atrofiaram pelo desuso. Êle disse que as novas espécies aparecem por evolução, como resultado da aquisição ou perda de caracteres.

Lamarck usou muitos exemplos da natureza para explicar sua hipótese. Segundo êle, os ancestrais das cobras, provàvelmente, teriam tido pernas e corpos curtos mas, quando se tornou necessário, êsses animais passaram a rastejar pelo solo e a distender seus corpos para passar através de aberturas estreitas. Assim, usavam muito pouco suas pernas porque atrapalhavam o rastejar. Depois de um longo período de desuso, as pernas desapareceram enquanto os corpos se tornaram mais alongados. As membranas entre os dedos dos pés das aves aquáticas eram explicadas como conseqüência do seu uso na natação. Aves pernaltas, como as garças, teriam desenvolvido longas pernas esticando-as para manter seus corpos fora dágua. Cornos e chifres teriam aparecido como resultado das batidas de cabeças nas lutas que os animais travaram.

A hipótese de Lamarck poderia também ser aplicadas às plantas: se, por exemplo, em uma região diminuísse a intensidade das chuvas, as plantas passariam, em conseqüência, a ter necessidade de conservar água. Depois de muitos anos, à medida que a região ficasse mais e mais parecida a um deserto, as plantas passariam a seus descendentes, as características para economizar água que haviam adquirido. Dessa maneira teriam se originado as plantas típicas de regiões desérticas, como os cactos, capazes de armazenar grandes quantidades de água.

Num exemplo, lembrado freqüentemente, Lamarck tentou explicar como o pescoço da girafa cresceu tanto. Disse êle o seguinte:

> A girafa vive em lugares onde o solo é quase invariàvelmente sêco e sem capim. Obrigada a comer fôlhas e brotos no alto das árvores, ela é forçada, contìnuamente, a se esticar para cima. Êsse hábito, mantido por longos períodos de tempo por todos os indivíduos da raça, resultou nas pernas anteriores se tornarem mais longas que as posteriores e o pescoço tão alongado que a girafa pode levantar a cabeça a uma altura de 18 pés [5 metros e meio], sem tirar as pernas anteriores do solo[1].

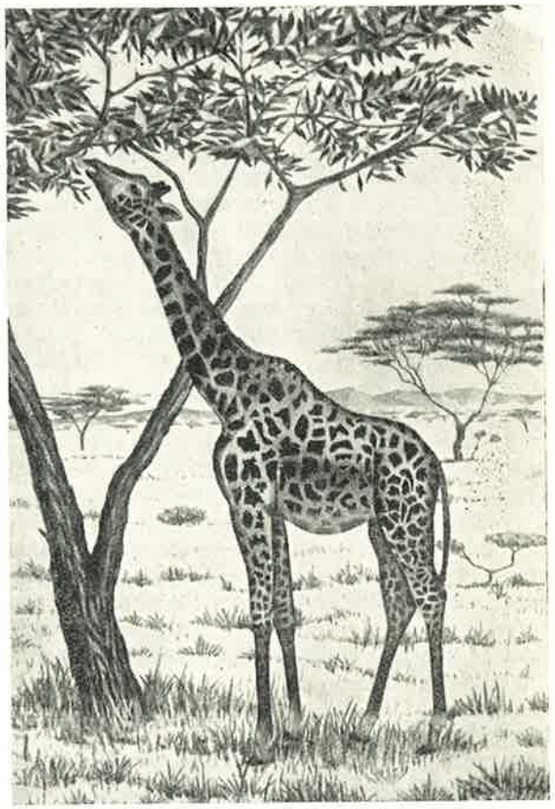


Fig. 3-1 Darwin e Lamarck deram explicações diferentes para o longo pescoço da girafa.

A hipótese de Lamarck admitia pois, que caracteres adquiridos podem ser herdados pelas novas gerações. Contudo, numerosas experiências realizadas nos últimos cem anos, não conseguiram comprovar que caracteres adquiridos possam ser transmitidos. Um experimentador testou a hipótese de Lamarck, cortando as caudas de camundongos e cruzando êsses animais. Os descendentes dos cruzamentos nasciam com caudas e êle as cortava. Continuou a experiência durante vinte gerações e, ainda, os da vigésima primeira apresentavam caudas tão longas como os da primeira.

É sabido também que os cães da raça "fox-terrier" nascem sempre com caudas de comprimento normal, embora seja costume, já antigo, cortarem-se as caudas dêsses animais logo após o nascimento.

A explicação de Lamarck da evolução por meio de herança dos caracteres adquiridos pode parecer razoável. Os exemplos usados por êle poderão parecer convincentes porque a primeira das duas afirmações é válida: *partes do animal mudam como resultado do uso ou desuso.* Você conhece muitos exemplos de modificações em indivíduos causadas por mudanças em seus hábitos: por exemplo, a maneira como os atletas desenvolvem seus músculos através do uso. É a segunda afirmação que não pôde ser experimentalmente comprovada; não há, até agora, nenhuma prova de que características adquiridas possam passar aos descendentes.

Embora a hipótese de Lamarck, para explicar o mecanismo da evolução, seja errada, êle é considerado um dos maiores biólogos da História. Suas cuidadosas observações da natureza são descritas nos muitos livros interessantes escritos por êle. Deve-se ressaltar ainda um outro aspecto do seu trabalho, que tem grande importância: êle chamou a atenção para o fenômeno de *adaptação,* mostrando que os sêres vivos estão bem adaptados em relação ao ambiente em que vivem.

As idéias de Lamarck sôbre evolução não impressionaram as pessoas de sua época, contudo, cinqüenta anos depois, Charles Darwin pôde despertar o interêsse do mundo ocidental com as provas que apresentou para comprovar o fenômeno da evolução e com a teoria que propôs para explicar seu mecanismo.

...A modificação das espécies através dos tempos é chamada evolução. Um mecanismo para explicá-la foi proposto por Lamarck. Sua hipótese se baseia na suposição de que as características mudam pelo uso ou desuso e que características adquiridas podem ser transmitidas por herança. Esta segunda afirmação, entretanto, não pôde ser comprovada experimentalmente.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. O que falta no livro de Erasmus Darwin, *Zoonomia,* com respeito ao fenômeno da evolução?
2. Que papel desempenha o ambiente na hipótese de Lamarck?
3. Segundo Lamarck, como são formados novos hábitos?
4. Que crítica deve ser feita à teoria de Lamarck? Em que nos baseamos para fazê-la?
5. Qual é o valor do trabalho de Lamarck para a Biologia?

TRABALHOS DE DARWIN

3 — 3 A viagem do "Beagle"

Em 1831, quando contava 22 anos de idade, Darwin partiu como naturalista a bordo de um navio inglês, o *Beagle.* A finalidade dessa viagem, que durou cinco anos, era mapear as costas da América do Sul e das ilhas do Pacífico. Darwin, como naturalista, deveria coletar espécimes de animais e vegetais encontrados e anotar suas observações.

É interessante saber que, nessa ocasião, estêve na Ilha de Fernando de Noronha, na Bahia e no Rio de Janeiro e se entusiasmou com a natureza brasileira, como se pode ver na seguinte citação:

> BAHIA, ou S. SALVADOR — BRASIL, 29 de fev. — O dia passou-se deliciosamente. Mas "delícia" é têrmo insuficiente para exprimir as emoções sentidas por um naturalista no seio de uma floresta brasileira. A elegância da relva, a novidade das parasitas, a beleza das flôres, o verde luzidio das ramagens, e acima de tudo a exuberância da vegetação em geral foram para mim motivos de uma contemplação maravilhada. O concêrto mais paradoxal de som e de silêncio reina à sombra dos bosques. Tão intenso é o zumbido dos insetos que pode perfeitamente ser ouvido de um navio ancorado a centenas de metros da praia. Apesar disso, no recesso íntimo das matas, a criatura sente-se como que impregnada de um silêncio universal. Para o amante da história natural, um dia como êste traz consigo uma sensação de que jamais se poderá, outra vez, experimentar tão grande prazer. Depois de vagar algumas horas, decidi-me a voltar ao ponto de desembarque; mas, antes de alcançá-lo, fui surpreendido por um aguaceiro tropical. Procurei abrigar-me debaixo de uma árvore, cuja copa cerrada seria impermeável à chuva comum da Inglaterra, porém, poucos minutos depois, descia pelo enorme tronco uma verdadeira torrente. É à violência da chuva que devemos atribuir o verdor do solo nos bosques mais densos, pois, se as pancadas fôssem como nos climas mais frios, a maior parte da água seria absorvida ou evaporada antes que chegasse ao chão. Como na viagem de regresso passaremos novamente por êste lugar, não tentarei fazer agora a descrição do cenário dêste dia glorioso[2].



Fig. 3-2 Darwin gastou muitas horas no Beagle, analisando e estudando animais.

Pouco antes da viagem, Darwin recebeu de um de seus antigos professôres, o livro *Princípios de Geologia,* escrito pelo seu grande amigo Charles Lyell. Nêle, o autor afirmava que as fôrças naturais, responsáveis pelos fenômenos geológicos do passado, eram as mesmas existentes atualmente. Lyell admitia que essas fôrças haviam, provàvelmente, produzido modificações na crosta terrestre através das épocas.

O livro provocou um impacto na imaginação de Darwin porque, durante a viagem ao longo das costas sul-americanas, encontrou provas dessas modificações. O jovem naturalista levantou, então, as seguintes questões: se a Terra havia passado por longas modificações, como seria ela há milhares de anos? Poderia ela ter mantido as mesmas formas vivas atuais, ou não? Que outras formas poderiam ter existido?

Nas plantas e animais da América do Sul, para êle estranhos, Darwin descobriu indícios de modificações nas espécies. Notou, por exemplo, que as emas, que vivem nas planícies da Argentina, são, nas proximidades de Buenos Aires, muito diferentes das encontradas no sul do continente. Além de coletar espécimes vivos, fêz escavações, encontrando também fósseis de grandes mamíferos (veja a tabela que mostra a classificação dos mamíferos no Apêndice dêste livro), bem diferentes das formas atuais. Entre os descobertos por êle na Argentina havia alguns de gigantescos mamíferos extintos, semelhantes em vários aspectos aos nossos tatus (fig. 3 — 3). Êsses monstros, com cêrca de quatro metros de comprimento, dificilmente poderiam pertencer às mesmas espécies atuais, mas como estas, só são encontrados na América.

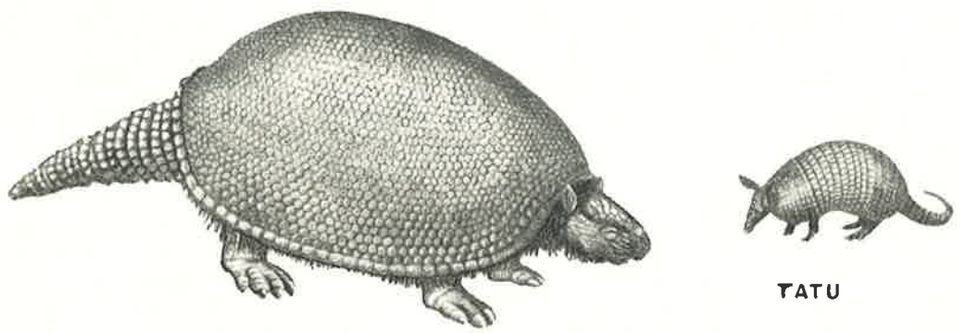


Fig. 3-3 O gliptodonte hoje extinto é provàvelmente parente do tatu.

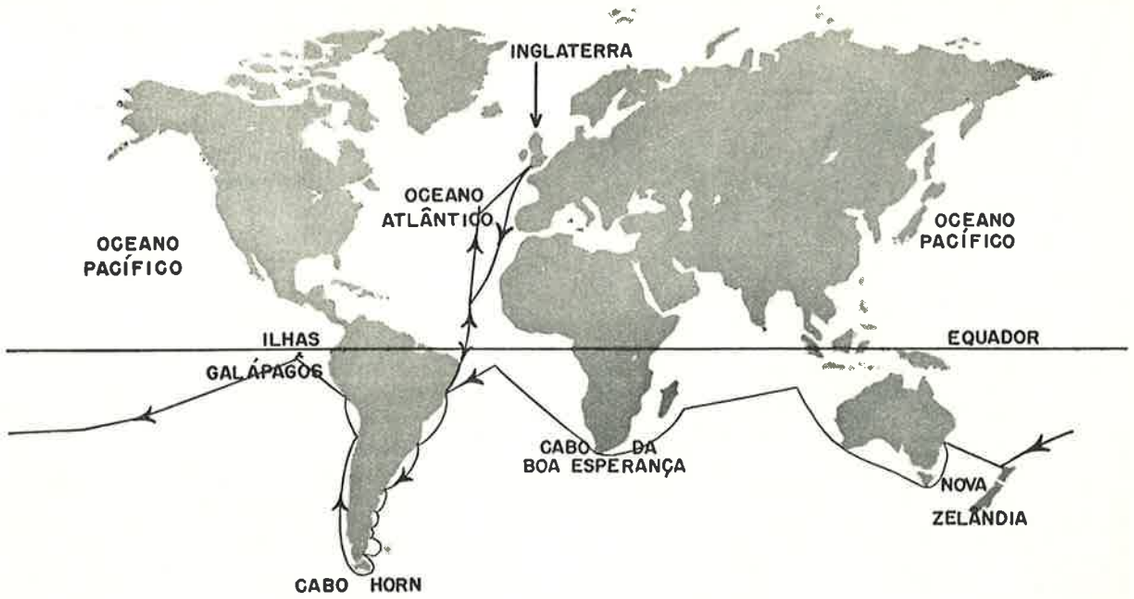


Fig. 3-4 Rota da viagem do H. M. S. Beagle.

Nas ilhas Galápagos, distantes das costas sul-americanas cêrca de mil quilômetros (fig. 3 — 4), êle encontrou, acidentalmente, um laboratório natural, onde obteve dados que o auxiliariam a chegar à sua teoria da evolução. Em cada uma das ilhas visitadas, encontrou pequenos pássaros e tartarugas gigantescas diferentes dos encontrados nas demais. A que atribuir essas diferenças?

As descobertas feitas na América do Sul tiveram grande influência no seu modo de pensar, como salientou em sua autobiografia, escrita anos depois:

> Durante a viagem do "Beagle" fiquei profundamente impressionado com a descoberta feita nos pampas de grandes animais fósseis, cobertos por uma armadura semelhante à dos tatus atuais; em segundo lugar, com a maneira pela qual animais estreitamente relacionados substituem-se uns aos outros à medida que se segue para o sul do continente; e, em terceiro lugar, pelo caráter sul-americano da maioria dos sêres do Arquipélago das Galápagos e, mais especialmente, pelo modo em que êles diferem ligeiramente em cada ilha do grupo; nenhuma das ilhas me pareceu muito antiga do ponto de vista geológico.
>
> Era evidente que fatos como êsses, bem como muitos outros, poderiam ser explicados sòmente na suposição de que as espécies se modificam gradualmente; e êste assunto fascinou-me[3].

O assunto interessou-lhe de tal modo que começou a desenvolver gradativamente uma teoria para explicá-lo. Enquanto isso continuava a observar e a coletar dados como prova para a evolução. Parte da grandeza do trabalho de Darwin reside na vasta quantidade de provas convincentes que reuniu em apoio à sua teoria da evolução.

3 — 4 A influência de Malthus

Em 1838, um ano depois do seu retôrno à Inglaterra, teve Darwin a oportunidade de ler o ensaio de Malthus sôbre população, que lhe forneceu novas idéias. A hipótese de Malthus dizia que a população humana aumenta muito mais ràpidamente do que a quantidade de alimento que ela pode produzir. Enquanto a população humana aumenta em progressão geométrica, o alimento pode aumentar sòmente em progressão aritmética (fig. 3 — 5). Concluía êle que o resultado dêsses aumentos desiguais poderia vir a causar fome na população e levá-la à luta pela vida. Malthus dizia:

> Tomando um número qualquer para representar a população do mundo, um bilhão, por exemplo, a espécie humana cresceria em progressão geométrica: 1,2,4,8,16,32,64,128, 256, 512, (e assim por diante) enquanto que o alimento aumentaria em progressão aritmética: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (e assim por diante). Em dois séculos e um quarto, a relação da população para os meios de subsistência seria de 512 para 10; em três séculos, de 4.096 para 13.[4]

Corretas ou não as conclusões de Malthus, seu trabalho deu a Darwin uma série de idéias sôbre um possível mecanismo para a evolução. Diz êle em sua autobiografia:

> Em outubro de 1838, isto é, 15 meses após eu ter começado minha pesquisa sistemática, aconteceu-me ler, para distração, o trabalho de Malthus sôbre *População* e, estando bem preparado para apreciar a luta pela existência que ocorre em todo o lugar, como mostraram a longa e contínua observação dos hábitos dos animais e plantas, repentinamente ocorreu-me que, sob essas circunstâncias, variações favoráveis tenderiam a ser preservadas e as desfavoráveis a ser destruídas. O resultado disso seria a formação de novas espécies. Aqui tinha, finalmente, uma teoria pela qual trabalhar; mas estava tão ansioso por evitar as idéias preconcebidas, que me impus não escrever, por algum tempo, mesmo o mais breve esquema sôbre o assunto[5].

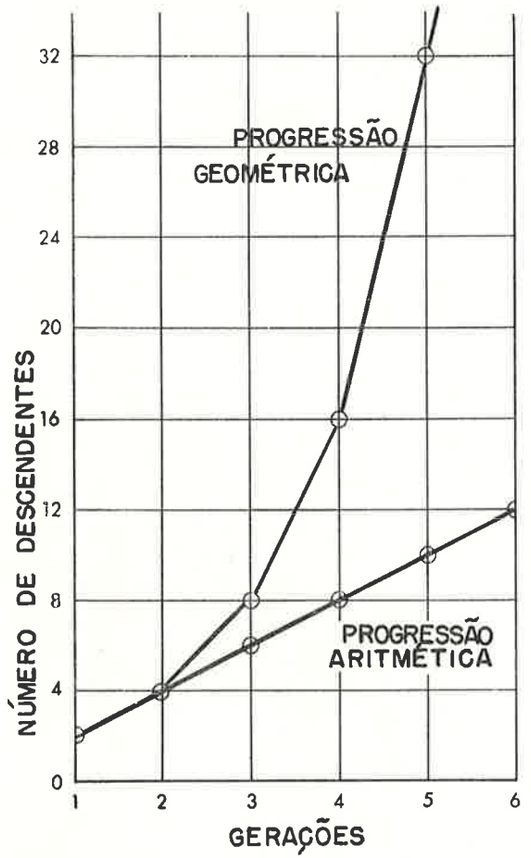


Fig. 3-5 Comparação entre curvas geométricas e aritméticas de crescimento.

3 — 5 Dados obtidos pela observação e experimentação

Durante anos Darwin coletara um vasto material que demonstrava a ocorrência de variação nas espécies. Notou que ligeiras diferenças podem ocorrer nos descendentes de um único cruzamento. Fêz um estudo sôbre cracas tão extenso que teve que ser publicado em vários volumes. Suas observações próprias, mais as pesquisas de outros naturalistas, levaram-no à conclusão de que as espécies *realmente* se alteram. Pôde afirmar então que *"as espécies, ao contrário da crença quase universal, não são estáticas e imutáveis, mas se alteram através de longos períodos de tempo"*.

A variação entre organismos de uma determinada espécie serviu de base para sua teoria. Procurando novos fatos para apoiar sua idéia, voltou-se para o trabalho dos criadores de plantas e de animais. Pôde então ver que em espécies vegetais cultivadas há muito tempo ou em espécies animais há muito domesticadas, as diferenças entre as variedades são, muitas vêzes, maiores do que as diferenças entre espécies ou variedades que ocorrem na natureza. Em outras palavras, nas espécies domésticas de plantas e de animais pode haver maior variabilidade que nas espécies selvagens.

Darwin, porém, não se limitou a observar. Às observações feitas, acrescentou sua própria experiência criando e cruzando variedades domésticas de pombos. Viu que, cruzando pombos que apresentavam uma ou outra determinada característica, novas variedades poderiam ser produzidas. Essas variedades eram semelhantes ao pombo selvagem em muitos aspectos mas também diferiam em muitos outros (fig. 3 — 6).

Darwin, perguntou a si próprio como poderiam os cruzamentos causar tantas variedades entre os animais e plantas? Concluiu que a resposta seria a *seleção*. O homem seleciona para os cruzamentos animais e vegetais que tenham as características desejadas. Sôbre isso êle escreveu:

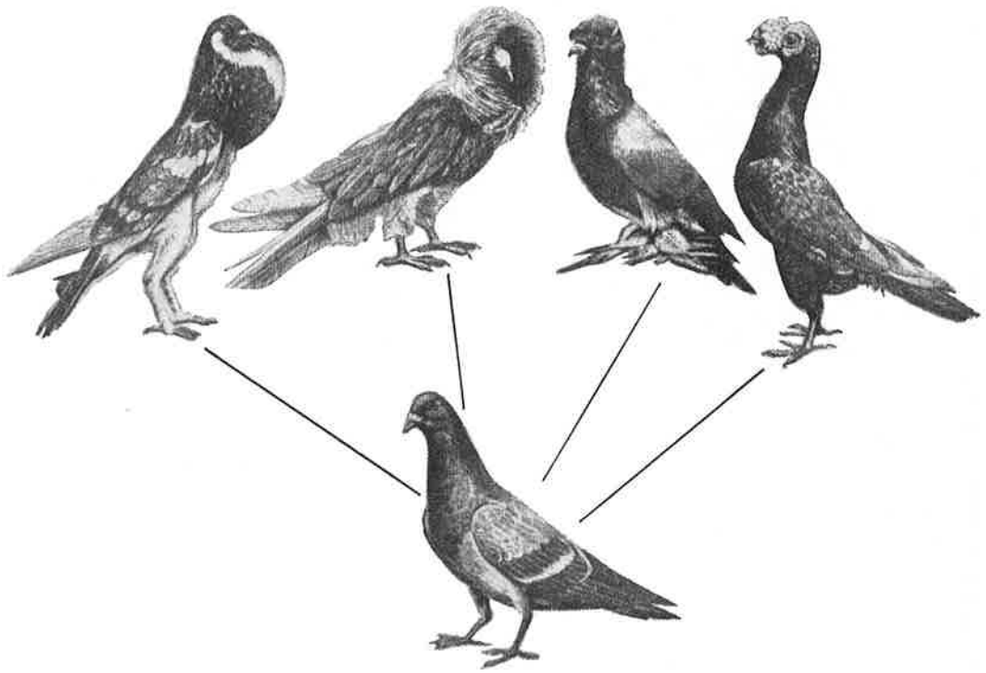


Fig. 3-6 Acredita-se que o pombo selvagem seja o ancestral das diversas variedades de pombo apresentadas na figura.

Mas quando comparamos o cavalo de tração com o cavalo de corrida, o dromedário com o camelo, as várias raças de carneiros adaptados aos campos cultivados ou aos pastos das montanhas, cada uma fornecendo um tipo de lã bom para diferentes fins; quando comparamos as várias raças de cães, cada uma útil ao homem de uma maneira diferente; ...quando comparamos as inúmeras variedades de plantas cultivadas, usadas na culinária, existentes nos pomares e jardins,... devemos, penso, ver mais que mera variabilidade. ... A chave é o poder humano de seleção cumulativa: a natureza fornece variações sucessivas; o homem acumula-as em certas direções úteis a êle. Neste sentido pode-se dizer que êle fêz para si as raças que lhes são úteis[6].

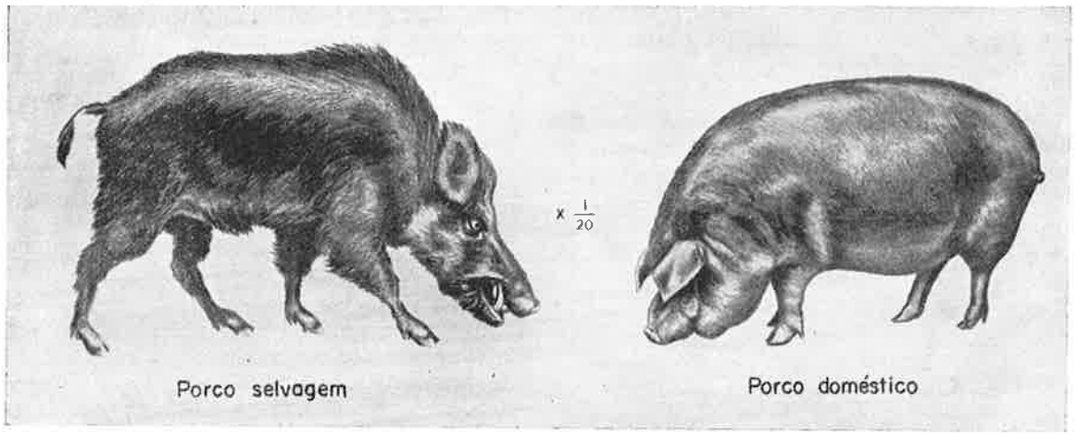


Fig. 3-7 O porco doméstico tal como existe hoje é resultado de uma longa seleção e de muitos cruzamentos de variações favoráveis de porco selvagem.

Se é a seleção feita pelo homem, nos cruzamentos, que ocasiona a variedade, qual a causa da variedade na natureza? Darwin sabia que há pequenas, mas nítidas diferenças entre as tartarugas das várias ilhas do Arquipélago das Galápagos. Essas diferenças poderiam ser consideradas como processo de seleção? Se fôssem, pensou, não é seleção feita pelo homem mas pela própria natureza. A seleção pelo homem pode produzir novas variedades em tempo relativamente curto, mas a seleção provocada pela natureza ocorre muito mais lentamente.

A grande quantidade de provas a favor da evolução dos organismos era realmente convincente, mas Darwin não se satisfez em mostrar apenas que a evolução havia ocorrido; quando acumulava evidências, trabalhava num plano empírico, porém foi mais além ao desenvolver uma hipótese para explicar o mecanismo pelo qual a evolução ocorre. Foi na formulação dessa hipótese que Darwin mostrou sua verdadeira atividade criadora como cientista.

3 — 6 Darwin e sua teoria da evolução pela seleção natural

Segundo Darwin, novas espécies são produzidas por meio da *seleção natural*. Que se entende por seleção natural ou, mais especìficamente, qual é a grande hipótese de Darwin? Podemos seguir o seu raciocínio. Primeiramente dizia êle que tôdas as espécies têm potencialidade para aumentar em progressão geométrica de geração para geração (afirmação esta semelhante a que Malthus fêz para a população humana) porque, para todos os organismos, há, em cada geração maior número de descendentes do que de pais. (Êsse aumento em progressão geométrica pode ser ilustrado tomando como exemplo uma ameba: se uma ameba se divide produzindo duas, na geração seguinte produzir-se-ão quatro e nas subseqüentes oito, dezesseis, trinta e duas e assim por diante).

Entretanto, embora os organismos tenham tendência de aumentar em número, o número de indivíduos de uma determinada espécie, na realidade, permanece pràticamente o mesmo (fig. 3 — 8). Essas duas observações levaram Darwin a concluir que deve haver, então, luta pela sobrevivência entre tôdas as espécies de organismos. Por quê? Se, em cada geração, é produzido um maior número de descendentes e se o número de indivíduos da espécie permanece constante, deve-se concluir que há *competição* pelo alimento, água, luz, temperatura e outros fatôres do ambiente. Alguns organismos sobrevivem a essa competição e outros não.

A observação seguinte de Darwin era de que há *variação* em tôdas as espécies, isto é, dentro de uma mesma espécie, os indivíduos são diferentes entre si.

Baseando-se nessas suposições e nas observações Darwin concluiu que algumas variações poderiam auxiliar os membros de uma espécie a sobreviver em um determinado meios, enquanto variações poderiam não ser úteis. Em outro meio, a mesma variação poderia ser inútil e até mesmo prejudicial. Segundo êle, os organismos que apresentam variações favoráveis conseguem sobreviver e reproduzir-se, mas uma grande parte dos organismos com variações desfavoráveis poderia morrer. Desde que essas variações possam ser herdadas pelos descendentes, as favoráveis se acumulariam dentro de um certo tempo e, os organismos que as possuissem, se tornariam tão diferentes dos indivíduos da espécie original que constituiriam uma nova espécie.

Essas suposições e conclusões constituem a hipótese da seleção natural de Darwin, hoje chamada *"teoria da seleção natural"* porque tem resistido a repetidas provas. Esta teoria descreve um mecanismo pelo qual a evolução pode se processar; explica também, como uma nova espécie pode descender de outra mais antiga, e como a grande variedade de formas de vida foi produzida.

Em uma revisão rápida, as idéias de Darwin sôbre seleção natural podem ser resumidas nos seguintes itens:



Fig. 3-8 Sòmente uma pequena parte da população de perdizes sobrevive na luta pela vida.



Fig. 3-9 O escritório em Down House, perto de Londres, onde Darwin trabalhava.

1. Todos os organismos têm potencialidade para aumentar em número em progressão geométrica.
2. Em cada geração, entretanto, o número de indivíduos de uma mesma espécie permanece constante.
3. Conclui-se, então, que deve haver competição pela sobrevivência.
4. Variações (que podem ser herdadas) são encontradas entre os indivíduos de tôdas as espécies.
5. Algumas variações são favoráveis a um organismo em um determinado ambiente e auxiliam sua sobrevivência e reprodução. Variações favoráveis são transmitidas para os descendentes e, acumulando-se com o tempo, dão origem a grandes diferenças. Assim, eventualmente, novas espécies se produzem a partir de espécies antigas.

Baseado nessas conclusões, Darwin elaborou sua teoria para explicar o mecanismo da evolução: as variações favoráveis dão aos indivíduos maiores probabilidades de serem preservados na luta pela vida e, sendo hereditárias, seus descendentes estarão igualmente aptos para sobreviver e reproduzir-se. A êste princípio de sobrevivência diferencial chamou de Seleção Natural.

3 — 7 Darwin anuncia sua hipótese

Darwin hesitou em publicar sua hipótese sem antes acumular uma grande quantidade de provas para sustentá-la. Trabalhou vagarosa e cuidadosamente. Em 1842 escreveu, para seu uso, um esbôço de 35 páginas; dois anos depois aumentou-o para um ensaio de 230 páginas. Nos 15 anos seguintes, continuou a coletar fatos para apoiar suas idéias, num esfôrço para produzir um trabalho totalmente convincente. Diz êle na sua autobiografia:

> No comêço de 1856, Lyell aconselhou-me a escrever sôbre meus pontos de vista e comecei imediatamente a fazê-lo, numa escala três ou quatro vêzes maior do que a que adotei, mais tarde, no meu livro sôbre "A Origem das Espécies"; e assim mesmo tratava-se apenas de um resumo do material que eu havia coletado; cheguei, assim, à metade do trabalho. Mas meus planos ruíram quando, no comêço do verão de 1858, o Sr. Wallace, então no arquipélago malaio, remeteu-me um ensaio sôbre "A tendência das variedades de se afastarem indefinidamente do tipo original"; êsse ensaio continha uma teoria exatamente igual à minha. O Sr. Wallace exprimia o desejo de que eu mandasse para Lyell ler, caso o achasse bom. As circunstâncias pelas quais eu consenti, por

> solicitação de Lyell e de Hooker, a permitir que um resumo de meu manuscrito, com uma carta a Asa Gray [botânico americano, grande amigo de Darwin e defensor do darwinismo na América]*, datada de 5 de setembro de 1857, fôsse publicada ao mesmo tempo que o ensaio de Wallace, são explicadas no *Journal of the Proceedings of the Linnean Society* (1858, p. 45). De início estava pouco inclinado a consentir porque pensei que o Sr. Wallace pudesse considerar meu procedimento injustificável, pois, na ocasião, não sabia quanto êle era nobre e generoso. O extrato do meu manuscrito e a carta a Asa Gray não tinham sido feitos para serem impressos e o estilo era mau. O ensaio do Sr. Wallace, por outro lado, estava admiràvelmente bem escrito e muito claro. Não obstante, nossos trabalhos reunidos não despertaram senão pouca atenção: a única crítica publicada a respeito, que me lembre, estava assinada pelo Professor Haughton, de Dublin, cujo veredicto foi que tôdas as novidades dos trabalhos estavam erradas e que o que havia de exato era já conhecido. Êste julgamento mostra quanto é necessário que as teorias novas sejam explicadas detalhadamente para chamar a atenção do público[7].

Depois da apresentação dêste trabalho, Darwin sentiu-se impelido a completar seu livro, *A Origem das Espécies,* que foi publicado em novembro de 1859. Apresentava uma grande quantidade de provas mostrando que os animais e as plantas devem ter sofrido um longo processo de evolução. As idéias de Darwin foram bem recebidas por muitos cientistas e por algumas pessoas leigas, mas chocaram muita gente. Houve debates públicos nos quais a teoria foi defendida e atacada, mas Darwin nunca participou dêles.

A Origem das Espécies não faz referências diretas ao lugar do homem na evolução. Doze anos depois, foi publicado um outro livro de Darwin, *Descent of Man,* que era um estudo da evolução do homem.

É preciso frisar que Darwin não criou a teoria da evolução, teoria que diz que os sêres vivos hoje existentes são descendentes modificados de seus ancestrais. A idéia foi sugerida por muitos cientistas anteriores. Êle, contudo, apresentou provas numerosas e expressivas e, o que é mais importante, formulou uma explicação do mecanismo pelo qual a evolução se realiza, a teoria da seleção natural.

Na época de Darwin muitos campos das ciências biológicas não estavam ainda bem desenvolvidos e muito pouco puderam auxiliá-lo na elaboração da sua hipótese. Os trabalhos de Gregor Mendel sôbre o mecanismo da herança (hoje chamado *Genética*) eram desconhecidos por Darwin e pela maioria dos cientistas da época. A *Citologia* (estudo da célula) não havia ainda revelado como as células se dividem. O estudo dos fósseis (*Paleontologia*) era uma ciência jovem e não havia ainda revelado a grande série de fósseis de que hoje dispomos. A Matemática, hoje instrumento indispensável para a Ciência, ainda não fornecia métodos de análise para os problemas da evolução. Em vista do pouco que então se sabia, o desenvolvimento da teoria da evolução pela seleção natural foi um trabalho notável, muito mais do que seria se tivesse sido estabelecido nos dias de hoje.

Na conclusão do livro *A Origem das Espécies,* Darwin afirma:

> Há uma verdadeira grandeza nessa visão da vida, com seus podêres diversos, atribuídos primitivamente pelo Criador a um pequeno número de formas, ou mesmo a uma só; e, enquanto o nosso planêta, obedecendo à lei fixa da gravitação, continua a girar na sua órbita, uma quantidade infinita de belas e admiráveis formas, saídas de um comêço tão simples, não tem cessado de se desenvolver[8].

3 — 8 Comparação entre as hipóteses de Lamarck e Darwin

Vamos comparar as teorias de Darwin e Lamarck, analisando um exemplo de evolução. A seqüência seguinte é baseada em fatos que realmente ocorreram.

Há cem anos atrás, se um biólogo coletasse maripôsas nos campos dos arredores de Manchester, cidade da Inglaterra, encontraria, durante o dia, um grande número de maripôsas claras, em repouso nos troncos das árvores, também claras e cobertas de liquens; além dessas, encontraria também, mas muito raramente, maripôsas escuras pertencentes à mesma espécie (*Biston betularia*) sobressaindo com grande nitidez nos caules.

* As palavras ou frases escritas entre colchêtes, nesta e em outras citações que aparecem neste livro, foram acrescentadas ao texto para maior clareza, não fazendo parte do original.

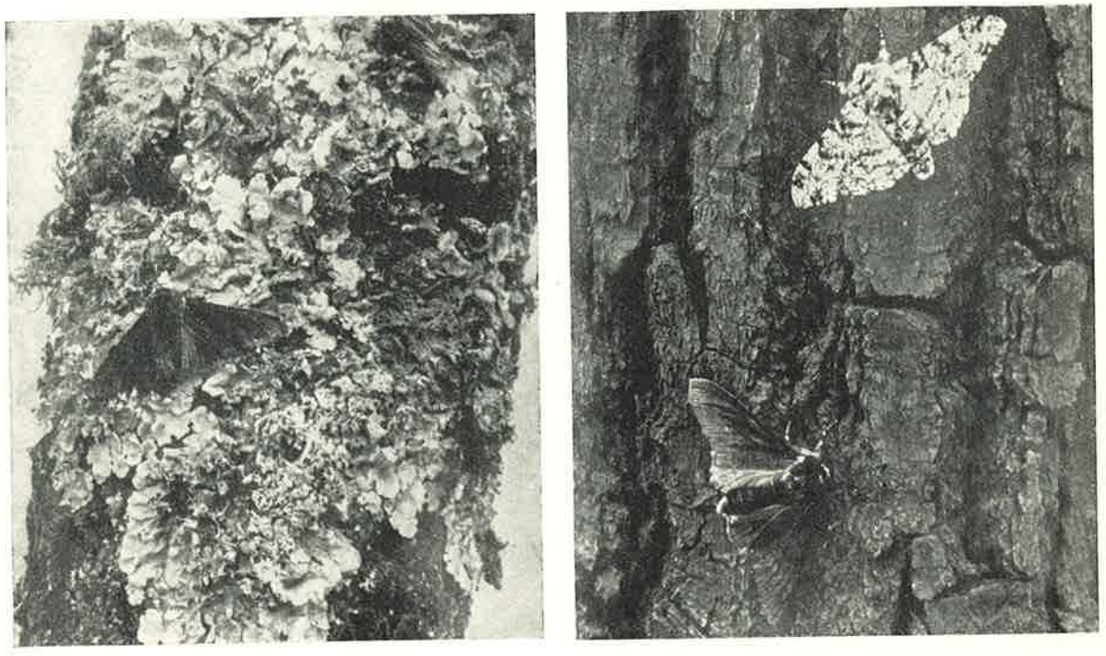


Fig. 3-10 À esquerda duas maripósas escuras sôbre uma árvore de tronco claro; à direita duas maripôsas claras numa árvore de tronco escuro.

Nessa época, Manchester começava sua industrialização; hoje, esta cidade é um dos grandes centros industriais da Inglaterra e, como resultado do grande número de fábricas, seus campos e florestas foram contaminados por fumaça e fuligem que enegreceram os troncos das árvores e eliminaram os liquens. Se agora um biólogo aí fôsse procurar a mesma espécie de maripôsas, encontraria um grande número de maripôsas escuras enquanto que as claras seriam em número bastante reduzido.

Se ficássemos observando durante algum tempo, veríamos que os pássaros, à procura de alimento, encontram fàcilmente as maripôsas claras, em repouso nos caules, enquanto que as escuras estariam protegidas pela coloração dos troncos com a qual se confundem (fig. 3-10).

De que maneira a hipótese de Lamarck explicaria esta mudança de coloração na população de maripôsas? A explicação lamarckiana seria a seguinte: como o meio se modificou, tornando escuras as cascas das árvores, as maripôsas precisaram adquirir também coloração escura para se defender dos pássaros que, naturalmente, poderiam achar e comer as maripôsas claras, bem visíveis nos troncos escurecidos. Devido a essa "necessidade interior" de ocultar-se, as maripôsas gradativamente adquiriram côr escura. Passaram para os descendentes essa característica adquirida e, assim, a maioria das maripôsas mudou de coloração.

A teoria da seleção natural explica o fato de maneira diferente: o meio mudou e os troncos das árvores se tornaram mais escuros devido à fuligem. As maripôsas escuras passaram a levar vantagem sôbre as claras porque, agora, com a mudança do meio, não podem mais ser encontradas e comidas pelos pássaros, tão fàcilmente como passou a acontecer com as claras. A maioria das escuras pôde sobreviver e se reproduzir; foram sendo sendo *naturalmente selecionadas* pela modificação do meio ambiente. As maripôsas escuras tinham alguns descendentes que eram também escuros e sobreviviam, enquanto os de coloração clara eram destruídos pelos pássaros. Desta maneira, as escuras passaram a constituir a maioria da população enquanto as claras passaram a ser uma raridade. A espécie se modificou através da seleção natural operando em um período de cem anos.

Kettlewell e outros demonstraram, por meio de experiências científicas, que a hipótese darwiniana é correta e a lamarckiana errada (item 3-10).

...Cêrca de cinqüenta anos depois de Lamarck publicar sua hipótese, Darwin apresentou uma outra, que considera a evolução como conseqüência da seleção natural. Sua hipótese combinou os resultados de provas acumuladas por longos anos com um raro discernimento no plano teórico. Suas suposições envolvem: a tendência dos sêres vivos aumentarem em progressão geométrica, a constância do número de indivíduos em uma espécie e a variação que ocorre entre os indivíduos de uma mesma espécie. Com base nestes fatos, Darwin deduziu a luta pela vida e sobrevivência dos indivíduos com caracteres favoráveis. Os biólogos concordam que a apresentação feita por Darwin, tanto das provas que demonstram a evolução, como da teoria da seleção natural, faz dêle um dos maiores cientistas de todos os tempos.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual era a hipótese de Charles Lyell? Que influência teve nas idéias de Darwin?
2. Qual foi a influência que Darwin recebeu dos trabalhos de Malthus?
3. Em que importantes aspectos as suposições de Darwin diferem das de Lamarck?

ADAPTAÇÕES E SELEÇÃO

3 — 9 Como as adaptações se relacionam com a seleção natural

Na Biologia moderna, o têrmo *adaptação* é usado em um sentido especial. Uma adaptação é um conjunto de características herdadas que permite a sobrevivência e reprodução de uma espécie num determinado meio ambiente.

Quando Darwin estudou certos pássaros, ("finches") encontrados nas ilhas Galápagos, ficou impressionado com as diferenças notáveis nas formas e tamanhos dos bicos, conquanto os animais fôssem todos muito semelhantes (fig. 3 — 11). Êstes pássaros pertencem à subfamília *Geospizinae* que, nas Galápagos, se diferenciaram em catorze espécies, pertencentes a quatro gêneros. Os que vivem no solo, por exemplo, têm bicos fortes e largos, excelentes para partir sementes, seu principal alimento. Os que vivem nas árvores têm bicos curtos e espessos e se alimentam principalmente de insetos; entre êstes há uma espécie que tem o bico muito longo e reto, semelhante ao do pica-pau, mas não tendo a língua longa dessa ave usa um espinho de cacto ou um pequeno ramo para cavocar os troncos das árvores, à procura de besourinhos ou de outros insetos. O bico de uma outra variedade é fino e alongado como o das aves canoras e, por causa disso, pensou-se, por muito tempo, que ela fôsse também canora.

Assim, dentro dêsse pequeno grupo de pássaros, podem-se observar adaptações que lhes permitem sobreviver e reproduzir-se na variedade de ambientes das Galápagos. Êles estão aptos para aproveitar os alimentos geralmente comidos por outros tipos de aves que não existem no arquipélago para competir por êsses alimentos. Tipos semelhantes de adaptações para diversos ambientes podem ser observados na maioria dos organismos.

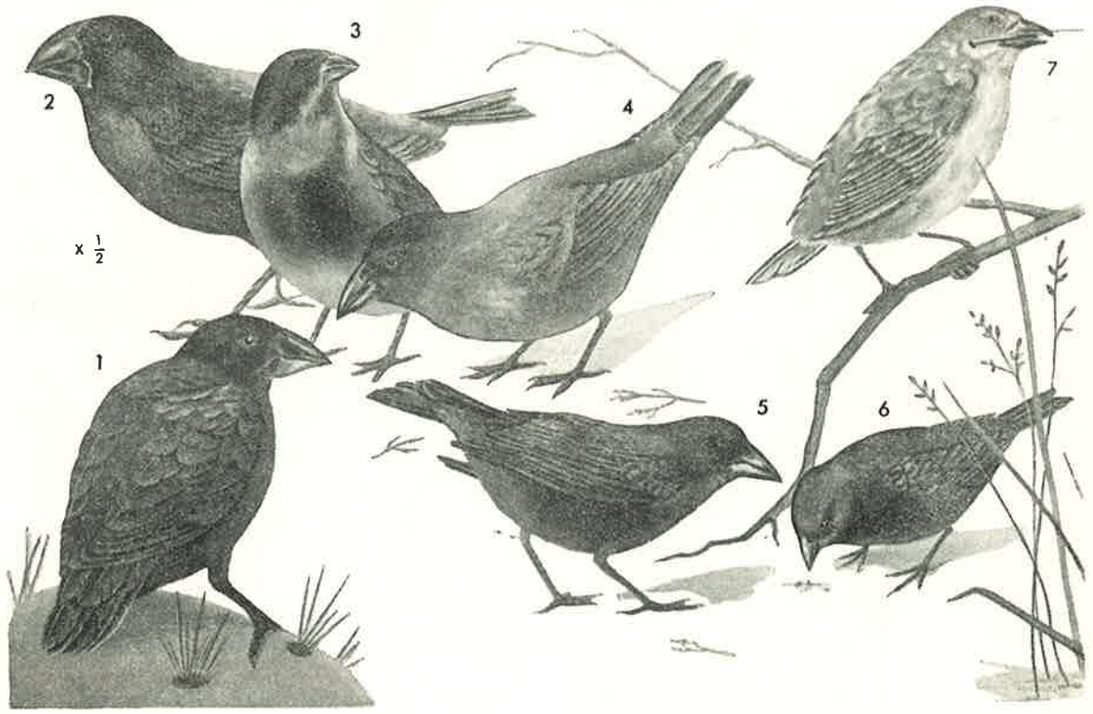
Deve ficar bem claro que Darwin interpretou tais adaptações como resultado da seleção natural. Quando êle dizia que um organismo é *adaptado* a um determinado ambiente, queria dizer que os ancestrais dessa planta ou animal tinham algumas variações favoráveis que lhes permitiam viver, ter descendentes e transmitir-lhes essas variações. Em outras palavras, o organismo se adaptou ao meio pela seleção natural.

3 — 10 Experiências que confirmam a seleção natural

O biólogo que estuda a evolução tenta repetir, através de experiências, fenômenos da natureza, de maneira a poder penetrar em certos aspectos da seleção natural.

Kettlewell, numa das suas experiências, soltou maripôsas escuras e claras em zona agrícola e em zona industrial. Essas maripôsas haviam sido prèviamente marcadas para possibilitar a identificação depois de recapturadas.

Na região industrial, contaminada pela fuligem, só foram recapturadas 50 % das maripôsas claras e na zona agrícola foram recapturadas 67 % das escuras. Sua experiência veio mostrar a eliminação das formas melânicas no ambiente agrícola e das formas claras nas regiões industriais. Kettlewell conseguiu observar e fotografar



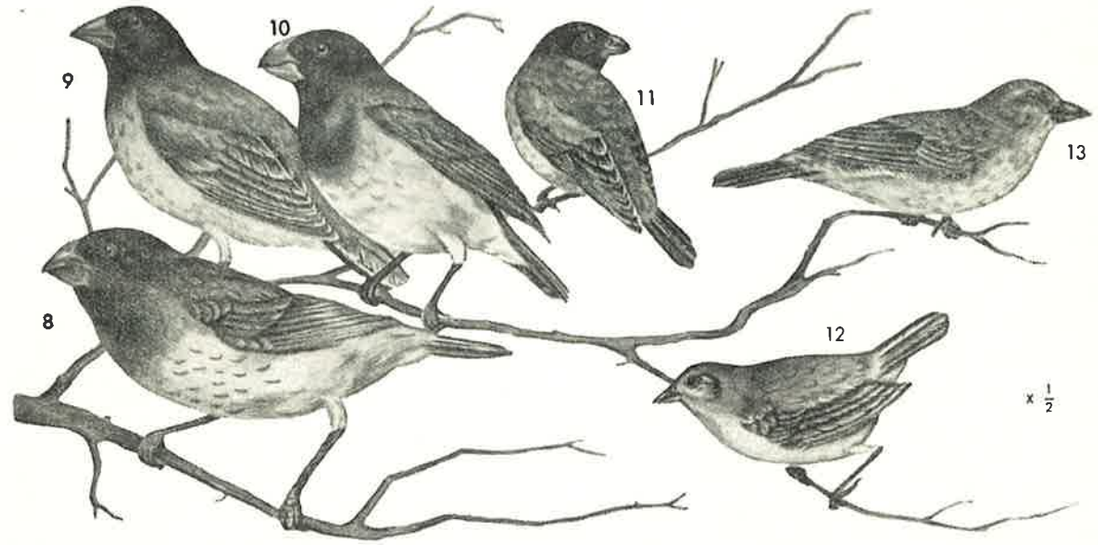


Fig. 3-11 Pássaros estudados por Darwin. Os pássaros numerados de 1 a 7 vivem no solo e procuram alimento no próprio solo ou em arbustos. Os pássaros numerados de 8 a 13 vivem em árvores e se alimentam principalmente de insetos.

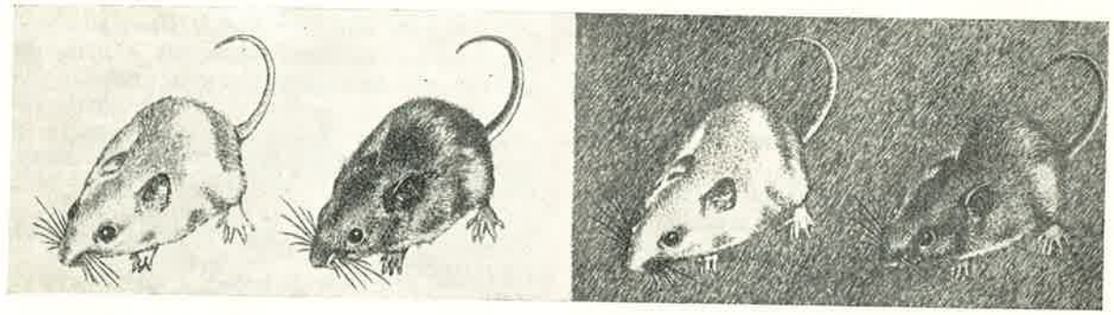


Fig. 3-12 A côr do pêlo dêsses camundongos, precisa mesclar-se com o ambiente para que possam sobreviver.

o comportamento dos pássaros e ver que, conforme o ambiente, uma das formas lhes passava despercebida, enquanto que a outra era ràpidamente capturada.

Outro exemplo é a experiência feita com certa espécie de camundongos que têm duas variedades quanto à coloração: fulva e cinzenta (fig. 3 — 12). Sob condições cuidadosamente controladas, no laboratório da Universidade de Michigan, êsses animais foram expostos aos ataques de uma coruja. Preparou-se primeiramente, uma verdadeira floresta de galhos entrelaçados que abrigava parcialmente os ratos. A sala foi mantida quase escura de maneira que a coruja só podia ver sua prêsa com dificuldade.

Em dias alternados, o soalho era coberto com terra clara, que mascarava os ratos fulvos, e com terra escura, que mascarava os ratos cinzentos. Diàriamente quatro ratos de cada côr eram deixados na sala e expostos à coruja por quinze minutos. Conforme o tipo de solo usado, um grupo de ratos destacava-se nìtidamente enquanto que o outro dificilmente era visível. Em quarenta e quatro provas feitas com cada tipo de solo verificou-se que a coruja comia quase o dôbro de ratos visíveis em relação aos que se confundiam com o solo (107 para 65).

Outras experiências semelhantes indicam como variações em uma espécie podem ser vantajosas ou desvantajosas. Estas experiências auxiliam a mostrar como a seleção pode operar na natureza. Você provàvelmente já ouviu dizer que certas bactérias "desenvolvem resistência" à penicilina. Esta frase faz com que o fenômeno pareça ser lamarckiano. Analise a experiência seguinte e veja se é ou não.

Uma placa, contendo 100 milhões de bactérias *(Staphylococcus aureus)*, foi exposta a uma dose de penicilina relativamente fraca e observou-se que menos de dez células sobreviveram. Os descendentes destas bactérias sobreviveram e multiplicaram-se nessa dose fraca. Dobrou-se, então, a dose de penicilina e verificou-se que quase tôdas as bactérias morriam; novamente, as poucas que resistiram à nova concentração se multiplicaram e foram expostas a uma dose mais forte. Depois que êste processo foi repetido cinco vêzes, obteve-se uma linhagem de bactérias resistente a uma dose de penicilina 2.500 vêzes mais forte do que a inicial, usada na primeira cultura. Lembre-se que essas bactérias não desenvolveram "individualmente" resistência à penicilina; ao contrário, eram descendentes das poucas bactérias que haviam herdado uma característica favorável.

3 — 11 Exemplos recentes de seleção natural

Nos últimos anos têm aparecido muitos exemplos de seleção natural em organismos, em resposta ao uso de inseticidas e outras drogas. Assim, o emprêgo de DDT contra môscas domésticas foi muito bem sucedido, quando êsse inseticida foi empregado pela primeira vez. Agora, alguns anos depois, as môscas "desenvolveram resistência" ao DDT. Como explicá-la?

Durante o primeiro ano em que o DDT foi usado numa determinada localidade, quase tôdas as môscas foram mortas; algumas, porém, por causa de variação herdada, não foram afetadas. Puderam sobreviver e se reproduzir e, assim, logo ultrapassaram em número os tipos de môscas menos resistentes naquela área. O inseticida foi se tornando menos ativo. O DDT causou uma mudança no ambiente e só as môscas que eram resistentes puderam sobreviver e foram sendo selecionadas; não foi, portanto, o inseticida que conferiu resistência às môscas.

Êste processo evolutivo ocorreu em curto período de tempo. As môscas que tinham resis-

tência (variação), apesar de pouco numerosas no início, chegaram a formar quase a população total em certas áreas. O uso de DDT originou uma mudança que eliminou as môscas comuns e permitiu à variedade resistente tornar-se mais numerosa.

Outros exemplos, semelhantes a êste, podem ser citados. Têm sido publicados muitos artigos sôbre infecções causadas por bactérias na espécie humana, bactérias essas que resistem aos antibióticos, de maneira semelhante àquela vista nas experiências com *Staphylococcus aureus*. Novamente vemos o trabalho da seleção natural em um meio que mudou. Nesta mudança, uma linhagem que resista aos antibióticos tem uma vantagem sôbre as outras não resistentes, desde que a resistência seja hereditária.

A seleção é o fator orientador do fenômeno evolutivo. A interação da seleção natural com a mutação explica a adaptação dos organismos ao seu ambiente. Pode ser interpretada como o resultado de uma série de pequenas adaptações, cada uma delas acrescentada ou rejeitada por uma determinada espécie, durante um longo período de tempo.

A aquisição ou perda de variações hereditárias podem não levar imediatamente à formação de uma nova espécie. Antes que um grupo de organismos atinja o nível de espécie nova, geralmente ocorre um certo número de nítidas modificações. Assim, os indivíduos modificados podem tornar-se tão diferentes dos outros do seu grupo que, ao serem cruzados com êles, não produzam descendentes férteis. Serão, então, considerados pertencentes a uma nova espécie. Com o tempo, diferentes espécies podem se desenvolver a partir de ancestrais comuns e se tornarem tão diversas das outras espécies que serão classificadas em um nôvo gênero. Eventualmente, os gêneros se tornarão mais e mais diferentes e, dessa maneira, os grupos maiores se originam.

Por exemplo, entre as muitas espécies de répteis primitivos deveria haver alguns indivíduos ligeiramente diferentes dos outros: alguns apresentavam pequenas penas, outros possuiam pêlos, além de escamas. Eram diferenças mínimas a princípio mas, com o tempo, outras modificações ocorreram e os animais conseguiram vantagens seletivas; tornaram-se tão diferentes dos répteis primitivos, que hoje aquêles que possuem penas formam a classe das Aves e os que possuem pêlos, a classe dos Mamíferos.

...Os exemplos anteriores ilustram como as adaptações podem resultar da variabilidade, trabalhada pela seleção natural. Uma adaptação não é uma acomodação individual a um grupo determinado de circunstâncias; consiste de qualidades determinadas que o indivíduo tenha herdado, isto é, que recebeu de seus ancestrais e que passará a seus descendentes. Quando as circunstâncias ambientais se modificam, algumas características serão vantajosas e permitirão, então, aos indivíduos que as possuam, sobreviver e produzir mais descendentes do que aquêles que não as têm.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Que é adaptação? Dê alguns exemplos.
2. Por que os biólogos explicam o fenômeno da adaptação baseando-se mais na teoria de Darwin do que na de Lamarck?
3. Que significa dizer que um animal ou vegetal está adaptado a um certo ambiente?
4. Critique a frase seguinte: *as môscas desenvolveram resistência ao DDT.*
5. Como pode a evolução ser definida em têrmos de adaptação?

SUMÁRIO

Entre tôdas as teorias que você possa estudar em Biologia, a da evolução ocupa um lugar ímpar. É o mais inclusivo dos grandes princípios unificadores dessa Ciência; sem ela, a Biologia não poderia ser compreendida. Lamarck apresentou uma hipótese sôbre o mecanismo da evolução, que supõe que as características mudam como resultado do uso e desuso e que estas características adquiridas podem ser herdadas. Coube a Charles Darwin estabelecer a evolução como uma teoria e descobrir, na seleção natural, o mecanismo pelo qual a evolução opera. Através de seu livro fica evidente que a teoria da evolução pela seleção natural é o maior princípio da Biologia moderna.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Por que a maioria dos estudiosos dos séculos XVI e XVII rejeitou a idéia da evolução?

2. Pode Jean Baptiste Lamarck ser considerado como cientista de valor? Explique.

3. Quais os indícios que levaram Darwin a estabelecer a teoria da evolução?
4. Cite os nomes de alguns cientistas que escreveram sôbre evolução antes de Charles Darwin.
5. Se você pudesse usar só uma palavra para definir evolução, que palavra usaria?

Use a seguinte chave para responder às perguntas 6, 7 8 e 9:

a) Uso e desuso
b) Herança de caracteres adquiridos
c) Aumento em progressão geométrica
d) Aumento em progressão aritmética
e) Seleção natural.

6. Quais dos têrmos dessa chave são usados nas suposições de Lamarck?
7. Que têrmos foram usados por Darwin?
8. Quais dos têrmos dessa chave poderiam ter sido usados por Lamarck para explicar as longas pernas da garça?
9. Quais dos têrmos dessa chave poderiam ter sido usados por Darwin para explicar a mesma coisa?
10. Por que o DDT não tem grande efeito sôbre algumas môscas e pulgas?
11. Por que os antibióticos não têm grande efeito sôbre certas linhagens de bactérias?

(B) 12. Quais são as duas suposições da hipótese de Lamarck?

13. Descreva uma experiência que negue uma das suposições de Lamarck. Há alguma prova que apóie essa suposição?
14. Descreva alguns trabalhos de Darwin que indiquem que uma hipótese científica se origina da interação de fatos e idéias.
15. O que convenceu Darwin de que as espécies sofrem modificações?
16. Em suas pesquisas, onde Darwin encontrou provas para explicar a natureza do mecanismo da evolução?

(C) 17. Se algumas adaptações forem perdidas por uma espécie em um longo período de tempo, qual poderá ser o efeito em um único indivíduo da espécie?

18. Animais de côres claras se adaptaram ao meio circundante em áreas claras, como praias, por exemplo: insetos, lagartos e mamíferos claros são aí comumente vistos. Explique o fato de acôrdo com as hipóteses de Lamarck e Darwin.
19. Quais são as três suposições feitas por Darwin que fazem parte da sua teoria da evolução?
20. Baseado nessas três suposições, quais as conclusões tiradas por Darwin que também são parte da sua teoria da evolução?
20. Quais as condições atuais e quais as experiências que suprem a prova direta da evolução pela seleção natural?
21. Como se desenvolveram espécies extremamente diferentes?
22. Após ter lido êste capítulo, explique porque é difícil classificar a *Euglena* e organismos similares como vegetais ou animais.

OBRAS MENCIONADAS

1 LAMARCK, Jean Baptiste. *Philosophie Zoologique,* Paris. Librairie C. Reinwald, Schleider Frères, Éditeurs, 1907, p. 219.

2 DARWIN, Charles. *Viagem de um Naturalista ao Redor do Mundo* (trad.), Cia. Brasil Editôra — São Paulo, Capítulo I, pp. 24-25.

3 DARWIN, Charles. *The Autobiography of Charles Darwin,* ed. Francis Darwin (1892). New York, Dover Publications, Inc., 1958, pp. 41-42.

4 MALTHUS, Thomas R. *Population: The First Essay* (1798). Ann Arbor, University of Michigan Press, 1959, p. 9.

5 DARWIN, Charles. *The Origin of Species* (1859). New win, pp. 42-43.

6 DARWIN, Charles. *The Origin of Species* (1859). New York, Mentor Books, 1958, pp. 47-48.

7 DARWIN, Charles. *The Autobiography of Charles Darwin.*

8 DARWIN, Charles. *The Origin of Species,* p. 450.

LEITURAS RECOMENDADAS

DARWIN, Charles. *Viagem de um Naturalista ao Redor do Mundo* (trad.).

EISELEY, Loren. "Charles Darwin", *Ciestistas Famosos — Scientific American,* (trad.), Ed. Ibrasa, 1961.

DARWIN, Charles. *A Origem das Espécies* (trad.). Livraria Lello e Irmãos, Pôrto, 1946.

CARTER, G. S. *Cem Anos de Evolução:* "A Verdade Sôbre o Darwinismo" (trad.). Ed. Ibrasa, 1959.

HUXLEY, Julian. *La Evolución (Sintesis moderna).* Ed. Losada, 1946 (trad.).

SIMPSON, G. G. *O Significado da Evolução* (trad.). Livraria Pioneira, 1962.

PAVAN, C. e CUNHA, A. B. *Genética.* Capítulo 9: "As Bases Genéticas da Evolução".

BONNER, J. T. *Idéias Fundamentais da Biologia,* Zahar Editôres, Rio de Janeiro, 1964.

ORIGEM DOS SÊRES VIVOS

CAPÍTULO 4

Quando Darwin propôs sua hipótese para explicar a origem das espécies pela seleção natural, levantou uma série de questões entre as quais as seguintes: se os animais e vegetais que vivem atualmente evoluíram a partir de seus ancestrais, o mesmo acontecendo com êstes, como e sob que forma a vida começou?

O problema da origem da vida tem preocupado o homem durante séculos e muitas soluções foram propostas: as religiões ofereceram várias explicações e os cientistas, como investigadores de problemas, ofereceram várias hipóteses para responder à questão. Uma análise dessas hipóteses e as maneiras pelas quais foram testadas nos fornecem uma visão valiosa da natureza da Ciência.

GERAÇÃO ESPONTÂNEA

4 — 1 Aristóteles propõe uma hipótese para explicar a origem da vida

Aristóteles, há mais de 2.000 anos, já se preocupava com o problema da origem da vida. Acreditava que ela pudesse se originar espontâneamente da matéria bruta.

Antes de discutirmos suas idéias a êsse respeito, é preciso entender o que o têrmo *espontâneamente* quer aqui significar. Combustão espontânea, por exemplo, significa o aparecimento súbito de fogo em material combustível, sem que nenhum agente declarado, tal como um fósforo aceso, seja usado para começá-lo. A idéia de combustão espontânea implica na de que o material possa se inflamar sòzinho. Da mesma maneira, a expressão geração espontânea leva à idéia de que a substância não viva possa se tornar viva por si. Assim, muita gente, ainda hoje, acredita que as pequenas larvas brancas de môscas que, freqüentemente, são encontradas andando no lixo, nasceram por transformação de substâncias do próprio lixo.

A hipótese de Aristóteles baseava-se na existência de um *"princípio ativo"* dentro de certas porções de matéria. Êste "princípio ativo" poderia produzir um ser vivo a partir desta matéria bruta, desde que as condições fôssem favoráveis; não era considerado uma substância, mas apenas uma *capacidade* para fazer determinada coisa. (Nosso têrmo moderno *energia*, por exemplo, tem conceito semelhante pois energia não é considerada uma substância, nem mesmo uma ação; antes, é a capacidade de executar ação).

O conceito de "princípio ativo" de Aristóteles explicava porque um ôvo fecundado podia se transformar num ser vivo. Êsse "princípio ativo" podia dirigir ou organizar uma seqüência de fatos, os quais produziriam a vida. Além disso, Aristóteles atribuiu a cada tipo de ôvo um princípio organizador diferente. Assim, o princípio organizador de um ôvo de galinha fazia com que o ôvo se desenvolvesse segundo linhas que levavam à formação de um pinto. Um ôvo de peixe tinha um princípio organizador que conduzia à formação de um peixe, e assim por diante.

À medida que você fôr lendo a seguinte passagem de Aristóteles, a respeito de geração espontânea, preste atenção na maneira como êle usa a palavra *fato*.

> Tais são os fatos, os sêres se originam não sòmente do cruzamento de animais, mas da decomposição da terra... E entre as plantas, a matéria procede da mesma maneira, algumas se desenvolvem de sementes, outras por geração espontânea através de fôrças naturais; elas se originam do apodrecimento da terra ou de certas partes vegetais[1].

Compare o conceito do têrmo *fato* empregado por Aristóteles, com o que você aprendeu no Capítulo 1.

4 — 2 A teoria da geração espontânea torna-se largamente aceita

A crença na geração espontânea continuou por muitos anos depois de Aristóteles e, como veremos, se encontra, num certo sentido, estreitamente relacionada com importante pesquisa que está sendo levada a efeito no momento. Trata-se da pesquisa sôbre síntese de proteína ou, em última análise, da construção da molécula viva.

No início do século XIII, acreditava-se que gansos pudessem se originar de certas árvores que cresciam à beira-mar. Esta crença subsistiu até cêrca de 250 anos atrás (fig. 4 — 1). Viajantes do Oriente relatavam que certas árvores possuíam frutos semelhantes a melões, dentro dos quais havia carneiros perfeitamente formados (fig. 4 — 1). Paracelso, famoso médico do século XVI, descreveu uma série de observações a respeito de geração espontânea de ratos, sapos, enguias e tartarugas, a partir de água, ar, palha e madeira podre, entre outras coisas.

No século XVII, Jean Baptiste Van Helmont, um médico belga que, mais tarde, realizou experiências excelentes em fisiologia vegetal, chegou ao cúmulo de escrever uma receita para produzir camundongos em 21 dias, a partir de uma camisa suja colocada em contato com germe de trigo. Nesta receita o "princípio ativo" era considerado o suor humano — daí a necessidade de a camisa ser suja.

Como devemos considerar tais crenças atualmente? Os homens que acreditavam e imaginavam estas coisas não eram ignorantes e estavam mesmo entre os intelectuais de sua época. Tais

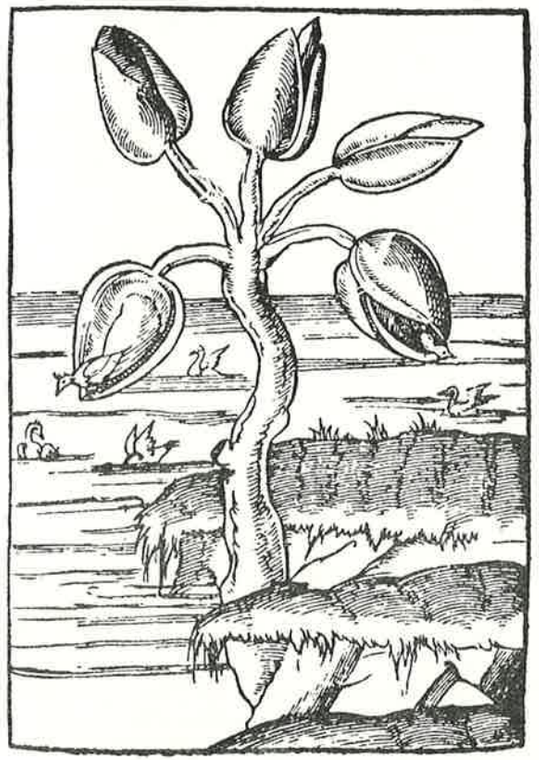




Fig. 4-1 Lendas admitiam a existência da geração espontânea. À esquerda, gansos eram formados em certas árvores. À direita, carneiros eram gerados em frutos semelhantes a melões.

crenças são aqui apresentadas, não como zombaria, mas para ilustrar alguns aspectos da *natureza do conhecimento*. Os relatos de gerações espontâneas feitos acima são relatos de conclusões, não de fatos. Essas conclusões eram baseadas em observações diretas e na suposição de que a geração espontânea fôsse possível.

Como exemplo, pode-se tomar a narração de Van Helmont, na qual os fatos eram os seguintes: presença de camisa suja, germe de trigo e aparecimento de camundongos em 21 dias. Com êstes fatos, Van Helmont tirou uma conclusão, baseado na hipótese de que geração espontânea pudesse existir. Se êle tivesse querido testar suas conclusões cientìficamente, teria que organizar uma experiência controlada. A camisa suja e o germe de trigo teriam que ser postos numa *caixa fechada* e deixados durante 21 dias. Os resultados seriam, então, completamente diferentes. O contrôle seria necessário devido à possibilidade dos camundongos virem de fora e não serem o resultado de geração espontânea. Essa possibilidade, aparentemente, não ocorreu a Van Helmont. Na verdade, êle ficou assombrado ao ver que os ratos, que imaginava terem sido produzidos por geração espontânea, eram idênticos aos que nasciam do cruzamento de ratos normais.

Os trabalhos de Van Helmont fornecem, aos cientistas modernos, duas lições: primeira, o cientista deve se empenhar em conhecer e controlar tôdas as variáveis (fatôres que podem afetar o resultado) de uma experiência; segunda, um cientista deve estar sempre consciente de que suas suposições influenciam a maneira pela qual vê e interpreta os fatos. Os cientistas de hoje contìnuamente testam suas hipóteses, verificando se podem ser válidas, ou não, ao concatenar os fatos de que dispõem; êles revêem essas hipóteses, sempre que necessário, e tentam ainda desenvolver outras que permitirão melhor concatenação dos fatos. Assim, procuram evitar o tipo de raciocínio falso que Van Helmont usou.

...Geração espontânea foi uma hipótese que se desenvolveu para tentar explicar o aparecimento, aparentemente súbito, de animais e vegetais. Aristóteles supôs a existência de um "princípio ativo" que, quando adicionado à matéria, poderia produzir vida. Até cêrca de cem anos atrás, muitas pessoas supunham que geração espontânea fôsse possível. De fato, biólogos notáveis, como Van Helmont, consideravam a geração espontânea tão lógica que não viam necessidade de discutí-la e, ao contrário, usavam essa suposição para explicar certos fatos. Hoje, porém, os cientistas organizam experiências com contrôles adequados; continuam também a testar suas hipóteses básicas e a revê-las quando necessário.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual é o conceito moderno semelhante ao "princípio ativo" de Aristóteles?
2. Como se pode comparar combustão espontânea e geração espontânea?
3. Qual é o importante procedimento da Ciência experimental que faltava na "receita" de Van Helmont?
4. Como funcionava um "princípio ativo" segundo o ponto de vista dos sábios antigos?

BIOGÊNESE: UM DESAFIO À GERAÇÃO ESPONTÂNEA

4 — 3 Famosa experiência de Redi levanta problemas

O início da moderna investigação científica do problema da origem da vida pode ser encontrado nas experiências de Francesco Redi, biólogo e médico de Florença (Itália), que fêz suas descobertas relacionadas com geração espontânea, em meados do século XVII, mais ou menos na época em que Galileu estava estudando o movimento e pesquisando os céus com seu telescópio.

O trecho seguinte foi retirado do trabalho de Redi, "Experiências Sôbre a Geração de Insetos":

> Embora me sinta feliz em ser corrigido por alguém mais sábio do que eu, caso faça afirmações errôneas, devo expressar minha convicção de que a Terra, depois de ter produzido as primeiras plantas e animais, por ordem do Supremo e Onipotente Criador, nunca mais produziu nenhum tipo de planta ou animal, quer perfeito ou imperfeito...[2]

Analisando êsse trecho, vemos que Redi não afirma um *fato,* mas apresenta claramente uma *suposição básica:* a vida não é gerada espontâneamente. Num outro trecho, no mesmo trabalho, êle apresenta as *observações* que fêz e formula uma *hipótese:*

> ...E, embora seja fato, observado diàriamente, que um número infinito de vermes é produzido em cadáveres e em vegetais em decomposição, eu me sinto tentado a acreditar que êsses vermes são todos gerados por inseminação [reprodução sexuada] e que o material em putrefação, no qual são encontrados, não tem outra função senão servir de lugar para êles fazerem ninhos, onde depositam os ovos na época de reprodução e onde também encontram alimento...[3]

Aqui, Redi relatou pela primeira vez o que êle observou: a presença de vermes em cadáveres. Em seguida, continuou seu relatório com as observações que fêz para explicar a origem dos vermes:

> ...No comêço de junho mandei que matassem três cobras, do tipo chamado enguias de Esculápio. Logo que elas morreram, coloquei-as em caixa aberta para apodrecerem. Não muito depois, vi que estavam cobertas por vermes com forma cônica e aparentemente sem patas. Êsses vermes devoravam a carne, aumentando, enquanto isso, em tamanho e, dia a dia, eu observava que êles também aumentavam em número; embora tivessem a mesma forma, como nasceram em dias diferentes, diferiam de tamanho. Mas todos, grandes e pequenos, depois de consumirem a carne, deixando apenas os ossos intactos, escaparam por uma pequena abertura da caixa fechada, e eu não pude descobrir seu esconderijo. Ficando, por isso, curioso para saber o que poderia ter acontecido a êles, preparei novamente três cobras, que em três dias estavam cobertas com pequenos vermes. Êstes aumentavam diàriamente em número e tamanho, mantendo a mesma forma, porém não a coloração; os maiores eram brancos externamente e os menores rosados. Quando a carne foi totalmente consumida, os vermes procuraram ativamente uma saída, mas eu havia fechado tôdas as aberturas. No dia 19 do mesmo mês alguns vermes cessaram todos os movimentos, como se estivessem dormindo, e pareceram diminuir, assumindo gradualmente formas semelhantes a de um ôvo. No dia 20 todos os vermes tinham adquirido formas ovais e tomado coloração branca dourada, que passou à vermelha e, em alguns escureceu tornando-se quase preta. Neste ponto, tanto os vermelhos como os pretos, começaram a endurecer, lembrando as crisálidas formadas por lagartas, bichos-da-sêda e insetos semelhantes. Minha curiosidade assim aumentou e notei que havia alguma diferença na forma entre os ovos vermelhos e prêtos [pupas]... ...Coloquei-as em diferentes frascos de vidro, bem cobertos com papel e, no fim de oito dias, tôdas as cascas vermelhas estavam quebradas e, de cada uma, saiu uma môsca cinzenta... Enquanto as [pupas] vermelhas deram origem à môscas em oito dias, as pretas levaram catorze dias para produzir grandes môscas pretas listadas de branco, tendo o abdome com cerdas, do mesmo tipo que vemos diàriamente zunindo nos açougues. Tendo considerado essas coisas, comecei a acreditar que todos os vermes encontrados na carne fôssem originados diretamente de ovos de môscas e não da putrefação da carne e fiquei ainda mais convencido por observar que, antes da carne se tornar bichada, haviam pousado sôbre ela môscas iguais àquelas que depois se originaram (a partir dos "vermes")[4].

A hipótese apresentada por Redi, segundo a qual as môscas não haviam sido geradas espontâneamente na carne em putrefação, precisava ser *testada* e êle mesmo declara isso na continuação do seu trabalho:

> ...O que eu pensava a respeito não teria valor se não pudesse ser confirmado pela experimentação; por isso, em meados de julho, coloquei uma cobra, alguns peixes, algumas enguias do Arno e uma fatia de carne de vitela em quatro frascos grandes, de bôca larga; tendo fechado bem e selado todos êles, preparei igual número de outros frascos da mesma maneira, sòmente deixando-os abertos. Não demorou muito para que a carne e o peixe dêstes últimos frascos ficassem cheios de vermes e foram vistas môscas entrando e saindo à vontade; nos fechados, não vi nenhum verme, apesar de muitos dias terem se passado desde que a carne fôra lá colocada. Fora, no papel que os cobria, formaram-se vermes que procuravam ativamente algum lugar por onde penetrar a fim de

obter alimento. Enquanto isso, as diferentes coisas colocadas nos frascos haviam apodrecido[5].

Vemos que Redi tentou realizar sua experiência de modo que só um fator variasse: metade dos frascos fôra deixada aberta e a outra metade não. Entretanto, apenas êsse contrôle não era suficiente: as môscas não podiam entrar nos frascos fechados, mas o ar também não se renovava no seu interior e isso poderia ser a causa que impedia o aparecimento dos "vermes". Êle mesmo diz no seu trabalho:

> ...é necessário contar que, embora eu pensasse ter provado que a carne de animais mortos não pudesse originar vermes, a menos que ovos fôssem aí depositados, para remover qualquer dúvida, como a experiência havia sido feita com frascos fechados, onde o ar não podia penetrar ou circular, ainda quis tentar uma nova experiência, colocando carne e peixe num frasco grande fechado com um fino véu de Nápoles [gaze] que permitia a entrada do ar. Para maior proteção contra as môscas, coloquei o frasco sob uma cobertura feita com o mesmo material. Nunca vi nenhum verme nessa carne, embora tivesse visto muitos movendo-se sôbre a cobertura. Êstes, atraídos pelo cheiro da carne, tentavam penetrar através das finas malhas e teriam conseguido se eu não os tivesse removido...[6]

As experiências de Redi (fig. 4 — 2) parecem favorecer a idéia de que a vida pode se originar sòmente de vida pré-existente. Essa idéia chama-se *biogênese*.

Não se poderia esperar, no entanto, que uma única experiência, mesmo bem planejada e convincente, pudesse destruir uma idéia sustentada há séculos. Apesar das pessoas que acreditavam na geração espontânea se curvarem por um certo tempo aos novos argumentos, o problema não desapareceu. Seus partidários atacaram com vigor renovado logo que lhes apareceu uma oportunidade.

4 — 4 O aperfeiçoamento do microscópio volta a favorecer a idéia de geração espontânea

Alguns anos após as experiências de Redi, um naturalista holandês, Anton Leeuwenhoek, aperfeiçoou o microscópio (fig. 4 — 3) e, através das lentes dêste instrumento, examinou uma grande variedade de substâncias descobrindo, pululando nelas, minúsculos organismos (bactérias) cuja existência era, até então, ignorada. Ninguém admitiu que a reprodução sexuada ou qualquer outro "processo razoável" pudesse estar envolvido na criação dêstes sêres minúsculos e tão numerosos. Procurou-se explicar seu aparecimento através da geração espontânea *(abiogênese)*.

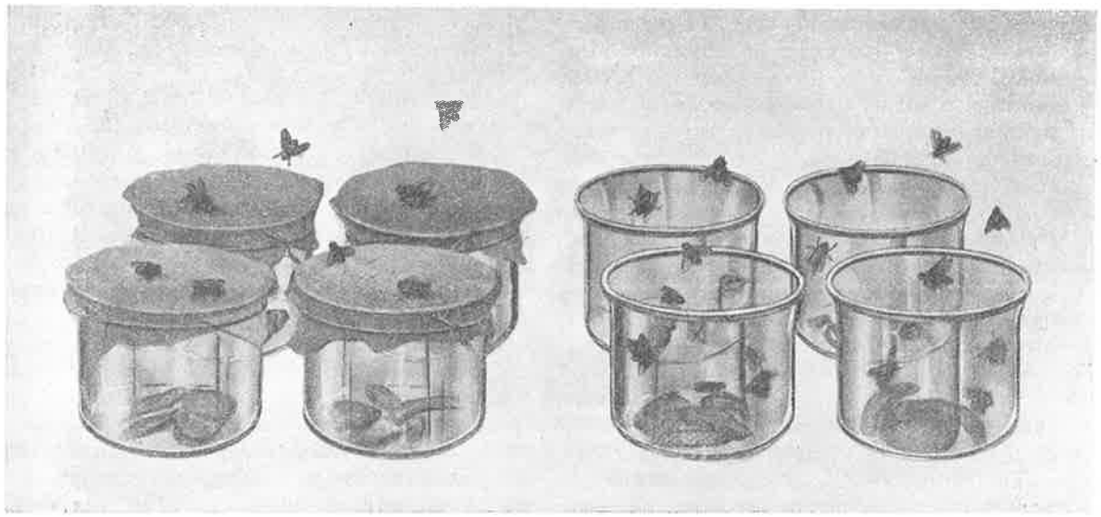


Fig. 4-2 Experiência controlada de Redi. Esta experiência confirmou a hipótese de que môscas eram responsáveis pela presença de larvas na carne em decomposição.

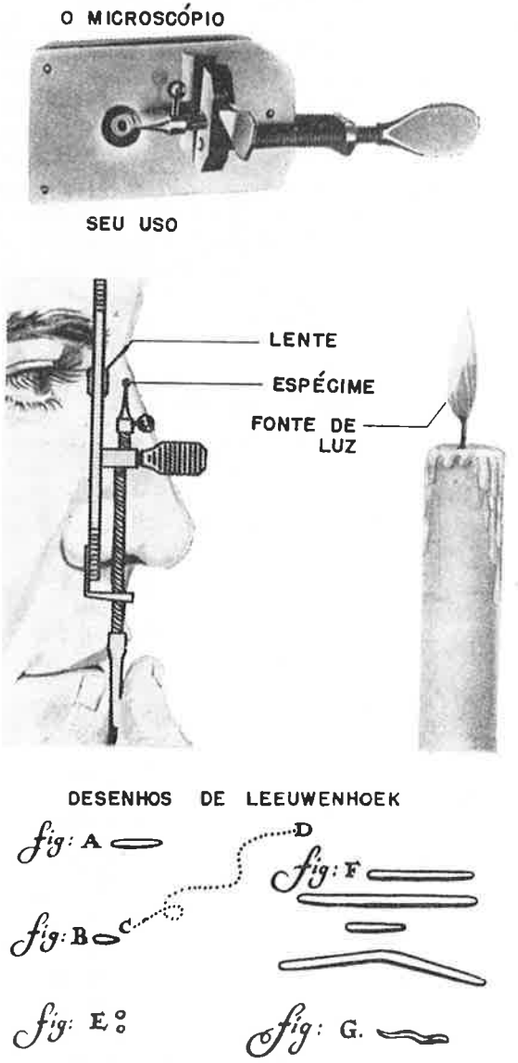


Fig. 4-3 Microscópio usado por Leeuwenhoek. Seu uso e desenhos feitos com sua observação.

Leeuwenhoek era um técnico habilidoso e observador incansável, mas não era um teórico que se preocupasse em encontrar soluções para problemas. Sua atitude, a respeito, se torna clara através dessa sua citação:

> ...E no dia 26 eu encontrei tamanha quantidade dessas criaturas ovais [bactérias] que acredito houvesse mais ou menos de seis a oito mil em uma gôta, ao lado de uma abundância de pequenos animais, cujo número era maior ainda.
> ...Observando que essas criaturas aumentavam muito em número, mas sendo incapaz de vê-las aumentar em tamanho, comecei a imaginar como elas poderiam se formar: mas essa especulação eu deixo para outros[7].

Se bem que Leeuwenhoek não tivesse entrado na controvérsia entre as teorias da biogênese e abiogênese suas observações estimularam novas investigações por parte de outros cientistas.

4 — 5 Os trabalhos de Needham e Spallanzani

Em 1745, John Needham, de Londres, fêz uma série de novas e interessantes experiências que reforçaram a idéia da origem da vida por abiogênese. Para essas experiências usou sucos nutritivos, como caldo de galinha, suco de vegetais e outros líquidos contendo pequenas partículas de alimento. Colocou os líquidos em tubos de ensaio, aqueceu-os, fechou-os, de maneira a impedir a entrada do ar, e aqueceu-os novamente. Depois de alguns dias o líquido apresentou-se repleto de pequenos organismos. Repetiu a experiência com outros líquidos e obteve sempre os mesmos resultados. Viu nesses resultados um apoio para a sua hipótese: a geração espontânea era realmente possível.

Cêrca de um século antes, as experiências cuidadosas feitas por Redi indicavam que a abiogênese não ocorria. Os dados de Needham, no entanto, pareciam contradizer os de Redi e reforçar a teoria da abiogênese.

Vinte e cinco anos mais tarde, um padre italiano, Lazzaro Spallanzani, elaborou uma crítica devastadora às conclusões de Needham. Como os cientistas fazem hoje, Spallanzani atacou tanto as experiências de Needham quanto sua teoria, através de uma série de experiências cuidadosamente realizadas por êle próprio. "Em muitas cidades da Itália", dizia, "podem-se ver pessoas que se opõem à opinião de Needham, mas eu não acredito que nenhuma delas tenha pensado, ao menos, em examinar o caso experimentalmente".

Em suas experiências Spallanzani colocou vários sucos de vegetais em 19 frascos, que foram fechados e fervidos durante uma hora e, depois, postos de lado por vários dias. Examinando-os posteriormente, não encontrou qualquer sinal de vida em nenhum dêles; mostrou, assim, que Needham não tinha aquecido os seus tubos suficientemente para matar todos os sêres nêles existentes. Portanto, depois de aquecidos os líquidos, poderia ainda haver uma certa quanti-

dade de sêres vivos que se reproduziria logo que os tubos esfriassem.

Needham reagiu com um argumento que pareceu incontestável: afirmava que se alguém aquecesse o líquido a uma temperatura muito alta, destruiria seu "princípio ativo". Replicou da seguinte maneira a Spallanzani:

> Nada resta a ser feito a não ser falar da última experiência de Spallanzani, que êle próprio acredita ser a única em seu trabalho todo que parece ter alguma fôrça contra minhas idéias. Selou hermèticamente [de maneira a torná-los impermeáveis ao ar] dezenove frascos que continham diferentes substâncias vegetais e ferveu-os, fechados, pelo período de uma hora. Mas, pelo método de tratamento pelo qual êle torturou suas 19 infusões vegetais, fica claro que enfraqueceu muito, ou talvez até destruiu, a fôrça vegetativa [princípio ativo] das substâncias em infusão...[8]

As experiências de Spallanzani podem parecer convincentes para nós, mas Needham tinha a seu lado, o pêso da opinião pública que, em geral, só muda vagarosamente. A abiogênese continou dominando. De fato, até cêrca de 100 anos atrás, a maioria dos cientistas a aceitava como válida.

...Vamos rever ràpidamente a posição da abiogênese até o século XIX. A experiência engenhosa de Redi contestou a idéia da geração espontânea, pois, ao contrário de Van Helmont, Redi apresentou uma experiência bem controlada que serviu de base para a teoria da biogênese — tôda vida aparece de uma forma viva pré-existente. Com o aperfeiçoamento do microscópio simples, porém, as bactérias e pequenos animais que estavam sendo vistos pela primeira vez, deram nova fôrça às idéias de geração espontânea. Apesar das experiências cuidadosas de Spallanzani, o trabalho de Needham, apoiando a abiogênese, foi mais largamente aceito.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual a suposição básica de Redi?
2. Explique a hipótese que se desenvolveu a partir dessa suposição.
3. Que experiência Redi imaginou para testar sua hipótese?
4. Como Leeuwenhoek contribuiu para a controvérsia entre biogênese e abiogênese?
5. Qual a crítica que Needham fêz à suposição de Spallanzani?
6. Sob que aspectos as experiências de Redi foram mais científicas que as de Van Helmont?

QUEDA DA TEORIA DA GERAÇÃO ESPONTÂNEA

4 — 6 Experiências conclusivas de Pasteur

Por volta de 1860, o grande biólogo francês, Luís Pasteur, começou uma análise longa e lógica de todo o problema da origem da vida. Êle havia demonstrado, em mais de uma ocasião que o ar é uma fonte de microrganismos. Afirmava que a matéria bruta é contaminada fàcilmente por matéria viva devido às bactérias sempre presentes nas mãos, no solo, nos vidros e no ar. Demonstrou, repetidamente, sob uma variedade de circunstâncias, que soluções nutritivas e outros materiais não produziam organismos vivos depois de terem sido cuidadosamente esterilizados (fig. 4 — 4).

Entretanto, isso não foi suficiente para invalidar a hipótese da abiogênese — a conclusão de Needham de que o "princípio ativo" poderia ser destruído pelo calor continuava a ser usada como argumento. Finalmente Pasteur idealizou os famosos frascos com "pescoço de cisne" e com êles realizou experiências conclusivas. Êle descreve seu trabalho da seguinte maneira:

> Coloquei em frascos de vidro os seguintes líquidos, todos fàcilmente alteráveis em contato com o ar comum: suspensão de lêvedo de cerveja em água, suspensão de lêvedo de cerveja em água e açúcar, urina, suco de beterraba, água de pimenta; aqueci e puxei o gargalo do frasco, de maneira a dar-lhe várias curvaturas; deixei o líquido ferver durante vários minutos, até que os vapôres saíssem livremente pela estreita abertura superior do gargalo, sem tomar nenhuma outra precaução. Em seguida, deixei o frasco esfriar. É uma coisa notável, capaz de assombrar qualquer pessoa acostumada com a delicadeza das experiências relacionadas à, assim chamada, geração espontânea, o fato de o líquido em tal frasco permanecer imutável indefinidamente...
>
> ...Parecia que o ar comum, entrando com fôrça durante os primeiros momentos [do resfriamento], deveria penetrar no frasco num estado de completa impureza. Isto é verdade, mas êle encontra um líquido numa temperatura ainda próxima do ponto de ebulição. A entrada do ar ocorre, então, mais vagarosamente e, quando o líquido se resfriou suficientemente, a ponto de não mais ser capaz de tirar a vitalidade dos germes, a entrada do ar será suficientemente lenta, de maneira a deixar nas curvas úmidas do pescoço tôda a poeira [e germes] capaz de agir nas infusões... Depois de um ou vários meses no incubador, o pescoço do frasco foi removido por um golpe dado de tal modo que nada, a não ser as ferramentas, o tocasse e depois de 24, 36 ou 48 horas, bolores e infusórios [bactérias] se tornaram visíveis exatamente como no frasco aberto, ou como se o frasco tivesse sido inoculado com poeira do ar[9].

Esta experiência de Pasteur é admirável por ser simples e completa. Dois dos seus aspectos forneceram respostas convincentes à maioria das objeções feitas pelos opositores da biogênese: primeiramente, apesar de o líquido ter sido fervido, Pasteur pôde mostrar que êle ainda possuía a "capacidade" de manter vida se um organismo fôsse nêle introduzido. Se o gargalo fôsse cortado ou o frasco inclinado, de maneira que o fluido entrasse em contato com a poeira, colônias de fungos e bactérias apareceriam no líquido dentro de poucos dias. Em segundo lugar, êle não impediu a formação de vida por falta de nenhum "princípio ativo" do ar, pois êste podia entrar e sair livremente da preparação. O frasco de pescoço de cisne (preparado como mostra a figura 4 — 4) pode permanecer livre de microrganismos pelo menos durante um ano e meio.

A experiência de Pasteur conseguiu uma vitória para a biogênese. Seus oponentes poderiam não ter ficado totalmente convencidos, mas sua confiança na abiogênese deve ter-se enfraquecido, a julgar pelo seu silêncio. Depois da publicação do trabalho de Pasteur, apareceram sòmente poucas notícias novas a respeito da abiogênese e agora, finalmente, não se fala mais nisso. As poucas pessoas que ainda acreditam que vermes nascem do lixo em putrefação, não o fazem por convicção a respeito da origem da vida, mas sim por ignorarem o ciclo de vida das môscas (môsca-ôvo-larva-môsca).

4 — 7 A teoria da biogênese levanta novas questões

Vimos como uma suposição foi substituída por outra devido a experiências convincentes. Por que consideramos biogênese uma suposição ou teoria e não um fato? Uma analogia ajudará a esclarecer êste ponto: você pode dizer, por exemplo, que um determinado sapo é constituído de

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO



Fig. 4-4 Experiência de Pasteur com frascos de "pescoço de cisne". Êste diagrama mostra a seqüência das etapas necessárias para realizar a experiência descrita por Pasteur na citação.

células, porque você examinou êste sapo; mas, pode sòmente *supor* que "*todos* os sapos são compostos de células" por ser essa afirmação uma generalização baseada em observação limitada. Pode acreditar, sem nenhuma sombra de dúvida, que todos os sapos são feitos de células, mas isto não faz com que sua crença seja um fato.

Os cientistas não acham que sòmente os fatos sejam importantes e que suposições, generalizações e teorias sejam coisas vagas e sem valor. Ao contrário, a formulação de generalizações é fundamental para a Ciência. A teoria da biogênese foi uma generalização extremamente proveitosa para a Biologia, apoiada por fatos e experiências. Uma das grandes vantagens de uma boa teoria é que ela organiza fatos aparentemente desconexos, coloca-os em ordem e padroniza-os. Além disso, permite que os cientistas predigam novos fatos e relações existentes entre êles que, talvez, nunca tivessem sido imaginados antes.

A teoria da biogênese deu origem, pelo menos, a duas questões importantes. Esta teoria está baseada na *suposição* de que é necessário um organismo vivo para produzir outro organismo vivo. Uma questão que resulta dessa suposição é a seguinte: todos os sêres vivos têm um ancestral comum? Se isto é certo, como surgiu a grande variedade de organismos? No Capítulo 3 vimos que uma resposta parcial a esta questão é encontrada na teoria da evolução. Lembre-se que a suposição básica na teoria da evolução é que todos os sêres vivos são descendentes modificados de vegetais e animais que viveram antes dêles. Esta teoria é quase idêntica à da biogênese, exceto em relação à palavra chave *modificado*. Esta semelhança entre as duas mostra como teorias e conceitos em Biologia têm relação e conexão.

Uma segunda questão conseqüente da biogênese é a seguinte: se é preciso vida para produzir vida, de onde apareceu a "primeira vida"? A resposta que os cientistas deram a esta questão não foi tão bem formulada quanto àquela dada à primeira, como você verá na próxima unidade dêste livro.

...Luís Pasteur é considerado um grande biólogo. Suas experiências engenhosas e cuidadosas responderam às últimas contestações dos partidários da abiogênese, fazendo cair a idéia de que o ar contivesse "um princípio ativo". A aceitação gradual da biogênese, como teoria válida, fêz surgir a seguinte questão: quando e como apareceu a vida pela primeira vez?

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Descreva quais as etapas que seguiria para repetir a experiência de Pasteur com os frascos de pescoço de cisne.
2. Em que sentido a experiência de Pasteur é superior à de Spallanzani?
3. Quais foram as duas maneiras pelas quais Pasteur, com sua experiência, respondeu à hipótese do "princípio ativo" de Needham?

HIPÓTESES SÔBRE A ORIGEM DA VIDA NA TERRA

4 — 8 Vida extra-espacial

Os cientistas têm apresentado várias hipóteses para explicar como começou a vida na Terra. Uma delas presume que as bactérias, vindas em partículas de poeira ou em meteoritos, de pontos distantes do Universo, foram a fonte de vida no nosso planêta. Nessa hipótese, presume-se que os esporos de bactérias possam resistir aos rigores espaciais e "contaminar" qualquer planêta onde as condições sejam favoráveis para a vida.

Existem duas objeções a essa hipótese: primeiro ela explica sòmente o aparecimento de vida na Terra sem explicar sua origem no planêta de onde possa ter vindo; segundo, viajando de um mundo distante para a Terra, um organismo encontraria variações tremendas de temperatura e radiações mortais que vão, provàvelmente, além do limite de tolerância.

As estrêlas cadentes ou meteoros, freqüentemente vistos à noite, são pedaços de pedra ou partículas de poeira que se tornam incandescentes com o calor e se desintegram quando entram em atrito com a atmosfera superior. Um esporo que viesse num dêsses meteoros, seguramente seria destruído antes de alcançar a superfície terrestre. Como alguns dos grandes meteoros conseguiram alcançar a superfície da Terra (passando, então, a ser chamados meteoritos), haveria possibilidade de que tivessem trazido organismo vivo no seu interior. A fim de investigar essa possibilidade, os cientistas examinam os meteoritos procurando qualquer sinal de vida; mas, tais sinais não indicariam necessàriamente que a vida tivesse resistido à violenta viagem através do espaço; demonstrariam apenas sua existência antes dela.

É realmente possível que exista vida em muitos planêtas de sistemas solares diferentes do nosso. Com os satélites artificiais, o homem pode agora coletar pequenas quantidades de resíduos espaciais e examiná-los cuidadosamente para procurar evidências de vida, mas não será uma experiência decisiva, pois os resultados poderão ser interpretados de várias maneiras. Até o momento, não há ainda provas de que sêres vivos, a não ser que sejam astronautas muito bem protegidos, tenham conseguido sobreviver no espaço. A questão continua aberta; continuam a se realizar pesquisas nesse campo.

4 — 9 A hipótese autotrófica

Ao se considerar o problema da origem da vida é preciso lembrar que todos os sêres vivos necessitam de alimento; portanto, a primeira forma de vida deveria ter sido capaz de fabricá-lo. Um organismo capaz de produzir o alimento que necessita é chamado *autótrofo;* tôdas as plantas clorofiladas e certas bactérias são autotróficas.

A maioria dos sêres autotróficos usa energia solar para sintetizar alimentos e algumas bactérias usam energia obtida em reações químicas. Sintetizar significa formar alguma coisa complexa partindo de substâncias mais simples. A hipótese autotrófica presume que a primeira forma de vida já tivesse essa capacidade; entretanto, há uma crítica séria que deve ser feita: tôdas as reações químicas relacionadas com a síntese de alimento são muito complexas, exigindo do organismo uma estrutura também complexa. Se os organismos primitivos foram capazes de sintetizar alimento, precisamos admitir que tenha aparecido repentinamente um sistema complexo de síntese.

Assim, os primeiros sêres autotróficos deveriam ter sido organismos complexos desde o início, o que, naturalmente, pode ter acontecido. Por outro lado, se raciocinarmos de acôrdo com a teoria da evolução, segundo a qual organismos complexos são, freqüentemente, o resultado do acúmulo de várias pequenas modificações ocorridas num grande espaço de tempo, será mais razoável supor que a vida começou num organismo simples, um organismo que não pudesse fabricar alimento. Isso não significa que a hipótese autotrófica seja absurda, pois, pode ser que dentro de poucos anos, um cientista (talvez você), descubra algum modo de esclarecer êsse ponto.

4 — 10 A hipótese heterotrófica

Um organismo *heterotrófico,* ao contrário de um autotrófico, é incapaz de fabricar seu próprio alimento. Precisa recorrer a alguma fonte externa para obtê-lo, embora seja capaz de sintetizar certos compostos. Todos os animais são heterotróficos; a maioria das bactérias e outros protistas, como o bolor e cogumelos, também o são.

A hipótese heterotrófica supõe que a forma mais primitiva de vida se desenvolveu a partir de substância inanimada, formando-se, num ambiente complexo, um ser extremamente simples, incapaz de fabricar seu alimento. Você pode desejar saber no que essa hipótese difere das primitivas idéias de geração espontânea: há uma diferença muito importante, pois, a noção original de geração espontânea implica no fato de que organismos complexos pudessem surgir repentinamente de matéria bruta e, também, que êsse *processo contínuo pudesse ocorrer todos os dias.* Em contraposição, a hipótese heterotrófica, como será discutido nos capítulos seguintes, supõe que um organismo muito simples tenha evoluído vagarosamente a partir da matéria bruta e que isso ocorreu há bilhões de anos atrás, sob condições muito especiais.

Você naturalmente perguntará: de onde o heterótrofo conseguiu alimento se não havia autótrofos para produzi-lo? Êste problema e muitos outros foram parcialmente respondidos por algumas suposições interessantes feitas pelo biólogo inglês J.B.S. Haldane, em 1929, e pelo bioquímico russo A.I. Oparin que, em 1936, publicou detalhadamente sua hipótese no livro *A Origem da Vida.*

Darwin, até 1859, quando foi publicada *A Origem das Espécies,* não fêz nenhuma tentativa para investigar a origem da vida, mas pode-se ver no trecho seguinte, tirado de uma sua carta escrita em 1871, que êle não ignorou a existência do problema.

> Costuma-se dizer freqüentemente que tôdas as condições necessárias para a primeira formação de um ser vivo se acham presentes

agora como sempre se acharam. Mas se (e como é grande êsse *se!*) nós pudéssemos imaginar que, nos dias de hoje, em alguma poçazinha tépida, com todos os tipos de sais amoniacais e fosfóricos, luz, calor, eletricidade, etc., presentes, um composto protéico estivesse quìmicamente formado e pronto para sofrer mudanças mais complexas, tal composto seria instantâneamente devorado ou absorvido, o que não teria acontecido antes de os sêres vivos terem sido formados[10].

Como se pode ver, Darwin imaginou que as condições sob as quais a vida deve ter-se originado fôssem semelhantes às atuais, suposição essa que não é mais considerada válida, uma vez que há numerosas provas de que a Terra e a atmosfera primitivas eram muito diferentes do que são hoje. Foi, entretanto, o autor de uma primeira hipótese heterotófica, como mostra essa sua carta. Contudo, os cientistas que desenvolveram a hipótese heterotófica moderna não fazem menção a essa idéia de Darwin.

Na unidade seguinte, tentaremos imaginar as etapas necessárias para a evolução gradual dos organismos.

...Várias hipóteses foram propostas para explicar a origem da vida. A hipótese de que ela apareceu no nosso planêta sob a forma de esporos vindos do espaço pode explicar qual teria sido seu início na Terra, mas não explica como teria se originado em outro lugar. A hipótese autotrófica presume que o primeiro ser vivo pudesse sintetizar seu próprio alimento, mas isso exigiria a existência de um complexo sistema de síntese desde o início da vida. A hipótese heterotrófica, que será considerada detalhadamente em outro capítulo, supõe que o organismo primitivo não fabricava alimento e que evoluiu de uma forma muito simples, como heterótrofo.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. A que problema deve a hipótese heterotrófica fornecer resposta?
2. Quais são alguns dos argumentos a favor e contra a hipótese autotrófica?
3. Se, em pesquisas futuras, forem descobertos esporos de bactérias no espaço extraterreno, quais serão as interpretações possíveis?
4. Qual a principal razão para se rejeitar a hipótese da origem extraterrena da vida?
5. Em que difere a hipótese heterotrófica da idéia de geração espontânea?

SUMÁRIO

Durante a Idade Média era crença comum que organismos complexos pudessem aparecer da matéria bruta. Essa crença foi chamada geração espontânea e admitia a existência de um "princípio ativo" responsável pelo desenvolvimento do ser. As experiências de Redi contestaram a idéia de geração espontânea e deram apoio à biogênese, segundo a qual a vida só poderia se originar de vida pré-existente. Leeuwenhoek, aperfeiçoando o microscópio, descobriu microrganismos, encorajando os partidários da abiogênese. Um dêles, Needham, foi contestado por Spallanzani e depois por Pasteur, cujas experiências foram fundamentais para a aceitação da teoria da biogênese como a mais sólida.

A teoria da biogênese levantou novos problemas relacionados com a origem da vida. Diversas hipóteses foram propostas, entre as quais se destacam a autotrófica e a heterotrófica. Quanto à hipótese autotrófica, há o inconveniente de exigir que o organismo inicial possuísse um sistema muito complexo para ser capaz de sintentizar seu próprio alimento. A hipótese heterotrófica supõe que os primeiros organismos tivessem sido muito simples e incapazes de sintetizar alimento. As suposições desta hipótese serão estudadas na próxima unidade dêste livro.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Como Redi "controlou" sua experiência?

2. Relacione o "princípio ativo" com geração espontânea.

3. Por que é tão importante que tôdas as variáveis numa experiência sejam identificadas?

4. Quais os aspectos importantes da Ciência que faltava na receita de Van Helmont?

5. Você acha que as pessoas de hoje têm atitudes mais científicas do que as que viveram há 500 ou 600 anos atrás? Por que razão?

6. Quais foram as diferenças principais entre as experiências de Needham e Spallanzani?

7. Que contrôle Pasteur usou em suas experiências com frascos de pescoço de cisne?

Use a seguinte chave para responder as seis perguntas seguintes (de 8 a 13):

a) hipótese autotrófica
b) hipótese heterotrófica
c) biogênese
d) abiogênese
e) nenhum dos itens mencionados

8. Experiência de Pasteur.

9. A vida se originou como um organismo razoàvelmente complexo num ambiente simples.

10. A vida se originou sòmente de vida préexistente.

11. Conseqüência das observações de microrganismos por Leeuwenhoek.

12. A Terra foi "contaminada" por organismos vindos do espaço.

13. O trabalho de Haldane.

(B) 14. Por que um cientista deve ser muito precavido nas suas suposições? Pode uma destas suposições envolver uma variável negligenciada? Dê um exemplo.

15. Qual foi a suposição falsa de Van Helmont na sua experiência sôbre geração espontânea de ratos?

16. Quais foram as observações que conduziram Redi à suposição da biogênese?

17. Por que as observações de Leeuwenhoek fizeram reviver os argumentos em favor da geração espontânea?

18. Qual a suposição de Needham a respeito da influência do calor em líquidos nutritivos?

19. De acôrdo com as modernas técnicas de laboratório, que havia de errado nas experiências de Needham?

20. Quais foram as partes da experiência de Pasteur que demonstraram claramente que Needham estava errado?

(C) 21. A crítica de Needham à experiência de Spallanzani era justificada, de acôrdo com o pensamento e atitude generalizados na época?

22. Como Pasteur foi capaz de provar, de maneira conclusiva, que a biogênese era a teoria certa?

23. O que significa apenas supor que todos os sapos sejam constituídos por células, em lugar de considerar isso um fato?

24. Compare as teorias da biogênese e da evolução.

25. Qual é o principal ponto fraco na hipótese autotrófica? Devemos considerá-la completamente desprezível por causa disso?

26. Qual é a relação entre a hipótese heterotrófica e a teoria da evolução de Darwin?

OBRAS MENCIONADAS

1 ARISTÓTELES. "The Generation of Animals" in *The Origin of Life on the Earth,* New York, Academic Press, 1957, p. 5.

2 REDI, F. "Experiments on the Generation of Insects", *Great Experiments in Biology,* ed. M. Gabriel e S. Fogel. New York, Prentice-Hall, Inc., 1955, p. 187.

3 *Ibid.,* p. 187.

4 *Ibid.,* pp. 187-188.

5 *Ibid.,* p. 189.

6 REDI, F. "Experiments on the Generation of Insects", *A Book of Methods,* Harcourt, Brace and Company, New York, 1958, p. 18.

7 LEEUWENHOEK, Anton Van. "Observations Concerning Little Animals", *Great Experiments in Biology, (ob. cit.),* p. 109.

8 *Harward Case Histories in Experimental Science,* Cambridge, Harward University Press, 1957, p. 18.

9 PASTEUR, L. "Memoir on the Organized Corpuscles which Exist in the Atmosphere. Examination of the Doctrine of Spontaneous Generation", *Great Experiments in Biology* (*ob. cit.*), p. 115.

10 DARWIN, Charles. "The Life and Letters of Charles Darwin", segundo citação de G. Hardin, "Darwin and the Heterotroph Hypothesis". *Scientific Monthly*, março de 1950, p. 179.

LEITURAS RECOMENDADAS

OPARIN, A. I. *A Origem da Vida* (trad.) Ed. Vitória, Rio, 1956.

GUYÉNOT, Émile. *A Origem das Espécies* (trad.) Publicações Europa-América, *Coleção Saber*.

ARAMBOURG, C. *A Gênese da Humanidade* (trad.), Publicações Europa-América, *Coleção Saber*.

BRANCO S. e C. Murgel. *Do Mineral ao Protoplasma*, S. Paulo, 1958.

Cientistas Famosos, Scientific American (trad. de J. Reis), Ed. Ibrasa, 1961.

WALDE, George. "A Origem da Vida", *Física e Química da Vida, Scientific American* (trad.), Ed. Ibrasa, 1961.

KRUIF, Paul de. *Caçadores de Micróbios* (trad.), Livr. Globo.

SEGUNDA UNIDADE

A EVOLUÇÃO DA CÉLULA

Descobertas recentes auxiliaram os biólogos a ver como as idéias de Darwin sôbre a evolução podem também ser aplicadas aos organismos unicelulares. Se podemos supor que os complexos organismos existentes são descendentes modificados de formas primitivas, podemos supor também que os organismos unicelulares simples evoluíram de sistemas ainda mais simples. Ao considerar estas hipóteses, você aprenderá alguns fatos básicos de bioquímica, analisará os processos pelos quais as células são formados de átomos e moléculas e como obtêm e usam energia. Algumas das idéias mais interessantes da Biologia neste século — idéias de como a vida passa de uma célula para outra — serão também analisadas.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

PRECURSORES DA VIDA

CAPÍTULO 5

Por volta de 1860, grandes descobertas foram feitas no campo da Biologia. A teoria da evolução de Darwin e as experiências de Pasteur, demonstrando a inexistência da geração espontânea, levantaram problemas fundamentais acêrca da origem da vida. Êsses acontecimentos revolucionaram o pensamento dos intelectuais da época e tiveram grande efeito no estudo das formas de vida antiga e atual. Como veremos neste capítulo, novas idéias sôbre a origem da vida foram propostas recentemente e, outra vez, cresceu o interêsse sôbre o assunto. A hipótese heterotrófica é uma delas e concorda com as conclusões de Darwin e Pasteur.

Essa hipótese supõe que a composição química da atmosfera da Terra primitiva desempenhou um papel muito importante na origem e na evolução dos sêres vivos. Substâncias simples da atmosfera primitiva teriam se combinado para dar compostos mais complexos. Uma evolução longa e lenta dos compostos químicos, durante milhões de anos, precedeu, provàvelmente, a criação e evolução da vida. Ao expor essa hipótese, destacaremos as suposições feitas e daremos as provas que a apóiam.

Para auxiliá-lo a entender os fatos que podem ter ocorrido na Terra primitiva, é necessário discutirmos antes as teorias da origem da Terra e a composição química da sua atmosfera.

CONDIÇÕES EXISTENTES NA TERRA ANTES DO APARECIMENTO DA VIDA

5 — 1 A Terra primitiva

Ao considerar a origem da vida, devemos estudar as condições existentes na Terra, antes do seu aparecimento. Embora não se possam discutir aqui tôdas as hipóteses sôbre a origem da Terra, aconselhamos os estudantes a ler alguma coisa sôbre elas nas publicações recomendadas no fim do capítulo.

A idade da Terra, calculada segundo vários métodos, é de cêrca de quatro e meio a cinco bilhões de anos. Como nenhuma das técnicas empregadas é muito precisa, as estimativas diferem em milhões de anos. O exame dos fósseis e de outros materiais mostra que a vida não deve ter existido na Terra até cêrca de dois bilhões de anos atrás, o que significaria que a vida tem menos da metade da idade da Terra. Por isso, lembre-se, ao ler êste capítulo e os três seguintes, que discutiremos em apenas algumas páginas o que levou muito tempo para acontecer (fig. 5 — 1).

Muitas hipóteses foram elaboradas para explicar a origem da Terra. A seqüência dos acontecimentos, que exporemos a seguir, está baseada numa série considerável de provas.

1. Acredita-se que o Sol e seus planêtas se formaram numa nuvem de poeira cósmica. Provà-

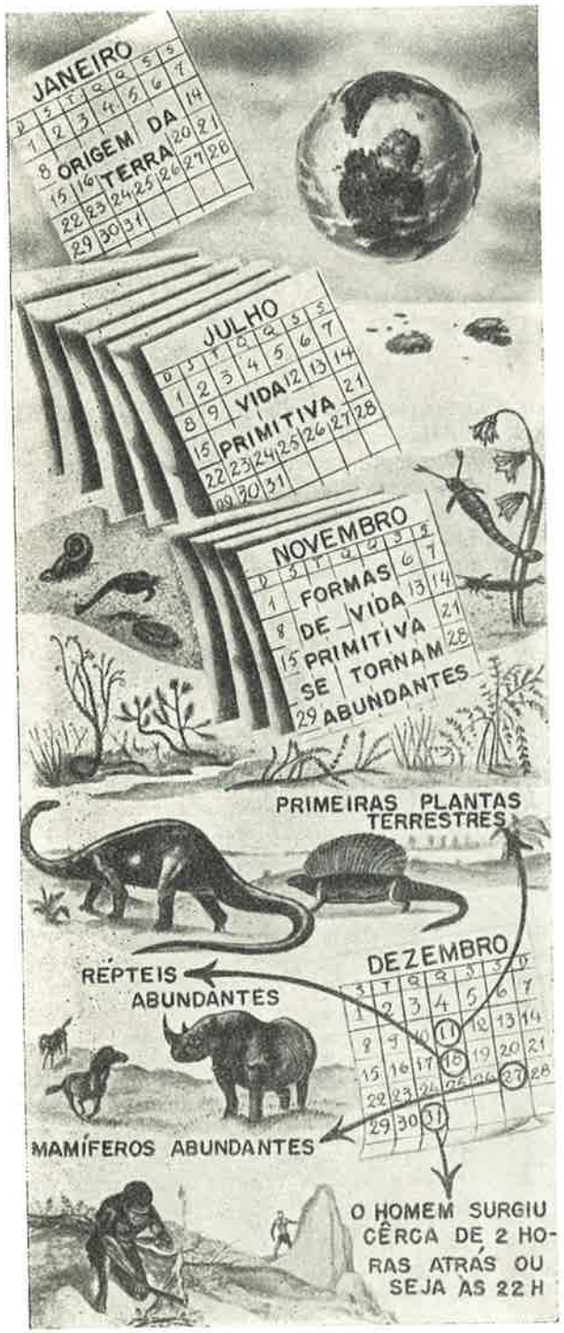


Fig. 5-1 Um calendário em que 4 bilhões e meio da existência da Terra foram condensados em um ano. Cada dia dêsse calendário equivale a pouco mais de 12 milhões de anos da história da Terra.

velmente, a Terra começou como uma pequena massa que foi aumentando porque suas fôrças gravitacionais foram atraindo mais e mais partículas.

2. À medida que a Terra aumentava em massa, suas fôrças gravitacionais também cresciam, comprimindo as partículas cada vez mais. Com esta compressão, a temperatura começou a aumentar gradualmente.

3. Em determinada época começou o resfriamento que continuou por muitos milhões de anos. Durante êsses processos de aquecimento e resfriamento formaram-se muitos compostos químicos. Os materiais mais pesados afundaram para o centro, formando o núcleo da Terra, enquanto que os mais leves permaneceram em cima, formando a parte externa.

4. Com o abaixamento da temperatura, a superfície da Terra solidificou-se, com exceção das regiões em que erupções vulcânicas derramaram rocha fundida na superfície. A crosta terrestre original e mesmo as águas dos oceanos resultaram, principalmente, da atividade vulcânica.

5. Por causa do seu tamanho, a Terra exerceu fôrça gravitacional suficiente para manter presos os gases que ficaram girando ao seu redor e que, de outro modo, teriam escapado para o espaço. Êsses gases existentes antigamente eram muito diferentes dos encontrados hoje na atmosfera.

5 — 2 A atmosfera primitiva

Vimos que a Terra foi capaz de manter os gases que estavam escapando do seu interior. O exame científico do sistema solar e das partes do Universo mostra que as atmosferas das estrêlas e planêtas sofrem mudanças graduais em longos períodos de tempo. Portanto, a atmosfera da Terra também deve ter-se modificado. Atualmente, cêrca de 80 % da nossa atmosfera são de nitrogênio; a parte restante é constituída principalmente por oxigênio e mais uma pequena quantidade de outros gases, entre os quais bióxido de carbono.

Os geólogos e outros cientistas verificaram que há evidências de que a antiga atmosfera era composta de vapor d'água, hidrogênio, metano e amônia. Ainda hoje, o planêta Júpiter tem a atmosfera composta dêsses três últimos gases. O hidrogênio é o mais simples dos elementos e também o mais abundante no Universo. Metano (CH_4) é um gás que se queima fàcilmente e que, por isso, é usado como combustível doméstico. A amônia (NH_3) é muito comum em líquidos de limpeza.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

A composição da atmosfera primitiva tem importância fundamental na elaboração da hipótese heterotrófica.

> **Suposição 1.** A atmosfera da Terra primitiva era composta de gases simples como vapor d'água, hidrogênio, metano e amônia. Êstes gases continham os ingredientes básicos necessários para a vida.

O vapor d'água é considerado um dos mais importantes componentes da antiga atmosfera. Uma hipótese admite que tôda a água, hoje existente na Terra, escapou do seu interior como resultado da atividade vulcânica. Ainda hoje, o vapor d'água perfaz cêrca de 10 % do pêso total do material expelido nas erupções vulcânicas. Êsse vapor se condensa e cai como chuvas fortes. Os geólogos calculam que a crosta terrestre tem, em média, 33 quilômetros de espessura e pensam que ela seja formada principalmente de rocha vulcânica. Isso levou alguns dêles ao seguinte raciocínio: se foi expelida do interior da Terra tão grande quantidade de rocha vulcânica, necessàriamente essa expulsão foi acompanhada de grandes volumes de vapor d'água. Supõem, então, que a quantidade de água libertada nas atividades vulcânicas é suficiente para explicar tôda a massa líquida dos oceanos atuais.

Essa água estava, no início, sob a forma de vapor devido às elevadas temperaturas da crosta. Assim, grandes quantidades de vapor d'água acumularam-se na atmosfera nas regiões mais elevadas e frias do espaço, o vapor se condensou em nuvens, caindo depois como chuva sôbre as rochas quentes da crosta. Novamente, se evaporou e voltou à atmosfera. Essas condições devem ter resultado em tempestades violentas acompanhadas de descargas elétricas contínuas. Êsse ciclo de evaporação e condensação se repetiu muitíssimas vêzes e continua até hoje.

Você pode perguntar porque os cientistas pensam que nitrogênio livre, oxigênio e bióxido de carbono não estivessem presentes na atmosfera primitiva. Devido às temperaturas elevadas e às grandes quantidades de hidrogênio, todo nitrogênio livre se combinaria com o hidrogênio para formar amônia. Da mesma forma, o carbono combinar-se-ia com o hidrogênio para formar metano e o oxigênio livre poderia se combinar com outros elementos, tais como, ferro, silício e alumínio para formar muitos minerais da crosta terrestre. Ainda hoje, uma certa quantidade de oxigênio está se combinando lentamente com êsses elementos e o oxigênio da atmosfera já teria desaparecido, há muito, se não fôsse a atividade contínua dos vegetais clorofilados.

...Há evidências de que a Terra tem de quatro e meio a cinco bilhões de anos. Darwin demonstrou que os sêres vivos se modificaram no decorrer dos tempos e podemos supor que a Terra também tenha tido sua própria evolução. No início, a crosta terrestre e a atmosfera eram muito diferentes das atuais. Na atmosfera provàvelmente existiria uma grande quantidade de hidrogênio, metano, amônia e água.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Em que idade da Terra teria surgido a vida?
2. Por que é importante, para o estudo da hipótese heterotrófica, considerar as condições da Terra primitiva?
3. Como poderiamos explicar a origem da água dos oceanos?
4. Qual a prova que se pode usar para fundamentar a hipótese de que a atmosfera primitiva contivesse pouco nitrogênio, oxigênio e bióxido de carbono?
5. Que gases teriam existido, provàvelmente, na atmosfera primitiva?
6. Por que teria havido, provàvelmente, na atmosfera primitiva uma grande quantidade de vapor d'água?

A EVOLUÇÃO DE COMPOSTOS QUÍMICOS

5 — 3 Formação de compostos orgânicos

A hipótese heterotrófica supõe a existência de certas moléculas orgânicas *antes* do aparecimento da vida. Substâncias orgânicas são definidas como sendo as que contêm carbono e hidrogênio na molécula; são assim chamadas por que existem nos organismos e, antigamente, pensava-se que só os sêres vivos fôssem capazes de sintetizá-las.

Contudo, em 1828, Wohler conseguiu sintetizar uréia (substância orgânica excretada por diversos animais) a partir de substâncias inorgânicas. Êste fato levou os autores da hipótese heterotrófica à seguinte suposição: desde que os químicos são capazes de sintetizar substâncias orgânicas em laboratório, é possível que na Terra primitiva, pudessem os átomos de oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e carbono ligarem-se de maneira a formar compostos orgânicos.

Portanto, nossa segunda suposição é essa:

> **Suposição 2.** Formaram-se na atmosfera moléculas orgânicas, a partir de gases simples existentes, e foram levadas aos oceanos primitivos pelas chuvas.

Harold Urey, cientista que recebeu o Prêmio Nobel de Química, interessou-se pela evolução dos compostos químicos nas condições da atmosfera primitiva. Discutiu o problema com um dos seus alunos, Stanley Miller, o qual, em maio de 1953, publicou um artigo intitulado "Produção de Aminoácidos nas Possíveis Condições da Terra Primitiva". É êste o início do seu artigo:

> A idéia de que compostos orgânicos, que são base da vida, formaram-se quando a atmosfera era composta de metano, amônia, água e hidrogênio, em lugar de bióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio e água, foi sugerida por Oparin e, recentemente sublinhada por Urey e Bernal. Para testar essa hipótese foi construído um aparelho em que circulavam CH_4, NH_5, H_2O e H_2 sob a ação de descargas elétricas. A mistura resultante foi testada para verificar se nela existiam aminoácidos. ...[1]

Miller construiu um aparelho que ficava isolado do ar, onde colocou metano, hidrogênio e amônia, submetidos a descargas elétricas de alta energia. Calor e vapor d'água eram fornecidos por um frasco contendo água fervendo, ligado ao aparelho (fig. 5 — 2). O vapor d'água, ao circular, sofria resfriamento e se condensava como "chuva". Assim, as supostas condições da atmosfera primitiva foram copiadas tão exatamente quanto possível, pois havia gases, calor, chuva e descargas elétricas em miniatura.

Após fazer circular os gases sob as condições experimentais, durante uma semana, Miller analisou o líquido acumulado no aparelho. A única diferença visível era que o líquido, incolor no

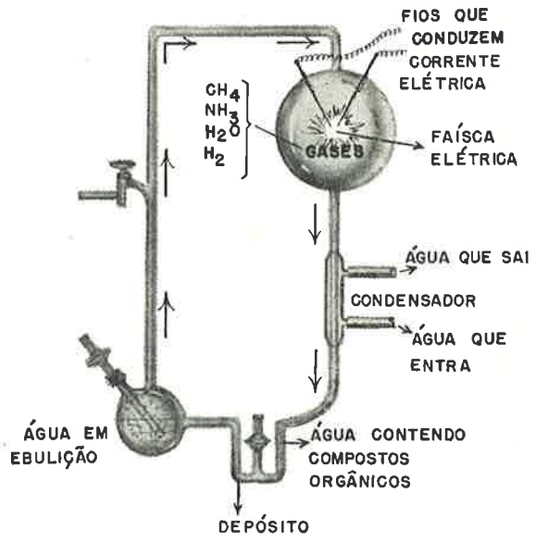


Fig. 5-2 Um diagrama do aparelho de Miller.

início, estava agora vermelho. As análises químicas, porém, mostraram que êle continha vários compostos que antes não estavam presentes. Os átomos de algumas moléculas de gás tinham se recombinado para formar moléculas novas e mais complexas, moléculas orgânicas.

5 — 4 Moléculas de aminoácidos

Miller, ao identificar as substâncias formadas, verificou que entre elas havia aminoácidos. Os aminoácidos são compostos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. A estrutura básica de um aminoácido apresenta um átomo central de carbono ao qual se ligam um átomo de hidrogênio, um grupo amina (-NH_2) e um grupo ácido (-COOH). A figura 5 — 3 ilustra a fórmula estrutural de vários aminoácidos. O carbono é tetravalente: a quarta ligação do átomo de carbono dos ácidos aminados pode ser feita com diversos outros átomos ou com grupos de átomos (simbolizados por R); são êles que determinam a diferença entre os diversos aminoácidos.

A experiência de Miller (na qual foram produzidos aminoácidos a partir de gases simples e de uma fonte de energia) indica que um processo semelhante *pode* ter ocorrido na atmosfera primitiva. As ligações químicas, que mantêm ligados os átomos que constituem as moléculas de gases, podem ter sido rompidas por alguma forma de energia tais como luz, radiações ultravio-

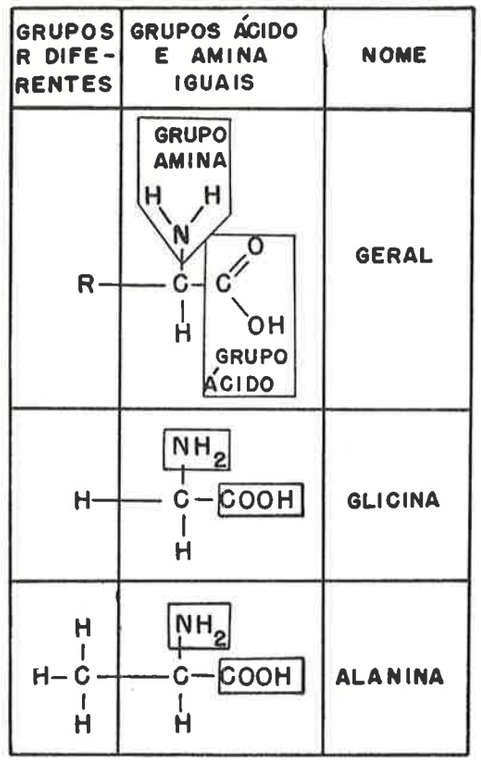


Fig. 5-3 Fórmulas estruturais de vários aminoácidos.

leta, calor ou eletricidade, e os átomos se recombinado para formar aminoácidos. No oceano, os aminoácidos recém-formados teriam ficado preservados de modificações posteriores.

Esta experiência de Miller pode se tornar clássica. Já vimos, no Capítulo 1, que diversas hipóteses podem ser elaboradas para explicar um único conjunto de dados. Assim, há várias hipóteses para explicar a origem da vida. É importante lembrarmos neste ponto que, ao usar a hipótese heterotrófica, Miller *previu* que certos fatos deveriam ocorrer *se* a hipótese fôsse correta. Sua previsão foi confirmada, o que veio reforçar a hipótese heterotrófica. Essa confirmação, entretanto, não demonstra a validez da hipótese porque é possível que a produção de compostos orgânicos, por êsse método, tenha pouco a ver com a origem dos sêres vivos.

5 — 5 Os aminoácidos produzem proteínas

As moléculas de aminoácidos são mais complicadas que as dos gases simples, mas são muito menos complexas que as moléculas de proteínas. *Proteínas* são moléculas gigantes que resultam da combinação de 100 a 3.000 moléculas de aminoácidos. Têm sido encontradas em todos os sêres vivos, portanto, podemos admitir que as formas vivas primitivas também as contivessem. Se a hipótese é verdadeira, como teriam surgido essas proteínas? O problema leva-nos a uma terceira suposição:

> **Suposição 3.** À medida que as moléculas orgânicas, durante milhões de anos, acumulavam-se nos oceanos, algumas reagiram quìmicamente formando moléculas maiores e mais complexas.

Para compreender como se formaram os heterótrofos primitivos, precisamos antes conhecer alguma coisa a respeito da estrutura das proteínas. Nos sêres vivos há, sòmente, cêrca de 20 aminoácidos. Uma vez que, cada molécula de proteína tem de 100 a 3.000 moléculas de aminoácidos, conclui-se que o mesmo aminoácido pode ocorrer diversas vêzes numa única molécula de proteína.

Duas moléculas de aminoácidos podem combinar-se para formar uma única molécula, através de uma ligação entre o grupo amina de um dêles e o grupo ácido do outro. Esta ligação, chamada *ligação peptídica,* forma-se por um processo no qual é removida uma molécula de água. A molécula resultante é um *dipeptídio* (fig. 5 — 4).

Na ligação peptídica, o grupo (-COOH) de um aminoácido perde um átomo de hidrogênio e um de oxigênio, e o grupo amina (-NH_2) do segundo, perde um átomo de hidrogênio; êstes átomos se combinam formando uma molécula de água. Como se vê, a formação de um dipeptídio é um exemplo de *síntese por desidratação.*

Depois que duas moléculas de aminoácidos se unem por uma ligação peptídica, a molécula resultante continua tendo um grupo amina numa das extremidades e um grupo ácido na outra, como se vê na figura 5 — 4. É possível que outras moléculas de aminoácidos se liguem, da mesma maneira, a cada extremidade da molécula de dipeptídio e, assim, milhares de moléculas podem ligar-se em cadeia; essa cadeia de aminoácidos é chamada polipeptídio.

Uma reação inversa a esta ocorre quando se adiciona água a uma determinada substância, sob condições apropriadas. Êste tipo de reação é conhecido por *hidrólise* (do grego: hydor = água;

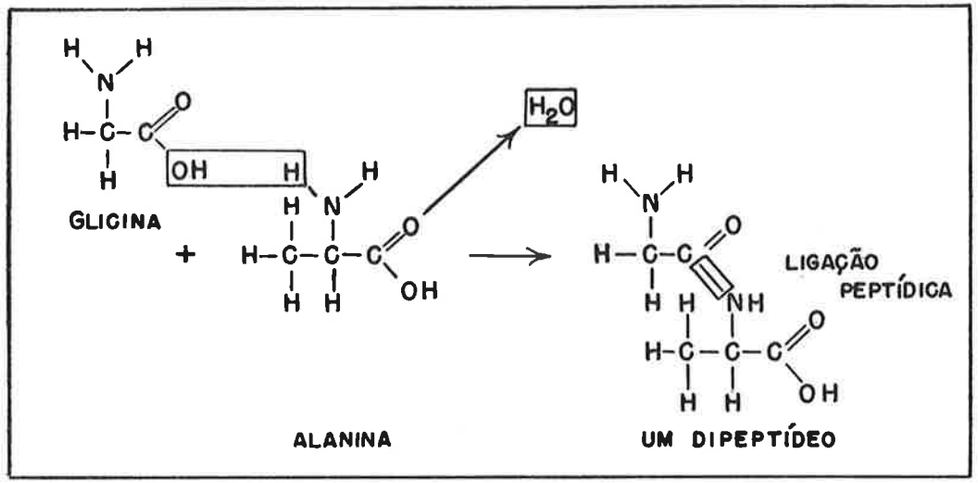


Fig. 5-4 Formação de ligações peptídicas.

lysis = destruição). Por exemplo, se proteínas são aquecidas em solução aquosa, as ligações peptídicas se rompem e a cadeia de proteína se decompõe em aminoácidos. É o que acontece na digestão, quando há hidrólise de proteína no estômago e no intestino.

5 — 6 Uma experiência com aminoácidos

Sidney W. Fox sabia que as proteínas se formam, nos sêres vivos, através de reações bioquímicas e tentou descobrir em que condições teriam se formado antes do aparecimento dos sêres vivos, ou seja, pré-bioquìmicamente. Num trabalho apresentado em 1957, numa conferência sôbre a origem da vida, mostrou que suas conclusões se baseavam nos resultados da experiência de Miller.

> Trabalhando com uma atmosfera constituída de amônia, metano, hidrogênio e água, Miller foi capaz de produzir aminoácidos com descargas elétricas... Contudo, a distância entre tais compostos orgânicos, ou seja aminoácidos formados pré-bioquìmicamente, até a origem da vida, deve ser muito grande... O nosso trabalho, no entanto, começa com uma tentativa para compreender sòmente a origem pré-bioquímica da proteína. A experiência deu uma série de resultados inesperados e estímulo para novas pesquisas. O ponto crucial a ser descrito nessas experiências foi a hipótese de que as ligações peptídicas poderiam ter se formado em temperaturas suficientemente elevadas para provocar a volatilização do subproduto resultante, a água[2].

Note que neste trabalho Fox expressa algumas importantes idéias com as quais você está familiarizado. Êle baseou seu trabalho no de outro cientista (Miller), mas acrescentou uma nova hipótese: a de que aminoácidos podem se combinar, formando ligações peptídicas através de síntese por desidratação. A produção de "resultados inesperados e estímulo para novas pesquisas" é uma indicação da fertilidade de tal hipótese.

Na sua experiência, Fox aqueceu uma mistura sêca de aminoácidos e, quando a massa esfriou, verificou que muitos dêles se ligaram para formar moléculas maiores e mais complexas. A água, desprendida durante a formação de ligações peptídicas, tinha-se evaporado e as moléculas resultantes eram muito semelhantes a proteínas. Essa experiência dá um possível ponto de partida para a solução do problema: como poderiam as proteínas terem-se formado antes que houvesse sêres vivos para produzí-las?

Uma pergunta, para a qual não há resposta, é se as condições que Fox imaginou poderiam ter realmente existido na Terra primitiva. Embora a Terra estivesse se resfriando lentamente, sua superfície continuava ainda quente. As chuvas, que carregavam os aminoácidos da atmosfera para a superfície da Terra, deveriam ter-se tornado menos freqüentes. A água poderia se evaporar nos intervalos das chuvas, deixando os aminoácidos secos sôbre a superfície das rochas quentes. Nessas condições, os aminoácidos poderiam ter-se combinado entre si, havendo evaporação das moléculas de água resultantes e, assim, teria se formado uma variedade de compostos orgânicos, que seriam carregados para os oceanos pelas chuvas posteriores.

O passo seguinte na evolução da vida teria sido a combinação dessas moléculas para formar o que J. B. S. Haldane descreveu como "caldo quente e diluído".

> *...Admitimos (suposição 2) que as ligações químicas das moléculas dos gases simples, existentes na atmosfera primitiva, poderiam ter se rompido e os átomos se recombinariam dando moléculas mais complexas — os aminoácidos. Em seguida, essas moléculas poderiam ter se unido, por ligações peptídicas, com outros aminoácidos, iniciando a longa e vagarosa evolução da vida. Numa experiência comprovadora dessa hipótese, Miller produziu aminoácidos fazendo circular metano, amônia, hidrogênio e vapor d'água através de um aparelho onde as fontes de energia eram calor e descargas elétricas. Numa segunda experiência, Fox aqueceu certos aminoácidos secos e êstes se combinaram dando moléculas semelhantes a proteínas (proteinóides).*

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais foram as fontes de energia que poderiam ter causado modificações nas ligações químicas das moléculas dos gases existentes na atmosfera primitiva?
2. Que é um composto orgânico?
3. Descreva a estrutura de um aminoácido.
4. Como podem ligar-se as moléculas de aminoácidos para formar moléculas maiores?
5. Quais são as semelhanças entre os resultados das experiências de Miller e de Fox?
6. Se essas experiências não demonstram a validez da hipótese heterotrófica, qual o seu valor?

COMPOSTOS ORGÂNICOS NOS OCEANOS PRIMITIVOS

5 — 7 Grumos de moléculas orgânicas

Se os aminoácidos e proteínas formaram-se na era pré-biogênica da Terra, é igualmente possível que se tenham distribuído pelos oceanos primitivos. Como teriam êsses compostos se reunido para formarem moléculas ainda mais complexas?

Para responder a essa pergunta Oparin chamou atenção para um grupo especial de estruturas: os coacervados. Esta palavra é derivada do latim, *acervatus* que significa agrupado, aglomerado. *Coacervados* são aglomerados de proteínas ou de proteinóides que se mantêm juntos em pequenos grumos, circundados por uma camada líquida. Sabendo que as proteínas podem aglomerar-se, podemos fazer uma nova suposição sôbre a origem dos primeiros sêres heterotróficos.

Suposição 4. Vários tipos de moléculas orgânicas complexas (provàvelmente proteínas) se agruparam em pequenas gôtas semelhantes a coacervados.

Quando as proteínas se dissolvem em água, partes de suas moléculas se tornam ionizadas, isto é, adquirem carga elétrica. Essas moléculas, elètricamente carregadas, atraem moléculas de água de tal modo que, ao redor da grande molécula protéica se forma uma camada organizada de moléculas de água. Um coacervado é produzido quando um grupo de íons proteína se forma dentro de uma única película de moléculas de água, como mostra a figura 5 — 5. Êste é um coacervado simples; o Exercício n.º 11 lhe dará oportunidade de observar outros tipos de coacervados.

A êsse respeito são as seguintes as palavras do cientista Oparin:

> O fenômeno de coacervação é particularmente interessante do nosso ponto de vista, no sentido de ter havido, durante a evolução das substâncias orgânicas, um mecanismo eficiente para a concentração de compostos de alto pêso molecular (moléculas gigantes), especialmente substâncias proteinóides, dissolvidas na hidrosfera[3].

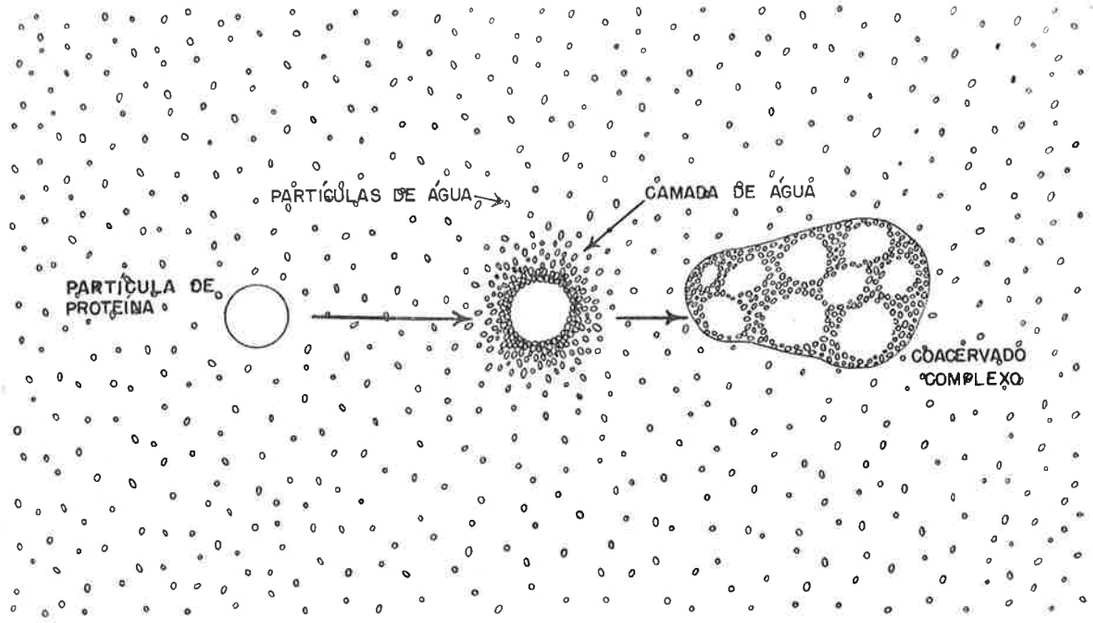


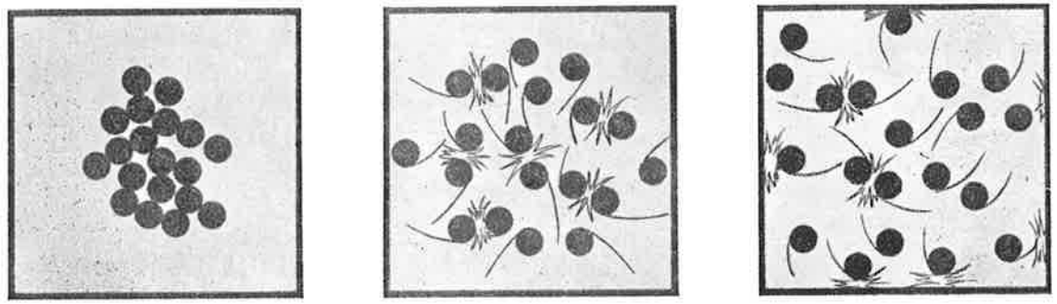
Fig. 5-5 Formação de uma gotícula de coacervado.

5 — 8 Interação de coacervados e outros materiais orgânicos

Certamente, muitas dessas gotículas protéicas se mantiveram durante pouco tempo e depois se desfizeram; é possível, contudo, que algumas em lugar de se quebrarem, tenham aumentado de tamanho e se tornado mais complexas, devido ao processo de difusão. *Difusão* é o movimento de átomos e moléculas de uma região onde há muitas dessas partículas para outras regiões, onde elas estão em menor quantidade. Resulta da energia cinética das partículas, que produz um movimento contínuo e ao acaso, determinando sua colisão.

Uma analogia o auxiliará a entender como ocorre a difusão. Imagine vinte carrinhos com pára-choques circulares ("carts") colocados num aposento de 10 m². Êstes carros não têm direção, portanto seu movimento se dará ao acaso. Êles serão movimentados por eletricidade, como nos parques de diversões. A região onde há mais carrinhos é o centro do aposento, onde ficam agrupados pára-choque contra pára-choque. As outras regiões não têm carrinhos, portanto sua concentração é nula.

Quando a eletricidade é ligada, os carros começam a se mover, batendo uns nos outros. A energia elétrica se transforma em energia cinética e os carros começam a se separar devido aos



Fi. 5-6 Um diagrama do conceito da colisão e difusão das moléculas.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

choques, no início pouco violentos. À medida que êles vão se afastando, as colisões se tornam mais violentas, pois cada carro ganha velocidade, ao percorrer uma distância maior, antes de um choque. Lembre-se que o movimento é ao acaso. Ao se chocarem, a direção depende apenas do choque anterior. Qual será a posição dos carrinhos depois de uma hora? Note, na figura 5 — 6, o diagrama dos três estágios do movimento. Lembre-se, também, que embora os carros tenham se distribuído de forma mais ou menos homogênea, o movimento desordenado continua indefinidamente, enquanto fôr fornecida energia, mas não há mudanças posteriores na concentração dos carros em nenhum lugar do aposento.

A compreensão da difusão ajuda-nos a entender o que aconteceu com os compostos orgânicos e coacervados nos oceanos primitivos. A energia cinética dessas partículas provocaria a sua movimentação e difusão nos mares. Como resultado, pequenas partículas orgânicas poderiam colidir com coacervados e aderir à sua superfície externa, tornando-se, eventualmente, parte deles. Podemos especular, dêsse modo, com alguma segurança, sôbre a maneira pela qual essas partículas foram se agrupando, formando grandes e complexas moléculas orgânicas. Os químicos concluíram, com base em experiências, que grandes moléculas orgânicas são viscosas e se juntam quando colidem.

É possível também que certas combinações de moléculas no interior dos coacervados tenham-se tornando mais estáveis do que outras. Alguns coacervados teriam se mantido e outros não. Eventualmente, certas combinações de moléculas teriam produzido uma reação, com liberação de energia, dentro do coacervado, o que permitiu que êle se mantivesse estável. Essas reações, contudo, devem ter ocorrido muito vagarosamente, sendo necessário um longo período de tempo para a origem do mais simples sistema vivo.

5 — 9 A natureza da vida

O biólogo fica em situação embaraçosa tôda vez que alguém lhe pede para definir o objeto de seus estudos — Vida. Evidentemente é fácil dizer que o cavalo é um ser vivo e uma pedra não; a mesma distinção pode ser feita entre uma ameba e um coacervado. Mas, quando se tenta padronizar um sistema de diferenças para classificação de sêres brutos e vivos surgem as dificuldades (veja fig. 5 — 7).

Vimos, no Capítulo 2, o quanto é difícil classificar certos sêres como animais ou vegetais, uma vez que apresentam características de ambos os grupos. Vimos, também, que a teoria da evolução nos ajuda a entender a existência de organismos que são formas intermediárias entre animais e vegetais. Do mesmo modo, a hipótese heterotrófica auxilia-nos a compreender a dificuldade em distinguir um ser vivo primitivo de um ser bruto, levando-nos a supor a inexistência de uma linha divisória nítida entre êles. Ao contrário, existe tôda uma gama de complexidade crescente do átomo à molécula simples, destas às proteínas complexas, culminando com os sêres vivos, populações, sociedades e comunidades.

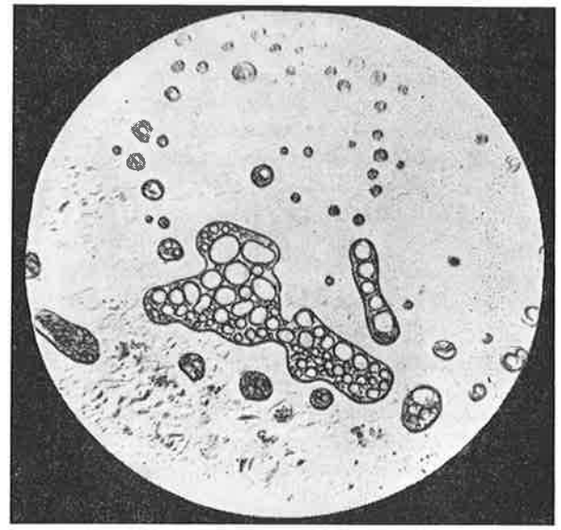


Fig. 5-7 Embora uma ameba seja muito mais complexa que a gotícula de coacervado há uma semelhança física entre elas.

Os vírus fornecem um interessante problema relacionado com o que foi dito. Alguns dêles podem ser cristalizados e guardados indefinidamente em frascos de laboratório, sem perder sua capacidade de agir como vírus. Aparentemente não requerem alimento como fonte de energia, mas se reproduzem. Podemos chamá-los de sêres vivos? Vejamos a opinião do bioquímico inglês N. W. Pirie:

> ...estão sendo descobertos e estudados sistemas que não são caracterìsticamente nem vivos nem brutos, e se torna necessário definir êstes têrmos ou abandoná-los e criar novos. Quando se pergunta a alguém se o vírus é

vivo ou não, a única resposta possível é "não sei; conhecemos algumas atividades que podem realizar e outras que não podem. Se alguma comissão definir a palavra *vivo* tentarei ver se os vírus podem ser encaixados na definição". Esta resposta geralmente não satisfaz ao interrogador, que costuma ter opiniões firmes, mas infelizes, a respeito do que significam para êle *ser vivo* e *ser bruto*.

Quer esta resposta satisfaça ou não, ela permite avaliar a difícil situação em que os biólogos se encontram. Até agora, não se definiu vida e não temos, no momento, nenhum modo de decidir qual a complexidade que deve atingir um sistema para ser chamado de vivo.

...O acúmulo de moléculas orgânicas nos mares primitivos resultou na formação de um "caldo quente e diluído". Como resultado da difusão, algumas dessas substâncias orgânicas entraram em contato umas com as outras. As interações das moléculas, em alguns casos, produziram íons, o que é comum em vários tipos de reações, por exemplo, na formação de coacervados. A coacervação pode ter sido um importante mecanismo para o agrupamento dos materiais orgânicos nos oceanos primitivos. Os organismos mais primitivos teriam sido um coacervado complexo em que ocorriam algumas reações químicas simples. Os biólogos sempre acharam difícil definir "vida". Esta dificuldade é explicada pela idéia de que apenas uma linha tênue separa as moléculas mais complexas dos sêres vivos mais simples.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Por que os íons são importantes para a formação de coacervados?
2. Descreva qual a opinião dos cientistas sôbre o processo de formação dos coacervados?
3. Qual a causa da difusão?
4. Como pode a difusão interferir na formação dos coacervados?
5. Por que os cientistas acreditam que a evolução dos sêres vivos levou muito tempo?
6. Por que é tão difícil distinguir claramente os sêres brutos dos sêres vivos?
7. A passagem gradual dos sêres brutos para vivos está de acôrdo com a teoria da evolução?
8. Essa mudança gradual existe em outros grupos de sêres vivos?

SUMÁRIO

Supõe-se que a Terra tenha, no mínimo, quatro bilhões e meio de anos. Provàvelmente foi originada de pequenas partículas agregadas numa nuvem de poeira cósmica. As suposições sôbre a hipótese heterotrófica admitem que a seguinte seqüência de acontecimentos precedeu a origem da vida:

1) A Terra primitiva apresentava uma atmosfera de amônia, metano, vapor d'água e hidrogênio.

2) Através da ação da energia elétrica, do calor e das radiações ultravioleta, essas substâncias se combinaram para formar moléculas complexas, como aminoácidos.

3) As chuvas transportavam êsses complexos materiais orgânicos para os oceanos, onde se acumularam durante milhões de anos.

4) O processo de difusão auxiliou o contato entre as substâncias que, sob condições adequadas, formaram proteínas e outras substâncias complexas.

5) Finalmente, essas proteínas e outras moléculas complexas se concentraram no interior de gotículas, semelhantes aos coacervados. É impossível precisar em que fase êsse sistema molecular complexo se tornou vivo.

Essa seqüência se ajusta aos conhecimentos atuais sôbre os átomos e moléculas. Os cientistas consideram os átomos como minúsculos sistemas de cargas elétricas. Quando os átomos se combinam para formar moléculas, mantêm-se unidos pela energia elétrica das ligações químicas. As experiências de Miller e Fox indicaram que a ruptura das ligações químicas das moléculas dos gases simples podem ter causado a formação de moléculas orgânicas mais complexas.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Qual das seguintes hipóteses foi testada por Miller na sua famosa experiência?
   a) Moléculas orgânicas complexas formaram-se na atmosfera da Terra primitiva.
   b) Moléculas orgânicas podem ser sintetizadas no laboratório.
   c) Os aminoácidos se combinaram para formar proteína.
   d) Moléculas orgânicas são compostas de carbono e hidrogênio.

2. A hipótese básica das experiências realizadas por Fox foi:
   a) A molécula de proteína é formada por moléculas de aminoácidos.
   b) Radiação ultravioleta foi, provàvelmente, a fonte de energia para a formação de moléculas de proteínas.
   c) Os aminoácidos podem reagir se aquecidos brandamente.
   d) As proteínas se tornaram os primeiros sêres vivos.

3. Por que a atmosfera primitiva é descrita como tempestuosa, com chuvas fortes e relâmpagos?

4. Por que os íons apresentam carga elétrica?

(B) 5. Porque a atmosfera primitiva teria mais vapor d'água que a atual?

6. A experiência de Miller serve de argumento para a hipótese heterotrófica, mas não a demonstra porque:
   a) Êle demonstrou sòmente que a produção de compostos orgânicos a partir de compostos inorgânicos está relacionada com a formação de sêres vivos.
   b) Êle sòmente produziu aminoácidos a partir dos gases simples existentes na atmosfera primitiva.
   c) Seus resultados são aplicáveis se as condições que êle reproduziu fôssem idênticas às existentes na Terra primitiva.
   d) Êle predisse que certos fatos ocorreriam se a hipótese estivesse correta.

7. O processo de coacervação é considerado significativo em relação à origem da vida porque:
   a) Demonstra como as amebas se originaram.
   b) Pode ter sido um método para concentrar compostos em substâncias proteinóides.
   c) Mostra como moléculas simples podem, em certos casos, combinar-se para formar substâncias mais complexas em condições naturais.
   d) Demonstra que sêres brutos podem, em certos casos, apresentar características semelhantes aos sêres vivos.

8. Por que é importante considerar a composição química da atmosfera primitiva para a hipótese heterotrófica?

(C) 9. Descreva a experiência de Miller. Que hipótese estava êle investigando?

10. Descreva a experiência de Fox. Que hipótese estava êle investigando?

11. Em cada um dos gráficos apresentados na figura 5 — 8, o eixo vertical apresenta quantidades e o horizontal tempo. Suponhamos que o gráfico *A* represente a quantidade de aminoácidos numa seção do mar primitivo num certo tempo. Você poderá verificar que a quantidade de aminoácidos aumenta com o tempo.
   a) Qual dos outros gráficos pode representar melhor a quantidade de amônia no mesmo período de tempo?

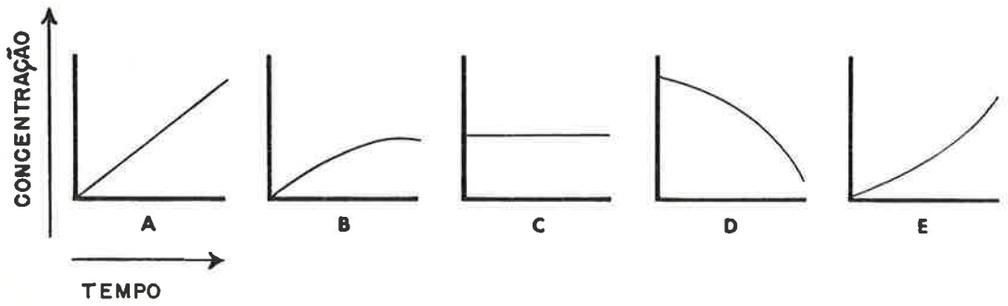


Fig. 5-8 Uma série de gráficos referentes à questão 15.

b) Algum dêstes gráficos indicaria melhor o índice de radiação ultravioleta no mesmo período de tempo?

c) Qual dêstes gráficos representaria melhor a acumulação de proteína nesse período?

OBRAS MENCIONADAS

1. MILLER, Stanley L. "Production of Amino Acids under Possible Earth Conditions". *Science,* vol. 117, 15 maio de 1953, p. 528.
2. FOX, Sidney W. "A Chemical Theory of Spontaneous Generation". *Aspects of the Origin of Life,* ed. M. Florkin. New York, Pergamon Press, Inc. 1960, p. 148.
3. OPARIN, A. I. *The Origin of Life on the Earth,* 3.ª edição, New York, Academic Press, 1957, p. 303.
4. PIRIE, N. W. *The Microbe's Contribution to Biology,* ed. A. J. Khuyver and C. B. Van Neil. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1956, p. 162.

LEITURAS RECOMENDADAS

HURLEY, Patrick M: *Qual é a Idade da Terra?* (trad.). Coleção Cientistas de Amanhã (IBECC) Ed. da Universidade de S. Paulo, 1963.

GAMOW George. *Biografia da Terra* (trad.). Ed. Globo, Pôrto Alegre.

GAMOW, George. *Nascimento e Morte do Sol* (trad.). Ed. Globo, Pôrto Alegre.

FOWLER, William A. "A Origem dos Elementos" *Imenso Universo — Scietific American* (trad.) E. Ibrasa, 1959

WALD, George. "A Origem da Vida". *Física e Química da Vida* (trad.). *Scientific American.* Ed. Ibrasa, 1961.

OPARIN, A. I. *A Origem da Vida* (trad.) Editorial Vitória, Rio, 1956.

BALDWIN, Ernest. *Introdución a la Bioquímica Comparada* (trad.). Aguilar, S. A. Madrid.

PFEIFFER, John. "Enzimas", *Física e Química da Vida* (trad.). *Scientific American,* ed. Ibrasa, 1961, p. 163.

GREEN, David E. "O Metabolismo das Gorduras", *ob. cit.,* p. 181.

Publicações da Revista *Scientific American:*

LEHNINGER, Albert. "Energy Transformation in the Cell, maio de 1960.

SOLOMON, Arthur K. "Pores in the Cell Membrane", dezembro de 1960.

LEHNINGER, Albert "How Cells Transform Energy", setembro de 1961.

HOLTER, Heing. "How Things Get Into Cells", setembro de 1961.

ENERGIA QUÍMICA PARA VIDA

CAPÍTULO 6

A formação e evolução dos coacervados nos oceanos primitivos exigiu energia. Entre as formas de energia, então disponíveis, havia o calor, a radiação ultravioleta e a energia das descargas elétricas que poderiam ter rompido as ligações químicas que uniam os átomos dos gases simples existentes na atmosfera, permitindo, assim, que êsses átomos se recombinassem para formar aminoácidos e outras moléculas orgânicas. Eventualmente, algumas dessas moléculas poderiam ter-se agrupado nos oceanos, formando os coacervados.

Êste capítulo discutirá uma outra fonte de energia que poderia ter sido utilizada pelos coacervados: a energia existente nas ligações químicas das moléculas orgânicas. Ela poderia ter permitido, aos coacervados, tornarem-se mais complexos e, talvez, transformarem-se em organismos vivos.

COACERVADOS E ENERGIA

6 — 1 Organização e energia

Não é possível determinar quando, ou se, os coacervados evoluíram para organismos simples, unicelulares e heterotróficos. Uma coisa, porém, podemos considerar como certa: as moléculas, nas gôtas de coacervados, estavam muito mais organizadas do que as moléculas orgânicas dispersas no oceano: só o fato de estarem contidas em um espaço restrito, já representa um progresso em organização.

Um sistema organizado só é conseguido à custa de energia. Quanto mais organizado fôr, maior a quantidade de energia contida nêle e, para que sua organização se mantenha, deve-se fornecer-lhe energia contìnuamente; de outra maneira, êle acabará por se desfazer e suas moléculas se separarão. Cada organismo vivo é um sistema de moléculas organizadas segundo padrões precisos.

Os coacervados primitivos foram conjuntos organizados de moléculas e necessitavam, portanto, de energia não só para se manter, como também para aumentar seu nível de organização. O aparecimento da vida representaria um grau ainda mais elevado de organização. Em geral, quanto mais avançada fôr uma forma de vida, mais altamente organizada ela se torna. O homem é um exemplo de sistema de moléculas extremamente complexo e altamente organizado.

6 — 2 Fonte de energia para os coacervados

Um sistema de coacervados, para se manter e desenvolver, teria que dispor de uma fonte de energia constante e controlável, a fim de: 1) fazer moléculas maiores e mais complexas; 2) organizar essas moléculas dentro de padrões estruturais; 3) manter sua organização.

Qual teria sido essa fonte de energia? A radiação ultravioleta e as descargas elétricas, que eram disponíveis e transportam grandes quantidades de energia, não poderiam ter sido utilizadas porque, essa energia, por ser grande e incontrolável, muito mais fàcilmente dissolveria os coacervados do que aperfeiçoaria sua organização. Se os coa-

cervados continuaram a existir, deveriam dispor, evidentemente, de uma fonte de energia mais constante e moderada.

Supusemos que nos milhões de anos que antecederam o aparecimento da vida, grande número de moléculas orgânicas se acumulou nos oceanos primitivos. Elas teriam se formado em longos períodos de tempo, à custa de energia, provàvelmente das radiações ultravioleta, descargas elétricas ou calor (as experiências de Miller e Fox, descritas no Capítulo 5, indicam que essa suposição é razoável). Assim, essa energia deve ter-se transformado em energia das ligações químicas das moléculas orgânicas, o que significa que essas moléculas, existentes nos oceanos primitivos, eram um imenso estoque de energia química. Podemos, então, supor o seguinte:

Suposição 5. Com o tempo, alguns sistemas semelhantes aos coacervados começaram a usar energia das ligações químicas das moléculas orgânicas, para desenvolver, manter e aperfeiçoar sua organização molecular.

Os coacervados devem ter desenvolvido algum mecanismo para libertar a energia química das ligações das moléculas orgânicas, a qual seria utilizada na combinação de outras moléculas. Por exemplo, alguns aminoácidos poderiam ter fornecido a energia de suas ligações químicas para ligar moléculas de outros aminoácidos, originando-se, assim, moléculas mais complexas. Algumas moléculas orgânicas forneceriam, então, energia ao se quebrar e outras seriam usadas como matéria-prima para a formação de novas moléculas. Desta maneira podem ter se originado moléculas maiores e mais complexas, semelhantes às dos organismos atuais, que representariam um grau mais elevado de organização dentro dos coacervados em desenvolvimento.

6 — 3 Libertação de energia das ligações químicas

A energia armazenada nas ligações das moléculas orgânicas não pode ser libertada, a menos que as ligações sejam modificadas de alguma maneira. Quando duas ou mais substâncias reagem, as ligações entre seus átomos são quebradas e novas ligações se formam. Os produtos da reação contêm o mesmo número e os mesmos tipos de átomos das substâncias reagentes, mas ligados de outra maneira.

As novas ligações químicas possuirão maior ou menor quantidade de energia do que as ligações antigas; se as novas ligações possuírem *mais* energia, a energia adicional foi fornecida pelo meio; ao contrário, se as novas ligações possuírem *menos* energia do que as antigas, o excesso será libertado para o meio. Um exemplo de desprendimento de energia é o que ocorre na reação explosiva entre hidrogênio e oxigênio para formar água, na qual liberta-se energia tanto na forma de calor como na de luz.

Os químicos vêm desenvolvendo uma hipótese sôbre o modo como pensam que se processem as reações. Essa hipótese, descrita sucintamente em alguns dos parágrafos seguintes, tenta levar em conta os dados conhecidos sôbre o fenômeno.

Lembrem-se que as reações químicas resultam da colisão entre moléculas. A energia necessária para produzir a colisão, suficientemente poderosa para resultar numa reação química, é chamada *energia de ativação*. Para que muitas reações se iniciem, é necessário que a energia de ativação seja fornecida por uma fonte externa. Por exemplo, moléculas de hidrogênio e oxigênio podem estar juntas sem reagir, mas a reação entre elas pode começar à custa da energia fornecida por uma fagulha. Porém, há reações que libertam energia das ligações químicas, parte da qual servirá como energia de ativação para outras moléculas: isto permite que a reação continui até que tôdas as moléculas disponíveis reajam. Assim, a reação entre o oxigênio e o hidrogênio, uma vez iniciada, produzirá energia suficiente para ativar outras moléculas e as duas substâncias continuarão a reagir.

Um modo de fornecer energia de ativação e aumentar a velocidade da reação é aquecer uma mistura, mas se isso tivesse ocorrido com os coacervados, o calor excessivo poderia tê-los "prejudicado", isto é, poderiam produzir-se reações que os levariam a se desintegrar.

Há, contudo, uma outra maneira de aumentar a velocidade das reações que não teria sido prejudicial aos coacervados: na presença de certas substâncias, chamadas **catalisadores**, as moléculas podem reagir sem necessitar de aumento de temperatura. Os catalisadores diminuem a energia de ativação; podem, por exemplo, atrair uma ou ambas as moléculas reagentes e mantê-las suficientemente próximas para que comece a reação. Os catalisadores, portanto, são capazes de acelerar a velocidade de reações que seriam vagarosas em temperatura moderada; afetam a velocidade da

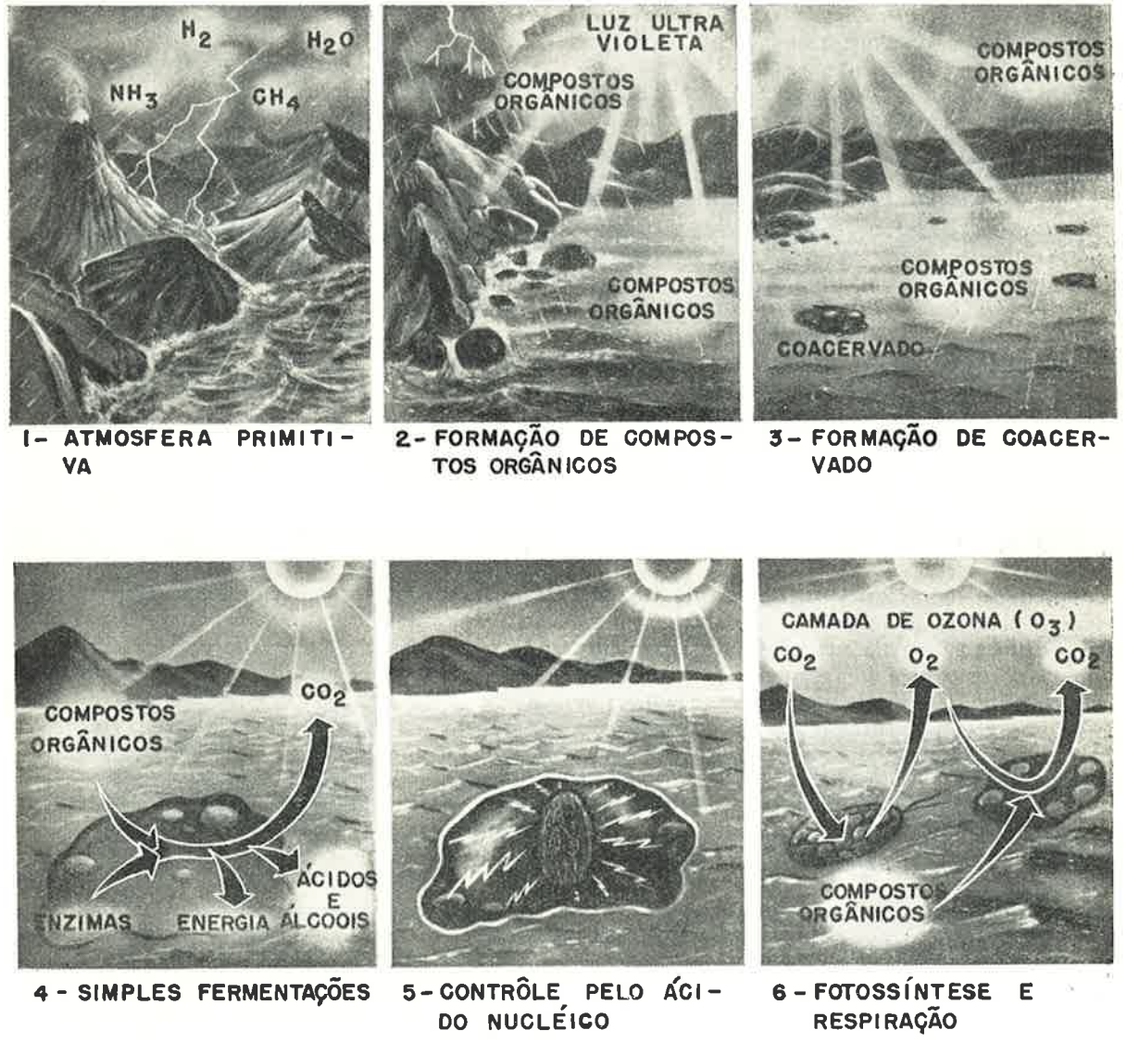


Fig. 6-1 Uma seqüência de acontecimentos que podem ter levado à formação de coacervados e material protenóide.

reação e participam dela, mas não são permanentemente modificados. Não sendo gastos, podem ser utilizados muitas e muitas vêzes.

O Exercício n.º 13 permitirá a observação da ação catalítica do bióxido de manganês (MnO_2) sôbre a água oxigenada (H_2O_2). Esta, à temperatura ambiente, liberta oxigênio vagarosamente, mas acrescentando-se uma pequena quantidade de bióxido de manganês, o desprendimento de oxigênio passará a ser rápido. O bióxido de manganês age como catalisador; pode ser recuperado após a reação e usado vêzes seguidas. Outra importante característica dos catalisadores, é que agem em quantidades muito pequenas.

Provàvelmente certos catalisadores estavam incluídos entre os coacervados primitivos. Com o tempo, deve ter-se formado um grande número de catalisadores que se tornaram parte dos primeiros sistemas vivos bem sucedidos, os quais, supomos, foram os heterótrofos primitivos.

...Se os coavervados originaram os heterótrofos primitivos, a energia deve ter sido essencial para permitir a formação de moléculas complexas,

organizá-las dentro de padrões e manter êsses padrões. O uso direto da energia das radiações ultravioleta e das descargas elétricas teria rompido a organização dos coacervados. Contudo, uma grande quantidade dessa energia estava armazenada nas ligações químicas das moléculas orgânicas e pode ter se tornado utilizável para os coacervados, através de reações químicas.

Certas substâncias, chamadas catalisadores, permitem que as reações se realizem sem aumento de temperatura porque diminuem a energia de ativação. Os catalisadores, provàvelmente, tornaram-se parte dos coacervados, bem no início de sua evolução.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Sob que condições o meio obtém energia de uma reação química?
2. Sob que condições o meio fornece energia para uma reação química?
3. Que é energia de ativação?
4. Que são catalisadores? Quais as suas propriedades específicas?
5. Explique duas maneiras pelas quais a velocidade de uma reação possa ser aumentada.

LIBERTAÇÃO DE ENERGIA NOS HETERÓTROFOS PRIMITIVOS

6 — 4 Catalisadores nos sêres vivos

A maioria das reações que ocorrem nos sêres vivos se realiza dentro de limites estreitos de temperatura, as quais não são suficientemente altas para fornecer a energia de ativação necessária para iniciar grande parte das reações. Por isso, os organismos necessitam de outros meios para iniciar as reações químicas que nêles se processam. Os biólogos verificaram que quase tôdas as reações que ocorrem nos sêres vivos se realizam sob influência de catalisadores.

Algumas substâncias inorgânicas podem agir como catalisadores para aumentar a velocidade das reações. Estudos recentes, no entanto, demonstraram que quase tôdas as reações que ocorrem nos organismos são catalisadas por moléculas orgânicas chamadas *enzimas*.

Os sêres vivos possuem um grande número de diferentes tipos de enzimas. As enzimas são *proteínas simples* (proteínas simples dão, por hidrólise, apenas aminoácidos) ou *proteínas conjugadas* (nestas há uma parte não protéica ligada a uma proteína simples; a parte não protéica é denominada *grupo prostético*). Nas enzimas que são proteínas conjugadas, a parte não protéica chama-se **coenzima** e age juntamente com a proteína para catalisar as reações. A parte não protéica de numerosas enzimas é formada por vitaminas, especialmente do complexo B; essas enzimas não podem funcionar sem as vitaminas. Isto explica porque as vitaminas são tão necessárias à nossa nutrição.

Uma importante descoberta foi feita quando se determinou que enzimas podem continuar a agir *depois* de separadas do organismo. É difícil verificar que uma determinada reação ocorre no interior de um organismo; torna-se muito mais simples estudá-la se a enzima mais a substância sôbre a qual ela age (*substrato*) forem colocadas em um tubo de ensaio, pois, desta maneira, a reação pode ser estudada na ausência de tôdas as outras reações que normalmente ocorrem na célula ou no indivíduo.

No Exercício n.º 13 você estudará a reação que ocorre quando a água oxigenada é catalisada por uma enzima, a catalase. Esta enzima, encontrada em quase todos os sêres vivos, é uma proteína conjugada. A parte protéica liga-se a uma molécula de *heme*, substância que contém ferro (é ela que dá côr vermelha ao sangue). Esta substância pode estar ligada a outras proteínas ou enzimas, mas sòmente quando ligada a uma determinada proteína, encontrada na catalase, é que pode auxiliar a catalisar reações da água oxigenada.

As enzimas são específicas, isto é, cada uma catalisa uma determinada reação, o que não acontece com os catalisadores inorgânicos. A estrutura molecular e a forma de cada enzima é que determinam, aparentemente, a reação a ser catalisada, uma vez que, devido à sua estrutura, a enzima pode atrair e manter juntas sòmente moléculas específicas.

Uma enzima precisa participar de uma reação química a fim de ter efeito. Ao que parece, na primeira etapa da reação, a enzima se une à molécula de substrato que, assim, pode reagir. Enquanto unidas à enzimas, as moléculas reagentes sofrem modificações químicas muito ràpidamente. A energia de ativação exigida para isso é muito pequena. Quando a reação se completa, as novas moléculas, recém-formadas, libertam-se da enzima, deixando-a como estava antes de ser iniciada a reação (fig. 6 — 2).

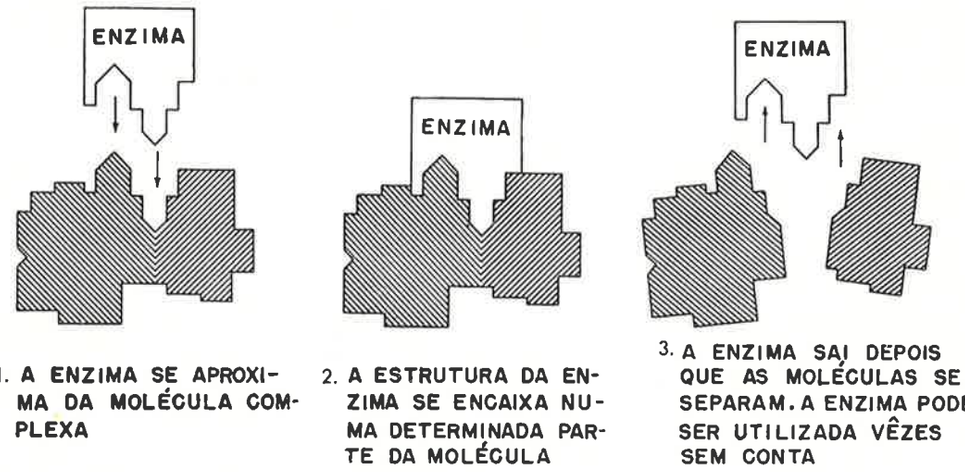


Fig. 6-2 Um diagrama que ilustra como a estrutura de uma molécula pode se relacionar com a ação de uma enzima.

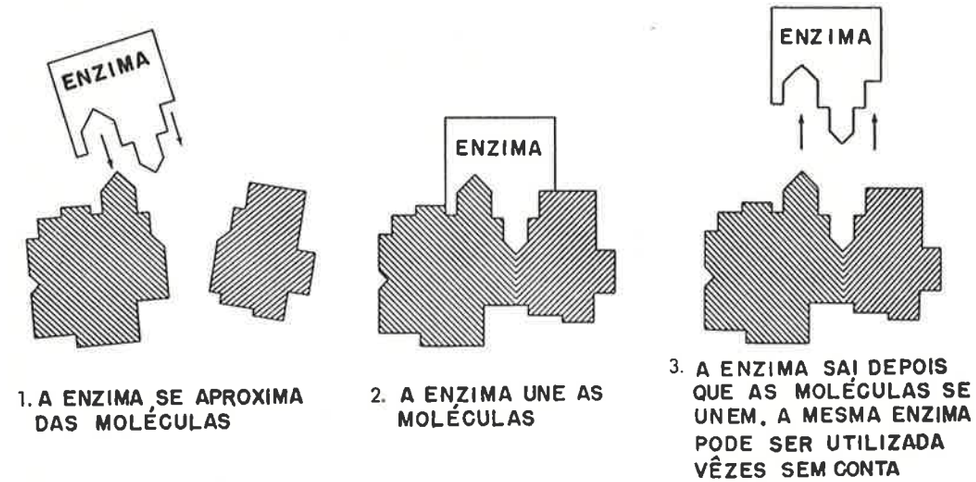


Fig. 6-3 Uma enzima pode unir duas moléculas num processo que é o inverso do processo de separação representado na figura 6-2.

Outra característica das reações catalisadas por enzimas, é sua reversibilidade. Com o auxílio de enzimas, duas moléculas reagentes podem originar uma única molécula; esta, por sua vez, pode voltar a dar as duas moléculas que a formaram. Em outras palavras, a reação é reversível dependendo das condições (fig. 6 — 3).

O Exercício n.º 14 explora vários outros aspectos da atividade enzimática. Você verá, por exemplo que, dentro de uma estreita variação de temperatura, as reações enzimáticas são mais rápidas nas temperaturas mais elevadas. Acima de certas temperaturas, contudo, as enzimas se alteram, como acontece com tôdas as proteínas. No laboratório você observará, também, que a atividade enzimática varia com a acidês da solução.

6 — 5 Matérias-primas para reações que libertam energia

Os organismos atuais usam carboidratos como substratos das reações que libertam energia (rea-

ções exergônicas). *Carboidratos* são substâncias compostas de carbono, hidrogênio e oxigênio, sintetizados pelos sêres vivos. Entre êles estão os *açúcares,* principal fonte de energia dos sêres vivos atuais. Haveria açúcar disponível para os organismos primitivos? Naturalmente, sendo êles heterótrofos, só poderiam usar carboidratos se êstes tivessem se formado fora dos organismos.

Procurando fornecer uma solução para o problema, Melvin Calvin, realizou experiências semelhantes às de Miller e Fox. Calvin usou radiações altamente energéticas para bombardear amostras de gases que, supõe-se, fizessem parte da atmosfera primitiva. Pôde verificar que novas moléculas eram produzidas e que algumas delas eram açúcares. Essas experiências sugerem que moléculas de açúcar poderiam ter se formado na atmosfera primitiva.

A glicose é um açúcar e um dos carboidratos mais simples. Uma molécula de glicose é composta de 6 átomos de carbono, 12 de hidrogênio e 6 de oxigênio ($C_6H_{12}O_6$); sua estrutura é mostrada na figura 6-4. Note que na glicose os átomos de hidrogênio e oxigênio estão na mesma proporção que na água (H_2O), isto é, em cada molécula de glicose há dois átomos de hidrogênio para um de oxigênio. Esta proporção existe em todos os carboidratos e é essa a origem do nome (*carbo,* significando carbono e *hidrato,* água).

Sob a ação de enzimas, glicose e açúcares semelhantes podem ligar-se para formar carboidratos de moléculas maiores e mais complexas. Por exemplo, uma combinação de glicose e frutose (um outro açúcar simples) produz sacarose (açúcar de cana). Muitas moléculas de glicose, ligadas de maneira determinada, formam as grandes moléculas de amido ou de outros carboidratos complexos.

$$\underset{\text{glicose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{frutose}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{sacarose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{água}}{H_2O}$$

$$\underset{\text{glicose}}{n\ C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{amido}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + \underset{\text{água}}{n\ H_2O}$$

Por causa de sua estrutura simples, a glicose foi, provàvelmente, um dos açúcares formados espontâneamente a partir dos gases existentes na atmosfera primitiva. As moléculas de glicose podem ter permanecido nos oceanos e ter sido usadas pelos heterótrofos em evolução. Assim, as ligações químicas das moléculas dêsse carboidrato poderiam ser a fonte de energia para os novos organismos.

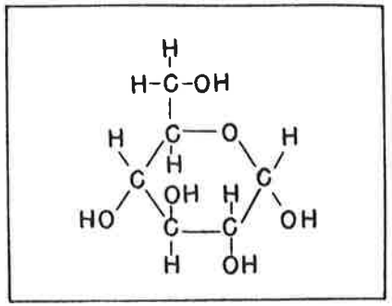


Fig. 6-4 Fórmula estrutural da glicose.

6 — 6 Uma outra maneira de ativar reações

Já vimos que quase tôdas as reações biológicas são catalisadas por enzimas. Elas tornam possíveis reações em temperaturas moderadas, diminuindo a energia de ativação necessária, aumentando, assim, a velocidade da reação.

Em alguns casos, entretanto, a energia de ativação exigida é grande demais para ser substituída por uma única enzima; as ligações entre os átomos de algumas moléculas são tão fortes que é necessária uma grande quantidade de energia de ativação para rompê-las. As ligações da glicose, por exemplo, são dêste tipo. Para auxiliar as reações a se realizarem, os organismos desenvolveram um outro mecanismo que consiste na adição de um ou mais grupos fosfóricos a uma molécula de glicose.

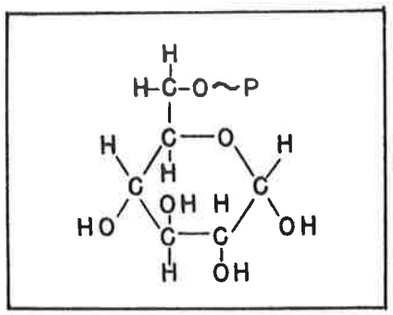


Fig. 6-5 A fórmula estrutural da glicose-fosfato.

O ácido fosfórico é um composto químico simples; contém os elementos fósforo, oxigênio e hidrogênio (H_3PO_4). Sem a adição de um grupo fosfórico, uma substância como a glicose não reage fàcilmente com outras substâncias, mas se ela fôr primeiramente convertida em glicose-fosfato, conseguirá a energia necessária para continuar em diversas reações. Isto porque a presença do grupo fosfórico parece modificar algumas das ligações da molécula de glicose, de maneira que a energia de ativação necessária torna-se menor e quando uma determinada enzima produzir um abaixamento adicional na energia de ativação da glicose-fosfato, as primeiras reações podem se iniciar.

Os diagramas das figuras 6 — 4 e 6 — 5 mostram que a estrutura da molécula de glicose não se modifica muito pela adição de um fosfato; a maior modificação é que a forma fosfatada tem acréscimo de energia (nas fórmulas estruturais os grupos fosfóricos são freqüentemente representados pelo símbolo *P*).

A adição de fosfato à glicose ou a outros compostos requer energia. Uma das importantes etapas na origem da vida foi o desenvolvimento de um mecanismo que pudesse fornecê-la. Nos organismos atuais a fonte de energia e de fosfato é uma substância conhecida por *trifosfato de adenosina,* ATP (fig. 6 — 6).

Poderia ter havido ATP em disponibilidade para uso dos heterótrofos primitivos? Essa substância contém *adenina,* um composto orgânico nitrogenado (base púrica); *ribose,* um açúcar com 5 átomos de carbono na molécula (pentose) e três *grupos fosfóricos.* Sabe-se que há experiências indicando que compostos orgânicos podem ter se formado espontâneamente na Terra primitiva. Na crosta terrestre provàvelmente existiam fosfatos e, em menor quantidade, poderiam existir também dissolvidos nos oceanos. Portanto, todos os elementos necessários para formar ATP poderiam estar presentes na Terra primitiva. ATP é a única substância capaz de transferir grupos fosfóricos e também fornecer a energia necessária para essa transferência. É ela que fornece energia para muitas reações que se processam nos organismos, porque as ligações pelas quais dois dos fosfatos se ligam na molécula de ATP são fàcilmente rompidas, libertando-se energia nesse processo. Estas quantidades de energia são elevadas, em comparação com as que libertam outros compostos fosfóricos, por isso, são referidas como ligações fosfóricas "altamente energéticas". São representadas nos diagramas pelo sinal ~ para distingui-las de outras ligações.

Quando um dos grupos fosfóricos é removido da molécula de ATP, o composto remanescente fica com dois grupos fosfóricos ligados à molécula de adenosina (adenina + ribose); êste composto chama-se *difosfato de adenosina* e é representado, abreviadamente, por ADP. Na presença de uma determinada enzima, o grupo fosfórico pode ser transferido de uma molécula de ATP para uma de glicose, formando-se glicose-fosfato

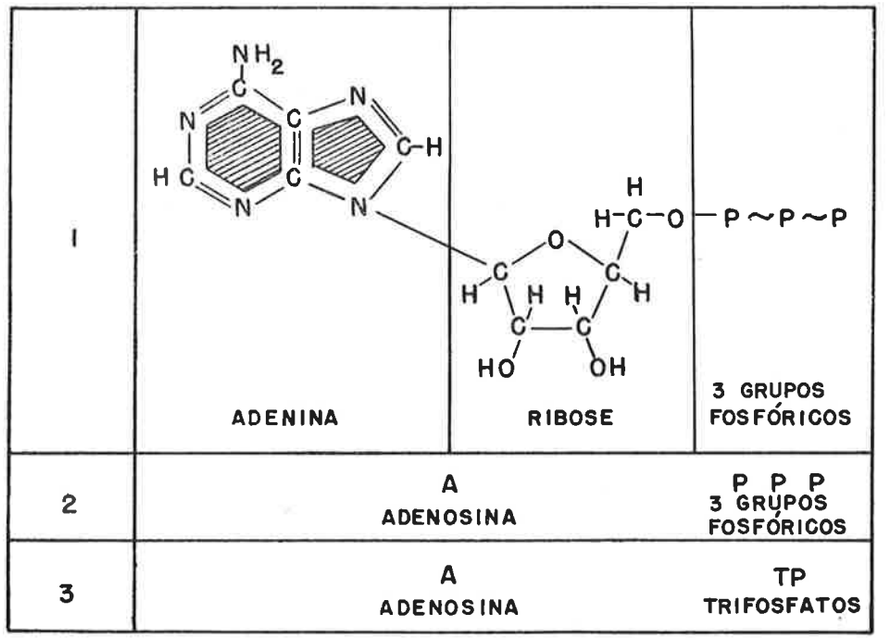


Fig 6-6 Um diagrama mostrando a relação entre o nome adenosina-trifosfato e a estrutura do composto.

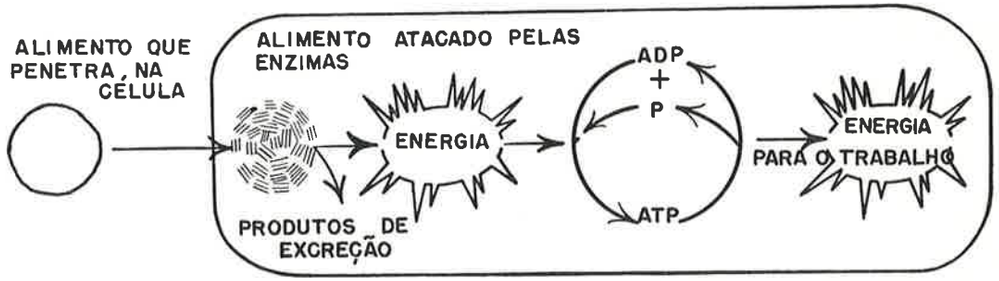


Fig. 6-7 O diagrama mostra como o ATP serve como reserva temporária de energia.

e ADP. Dessa maneira, parte da energia da ligação fosfórica é transferida para a glicose (fig. 6 — 7).

ADP, ao contrário do ATP, é incapaz de transferir energia para a glicose. Para tornar as reações possíveis nos organismos, novas moléculas de ATP devem ser formadas contìnuamente.

6 — 7 ATP, enzimas e fermentação

Nos sêres vivos atuais, a formação de novas moléculas de ATP, a partir de ADP e fosfato, é conseqüência de uma série de reações exergônicas catalisadas por enzimas. Chama-se **fermentação** a seqüência de reações com liberação de energia que sofrem as moléculas orgânicas na ausência do oxigênio. Uma vez que, como se supõe, a atmosfera primitiva não continha oxigênio livre, o estudo do fenômeno da fermentação pode nos esclarecer o modo pelo qual os heterótrofos primitivos conseguiam energia.

Suposição 6. Com o tempo, desenvolveram-se heterótrofos que começaram a realizar reações, em seqüências ordenadas, que envolviam enzimas e ATP, para libertar a energia contida nas moléculas orgânicas.

Atualmente, o processo da fermentação é realizado por muitos protistas e também por muitas plantas e animais, inclusive o homem. Êste assunto, porém, será melhor estudado em outro capítulo.

O fenômeno da fermentação já era conhecido pelos povos mais primitivos: tribos nômades já sabiam que, sob certas condições, o leite pode se transformar em queijo, sem saber, todavia, que uma parte desta modificação pode ser atribuída à fermentação realizada por certas bactérias; há muitos séculos, os homens já conseguiam produzir bebidas alcoólicas por meio de sucos de frutas fermentados.

Na última metade do século XVIII, a Química estava apenas começando a se desenvolver. Nessa época, um cientista francês, Antoine Lavoisier, fundador da Química moderna, notou que a fermentação da glicose produzia bióxido de carbono e álcool. Pouco depois, Gay Lussac mostrou, em uma equação química, as quantidades relativas de CO_2 e álcool que são produzidas a partir da glicose (fig. 6 — 8).

O século XIX assistiu a muitos debates acalorados sôbre as relações entre as reações químicas e organismos vivos. Para alguns cientistas, a fermentação era uma atividade dos organismos vivos e de maneira alguma poderia ocorrer fora das células vivas.

Quando a indústria francesa de vinhos teve séria dificuldade com o produto que se estragara, Luís Pasteur foi chamado para auxiliá-la. Verificou, então, que a fermentação que produzia o vinho estava associada com a atividade de lêvedos vivos que transformavam a glicose em álcool etílico. Viu também que certas bactérias eram capazes de continuar a fermentação, mas

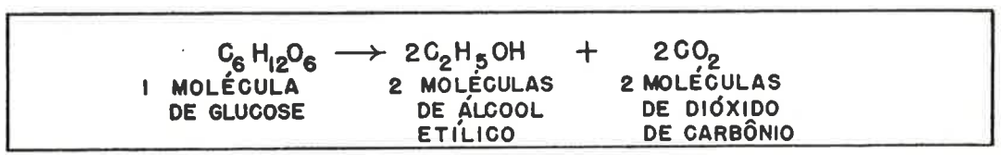


Fig. 6-8 Formação de CO_2 e álcool a partir da glicose.

resultava vinagre (ácido acético) em lugar de vinho que continha álcool.

Durante meio século houve discussões sôbre os "fermentos" (mais tarde chamados enzimas) e se êsses fermentos agiriam sòmente em sêres vivos. Em 1897, Eduard Buchner, químico alemão, encontrou acidentalmente a resposta para esta questão, ao acrescentar açúcar para preservar extratos de lêvedos (o uso de açúcar na preservação de compotas e geléias já era bem conhecido). Os extratos não continham células vivas, mas para surprêsa de Buchner, começaram a fermentar o açúcar. Concluiu, então, que nêles havia alguma substância (uma enzima) que permitia a fermentação.

Em experiências posteriores, Buchner verificou que cêrca de uma hora após ter acrescentado o açúcar, a mistura começou a desprender bôlhas de gás carbônico, atividade que, às vêzes, continuava por vários dias. Concluiu que uma enzima do lêvedo podia catalisar uma reação química, mesmo após ter sido removida da célula. Buchner chamou-a de *zímase*.

Hoje, sabe-se que muitas enzimas estão envolvidas no processo e não apenas uma. A descoberta de Buchner motivou outras pesquisas, tornando possível a separação e identificação de muitas enzimas. Mais tarde, Buchner recebeu o Prêmio Nobel pelas suas descobertas.

Sabe-se hoje que o lêvedo contém doze ou mais enzimas envolvidas na fermentação. Cada uma catalisa uma etapa determinada do processo.

6 — 8 Fermentação como fonte de energia

A característica da fermentação é ser um processo em que o oxigênio não é usado para obter energia das moléculas orgânicas. A fermentação dentro das células, se inicia com energia obtida do ATP, como mostram as seqüências de reações na figura 6 — 9.

Na primeira etapa da fermentação da glicose, uma enzima catalisa a reação dessa substância com ATP, resultando glicose-fosfato e ADP. Outra enzima transforma a glicose-fosfato em frutose-fosfato; nôvo grupo fosfato, fornecido por outra molécula de ATP, é acrescentado, formando frutose-difosfato. Esta molécula é então quebrada em duas outras com 3 átomos de carbono cada uma. Um grupo de fosfato inorgânico é, em seguida, acrescentado a cada uma dessas moléculas.

Até aqui o organismo não obteve energia alguma. Perdeu apenas duas moléculas de ATP,

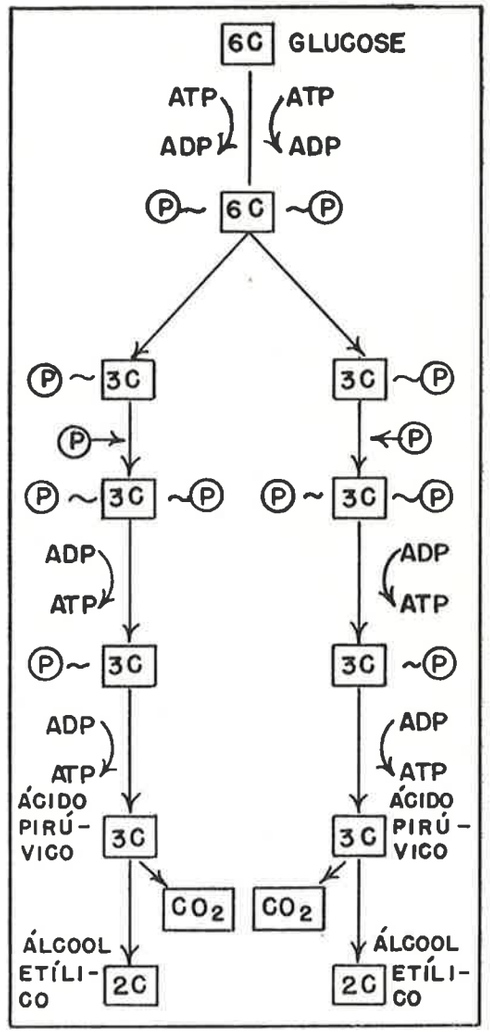


Fig. 6-9 Algumas das reações químicas que ocorrem na fermentação.

mas na reação seguinte, cada molécula com 3 átomos de carbono liberta energia que é usada para formar duas moléculas de ATP, a partir de ADP e fosfato. Esta energia é armazenada nas ligações altamente energéticas do ATP. Depois de algumas modificações menores, uma outra reação transfere mais energia para outras duas moléculas de ATP. No fim de uma série de reações, forma-se ácido pirúvico que será transformado em álcool e gás carbônico.

Em resumo, para cada molécula de glicose são necessárias duas moléculas de ATP para iniciar a fermentação e quatro moléculas de ATP for-

mam-se durante o processo. Assim, para cada molécula de glicose há ganho de duas moléculas de ATP, o que significa que na fermentação há obtenção de energia que fica armazenada nas ligações fosfóricas dessas duas moléculas de ATP. Além disso, formam-se duas moléculas de álcool e duas de gás carbônico.

A mais importante vantagem que oferece essa seqüência de transformações no processo da fermentação, é que a transferência de energia ocorre pouco a pouco. As quantidades de energia são suficientemente pequenas para serem utilizadas pelo organismo e a energia transferida para as moléculas de ATP é fàcilmente usada. Quando a glicose é fermentada pelo lêvedo, produz-se suficiente ATP para que êle se mantenha vivo, cresça e se divida. Você poderá verificar isso no Exercício n.º 17.

Os lêvedos são organismos heterotróficos muito mais complicados do que as primeiras formas de vida. Contudo, o processo de fermentação realizado por êles pode fornecer um indício sôbre a maneira como os primitivos heterótrofos conseguiram a energia necessária para viver.

O processo de fermentação realizado pelos organismos atuais é muito semelhante ao do lêvedo. Se o substrato inicial fôr outro que não a glicose, algumas outras etapas preliminares são necessárias, pois o material inicial deve ser primeiramente convertido em glicose-fosfato. A seqüência de reações é a mesma até a formação do ácido pirúvico. Êste pode ser, então, convertido em diversos produtos. As enzimas do lêvedo transformam o ácido pirúvico em gás carbônico e álcool etílico.

Certas bactérias possuem diferentes enzimas que transformam ácido pirúvico em gás carbônico e ácido acético (vinagre); outros organismos têm enzimas que transformam ácido pirúvico em ácido láctico (ácido que aparece no leite coalhado). Há uma grande variedade de substâncias usadas inicialmente pelos microrganismos que resultam numa variedade de produtos finais, mas o processo básico de fermentação é o mesmo. Em todos os casos o processo não utiliza oxigênio e consiste de uma série de etapas, cada uma catalisada por uma enzima diferente. Como resultado dessas etapas o organismo obtém energia para viver e crescer.

...Nos sêres vivos as reações são catalisadas por moléculas orgânicas, chamadas enzimas. Açúcares simples, como a glicose, constituem a matéria-prima para as reações que libertam energia. Quando um grupo fosfórico do ATP é acrescentado à glicose, o composto formado requer menor energia de ativação. A glicose pode então entrar em reações o que, de outra forma, seria impossível. A energia para essas reações provém das ligações fosfóricas altamente energéticas que ligam os grupos fosfóricos na molécula do ATP. Começando com os trabalhos de Pasteur e Buchner, os cientistas vêm analisando as reações que ocorrem na fermentação. O processo da fermentação da glicose pelos lêvedos engloba uma série de reações. Cada uma delas é catalisada por uma enzima determinada. Duas moléculas de ATP são necessárias para iniciar a fermentação da glicose e, como quatro moléculas de ATP são produzidas durante o processo, há ganho de energia armazenada nas ligações altamente energéticas de duas moléculas de ATP. Os heterótrofos primitivos podem ter conseguido energia para os processos vitais pela fermentação da glicose.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual a importância da descoberta de que enzimas podem agir fora dos organismos?
2. As enzimas são diferentes dos catalisadores? Explique.
3. Que nos permite supor que algum tipo de carboidrato estava à disposição dos heterótrofos primitivos?
4. Que compostos orgânicos ativam as reações bioquímicas? Explique.
5. Como Pasteur contribuiu para a compreensão dos fenômenos da fermentação?

ENTRADA DE SUBSTÂNCIAS NOS ORGANISMOS PRIMITIVOS

6 — 9 A natureza da membrana celular

Vimos, nas páginas anteriores, como sistemas semelhantes aos coacervados devem ter evoluído através dos processos de reações ao acaso e poupados pela seleção natural, originaram os primeiros organismos vivos. Supõe-se que êsses organismos tenham sido heterótrofos, isto é, sêres que obtêm seu alimento do meio em que vivem. Nos oceanos havia moléculas de substâncias orgânicas dispersas, circundando as primeiras forma de vida e constituindo sua fonte de alimento. Poderiam ter penetrado nos organismos por difusão e, uma vez no seu interior, teriam sido desdobradas pelo fenômeno da fermentação ou por outro processo semelhante, fornecendo energia que seria usada para a construção de moléculas mais complexas.

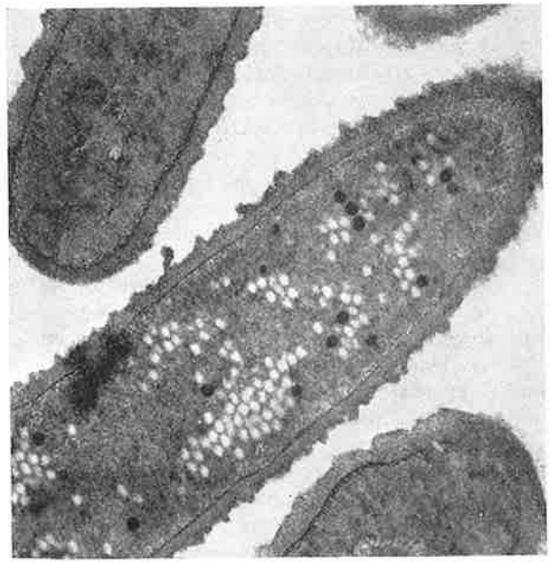
Como teriam êsses compostos passado do "caldo" existente nos oceanos primitivos para o interior dos organismos? Naturalmente êles não teriam serventia para os organismos se permanecessem fora, da mesma maneira que os alimentos só podem ser utilizados por nós depois de ingeridos.

Um sistema, semelhante a um coacervado, poderia estar limitado por uma camada de material, talvez por proteínas. Esta camada especial poderia permitir que algumas substâncias passassem através dela mais fàcilmente do que outras. À medida que os heterótrofos primitivos evoluíram, a camada que os envolvia poderia ter-se tornado mais organizada do que aquela que circundava os coacervados primitivos, à maneira da *membrana celular* que limita as células. Os compostos orgânicos que, supomos, foram usados pelos organismos primitivos teriam que atravessar sua membrana.

Durante muito tempo suspeitava-se que as células fôssem limitadas por uma membrana, apesar de não poder ela ser vista. Recentemente, o microscópio eletrônico confirmou a existência dessa membrana e mostrou alguns detalhes de sua estrutura.

Cada célula viva troca constantemente substâncias com o meio em que vive. A célula, como tôda estrutura que realiza trabalho, necessita de um combustível para fornecer energia e precisa, também, eliminar produtos que lhe são inúteis ou nocivos *(excreção)*. Muitas substâncias atravessam fàcilmente a membrana das células atuais. Baseados no conhecimento de como essas trocas se realizam, podemos fazer algumas suposições sôbre as membranas celulares dos organismos primitivos.

Abundante evidência experimental indica que a membrana celular é composta principalmente por proteínas e substâncias gordurosas. As gorduras, como as proteínas, também fazem parte



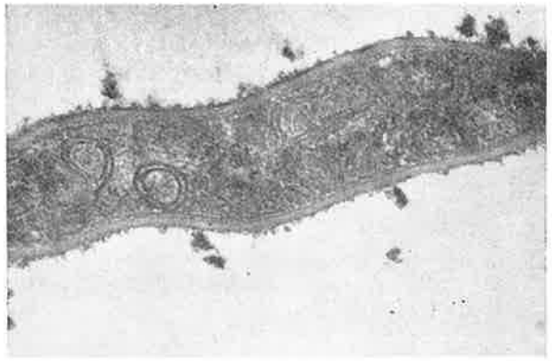


Fig. 6-10 À esquerda, microfotografia da *Lactobacillus plantarum* (aumento de 45000 X). À direita, microfotografia eletrônica da membrana celular da célula de bactéria (aumento de 18000 X).

dos sêres vivos; servem como reserva para o organismo e fazem parte da estrutura das células.

Ninguém sabe ainda ao certo como se dispõem as proteínas e gorduras na membrana celular. Alguns indícios, contudo, indicam que o material gorduroso deve estar entre duas camadas de proteínas. Aparentemente, há mais material gorduroso do que protéico na membrana celular.

6 — 10 Movimento de moléculas através da membrana celular

A membrana celular permite a passagem de algumas substâncias mais fàcilmente do que outras. Essa propriedade é chamada *permeabilidade seletiva da membrana*. Notam-se que moléculas pequenas atravessam a membrana muito mais ràpidamente do que as grandes: a água (H_2O) atravessa a membrana fàcilmente; a glicose ... ($C_6H_{12}O_6$) move-se mais depressa do que a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), porém, mais lentamente do que a água. O movimento dessas moléculas sugere que a membrana contém poros de tamanhos diferentes e, enquanto moléculas pequenas atravessam-na fàcilmente, as maiores dependerão de poros também maiores; certas moléculas podem ser grandes demais para atravessá-la.

Experiências mostraram, também, que as moléculas entram nas células mais depressa do que íons. Lembre-se que íons são átomos ou moléculas carregados positiva ou negativamente. Parece que a carga elétrica dificulta a passagem de íons através da membrana. Outro ponto interessante é que compostos que se dissolvem em gorduras passam prontamente através da membrana celular, talvez por atravessarem a parte lipídica.

É preciso notar que os "poros" postulados não foram até agora demonstrados diretamente ao microscópio electrônico, apesar de se poder obter uma resolução inferior a 10 Å*. Isto não permite concluir que os poros não existam, pois é bem possível que os métodos atuais não permitam sua demonstração.

6 — 11 Difusão da água

Em condições normais, a água entra e sai contìnuamente das células. Esta difusão através de uma membrana é chamada *osmose*. Como outras substâncias, a água se difunde em direção à região em que há menor número de moléculas de água. Por exemplo, suponha que uma célula viva seja colocada em uma solução salina que tenha concentração maior do que a da célula. Nessas condições, como mostra a figura 6 — 11, a quantidade de moléculas de água é maior dentro da célula do que na solução salina do meio. Em outras palavras, fora das células há poucas moléculas de água por unidade de área, porque parte do espaço é ocupado pelo sal. Sob estas condições, a água se moverá da região de menor concentração (dentro da célula) para a região de maior concentração (fora da célula). O movimento da água não pode ser observado diretamente, mas podemos observar o resultado. Sob o microscópio o conteúdo da célula pode ser visto contraindo-se à medida que ela perde água.

Se, ao contrário, a quantidade de moléculas de água fôr maior *fora* da célula, a água se moverá por osmose, *entrando* na célula. Assim, a pressão contra a membrana interna da célula aumenta ràpidamente (fig. 6 — 12) e, tornando-se excessivamente grande, a membrana se romperá. Êste resultado poderá ser demonstrado fàcilmente colocando-se uma gôta de sangue em água destilada; os glóbulos vermelhos contêm, normalmente, pequenas quantidades de sais e a água destilada, evidentemente, não contém sal algum — representa o meio de maior número de moléculas de água. Por isso, a água move-se ràpidamente para dentro das células que, em conseqüência, aumentam de volume e podem arrebentar (hemólise). Você observará os efeitos da osmose nos Exercícios n.os 15 e 16.

As células vegetais têm um comportamento diferente das células animais quando colocadas em *soluções hipertônicas* (mais concentradas do que o seu conteúdo), em água destilada ou mesmo em soluções hipotônicas (menos concentradas do que o seu conteúdo). Isto porque as células vegetais têm, no citoplasma, um grande vacúolo, limitado por uma membrana de natureza semelhante às membranas plasmática e nuclear; no seu interior há água e substâncias dissolvidas e em suspensão, constituindo o *suco celular* ou *suco vacuolar*. Limitando a célula há, além da membrana plasmática uma outra, *espêssa, elástica, morta* e *permeável,* que é a *membrana celulósica* ou parede celular. Êste grande vacúolo e mais a membrana celulósica fazem com que as células vegetais se comportem de maneira diferente.

* Poder de resolução inferior a 10 Å — permite ver, no objeto, pontos separados por uma distância inferior a 10 Å (0,000001 mm).

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

Colocando-se células vegetais em solução mais concentrada do que a do suco celular elas perderão água para o meio, do mesmo modo que as células animais e, também, diminuirão de volume, mas essa diminuição de volume é limitada pela membrana celulósica; é tão pequena que se torna imperceptível ao microscópio. Se a solução exterior fôr bastante concentrada, os vacúolos continuarão a perder água e, em conseqüência, diminuirão de volume, sendo acompanhados pelo citoplasma e membrana plásmática. Dizemos, então, que as células estão *plasmolisadas*. Êste fenômeno é denominado *plasmólise* (do grego: *lyein* = dissolver, desligar). Você fará outras observações sôbre êle no Exercício n.º 15.

Substituindo-se a solução concentrada por água destilada, em pouco tempo as células plasmolisadas voltarão ao normal, mas, ao contrário do que se observa nos glóbulos vermelhos do sangue, as células não se rompem. Isso nos mostra que a entrada de água é controlada pela célula e cessa num dado momento. Essa diferença de comportamento é devida à membrana celulósica.

Quando a célula vegetal, plasmolisada ou não, é colocada numa solução hipotônica à do suco celular ou em água destilada, a entrada de água depende da concentração do vacúolo; esta *fôrça de sucção* é chamada S_i; à medida que a água entra, o vacúolo aumenta de volume e exerce pressão contra a membrana celulósica que se distende. Sendo elástica, esta membrana oferece uma resistência cada vez maior à distenção; chamando de M a fôrça elástica da membrana, o equilíbrio é alcançado quando S_i se tornar igual a M.

Vemos, assim, que a fôrça elástica da membrana celulósica se exerce em sentido contrário ao da fôrça de sucção do vacúolo. Portanto, se chamarmos de S_c à fôrça de sucção de uma célula vegetal, teremos

$$S_c = S_i - M$$

A fôrça de sucção da célula depende, portanto, da fôrça de sucção do vacúolo e da fôrça elástica da membrana celulósica.

Quando S_i se tornar igual a M, cessa a entrada de água. A fôrça de sucção da célula (S_c) se torna nula. Dizemos que a célula está *turgescente*.

À medida que a célula perde água para o meio, a fôrça elástica da membrana celulósica diminui gradativamente; quando essa fôrça se tornar nula a célula está *murcha*. Se, nesse momento, a célula fôr colocada em água, sua fôrça de sucção dependerá apenas da fôrça de sucção do vacúolo, isto é,

$$M = O$$
$$\therefore$$
$$S_c = S_i$$

É importante frisar que *célula* murcha não é a mesma coisa que *célula plasmolisada*. Quando há plasmólise, uma vez que a membrana celulósica é permeável, a solução exterior a atravessa e vai ocupando o espaço entre ela e a membrana plasmática. Naturalmente, a solução exerce pressão contra a membrana celulósica, impedindo que a célula se deforme.

Nos exemplos precedentes, consideramos diferenças extremas entre a concentração dos materiais nas células e no meio. Entretanto, quando estas células estão em seu meio normal, embora haja entrada de água, não há perigo de destruição das células. O meio dos primitivos heterótrofos continha sais minerais dissolvidos e compostos orgânicos; é provável que a concentração destas substâncias tenha mudado vagarosamente, mas alguma osmose poderia ter ocorrido, como água entrando e saindo dos organismos primitivos.

6 — 12 O processo de transporte ativo

O movimento de substâncias através da membrana celular se complica pelo fato de materiais dissolvidos, além da água, passarem através dela. Já vimos que as moléculas de substâncias dissol-



Fig. 6-11 Um exemplo de osmose no qual a água da célula passa para o fluido circundante.

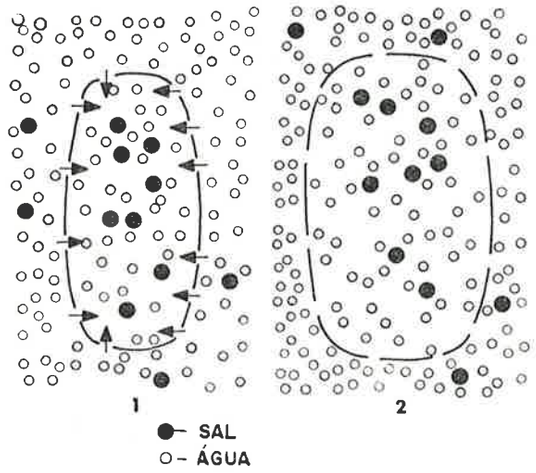


Fig. 6-12 Um exemplo de osmose na qual a água passa do fluido circundante para o interior da célula.

vidas se difundem através da membrana em direção à região de concentração mais baixa. Algumas vêzes, contudo, elas se movem em direção "errada" — em direção à região de maior concentração. Quando isto acontece, há necessidade de mais energia para as moléculas se moverem em direção oposta àquela em que se moveriam por difusão.

Quando o movimento de qualquer substância através da membrana celular requer uso de energia química, é chamado de *transporte ativo*. Em outras palavras, a substância não se move por si mesma, mas é transportada através da membrana. Êste fenômeno não foi ainda claramente compreendido pelos biólogos.

Suposição 7. Os heterótrofos, que evoluíam vagarosamente, usavam energia para transportar substâncias através da membrana celular.

O transporte ativo ocorre em todos os organismos atuais. A capacidade de controlar o movimento das substâncias é, sem dúvida, uma vantagem para a célula. Assim, as células primitivas que puderam realizar transporte ativo estavam mais adaptadas para sobreviver.

Como resultado do transporte ativo, muitas células contêm uma concentração de minerais muito maior, ou muito menor, do que a encontrada no meio em que vivem. Tais concentrações são necessárias para os processos vitais dos organismos. A alga de água doce *Nitella* (fig. 6 — 13) é exemplo de células que podem reter mil vêzes mais potássio do que o existente no mesmo volume de água do seu meio ambiente. Altas concentrações de potássio são encontradas nas células de muitas plantas. As células musculares e nervosas dos animais superiores, inclusive do homem, também contêm uma concentração de potássio muito maior do que a encontrada no fluido que circunda as células.

Como se pode demonstrar, experimentalmente, que uma substância está em maior concentração dentro do que fora da célula? É difícil determinar o conteúdo de uma célula viva. A *Nitella* tem células muito maiores do que os organismos em geral. Por causa do seu tamanho, uma única célula de *Nitella* pode ser isolada e seu conteúdo removido; o extrato obtido é suficiente para se determinar a quantidade de potássio de uma célula e pode-se comparar essa concentração com a do meio no qual a alga cresce.

As experiências para medir o transporte ativo são difíceis. Certos tipos de células acumulam íons; um excesso de íons negativos dentro da célula, em relação ao seu meio exterior, origina um potencial elétrico, ou voltagem, que pode ser medido com instrumentos apropriados, da mesma maneira que se mede a voltagem de uma bateria. Esta voltagem é uma medida indireta da diferença da concentração iônica, dentro e fora da célula. Indica a capacidade da célula transportar ativamente materiais através da membrana.

A parte difícil desta experiência é achar uma forma para medir a *velocidade de movimento* de íons negativos, quando êstes entram na célula. Poder-se-ia colocar um fio elétrico dentro da célula e outro na solução externa, mas mesmo que se empregasse uma célula suficientemente grande, no momento de colocar o fio através da membrana, esta se romperia fazendo cessar o transporte ativo. Outra possibilidade seria usar uma célula longa e estreita; se o fio fôr inserido em uma das suas extremidades, a outra continuará a dar entrada a íons, por transporte ativo, durante algum tempo. Contudo, a velocidade de movimento poderia não ser a mesma nessa célula e numa outra não lesada.

O transporte ativo requer gasto de energia química: substâncias são transportadas através da membrana em direção oposta à da difusão. O desenvolvimento desta capacidade teria tornado os heterótrofos primitivos capazes de absorver materiais orgânicos. A energia necessária para isso poderia ter sido obtida, a partir dêsses materiais, pela fermentação e, assim, as células



Fig. 6-13 A fotografia da Nitella mostra que algumas das células são maiores que dois centímetros.

obteriam mais material para construir uma organização molecular mais complexa.

6 — 13 Células que bebem: pinocitose

A visão estática de uma membrana com poros, condicionando a penetração de substâncias nas células, demonstrou-se ser muito simplificada já nas décadas de 1920 e 1930. Porém, os trabalhos de então não atraíram a atenção do mundo científico. Dois grupos independentes, um trabalhando com a *Amoeba proteus* (ameba de vida livre, com cêrca de 0,1 mm de diâmetro) e outro trabalhando com diferentes células em cultura de tecido, descreveram a entrada nas células (observadas em vida ao microscópio) de gotículas do meio, que eram englobadas e levadas ao interior do citoplasma. No caso da ameba, êste fenômeno, que se chama *pinocitose* (fig. 6 — 14), se apresenta como formação de canalículos transitórios em cujas extremidades se destacam gotículas que, por algum tempo, se podem acompanhar ao microscópio. No caso das células em cultivo, verifica-se que a membrana, que apresenta uma agitação constante, a qual pode ser filmada, engloba gotículas que migram para o interior da célula. Êste processo não se demonstra tão claramente em tôdas as células estudadas e é favorecido por condições particulares do meio em que as células são observadas.

Na década de 50 os pesquisadores passaram a trabalhar com substâncias marcadas com isótopos radiotivos ou com moléculas fluorescentes que se ligavam às substâncias cuja penetração nas células se queria acompanhar. A localização do material marcado era feita por processos especiais.

Verificou-se que, numa primeira fase, as substâncias (proteínas, por exemplo) se ligavam à superfície da membrana celular que, depois, se invaginava, formando-se os *vacúolos de pinocitose*. Já outras substâncias de pequeno tamanho molecular, como a glicose, provàvelmente só penetravam dissolvidas no meio englobado pelo vacúolo ou gotícula.

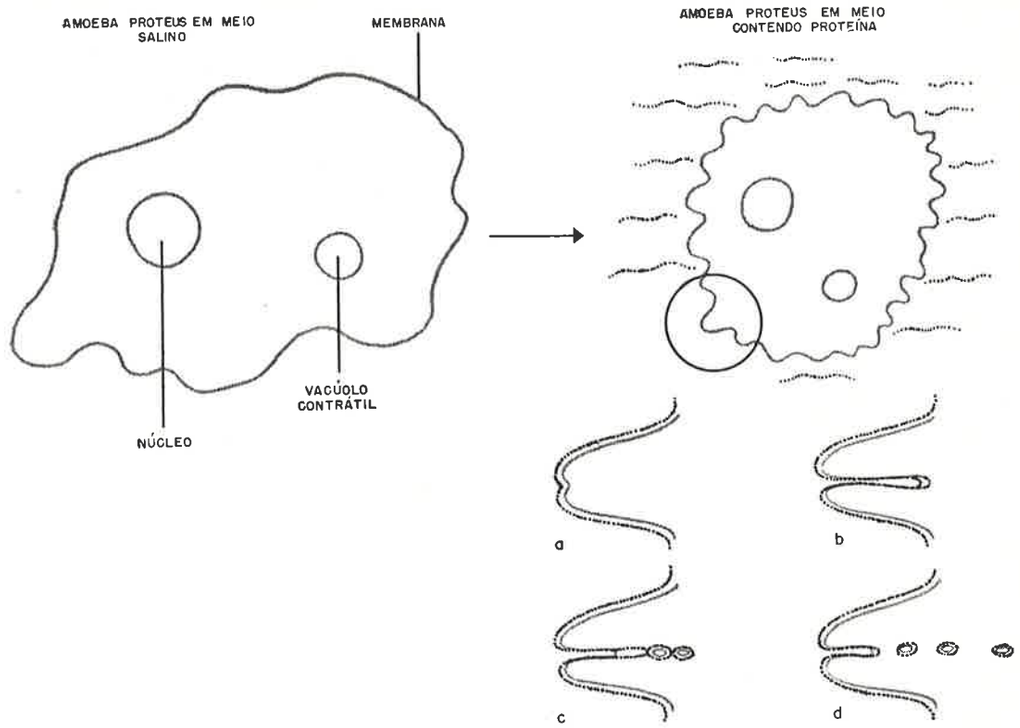


Fig. 6-14 A *Amoeba proteus* é um protozoário medindo cêrca de 150 u de diâmetro que se presta particularmente bem ao estudo de pinocitose. Em meio salino, observada ao microscópio, ela se apresenta como no esquema da esquerda, onde não estão porém representados inúmeros grânulos e cristais encontrados no citoplasma. Quando a ameba é colocada em meio que contém cêrca de 0,5 % de proteína, ela se arredonda, e apresenta uma coroa de expansões citoplasmáticas nas quais se identificam os canais de pinocitose. A primeira etapa consiste na ligação da proteína à superfície da ameba. Isto foi verificado utilizando-se proteínas marcadas com corantes fluorescentes e examinando-se a ameba ao microscópio iluminado com luz ultravioleta, e também por outros métodos. Admite-se que neste caso a proteína cause a pinocitose. Os canais de pinocitose resultam de invaginação da membrana celular e dêles irão se destacar vesículas que serão levadas para o interior do endoplasma da ameba. Neste esquema a proteína está representada em traço pontilhado; vê-se como a proteína irá ser levada para dentro da ameba. Um ponto ainda discutido é o destino dos vacúolos de pinocitose — sua parede deverá ser provàvelmente destruída para permitir o acesso de moléculas grandes para o interior da ameba, já que o vacúolo de pinocitose representa um pouco do meio extracelular, ainda revestido pelos componentes da membrana. Em outros tipos a formação de canais não ocorre de forma nítida e neste caso formam-se vacúolos que se destacam da membrana; mas o processo parece ser fundamentalmente o mesmo.

O destino exato das substâncias que assim penetram nas células não é bem conhecido. Muitas são digeridas ou utilizadas pelas células diretamente. Admite-se que, em muitos casos, enzimas do tipo hidrolítico sejam como que injetadas para dentro dos vacúolos de pinocitose, efetuando ou colaborando na digestão. Estas enzimas estariam normalmente segregadas no interior de pequenas vesículas, denominadas *lisossomos*.

Vê-se que há analogia entre o processo de pinocitose, pelo qual a célula engloba gotículas de líquido, e o fenômeno de *fagocitose*, há muito estudado. No processo da fagocitose as células englobam corpos estranhos, bactérias, pequenas partículas.

Até hoje não se sabe se os fenômenos de pinocitose são encontrados em tôdas as células vivas, em maior ou menor intensidade, ou se constituem uma atividade especializada de certos tipos celulares. No organismo humano são os chamados *macrófagos* e os *granulócitos* do sangue, entre outros, os tipos celulares nos quais pinocitose, fagocitose e atrocitose (penetração de colóides na célula) podem ser fàcilmente observados.

...As células são limitadas por uma membrana que deixa passar alguns materiais mais fàcilmente do que outros. Partículas sem carga elétrica movem-se mais ràpidamente do que íons. Parece que a membrana é constituída por uma camada gordurosa entre duas camadas protéicas. O fato de haver passagem de substâncias através da membrana sugere a existência de poros. Algumas células, pelo menos, formam vacúolos de pinocitose, englobando substâncias de moléculas grandes. Difusão e osmose são fenômenos naturais que permitem às substâncias entrarem e sairem das células. O transporte ativo, ao contrário do fenômeno da difusão, requer energia. Uma evidência do transporte ativo é que certas substâncias encontradas nas células estão em concentração muito mais elevada do que a do meio envolvente. Embora seja evidente a existência de transporte ativo, os biólogos ainda não sabem como êle ocorre. Quando os heterótrofos primitivos começaram a usar matéria orgânica na fermentação, provàvelmente desenvolveram um mecanismo de transporte ativo dos materiais necessários.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Por que se diz que a membrana celular é seletivamente permeável?
2. Descreva algumas condições sob as quais a célula diminui de tamanho. Como elas podem diferir das condições que fazem a célula aumentar de volume?
3. As fôrças que causam osmose e difusão cessam repentinamente quando as quantidades de materiais dissolvidos se tornam igualmente distribuídos? Explique.
4. Por que podemos concluir que ocorre transporte ativo?
5. Por que o processo de transporte ativo requer energia?

SUMÁRIO

Os sêres vivos são sistemas de móleculas complexas altamente organizados. A energia é essencial para a organização e manutenção de seus padrões. As formas primitivas teriam se tornado gradativamente mais complexas à medida que adquiriam enzimas necessárias para as reações que libertam energia.

Enzimas e ATP são moléculas orgânicas encontradas em tôdas as formas de células vivas examinadas. As enzimas diminuem a quantidade de energia de ativação necessária para que as reações se realizem. Assim as reações podem ocorrer em temperaturas não prejudiciais à vida. As ligações fosfóricas do ATP, ricas em energia, fornecem uma outra maneira de ativar as moléculas. Quando um grupo fosfórico é transferido do ATP para outra substância, como a glicose, a molécula dessa substância se torna ativada e pode entrar em outras reações químicas ràpidamente.

Fermentação é o processo que liberta energia na ausência do oxigênio. Na fermentação da glicose a energia é libertada numa série de reações, cada uma catalisada por uma determinada enzima. Uma molécula de glicose é, primeiramente, ativada pelos grupos fosfóricos fornecidos por duas moléculas de ATP; em seguida, quebra-se dando duas moléculas com três átomos de carbono cada uma; estas moléculas sofrem uma série de reações, durante as quais há liberação de energia que fica armazenada em quatro moléculas de ATP. Portanto, para cada molécula de glicose, a célula ganha energia armazenada nas ligações fosfóricas de duas moléculas de ATP.

Supõe-se que os heterótrofos primitivos, no início da sua evolução, fôssem capazes de libertar energia por um processo semelhante à fermentação. Quando êsses organismos começaram a usar a matéria orgânica existente nos oceanos em que viviam, também adquiriram a capacidade de transportar materiais através da membrana.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Por que as moléculas orgânicas teriam sido melhor fonte de energia para os heterótrofos primitivos do que a radiação ultravioleta ou as descargas elétricas?

2. Qual teria sido a fonte de energia que os primeiros heterótrofos armazenaram nas moléculas de ATP?
3. Como é possível uma enzima ser usada diversas vêzes para catalisar muitas reações de um determinado tipo? Por que isto é importante para os organismos?
4. Quais são as diferentes maneiras de os coacervados usarem energia?
5. Qual é a semelhança entre vitaminas e enzimas?
6. Qual é a principal diferença entre glicose e glicose-fosfato?

7. Como Buchner contribuiu para o conhecimento do fenômeno da fermentação?
8. A difusão e a osmose são fenômenos diferentes? Explique.
9. Que é ATP?

(B) 10. Numa reação química ocorre reorganização de moléculas. Que tipos de modificações ocorrem? O que permanece inalterado?

11. Explique como duas substâncias, tais como hidrogênio e oxigênio, podem existir juntas sem reagir.
12. Quais são alguns dos problemas associados com a obtenção de informação experimental no transporte ativo?
13. Por que uma enzima catalisa sòmente uma reação específica em lugar de muitas reações diferentes?
14. Dê uma razão pela qual a fermentação é escolhida como o processo que os heterótrofos devem ter realizado para obter energia.

(C) 15. Qual é o papel do ATP na fermentação?

16. Uma molécula de álcool tem mais, ou menos energia química que uma de glicose? Explique.
17. O ATP das células vegetais tem sido usado para fornecer energia para as atividades vitais das células animais. Que significado você pode dar a isso?
18. Descreva o que acontece com duas moléculas quando sofrem reação química.
19. Por que deve uma célula realizar trocas constantes com o meio em que vive?

LEITURAS RECOMENDADAS

PFEIFFER, John. "Enzimas", *Física e Química da Vida* (trad.). *Scientific American*, ed. Ibrasa, 1961, pág. 163.
GREEN, David E. "O Metabolismo das Gorduras", *ob. cit.*, pág. 181.

MOLÉCULAS MESTRAS

CAPÍTULO 7

Nos Capítulos 5 e 6 discutimos alguns dos problemas enfrentados pelos primeiros organismos. Supusemos que êsses organismos fôssem sistemas complexos de diversas substâncias. Suas maiores moléculas eram de proteínas, algumas das quais constituíram as enzimas. As enzimas desempenharam importante papel na vida dos sêres heterótroficos, não só tornando possível uma libertação mais rápida de energia das ligações químicas das moléculas de substâncias orgânicas, como também permitindo às células usarem essa energia das mais variadas maneiras.

O sucesso dos primeiros heterótrofos pode ser medido pela sua capacidade de sobreviver em competição com organismos semelhantes. A estabilização e contrôle dos processos vitais aumentaram a probabilidade de sobrevivência; tal contrôle poderia ter ocorrido sòmente através da ação de certos tipos de moléculas dentro da célula. Parece que determinadas moléculas passaram a exercer êsse contrôle relativamente cedo na evolução dos heterótrofos bem sucedidos. Êste capítulo fala sôbre essas moléculas e o papel marcante que elas desempenham na vida das células.

OS ÁCIDOS NUCLÉICOS

7 — 1 Os ácidos nucléicos são encontrados em todos os sêres vivos

As maiores e mais impressionantes moléculas encontradas nos sêres vivos atuais são os *ácidos nucléicos*. Êles foram descobertos nos fins do século XIX, época de intensa investigação química da matéria viva. Um bioquímico suíço, Friedrich Miescher, foi o primeiro a descobrir no núcleo de células do pus e em espermatozóides, ácidos associados a proteínas. Em estudos posteriores, Miescher verificou que essas substâncias diferiam bastante dos compostos conhecidos e, como foram encontradas nos núcleos das células, introduziu o têrmo *ácidos nucléicos* para identificá-las.

Não se cogitou, a princípio, que a ocorrência dos ácidos nucléicos fôsse generalizada, isto é, que existissem em todos os sêres vivos; mas, à medida que foi sendo examinado grande número de plantas, animais e microrganismos, tornou-se evidente que todos êles continham essas substâncias. *Tôdas as evidências experimentais recentes indicam que os ácidos nucléicos são moléculas que controlam os processos vitais básicos em todos os organismos.* Isto sugere que os ácidos nucléicos devem ter desempenhado um papel semelhante nas formas de vida primitivas bem sucedidas.

> **Suposição 8.** Nos organismos bem sucedidos, um grupo de moléculas, os ácidos nucléicos, controlava os processos celulares básicos.

Com o aperfeiçoamento dos métodos de análise dos ácidos nucléicos, foi possível comparar os

ácidos nucléicos de diferentes organismos. Verificou-se, então, para espanto dos químicos e biólogos, que êles são muito semelhantes em tôdas as formas de vida, desde os vírus até o homem, e que não existem apenas nos núcleos das células, mas também em outras partes. Entretanto, o têrmo, embora inadequado, continuou a ser usado.

Os químicos identificaram as partes das moléculas dos ácidos nucléicos separando-as por *hidrólise,* isto é, empregando moléculas de água para parti-las. Êste processo permitiu verificar que êles são formados por unidades moleculares relativamente simples. Nestas pequenas unidades está o segrêdo da importância dos ácidos nucléicos nos sistemas vivos.

7 — 2 Constituição da molécula dos ácidos nucléicos

É possível analisar quìmicamente núcleos celulares quando isolados em grande quantidade. Esta análise revela que êles contêm, predominantemente (porque contêm também lípides e pequenas moléculas), dois tipos de substâncias: proteínas e ácidos nucléicos. Essas proteínas são de dois tipos e ainda mal conhecidas*. Os ácidos nucléicos, embora estejam entre as maiores moléculas dos sêres vivos são compostos sòmente por alguns tipos de moléculas menores.

Há dois tipos fundamentais de ácidos nucléicos: *ácido ribonucléico (RNA)* e *ácido desoxirribonucléico (DNA).* São designados de acôrdo com as moléculas de açúcar que contêm, respectivamente *ribose* e *desoxirribose.* Êstes açúcares são *pentoses,* isto é, têm 5 átomos de carbono na molécula. Podemos, pois, concluir que, além da glicose que os heterótrofos usavam como fonte de energia, as pentoses também foram importantes para os organismos primitivos.

A figura 7-1 mostra a fórmula estrutural da *ribose* escrita em anel — note o grupo hidroxila (-OH) ligado a um determinado átomo de carbono (C_3). A *desoxirribose* (fig. 7-2) tem um átomo de hidrogênio (-H) em lugar do grupo (-OH) ligado ao mesmo átomo de carbono. Falta, portanto, um átomo de oxigênio, se compararmos essa fórmula à da ribose (fig. 7-1); por isso, êsse açúcar é chamado desoxirribose, que significa "ribose despojada de oxigênio".

* Incluem um grupo de proteínas "básicas" (histonas e protaminas), assim chamadas por nela predominarem aminoácidos com mais de um amino grupo.

Os ácidos nucléicos dão, por hidrólise, além de açúcar, dois outros tipos de moléculas: *ácido fosfórico* (fig. 7-3) e uma *base nitrogenada.* Êstes compostos devem ter se formado na atmosfera primitiva à custa da energia das radiações ultravioleta.

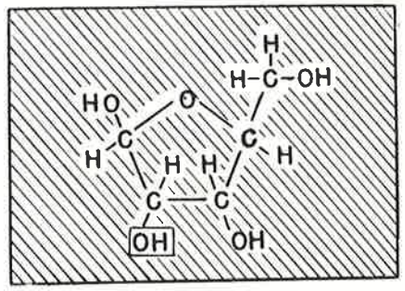


Fig. 7-1 Ribose.

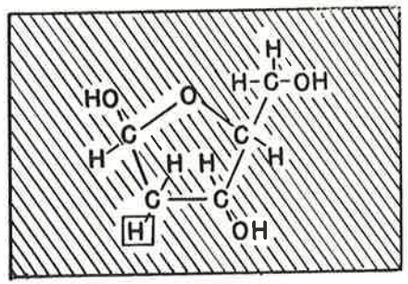
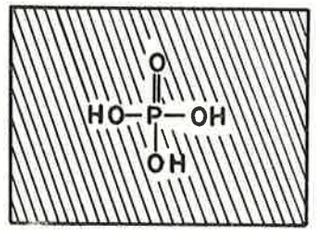


Fig. 7-2 Desoxirribose.

As bases nitrogenadas apresentam estrutura em anel de carbono e nitrogênio. Podem ser *púricas* ou *pirimídicas.* As pirimídicas têm no anel quatro átomos de carbono e dois de nitrogênio; as ligações químicas livres podem ligar-se a diversos átomos ou grupos químicos como você poderá ver na figura 7-4. Três dessas bases são encontradas nos ácidos nucléicos: *citosina, timina* e *uracila.*

As bases púricas têm um "esqueleto" básico constituído por um duplo anel de carbono e nitrogênio (fig. 7-5). Duas dessas bases são encontradas nos ácidos nucléicos: *adenina* e *guanina.* No DNA e no RNA há quatro bases nitrogenadas, duas púricas e duas pirimídicas (figs. 7 — 6 e 7 — 7).

O ácido fosfórico, o açúcar e uma base ligam-se, com perda de moléculas de água (*síntese por desidratação*). Uma das bases liga-se ao açúcar e êste ao ácido fosfórico, formando uma nova molécula, chamada *nucleotídeo. Os nucleotídeos são as unidades constituintes dos ácidos nucléicos.*



Fif. 7-3 Ácido fosfórico.

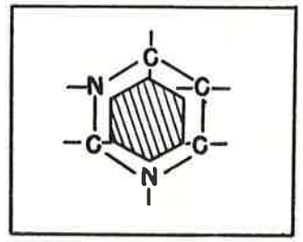


Fig. 7-4 Esqueleto da pirimidina.

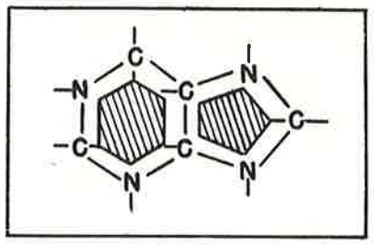


Fig. 7-5 Esqueleto da purina.

No DNA há quatro tipos de nucleotídeos, de acôrdo com a base que apresentam. A figura 7-8 representa a molécula de *adenina-nucleotídeo,* formada pela ligação entre uma molécula de ácido fosfórico, uma de desoxirribose e uma de adenina. A figura 7-9 mostra a representação simplificada dêsse nucleotídeo e a figura 7-10 mostra os quatro nucleotídeos que constituem a molécula de DNA.

Como já vimos, a molécula de RNA também apresenta quatro diferentes nucleotídeos. Uma das diferenças entre os nucleotídeos do RNA e os do DNA está no açúcar. Outra é que a base *timina* não é encontrada no RNA, sendo substituída por um composto semelhante, *uracila.* A figura 7-11 mostra a estrutura dessa base e o nucleotídeo formado por ela*.

Cada molécula de ácido nucléico é uma longa cadeia dos quatro tipos de nucleotídeos. Da mes-

* Apesar do DNA e RNA serem muito semelhantes na composição diferem, consideràvelmente, na configuração e na reatividade a agentes químicos e a enzimas.

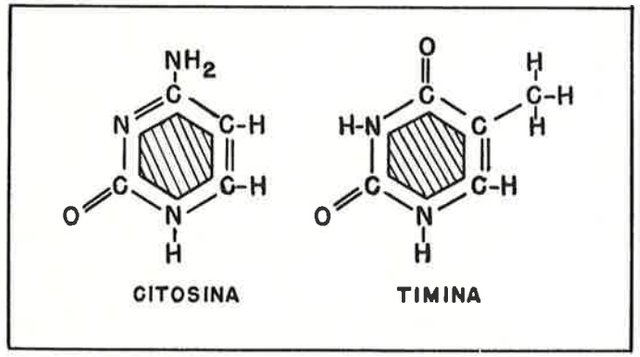


Fig. 7-6 Pirimidinas encontradas no DNA-citosina e timina.

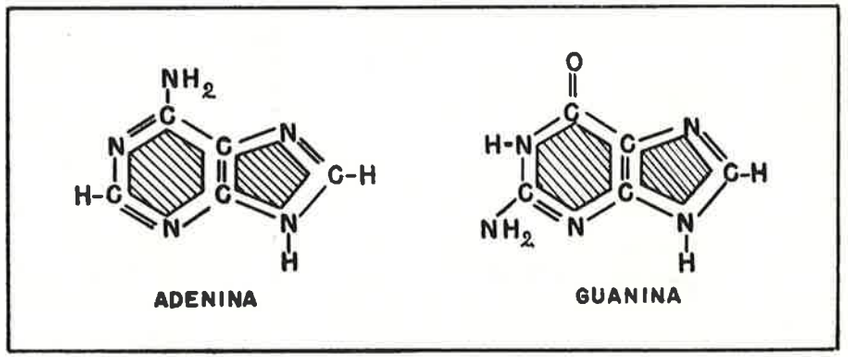


Fig. 7-7 Purinas encontradas no DNA-adenina e guanina.

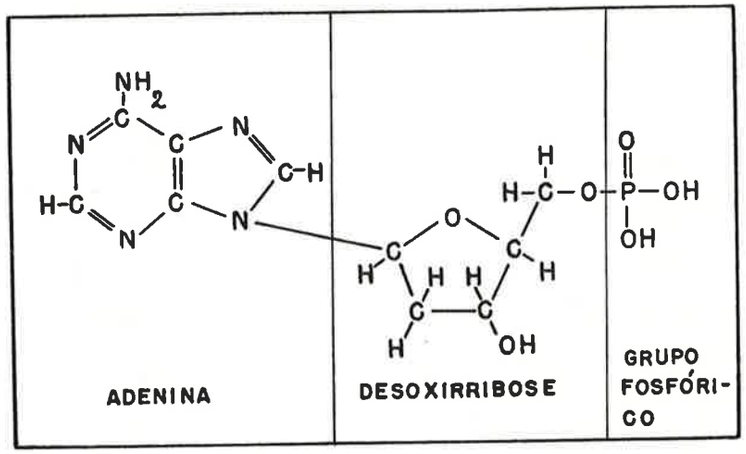


Fig. 7-8 Adenina-nucleotídeo é formado de três moléculas menores.

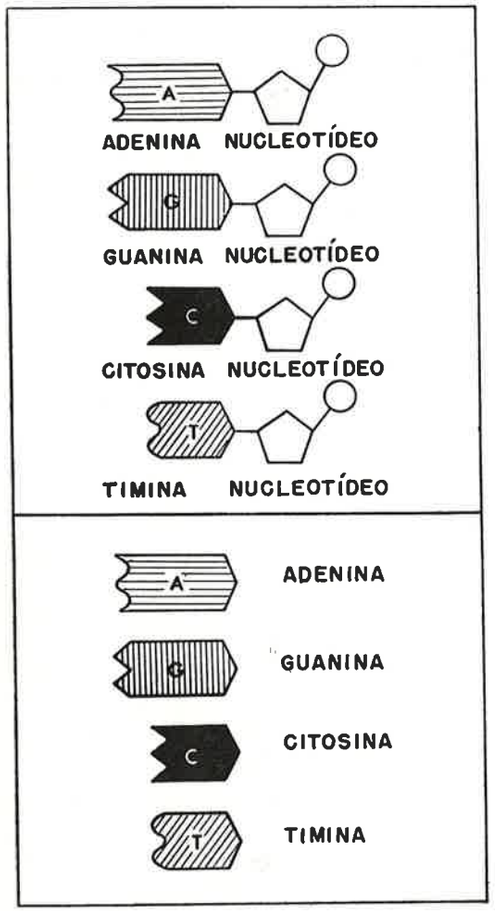


Fig. 7-10 Representação simbólica dos quatro nucleotídeos do DNA.

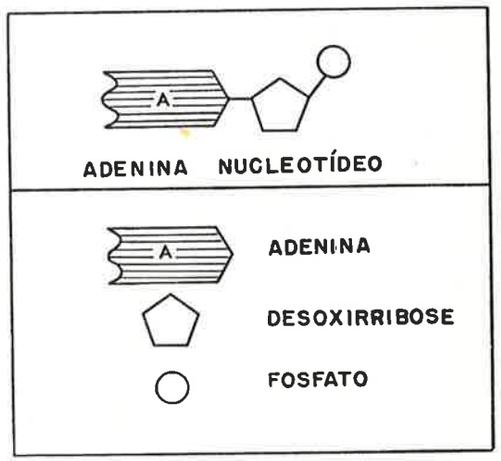


Fig. 7-9 Representação simbólica da adenina-nucleotídeo.

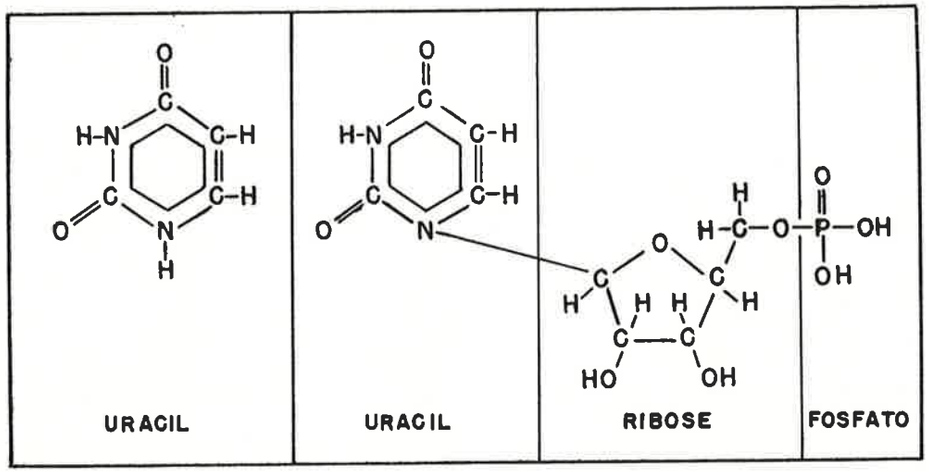


Fig. 7-11 À esquerda uracila e uracila nucleotídeo como são encontrados no RNA.

ma forma que se pode dispor para formar um colar, contas vermelhas, azuis, amarelas e verdes, numa grande variedade de modos, os quatro nucleotídeos podem se dispor de muitas maneiras nas moléculas de ácidos nucléicos. Espécies diferentes de organismos diferem no número e na distribuição dos nucleotídeos nas suas moléculas de ácidos nucléicos. Veremos, de maneira resumida, porque essas diferentes combinações são de grande importância e como delas decorre a grande variedade de organismos existentes.

. . . Os ácidos nucléicos são moléculas muito grandes encontradas em tôdas as formas vivas atuais. Supõem-se que êles tenham desempenhado um importante papel já nos organismos primitivos. São constituídos por moléculas menores chamadas nucleotídeos. Cada nucleotídeo, por sua vez, é formado por três partes: ácido fosfórico, uma pentose e uma base nitrogenada (púrica ou pirimídica).

Os dois tipos de ácidos nucléicos são o ácido desoxirribonucléico (DNA) e ácido ribonucléico (RNA). As células atuais têm DNA principalmente no núcleo (encontra-se DNA extranuclear em certos organóides de tripanosomas e em certos plastos), enquanto que o RNA é encontrado tanto no núcleo como no citoplasma. RNA difere do DNA no açúcar que contém e nas bases pirimídicas: tem uracila em lugar de timina.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais as duas diferenças básicas, estruturais, entre RNA e DNA?
2. Quais as unidades que constituem os ácidos nucléicos?
3. Que são bases púricas e pirimídicas?
4. Quantos tipos de bases nitrogenadas são encontrados no DNA e no RNA?
5. Em que diferem as estruturas químicas da uracila e da timina?
6. Que são nucleotídeos? Descreva um nucleotídeo típico.

ÁCIDOS NUCLÉICOS EM AÇÃO

7 — 3 Os ácidos nucléicos podem transformar certos tipos de bactérias em novos

Os ácidos nucléicos já eram conhecidos 75 anos antes de ser avaliada sua importância nas células vivas. A ação do DNA foi primeiramente estudada em bactérias e isto marcou uma nova e importante era para a Biologia. Os pesquisadores primeiramente focalizaram sua atenção no papel do DNA em bactérias de uma determinada espécie, *Diplococcus pneumoniae* (causadora da

pneumonia, como seu nome indica). O nome do gênero, *Diplococcus,* deve-se ao fato de as células, que têm forma esférica, disporem-se aos pares (do grego: *diplo* — duplo; *coccus* — grão). Para abreviar, usa-se geralmente pneumococo para designar a espécie.

Há dois tipos principais de pneumococos: num dêles, cada par de bactérias é circundado por uma cápsula constituída por substância semelhante a açúcar; o segundo tipo não apresenta cápsulas. Estas características são hereditárias.

Da presença ou ausência de cápsulas, ao redor das células do pneumococo, depende outra característica. Verificou-se que as que têm cápsulas, quando inoculadas em ratos causam pneumonia e conseqüentemente a morte, enquanto que as que não têm, são inofensivas.

Foi feita uma experiência na qual se injetou em ratos uma mistura de pneumococos vivos, *sem cápsulas* e pneumococos mortos, *com cápsulas.* Contrariando o que se esperava, os ratos adquiriram pneumonia e morreram e, o que foi ainda mais surpreendente, as bactérias isoladas dos animais mortos *tinham cápsulas!*

Os cientistas começaram, então, a procurar uma explicação. Como as bactérias inofensivas haviam-se transformado em formas que causavam a doença? Êsse seria um problema difícil de resolver se só fôsse possível trabalhar com animais doentes. Felizmente, porém, as bactérias podem desenvolver-se "in vitro", isto é, em frascos com misturas de substâncias apropriadas que constituem *o meio de cultura.* Os microbiologistas podem preparar meios de cultura, nos quais vários tipos de bactérias se desenvolvem; por exemplo, podem fazer um meio de cultura especial para pneumococos e estudar, então, em placas de Petri, seu desenvolvimento e verificar se apresentam cápsulas ou não. Os microbiologistas partiram da hipótese de que uma determinada substância, ou substâncias, dos pneumococos *mortos* havia causado o aparecimento de cápsulas nas células vivas.

Primeiramente, cultivaram grande número de pneumococos com cápsulas; depois mataram essas células, pulverizaram-nas e fizeram uma solução em líquido apropriado; esta solução, chamada *extrato,* continha as substâncias normalmente existentes nas células. Um extrato, obtido de um grande número de células, pode ser usado para realizar uma grande variedade de experiências.

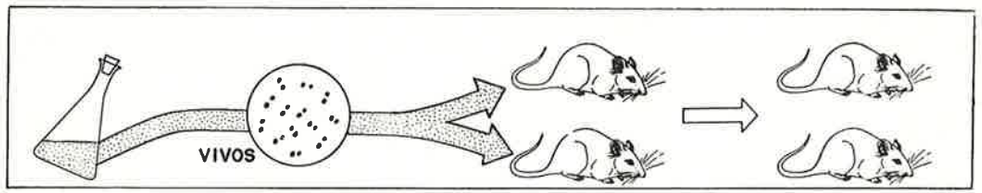
Em uma das experiências, acrescentou-se a um meio de cultura, extrato de células mortas *com* cápsulas e pneumococos vivos, *sem* cápsulas que aí se desenvolveram. Algumas das células *sem* cápsulas foram transformadas em células *com* cápsulas; as células transformadas continuaram a produzir células *com* cápsulas, mesmo na ausência do extrato especial. As novas células, descendentes de células não patogênicas, foram capazes de causar pneumonia em ratos (essa experiência está resumida na figura 7 — 12).

Essas observações sôbre a transformação de células de pneumococos trouxeram novos problemas para os pesquisadores. Ao que parecia, as células sem cápsulas tinham sofrido uma modificação permanente: produziam cápsulas, causavam pneumonia e, ainda mais, seus descendentes também produziam cápsulas e causavam pneumonia. Aquelas células tinham rcebido novas "instruções biológicas". Essas instruções, que qualquer organismo vivo recebe de seus ancestrais e passa para seus descendentes, constituem seu *patrimônio genético.* No Capítulo 8 discutiremos mais detalhadamente em que consistem essas "instruções".

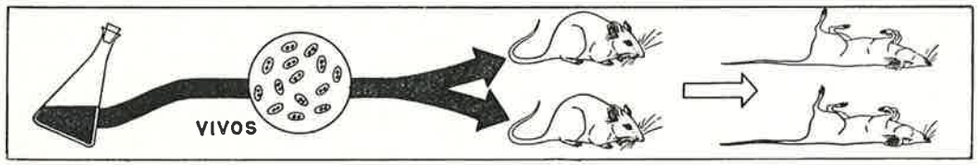
Essa experiência parecia indicar que o patrimônio genético dos pneumococos havia sido mudado — as instruções biológicas tinham sido modificadas. Se isso tivesse realmente acontecido, poder-se-ia concluir que alguma coisa no extrato havia causado essa modificação ou se havia tornado parte do patrimônio hereditário das linhagens de células transformadas.

No Instituto Rockefeller, Oswald T. Avery e seus colaboradores, Colin M. MacLeod e Maclyn McCarty, começaram a trabalhar pacientemente para identificar o componente específico do extrato das células mortas que causava esta notável modificação. Realizaram experiências muito cuidadosas nas quais cada componente do extrato era analisado. Em 1944 relataram as conclusões a que chegaram: o único agente que causava essa transformação na hereditariedade dos pneumococos era o DNA. Êste ácido nucléico havia efetuado uma modificação hereditária, nítida e permanente.

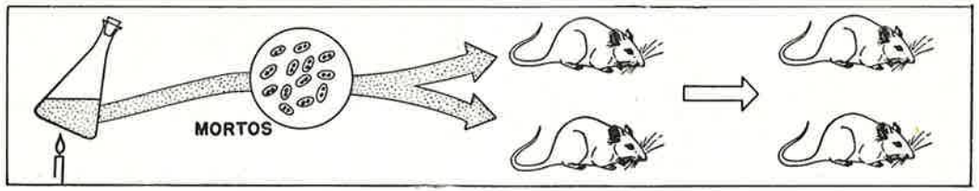
O DNA "estranho" tinha aparentemente se estabelecido como uma parte do patrimônio genético das células "hospedeiras". Trabalhos posteriores, com outros tipos de bactérias, mostraram que essa transformação poderia também ocorrer com outros caracteres. Num exemplo de transformação, linhagens de células se tornaram resistentes a certos antibióticos, como a estreptomicina. Havia, portanto, sido encontrado um agente específico responsável pelos fenômenos da herança. Foi a primeira vez que se relacionou



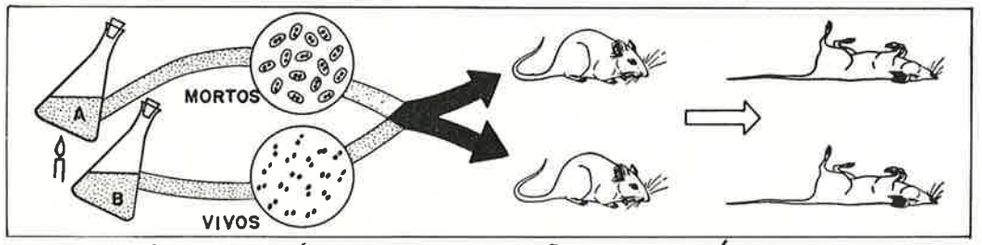
CÉLULAS DE PNEUMOCOCOS SEM CÁPSULA INJETADAS NOS RATOS NÃO CAUSAM PNEUMONIA



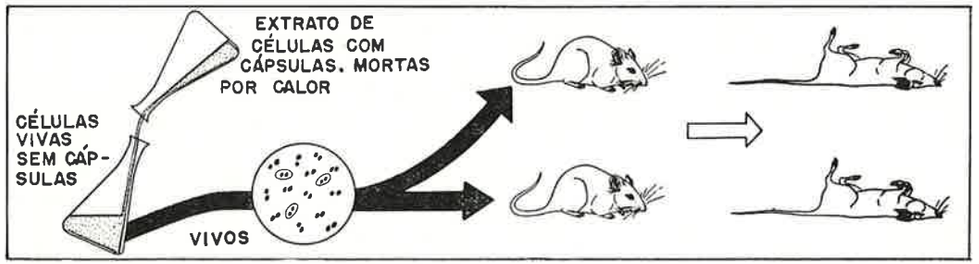
CÉLULAS COM CÁPSULAS, INJETADAS NOS RATOS CAUSAM PNEUMONIA E MORTE



UMA MISTURA DE CÉLULAS COM CÁPSULAS MORTAS POR AÇÃO DO CALOR NÃO CAUSA PNEUMONIA



MISTURA DE CÉLULAS COM CÁPSULAS MORTAS POR AÇÃO DO CALOR E CÉLULAS VIVAS SEM CÁPSULAS INJETADAS NOS RATOS CAUSA PNEUMONIA



QUANDO O EXTRATO DE CÉLULAS COM CÁPSULAS MORTAS POR AÇÃO DO CALOR É ADICIONADO A CÉLULAS VIVAS SEM CÁPSULAS, APARECEM ALGUMAS CÉLULAS COM CÁPSULAS, QUE CAUSAM PNEUMONIA QUANDO INJETADAS

Fig. 7-12 Pneumococos, inofensivos, sem cápsulas, são transformados em Pneumococos com cápsulas, que causam doenças, pelo DNA de células mortas dêsses últimos.

a hereditariedade com a ação de uma determinada substância.

Podemos aprender mais sôbre o papel que os ácidos nucléicos desempenham na célula viva, estudando os vírus.

7 — 4 Vírus e ácidos nucléicos

Os vírus são menores do que as bactérias e não são visíveis ao microscópio óptico. Contudo, quando se tornou possível cristalizar alguns dêles, sua composição química pôde ser estudada. Os primeiros cristais de vírus foram obtidos em 1935 por Wendell Stanley, que conseguiu obter vírus do mosaico do tabaco, que infeta as células das fôlhas daquela planta e causa sua morte. Por seus trabalhos com vírus Stanley recebeu, em 1946, o Prêmio Nobel em Química.

Inicialmente se supôs que o vírus do mosaico do tabaco fôsse constituído exclusivamente por proteína. Entretanto, pesquisas posteriores mostraram que êle contém, também, ácido nucléico. Desde esta descoberta, a natureza química de muitos outros vírus tem sido investigada. Todos êles, quaisquer que sejam as células que infetam, parecem ser compostos de ácido nucléico e proteína.

Alguns vírus, como o do mosaico do tabaco, o da poliomielite e o da gripe, possuem RNA. Outros têm DNA, por exemplo, os *bacteriófagos,* que atacam bactérias e reproduzem-se nas suas células. DNA é também encontrado nos pneumococos e nos núcleos das células animais e vegetais.

7 — 5 As atividades de um bacteriófago

Como os outros vírus, os bacteriófagos são constituídos por ácido nucléico e proteína. Vivem às expensas das bactérias (de onde o nome bacteriófago, do grego: *bakteria* = bactéria e *phagein* = comer), reproduzindo-se dentro delas, podendo destruir as células nas quais se reproduziram.

A interação de bacteriófago e bactéria está agora quase completamente estudada. Em um caso bem conhecido, um bacteriófago, designado por T_2 (fig. 7-13), prende-se à bactéria injetando no seu interior seu filamento longo e simples de DNA. A bactéria tem seu próprio DNA que governa suas atividades vitais mas, quando o DNA do vírus entra na célula, faz parar a produção das substâncias próprias da bactéria e começa a "supervisionar" a produção de substâncias do vírus, às custas das substâncias da bactéria. Os materiais dentro da bactéria são transformados em material do vírus: DNA e proteína (fig. 7 — 14).

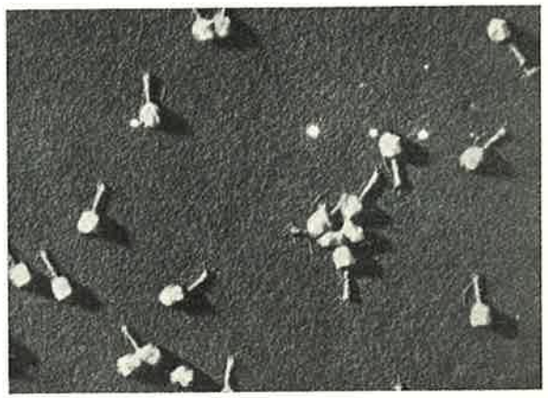


Fig. 7-13 Uma microfotografia eletrônica de bacteriófagos T2.

O DNA do vírus, injetado na bactéria, é capaz de produzir vírus completos. Em menos de trinta minutos, a célula se rompe e centenas de novos vírus são libertados. Cada um dos novos vírus poderá infetar uma outra bactéria e, com o tempo, uma população inteira de bactérias poderá ser destruída.

A proteína do vírus parece servir para proteger o DNA (o mesmo vale para os vírus a RNA). Em muitos casos, consegue-se infetar bactérias (ou outras células, no caso de outros vírus) com ácido nucléico isolado do vírus. São os "ácidos nucléicos infecciosos". Neste caso, porém, a eficiência, ou seja, o número de células infetadas, é bem menor do que quando se usa o vírus íntegro.

7 — 6 Os ácidos nucléicos controlam as atividades celulares

O estudo dos bacteriófagos e a maneira como se reproduzem em células vivas nos dizem muito sôbre o DNA. Auxilia a comprovar a hipótese que afirma que êsse ácido *controla* os fenômenos celulares; sugere claramente que há diferentes tipos de DNA e que alguns dêles são mais eficientes do que outros, num determinado meio celular; mostra que o DNA pode produzir mais

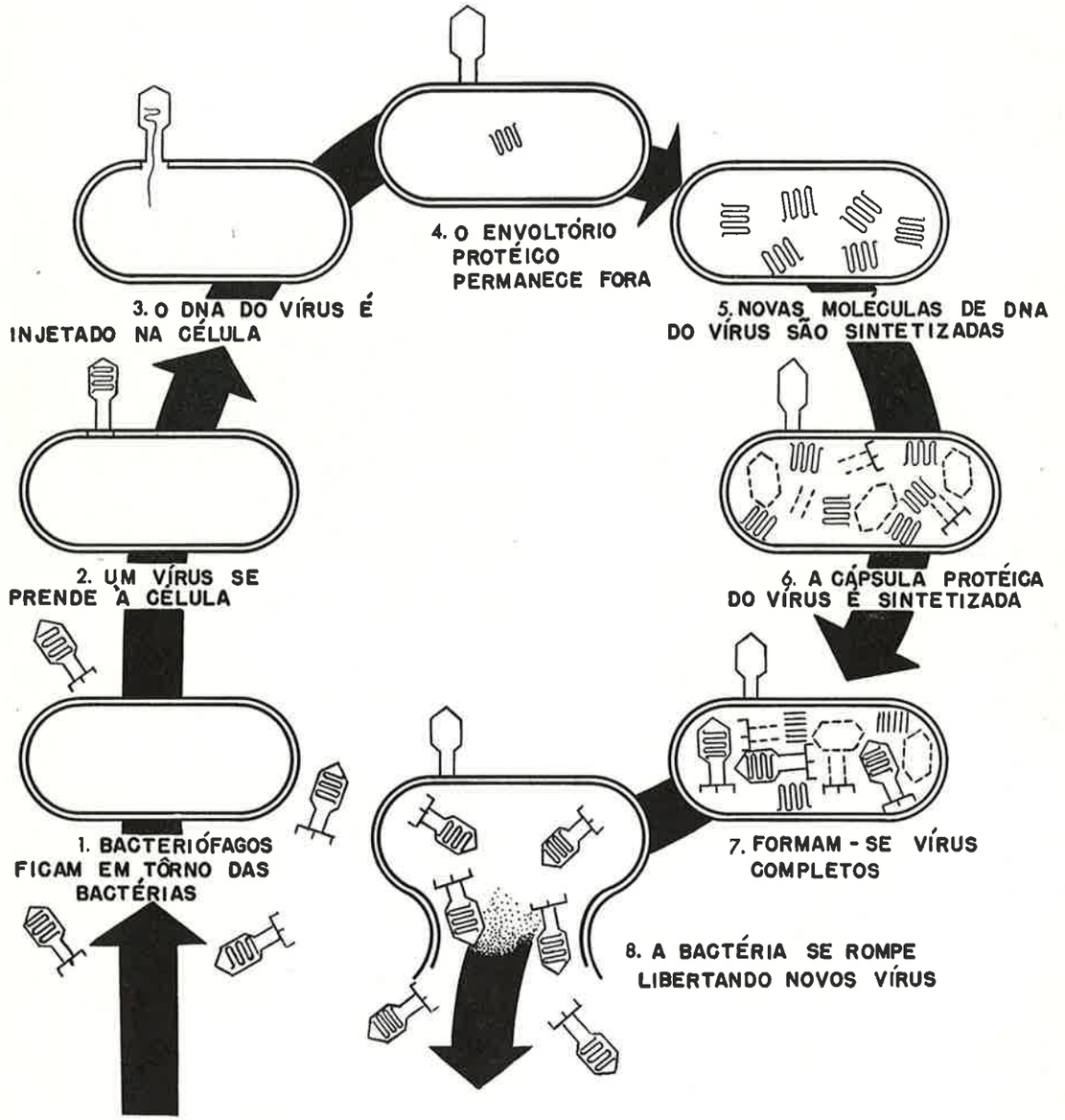


Fig. 7-14 Um bacteriófago T2, se prende pela "cauda" a uma bactéria; o DNA do vírus passa para a bactéria, se duplica e forma novas capas protéicas. Finalmente a bactéria explode, libertando novos vírus; cada um dêles pode infectar uma nova bactéria.

moléculas exatamente iguais a êle. É importante notar que a molécula dessa substância não usa substâncias de outro tipo de célula para fazer sòmente mais cópias de si mesma mas, também, contrói o envoltório protéico do vírus.

Mencionamos sòmente dois tipos de evidências, ambas em microrganismos, para indicar como os vários tipos de DNA podem exercer contrôle dentro das células. Há numerosos outros exemplos e tôdas as provas apóiam a idéia de que as *instruções genéticas,* na maioria das células, são encontradas nas moléculas de DNA. Fazem exceção alguns tipos de vírus, nos quais as instruções genéticas são encontradas no RNA. Além disso, outras formas de RNA estão presentes na maioria dos organismos e veremos quais as importantes funções que desempenham nas células.

Vimos, na suposição 8, que a ocorrência generalizada de ácidos nucléicos em todos os sêres vivos atuais, deve significar que êles se tornaram substâncias importantes na vida dos heterótrofos primitivos. O papel fundamental que êles desempenham no contrôle dos processos celulares e nos fenômenos da hereditariedade são indicações de que sua presença aumentou as probabilidades de sobrevivência dos organismos primitivos.

...Um tipo de ácido nucléico, ácido desoxirribonucléico (DNA), é responsável pelo contrôle das atividades e dos processos vitais em pràticamente tôdas as células. É também responsável pelas instruções hereditárias. Seu contrôle é tal que o DNA de uma bactéria de determinada espécie pode causar modificações hereditárias permanentes em outras bactérias da mesma espécie. Por exemplo, foi demonstrado que o DNA de um tipo de pneumococo patogênico pode transformar pneumococos inofensivos em formas causadoras de doença.

Um outro exemplo de sua importância: o DNA de um bacteriófago pode mobilizar os materiais da célula da bactéria que atacou e produzir, na célula atacada, numerosos vírus completos da mesma espécie.

As instruções genéticas de alguns vírus são encontradas no ácido ribonucléico em lugar do ácido desoxirribonucléico. Outras formas de RNA estão também presentes nas células dos organismos superiores e desempenham aí importantes funções.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. O que significa hereditariedade?
2. Que é um meio de cultura?
3. Quando se injetava em ratos uma mistura de pneumococos vivos, cujas células não apresentavam cápsulas, e pneumococos mortos com cápsulas, por que se esperava que os ratos se mantivessem sãos?
4. Qual a prova trazida pela experiência com bacteriófago em relação à afirmação seguinte: "DNA pode produzir mais moléculas exatamente iguais a si próprio?"
5. Em que tipos de moléculas você espera encontrar as "instruções biológicas" para a geração seguinte?

7 — 7 Necessidade de duplicação

As atividades dos primeiros organismos eram muito simples comparadas às das plantas e animais atuais, mas o problema fundamental enfrentado por êles era o mesmo dos organismos de hoje: sobreviver na competição com outros organismos.

Não se pode saber quanto tempo um organismo primitivo poderia viver. Certamente, o nível de organização alcançado por qualquer forma de vida afetaria sua capacidade de sobrevivência, mas mesmo um alto nível de organização biológica seria de pequena importância para o futuro da vida na Terra, se não pudesse ser duplicado de maneira que os descendentes o herdassem. Dêste modo, organismos que haviam sido bem sucedidos em um ambiente de competição, poderiam deixar descendentes com o mesmo padrão de organização.

Suposição 9. A seleção natural favoreceu os organismos que, após alcançarem um tamanho limitante, desenvolveram processos para se duplicarem com exatidão.

O sucesso de qualquer organismo depende de que suas atividades celulares estejam sob um contrôle eficiente. Se, como supuzemos, essas atividades, nos heterótrofos primitivos, estivessem sob o contrôle dos ácidos nucléicos, os organismos teriam maior probabilidade de sobrevivência. Seus descendentes estariam igualmente aptos para sobreviver se herdassem as mesmas moléculas mestras de ácido nucléico. O desenvolvimento de um mecanismo regular de duplicação e herança dessas moléculas foi uma etapa essencial na evolução dos heterótrofos primitivos.

7 — 8 Relação entre volume e superfície durante o crescimento

Que teria acontecido a um organismo primitivo à medida que se fôsse tornando mais apto a sobreviver? À medida que aumentasse sua capacidade de tomar e armazenar alimento e que suas enzimas funcionassem mais eficientemente, o organismo, provàvelmente, aumentaria de tamanho. Com isto, o volume da célula poderia ter se tornado tão grande que a eficiência do sistema seria grandemente reduzida, isso porque o aumento de volume da célula é mais rápido do que o aumento em superfície*.

Suponhamos que uma esfera de 1 cm de raio cresça até que seu volume passe a ter 2 cm; quanto aumentaram a área e o volume dessa esfera? A fórmula para se calcular a superfície de uma esfera é $4\pi r^2$; se determinarmos a relação entre as áreas das esferas maior e menor, teremos:

$$\frac{4\pi 2^2}{4\pi 1^2}$$

ou seja, a relação é 4 : 1 (fig. 7-15).

De maneira semelhante, o volume de uma esfera é determinado usando-se a fórmula $4/3\pi r^3$. Substituindo-se r pelos valôres dos raios das esferas maior e menor, teremos a relação seguinte:

$$\frac{4/3\pi 2^3}{4/3\pi 1^3}$$

ou seja, 8 : 1. Você pode ver que quando o raio dobra, o volume aumenta 8 vêzes, enquanto a superfície aumenta 4 vêzes. Esta diferença na relação entre volume e área da esfera será maior à medida que aumentar o raio desta.

Os primeiros organismos podem ter sido de forma esférica, de modo que o nosso exemplo anterior pode ser aproveitado. Tôdas as substâncias que a célula necessita para sua vida devem passar através da membrana celular, ou seja, pela superfície da célula. Uma vez dentro da célula, as substâncias são distribuídas por difusão por todo o volume da matéria viva.

As outras condições permanecendo constantes, o tempo necessário para as substâncias se difundirem através da matéria viva, que constitui a célula, depende da forma e do tamanho desta célula. A difusão é um processo vagaroso. À medida que aumenta a quantidade de matéria viva, o processo de difusão se torna cada vez menos eficiente, como mecanismo de distribuição de substâncias, e maior quantidade de materiais precisa atravessar a membrana para atender às necessidades da célula. Ao mesmo tempo, a membrana ficaria com superfície menor em relação ao volume da célula. Todos os tipos de moléculas, incluindo os produtos das reações químicas que ocorrem na célula, teriam maior distância para percorrer por difusão*.

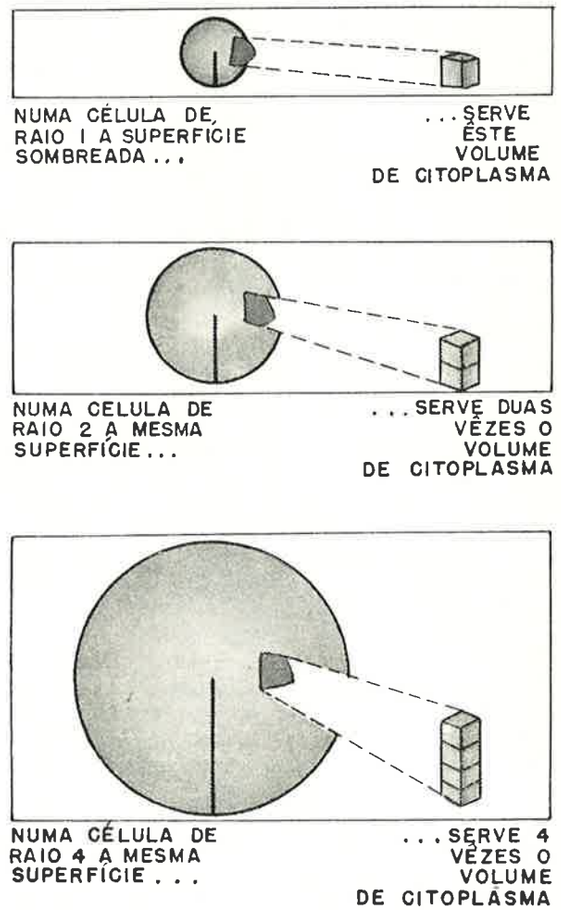


Fig. 7-15 Quando o raio de uma esfera dobra, a superfície torna-se 4 × maior que a superfície original, enquanto que o volume se torna 8 × maior.

(*) Isto é válido se partirmos da idéia de que a eficiência de transporte é o fator limitante do crescimento, mas resta provar sua veracidade.

(*) Deve-se lembrar que existem, na célula, correntes citoplasmáticas; elas facilitam o transporte que, assim, não dependeria apenas do fenômeno da difusão.

Certamente, uma maneira de melhorar a eficiência da distribuição de materiais seria uma célula grande dividir-se em duas menores, mas o problema para os heterótrofos primitivos era mais complicado que uma simples divisão. Cada uma das células menores deveria ter as mesmas substâncias e condições essenciais para a vida continuar. Uma vez que a divisão celular exata é um fenômeno comum nos organismos vivos atuais, deve ter sido uma conquista dos organismos primitivos.

7 — 9 O que leva a célula a se dividir?

Crescendo, a célula atingiria um tamanho que, por si só determinaria sua divisão, ou seria também necessária a manifestação de outros fenômenos internos?

Várias experiências têm sido feitas para esclarecer êsse fenômeno. Uma delas, feita com ameba, forneceu informação valiosa. Um única ameba foi isolada e observada e, antes que alcançasse o tamanho em que poderia ocorrer a divisão celular, o experimentador reduziu seu tamanho, cortando um pedaço de citoplasma; a ameba cresceu novamente até o tamanho primitivo mas não entrou em divisão. Novamente, um pedaço do citoplasma foi cortado e novamente o animal cresceu até o tamanho primitivo mas não se dividiu. Repetiu-se a operação muitas vêzes e o resultado foi sempre o mesmo. Em uma experiência, uma ameba foi cortada diàriamente durante quatro meses e durante êste tempo não se dividiu. Ao mesmo tempo, uma ameba contrôle, livre para crescer e dividir-se, sofreu 65 divisões sucessivas. Êste tipo de experiência indica que há uma relação entre o tamanho da célula e o momento em que a divisão ocorre. Mas será o tamanho o único fator?

Medindo-se cuidadosamente muitas amebas, foi possível determinar o tamanho que atingem antes de iniciar a divisão. Que se deve esperar se, nesse momento, pouco antes da célula entrar em divisão, um pedaço de citoplasma fôr cortado? Esta experiência foi tentada e, neste caso, a cirurgia não fêz parar a divisão celular. Aparentemente há necessidade de um "sinal" para iniciar o processo da divisão. Desde que êsse sinal tenha sido dado não pode ser cancelado pela remoção do citoplasma (fig. 7-16).

As duas experiências nos permitem concluir que: (1) mantendo-se uma ameba sob um certo tamanho, faz-se parar o sinal para a divisão celular; (2) uma vez dado o sinal para a divisão, o tamanho não tem mais influência.

A divisão celular foi uma aquisição dos organismos primitivos que os tornou capazes de vencer as desvantagens do tamanho, além de permitir que êles se multiplicassem.

7 — 10 Problemas ulteriores à duplicação

A divisão celular não pode ocorrer ao acaso. A célula biològicamente bem sucedida deve ter algum processo de transmitir esta capacidade para as duas novas células resultantes da divisão.

Lembre-se que as moléculas de DNA são as moléculas mestras de uma célula. Se o DNA pode ser duplicado, de maneira que as duas novas células recebam uma cópia dessas moléculas, estarão elas igualmente aptas a ser bem sucedidas. Supusemos que as instruções biológicas nos heterótrofos primitivos estavam contidas, de alguma forma, nas moléculas de DNA. Também supusemos que as instruções eram transmitidas às novas células no momento da divisão.

> **Suposição 10.** Os ácidos nucléicos poderiam duplicar-se e as instruções biológicas, contidas na sua estrutura química, seriam transmitidas às células recém-formadas, no momento da reprodução celular.

Vimos que o DNA tem duas importantes funções na vida das células: controla as atividades das células, nas quais é normalmente encontrado e, em alguns casos, quando é transferido para outras células, que têm características diferentes, pode exercer seu contrôle sôbre as atividades destas.

Outra importante característica do DNA é que essa molécula é capaz de duplicar-se produzindo cópias exatas de si mesma. É o processo da **autoduplicação.**

A autoduplicação é uma propriedade fundamental da vida. Compreendemos isso quando consideramos a espantosa semelhança que existe nas gerações sucessivas das formas vivas. Todos os sêres vivos fazem cópias de si próprios: os sêres humanos dão origem a mais sêres humanos; ciprestes produzem mais ciprestes; os paramécios dão origem a mais paramécios; todos com acurada precisão.

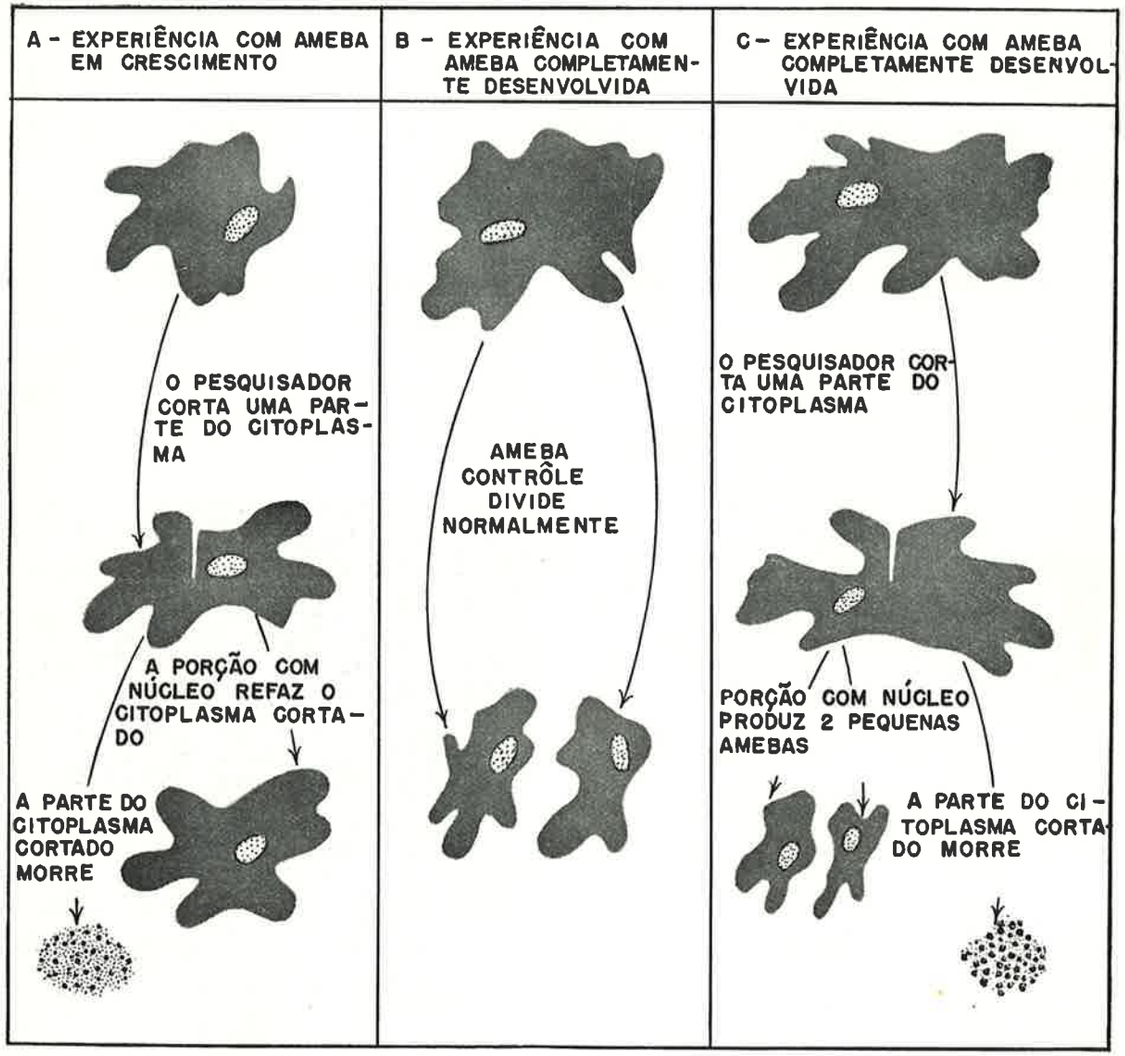


Fig. 7-16 Quando é cortado um pedaço de citoplasma de uma ameba, ainda em crescimento, a parte com o núcleo regenera o citoplasma perdido (A). Uma ameba completamente desenvolvida divide-se normalmente (B). Uma ameba completamente desenvolvida ao ter o citoplasma parcialmente removido, dá origem a duas pequenas amebas.

Qual é a base química da autoduplicação? Nas formas superiores pouca coisa passa de geração a geração, exceto os ácidos nucléicos. As moléculas de DNA devem fazer cópias de si mesmas, as quais são transmitidas dos pais aos descendentes. Concluímos, então, que a autoduplicação ocorre em um nível molecular e um dos grandes desafios aos biólogos tem sido descobrir *como* as moléculas de DNA duplicam-se com tal precisão.

...À medida que a célula cresce, seu volume aumenta muito mais ràpidamente que sua superfície. O processo de difusão se torna, por conseguinte, cada vez menos eficiente como mecanismo para distribuição de materiais através da célula. Os organismos primitivos bem sucedidos, provàvelmente, atingiram um estágio mais evoluído, quando a duplicação se tornou essencial para a vida da célula.

Os biólogos concluíram, das experiências feitas

com amebas, que há, pelo menos, dois fatôres que levam a célula a se dividir. Um dêles é o tamanho da célula: se o citoplasma é mantido menor do que um determinado volume, a célula não consegue se dividir. Outro fator é um sinal interno que leva a célula a se dividir mesmo se a quantidade de citoplasma fôr grandemente reduzida.

A autoduplicação é uma característica de todos os sistemas vivos. Quando uma célula se divide, as moléculas mestras de DNA duplicam-se antes de serem distribuídas às novas células.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. De que processo depende a distribuição de materiais dentro de uma célula?
2. Quais são as desvantagens que a célula encontra em aumentar de tamanho?
3. Que outro fator, além do tamanho, afeta o momento em que a célula entra em divisão?
4. Por que foi importante para os heterótrofos primitivos desenvolverem um mecanismo preciso para se reproduzirem?

UM MODÊLO MOLECULAR DE DNA

7 — 11 Indícios para resolução do mistério do DNA

Para podermos compreender bem como o DNA se duplica, precisamos conhecer melhor a estrutura de sua molécula. Embora esta seja bastante grande, não tem estrutura muito complicada: é constituída por apenas *quatro nucleotídeos* diferentes (pág. 00).

Quando se compreendeu a importância do DNA, a atenção dos pesquisadores voltou-se para a sua provável estrutura e disposição dos nucleotídeos na molécula. Os biólogos suspeitavam de que muitas questões poderiam ser resolvidas se a molécula pudesse ser visualizada corretamente. Em outras palavras, queriam saber como era a molécula para determinar sua função.

Os bioquímicos propuseram diferentes maneiras pelas quais os nucleotídeos poderiam ligar-se uns aos outros. Informações sôbre o DNA começaram a acumular-se e, quando amostras puras foram conseguidas, sua estrutura molecular pôde ser estudada por difração de raios X.

Quando uma pequena amostra de uma substância pura é colocada junto a uma fonte de raios X, êstes atravessam a substância e são difratados em diferentes direções que dependem da estrutura da molécula. Os raios X produzirão uma sombra das moléculas sôbre um filme fotográfico, formando-se a imagem com regiões claras e escuras. Êste quadro, para um observador experimentado, revela muito da estrutura da molécula. É semelhante, de alguma maneira, à sombra de um objeto que pode ser obtida em uma tela, se colocarmos uma fonte de luz em posição apropriada. Embora seja impossível vê-lo diretamente, se olharmos para a tela poderemos descobrir muito da estrutura do objeto, analisando cuidadosamente sua sombra. De modo semelhante os cientistas podem dizer muito da estrutura de moléculas, analisando sua "sombra" de direção dos raios X.

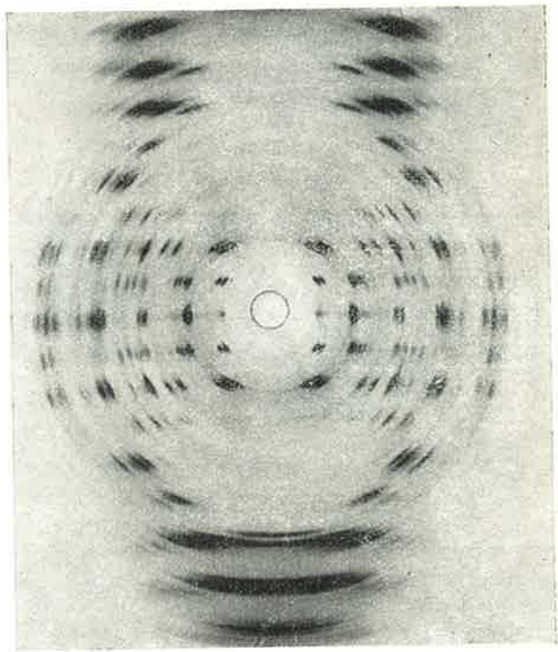
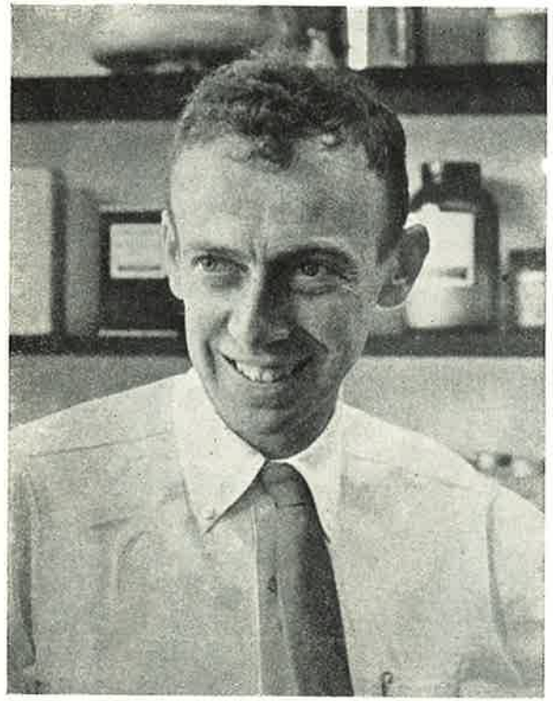


Fig. 7-17 Uma fotografia do DNA obtida por difração de raios X.

Maurice H. F. Wilkins e seus colaboradores, na Inglaterra, interpretaram um quadro de DNA obtido por difração de raios X, (fig. 7 — 17) afirmando que as bases púricas e pirimídicas, que são moléculas planas, estavam "empilhadas" umas sôbre as outras.

Uma outra informação foi obtida comparando análises químicas das moléculas de DNA de diferentes tipos de organismos. Achou-se que em qualquer DNA o número de adenina-nucleotídeos era sempre igual ao de timina-nucleotídeos; também, o número de guanina-nucleotídeos era sempre igual ao de citosina-nucleotídeos. Isto parece indicar que os nucleotídeos ocorrem aos pares na molécula de DNA.

Êstes indícios foram agrupados por James D. Watson e Francis H. C. Crick, dois bioquímicos inglêses. Em 1953, quando Watson tinha 26 anos de idade e Crick 37, propuseram um modêlo para a molécula de DNA que levava em consideração todos os dados até então existentes. Em 1962 Watson, Crick e Wilkins receberam o prêmio Nobel em Medicina e Fisiologia. Seu trabalho forneceu a base para grande parte da genética moderna. Vamos agora examinar o modêlo de DNA, proposto por êles, para ver como um modêlo molecular é construído de maneira a se ajustar a dados experimentais.



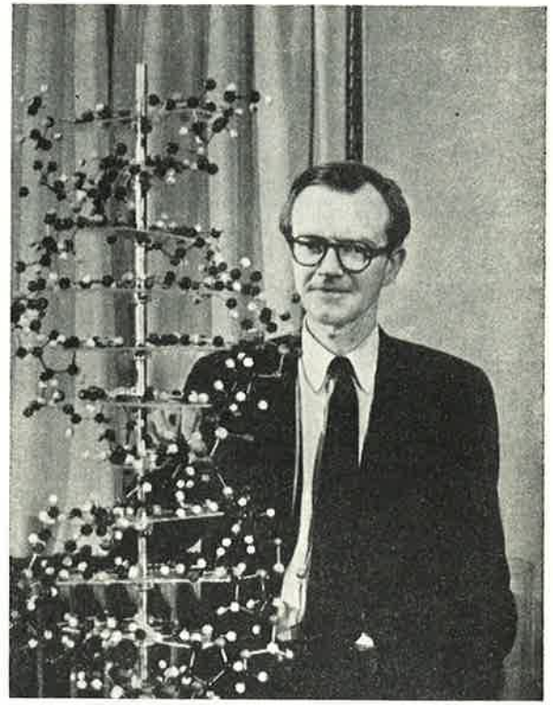


Fig. 7-18 James D. Watson à esquerda, e **Francis H. C.** Crick propuseram em 1953 um modêlo para a estrutura da molécula do DNA, baseados nos estudos da difração de raios X, feitos por M. F. Wilkins (à direita). Os três dividiram o prêmio Nobel em 1962 por êsse trabalho.

7 — 12 Um modêlo molecular

Que significa um "modêlo" de molécula? De certa maneira, um modêlo molecular tem semelhança com modelos de aviões, navios e automóveis. Um modêlo de um submarino atômico, por exemplo, é uma aproximação do objeto real, em miniatura. O modêlo nos ajuda a compreender como um submarino atômico é construído e como funciona.

Da mesma maneira, o modêlo de uma molécula auxilia-nos a compreender como ela é constituída. Neste caso não se pode observar o objeto real diretamente, uma vez que as moléculas são muito pequenas para serem vistas a ôlho nu ou ao microscópio comum. Pode-se conseguir a fotografia da molécula de DNA com o microscópio electrônico, mas não podemos saber de que maneira os átomos se dispõem na molécula. Pode-se ter uma idéia, entretanto, do comprimento e diâmetro da molécula.



Fig. 7-19 Uma hélice dupla pode ser formada torcendo uma escada com lados flexíveis. De acôrdo com o modêlo de Watson e Crick, a molécula do DNA tem a forma de uma escada helicoidal.

O modêlo de um submarino é menor do que o submarino real, mas o modêlo de uma molécula é muito maior do que a molécula real. É constituído com base em medidas moleculares indiretas, aplicando o que se sabe sôbre o seu comportamento químico.

Em Ciência, portanto, um modêlo pode ser uma construção hipotética, baseada nos melhores dados disponíveis.

7 — 13 O modêlo em "escada de corda"

No seu primeiro trabalho, publicado em 1953, Watson e Crick propuseram um modêlo para a molécula de DNA. Usando os dados obtidos por Wilkins, por meio de estudos da difração dos raios X, Watson e Crick concluíram que a molécula de DNA é semelhante a duas cordas enroladas, uma sôbre a outra, na forma de uma *dupla hélice*. Êles escreveram:

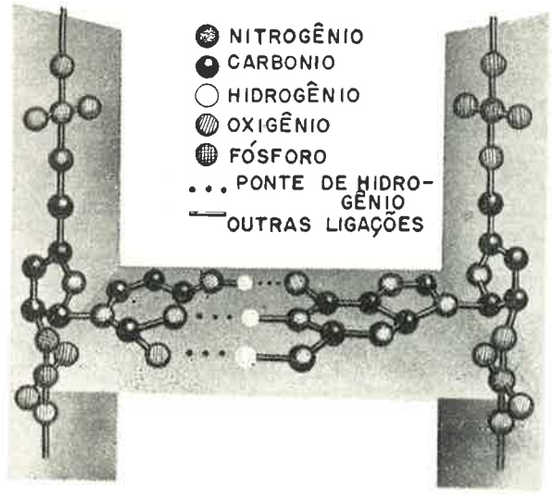
> Desejamos chamar a atenção para uma estrutura radicalmente diferente para ... o ácido desoxirribonucléico. Esta estrutura tem duas cadeias helicoidais enroladas ao redor de um mesmo eixo...[1]

Esta dupla hélice pode ser fàcilmente compreendida se imaginarmos uma escada de corda, como mostra a figura 7 — 19. Enrolando-se a escada, de alto a baixo, forma-se uma dupla hélice.

Para prosseguir nessa analogia, as partes verticais dessa escada especial seria constituídas pelas moléculas de ácido fosfórico e de desoxirribose dos nucleotídeos. Os degraus seriam constituídos por bases púricas e pirimídicas. O modo exato pelo qual estas bases estariam pareadas, formando os degraus, foi também claramente explicado por Watson e Crick:

> ...O aspecto original da estrutura é a maneira pela qual as duas cadeias são mantidas juntas pelas bases púricas e pirimídicas. ...Estas dispõem-se aos pares; as de uma cadeia ligam-se por pontes de hidrogênio às da outra cadeia, de maneira que ambas ficam lado a lado. ...Uma das bases do par deve ser purina e a outra uma pirimidina para que a ligação ocorra. ...Êstes pares são: adenina (purina) com timina (pirimidina) e guanina (purina) com citosina (pirimidia). ...Em outras palavras, se uma adenina é um membro do par em uma das cadeias, então, de acôrdo com essas suposições, o outro membro deve ser timina: a mesma coisa para guanina e citosina[2].

CURSO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO



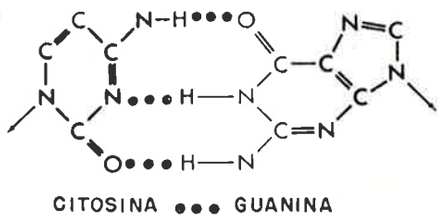


Fig. 7-20 Um degrau da "escada" de DNA indicando como a citosina se prende à guanina por pontes de hidrogênio.

Assim, de maneira breve e completa, foi apresentado o resto do modêlo. Cada degrau da escada seria constituído de uma purina ligada a uma pirimidina. Adenina sempre estaria pareada com timina e guanina com citosina. Em cada caso, essas bases se unem por ligações químicas fracas, chamadas *pontes de hidrogênio,* que são ligações químicas entre átomos de hidrogênio e certos átomos maiores, tais como oxigênio e nitrogênio. Na figura 7 — 20 vemos um exemplo de como a citosina se "encaixa" com a guanina e como se ligam por meio de pontes de hidrogênio.

Na figura 7 — 19 você pode ver como nossa escada de corda é transformada em molécula de DNA, segundo a hipótese de Watson e Crick. Analisando o modêlo apresentado por êles temos:

(1) A molécula é formada por dois filamentos enrolados, um ao redor do outro, numa dupla hélice.
(2) Cada filamento é formado por uma cadeia de nucleotídeos.
(3) Um nucleotídeo é composto por um grupo fosfórico, uma molécula de desoxirribose e uma base nitrogenada, púrica ou pirimídica.
(4) Os nucleotídeos de cada cadeia são ligados entre si por grupos fosfóricos.
(5) As duas cadeias são ligadas por pontes de hidrogênio entre cada base púrica e pirimídica do par.

Apesar de as ligações de hidrogênio serem fracas, há, na molécula de DNA, milhares de pontes de hidrogênio ligando os pares de bases púricas e pirimídicas das duas cadeias.

7 — 14 A utilidade do modêlo

O valor de um modêlo científico é medido pela sua utilidade na solução de problemas. Um dêsses problemas é saber como a molécula de DNA é capaz de duplicar-se, de maneira que cada nova célula receba o mesmo tipo de DNA da célula original.

Nisto, o modêlo de Watson-Crick é muito útil porque, baseado nêle, pôde-se imaginar um mecanismo, admirável pela sua simplicidade, para a duplicação precisa da molécula de DNA. O mecanismo depende das formas das moléculas das bases púricas e pirimídicas. Devido às suas formas particulares e ao fato de as ligações de hidrogênio só funcionarem em pequenas distâncias, adenina pode parear sòmente com timina e guanina sòmente com citosina (fig. 7 — 21). Segundo o modêlo, o número de adeninas, presentes em um determinado tipo de DNA, seria sempre igual ao número de timinas; o número

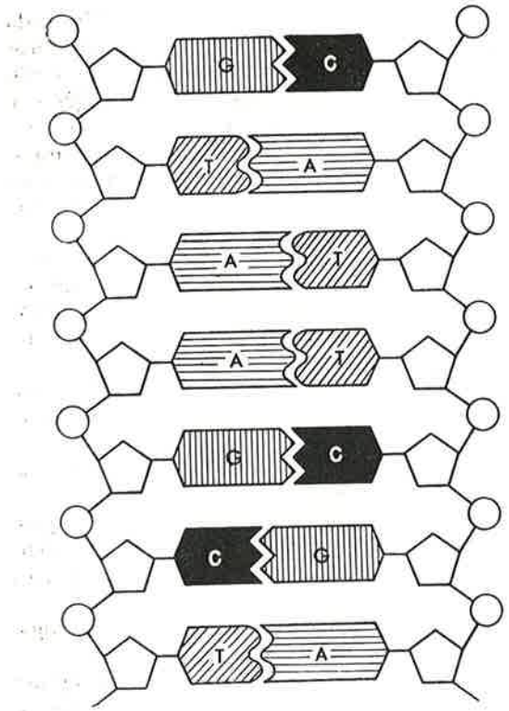


Fig. 7-21 Representação simbólica de uma pequena porção da molécula de DNA, em um único plano, para facilitar o estudo.

de guaninas seria igual ao de citosinas. Isto foi demonstrado claramente em várias experiências.

Voltemos agora para os símbolos dos vários nucleotídeos introduzidos nas figuras 7 — 9 e 7 — 10 (págs. 00 e 00). Se desenrolarmos uma pequena parte do modêlo de DNA e usarmos nossos símbolos para representar os nucleotídeos, o esquema obtido será o da figura 7 — 21.

Note, nesta figura, que a cadeia da esquerda não tem os nucleotídeos arranjados em ordem determinada. Os nucleotídeos de uma única cadeia podem estar ligados entre si em qualquer arranjo, e cada um dêles pode estar repetido tantas vêzes quanto se desejar, sendo possível um número ilimitado de arranjos. Uma vez estabelecida a ordem dos nucleotídeos em uma cadeia, estará também determinada a sua ordem na outra. De acôrdo com o modêlo, a timina deve sempre parear com adenina e citosina com guanina.

Sabemos, com base em medidas cuidadosas, que tanto a composição química como a quantidade total de DNA, em tipos semelhantes de células, permanecem constantes de geração em geração. Isto significa que tanto a *qualidade* como a *quantidade* de DNA devem permanecer as mesmas em células semelhantes, originadas das mesmas células ancestrais. Um modêlo, para explicar a duplicação das moléculas de DNA, deve preencher ambas essas exigências.

Podemos imaginar que as ligações fracas de hidrogênio que unem a dupla hélice da molécula de DNA funcionam de maneira semelhante a um fecho zíper. Se começarmos em uma das extremidades da molécula, podemos separar cada base púrica da pirimídica com que pareia.

Entre as matérias-primas da célula deve haver uma variedade de nucleotídeos. À medida que as duas cadeias se separam, *novos* nucleotídeos, iguais aos anteriores, substituem-nos. Os não adequados são repelidos porque não se "encaixam". Por exemplo, um grupo adenina pode ligar-se apenas com um grupo timina. Na cadeia oposta, a timina original forma uma ligação com um nôvo adenina-nucleotídeo para completar novamente a cadeia dupla. Êste processo é mostrado na figura 7 — 22.

Pouco a pouco, a dupla hélice abre-se ao longo de seu comprimento, à maneira de um zíper, e novos nucleotídeos do mesmo tipo — o único capaz de ligar adequadamente — são acrescentados à cadeia, como mostra a figura 7 — 23.

Quando a substituição atinge a extremidade oposta da molécula de DNA, as duas cadeias *originais* se separam. Cada cadeia original substituiu os nucleotídeos perdidos por novos nucleotídeos e do mesmo tipo (fig. 7 — 24).

7 — 15 Teste do modêlo

No primeiro trabalho, Watson e Crick reconheceram o valor de seu modêlo, quando disseram: "não nos escapou que o pareamento específico que postulamos sugere imediatamente um mecanismo viável de cópia para o material genético".[3]

Podemos agora testar o modêlo para ver se êle fornece uma explicação para a duplicação exata da molécula de DNA.

O modêlo explica a formação de duas cadeias duplas onde antes havia apenas uma. Devemos agora comparar, cuidadosamente, a figura 7 — 22 com a figura 7 — 25 para ver se as novas moléculas são exatamente iguais à molécula original. Vemos que, de acôrdo com o modêlo, a molécula de DNA produziu uma *cópia exata* de si mesma. O modêlo é, então, capaz de fornecer uma explicação de como uma molécula enorme,



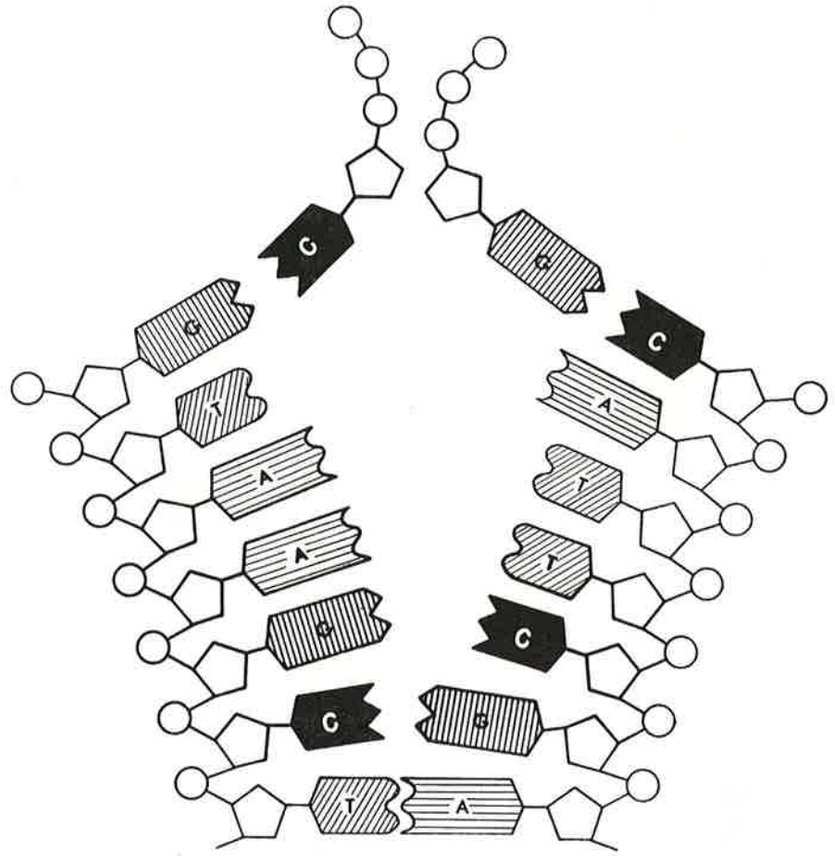


Fig. 7-22 Os dois filamentos da molécula de DNA começam a se separar e novos nucleotídeos do tipo adequado, carregando grupos fosfatos muito ricos em energia, se fixam nos lugares convenientes.

com estrutura variada, pode ser copiada exatamente. Se êste fôr o mecanismo que a célula usa, como acreditamos que seja, então cada descendente recebe uma cópia do material hereditário da célula-mãe (esta síntese é catalisada por uma enzima, DNA-polimerase).

...Informações sôbre a estrutura física e a natureza química do DNA auxiliaram Watson e Crick a imaginar um modêlo molecular. Êste modêlo fornece uma explicação simples para a constância na quantidade e na qualidade de DNA, de geração em geração, em qualquer espécie de organismo.

Sua hipótese diz que a molécula de DNA é uma dupla hélice de nucleotídeos, dispostos à maneira de uma escada em caracol; as duas hélices são ligadas por pontes de hidrogênio e se separam quando as moléculas de DNA duplicam; as bases púricas e pirimídicas de cada uma se ligam a novos nucleotídeos semelhantes aos primitivos. O modêlo de Watson-Crick oferece uma explicação razoável para a exatidão com que a molécula de DNA se duplica. Novamente o avanço da Ciência se tornou possível pela construção de uma hipótese que foi um enorme estímulo para investigações posteriores.

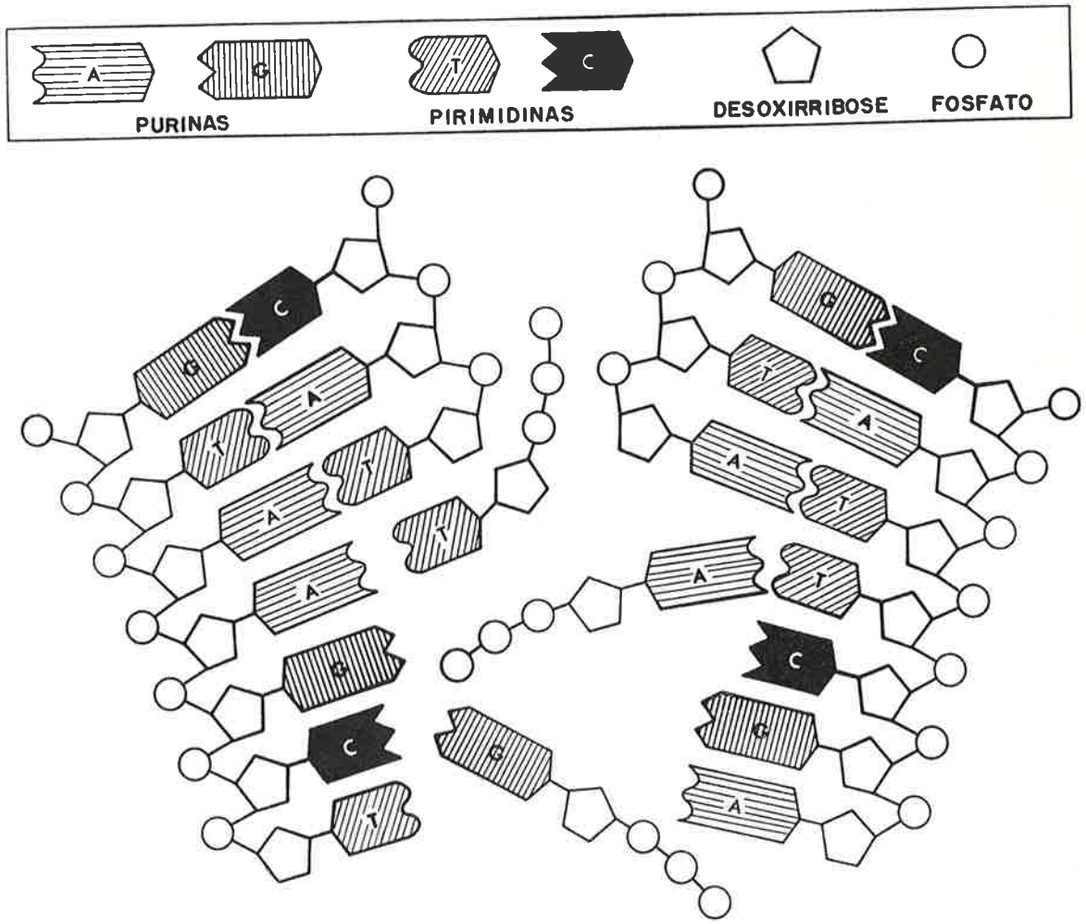


Fig. 7-23 Os dois filamentos originais do DNA se separam completamente e novos nucleotídeos vão sendo acrescentados. Os novos parceiros da purina e pirimidina estabelecem as ligações de hidrogênio entre os pares e cada nucleotídeo fica ligado pelo grupo fosfato ao nucleotídeo seguinte.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Que tipo de molécula se liga ao citosina-nucleotideo na duplicação de uma molécula de DNA? Por quê?
2. Que evidências permitiram a Watson e Crick construir seu modêlo de DNA?
3. Que são pontes de hidrogênio? Qual é a sua importância na explicação do modêlo de Watson-Crick?
4. De que substâncias são compostas as partes verticais da "escada de corda" do DNA?

SUMÁRIO

Talvez a conquista mais importante para os sêres heterótrofos primitivos tenha sido o desenvolvimento de um mecanismo para perfeita duplicação. Neste processo os ácidos nucléicos tiveram importância fundamental, pois desempenham nas células dois importantes papéis: controlam as atividades celulares e são capazes de se autoduplicarem. Assim se tornaram as moléculas mestras da célula e a primeira ponte genética entre as várias gerações de organismos.

Os ácidos nucléicos são formados por sòmente alguns tipos de moléculas menores, os nucleotídeos. Tanto no RNA como no DNA cada nucleotídeo é constituído por ácido fosfórico, um açúcar e uma base nitrogenada. O modêlo da estrutura de DNA, sugerido por Watson e Crick, oferece uma hipótese para explicar como essas moléculas podem duplicar-se com perfeição.

De acôrdo com êsse modêlo, a molécula de DNA é uma estrutura semelhante a uma escada de corda. A escada é espiralada, de maneira que seus lados verticais tomam a forma de uma dupla hélice. Cada degrau da escada consiste em um par de bases nitrogenadas: uma base púrica ligada a uma pirimídica. Quando a molécula se duplica, a escada se parte no meio de cada degrau: novos nucleotídeos correspondentes se formam e se localizam entre os já existentes. Cada nova molécula contém, assim, metade da molécula original e as estruturas das duas novas moléculas são idênticas.

Nossa compreensão inicial de como agem os ácidos nucléicos baseara-se em trabalhos feitos com microrganismos. Ácidos nucléicos de bactérias são capazes de controlar a estrutura e atividades das células nas quais ocorrem e podem fazer o mesmo quando introduzidas em outras células. Certos vírus (bacteriófagos) podem impor suas moléculas de DNA a certas células que invadem e mobilizar as substâncias aí existentes para produzir mais vírus iguais. Assim, os ácidos nucléicos são as "moléculas mestras" capazes de dirigir as atividades celulares.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Qual a relação entre um nucleotídeo e uma molécula de ácido nucléico?

2. Que técnicas usam os químicos para analisar os ácidos nucléicos?

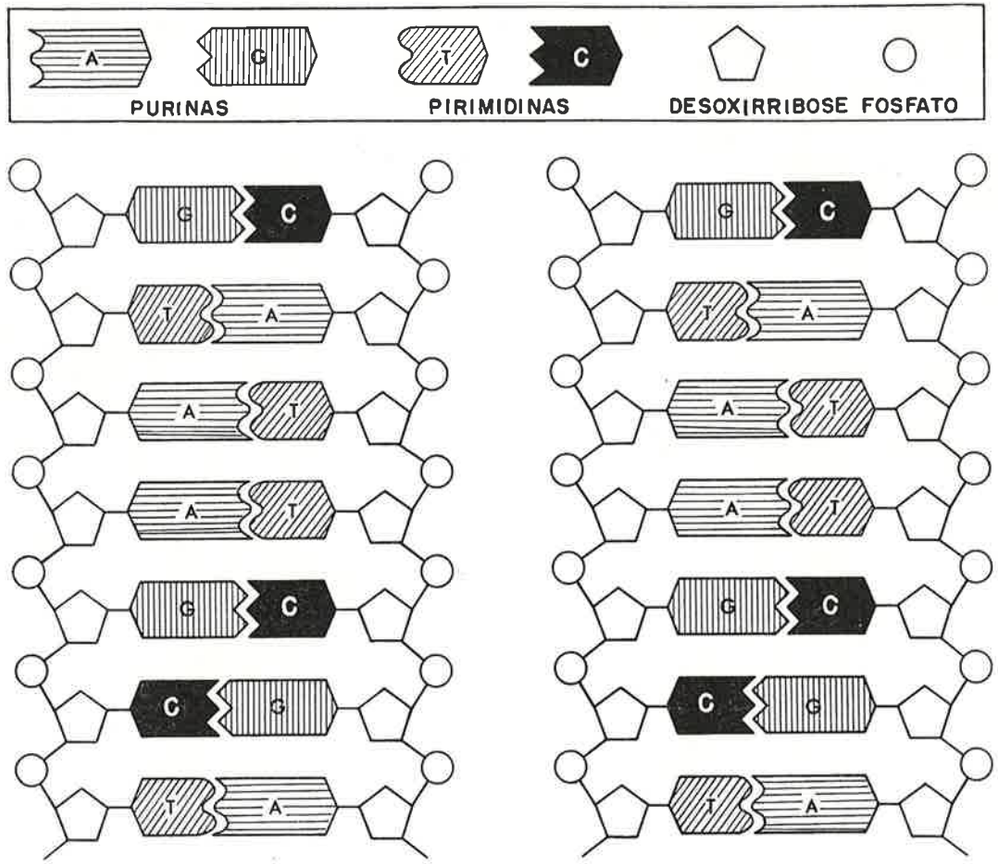


Fig. 7-24 O processo de duplicação do DNA agora se completou. Cada nova molécula de ácido nucléico é exatamente igual à original.

3. Como é possível obter mais que um tipo de DNA? O mesmo se aplica ao RNA?
4. Pode o DNA passar através das membranas celulares das células dos pneumococos? Justifique sua resposta.
5. De que maneira instrumentos aperfeiçoados auxiliaram no estudo do vírus?
6. Quais são as duas importantes funções do DNA na vida das células?
7. Por que o processo da divisão celular deve ser preciso?
8. Por que a quantidade e qualidade de DNA nas células, devem permanecer s mesmas de geração a geração?
9. Uma das bases dos ácidos nucléicos é adenina. Cite uma outra importante molécula biológica que também contenha adenina.

(B) 10. Qual a evidência que permite supor que o DNA controla as atividades celulares?

11. Que tipo de evidência indica que o DNA pode se reproduzir?
12. Se um cubo de 1 mm de aresta é aumentado para 4 mm, qual o aumento de sua superfície e de seu volume? Qual a razão entre os dois aumentos? Por que as células cúbicas estão sujeitas às mesmas restrições em tamanho que as esféricas?
13. Que evidência indica que os nucleotídeos ocorrem aos pares nas moléculas de DNA?
14. Do ponto de vista químico por que as bases nitrogenadas pareiam sòmente com determinadas outras bases?
15. Em que fase da evolução os ácidos nucléicos se tornaram parte dos organismos vivos? Explique sua resposta.
16. Que método usam os químicos para quebrar as moléculas dos ácidos nucléicos?
17. Que diferentes moléculas os químicos encontram quando analisam uma amostra de DNA?

(C) 18. Divisão é uma das maneiras para vencer as desvantagens do tamanho celular. Há outros processos usados pela célula para resolver os problemas de crescimento (diminui, ou simplesmente pára de crescer)?

19. Que é um modêlo científico e de que maneira pode ser útil? Como comparar um modêlo científico a uma hipótese?
20. Como é testado um modêlo científico?
21. Como Watson e Crick testaram seu modêlo?
22. Em 1962, Berhard Schramm, bioquímico alemão, misturou açúcares simples, aminoácidos, nucleotídeos e compostos fosfatados em um frasco; não havia enzimas presentes. Tratou a mistura, submetendo-a a aquecimento e pressão moderados, provàvelmente condições semelhantes as existentes nos oceanos primitivos, antes de aparecer vida. No produto êle encontrou um tipo simples de ácido nucléico. Como essa experiência se assemelha à de Miller ou à de Calvin? Que críticas podem ser levantadas contra essa experiência? Podem ácidos nucléicos ser sintetisados por métodos semelhantes aos usados por Fox? Explique.

OBRAS MENCIONADAS

1 WATSON, J. D. and F. H. CRICK, "Molecular Structure of Nucleic Acids". *Nature*, vol. 171, n.º 4356, 1953, pp. 737-738.
2 Ibid., pp. 737-738.
3 Ibid., pp. 737-738.

LEITURAS RECOMENDADAS

PAVAN, Crodowaldo e A. B. Cunha, *Genética*, capítulos 1 e 2.

RABINOWITCH, Eugene I. "Fotossíntese", *Física e Química da Vida* (trad.) *Scientific American*, ed. Ibrasa, 1961.

Publicações da revista *Scientific American:*

JACOB, François and Elie L. Wollman. "Viruses and Genes", junho de 1961.

HORNE, R. W. "The Struture of Viruses", janeiro de 1963.

KAMEN, Martim D., "Fixação de Nitrogênio", *Física e Química da Vida* (trad.) *Scientific American*, ed. Ibrasa,

O CÓDIGO GENÉTICO

CAPÍTULO 8

Foi demonstrado experimentalmente que as moléculas de DNA de pneumococos e de bacteriófagos são capazes de controlar as atividades celulares. Êsses resultados deram origem a uma série de problemas: de que modo o DNA exerce êsse contrôle? Como as células transmitem suas características aos seus descendentes? Serão essas propriedades comuns a todos os sêres vivos?

Neste capítulo veremos como a linguagem da vida é escrita em código molecular. Essa linguagem, quando decifrada pela células, lhe diz como sintetizar proteínas específicas. Essas proteínas, em muitos casos, são enzimas que catalisam reações químicas na célula, controlando assim, a maioria das atividades celulares.

A LINGUAGEM DA VIDA

8 — 1 Como a célula transmite as suas características?

Quando os organismos se reproduzem, de que maneira transmitem suas características particulares aos descendentes? São possíveis, pelo menos, duas hipóteses, para responder a essa questão.

Uma delas admite que cada tipo de molécula da célula possa produzir uma *cópia exata* de si mesma no momento da divisão celular; dessa maneira, as novas células teriam todos os tipos de substâncias e as estruturas indispensáveis à vida. Isto significaria que a capacidade de autoduplicação seria inerente a tôdas as moléculas orgânicas existentes na células. Até o momento, entretanto, não há nenhuma prova de que açúcares, gorduras, proteínas e a maioria de outras moléculas orgânicas possam duplicar-se.

Consideremos a outra hipótese: *um* grupo de moléculas contém a informação sôbre como fabricar os *outros* tipos de moléculas existentes em uma célula. Essas moléculas funcionariam como uma sede de instruções sôbre como sintetizar os diversos tipos de moléculas necessárias para a vida celular. É atualmente, a hipótese mais aceita pelos biólogos.

Muitas experiências indicaram que os *ácidos nucléicos* podem ser êsse grupo de moléculas que controla as atividades celulares. Sabe-se também que os ácidos nucléicos podem produzir cópias exatas de si mesmos e que foram encontrados nas células reprodutoras de tôdas as formas superiores de vida. Portanto, os ácidos nucléicos não só exercem um grande contrôle sôbre os processos celulares, como também ligam quìmicamente uma geração a outra.

Por causa dessas propriedades, os biólogos crêem que os ácidos nucléicos fazem parte dos sêres vivos bem sucedidos, desde os tempos mais remotos. Os ácidos nucléicos dos heterótrofos primitivos podem ter exercido o contrôle das atividades celulares, mas o *mecanismo* dêsse contrôle era desconhecido até há bem pouco tempo.

Os biólogos, em busca de uma explicação para a capacidade de autoduplicação do DNA, passaram a estudar a natureza dessas moléculas. Há alguma coisa nessa estrutura que indique essa capacidade de transmitir informações? Essas ins-

truções poderiam ser transmitidas na forma de um código? Como passo seguinte na hipótese heterotrófica admitiremos que isso seja verdadeiro. Nossa suposição é, então, a seguinte:

Suposição 11. Os ácidos nucléicos contêm, em sua estrutura, mensagens em código, que são instruções específicas para o contrôle das atividades celulares.

8 — 2 Símbolos do código

Um código é um sistema de símbolos usado para traduzir informações de uma forma em outra. A linguagem escrita é um tipo de código inventado pelo homem que, assim, com poucos símbolos, pode transmitir suas idéias e experiências a outros homens. O nosso alfabeto tem 23 símbolos e mais sinais de pontuações e acentos e, com êles, é possível transmitir um número ilimitado de palavras; mas, para uma pessoa que não entenda português, nenhuma delas tem significado.

Os códigos podem conter qualquer número de símbolos e os mesmos símbolos podem ser usados em diferentes sistemas. Por exemplo, outros idiomas podem usar mais, ou menos letras do que as do nosso alfabeto — o alfabeto havaiano usa apenas doze letras. Alguns códigos usam, em lugar de sinais, orifícios em lugares determinados que podem ser decifrados por um computador.

Quantos símbolos devem haver no código do DNA? Embora suas moléculas sejam muito longas, êle é formado apenas por quatro tipos de nucleotídeos, que seriam as quatro "letras" dêsse alfabeto especial em que se escreve a linguagem da vida.

Nos sêres mais desenvolvidos o único vínculo entre uma geração e outra são as células reprodutoras e tôdas as informações necessárias para formar um pintinho, uma minhoca, um homem, devem estar contidas nas moléculas de DNA existentes nos minúsculos núcleos do espermatozóide e do óvulo.

8 — 3 O código do DNA

Os primeiros passos para a elucidação do código do DNA foram baseados na aceitação do modêlo de Watson-Crick. Sabia-se que as quantidades de cada um dos quatro nucleotídeos variam nos diversos tipos de DNA. Os biólogos admitiram que haveria uma razão para essas diferenças; talvez, vários nucleotídeos, quando dispostos numa certa ordem, representassem alguma "palavra em código", que poderia ser traduzida como parte de uma mensagem cifrada à célula.

Que tipo de mensagem poderia uma célula receber? Sabe-se que cada espécie animal ou vegetal, tem seus tipos particulares de proteína e, mesmo indivíduos diferentes da mesma espécie, podem ter suas proteínas específicas; portanto, as ordens enviadas pelo DNA devem resumir-se na informação para fabricar um tipo determinado de proteína.

Nos sêres humanos, por exemplo, cada indivíduo tem certas proteínas peculiares. Isso se evidencia quando os cirurgiões tentam transplantar pele de um indivíduo para outro. A pele "estranha", com suas proteínas especiais, provoca reações e o enxêrto não "pega", mas entre gêmeos idênticos os enxertos são bem sucedidos, porque êsses indivíduos se originam do mesmo ôvo, recebendo, assim, o mesmo material hereditário. Isto significa que êles têm moléculas de DNA idênticas, com instruções cifradas para fabricar os mesmos tipos de proteínas.

Vimos, no Capítulo 5, que as proteínas são compostas de unidades menores chamadas aminoácidos; portanto, a mensagem que as moléculas de DNA transmitiriam à célula poderia ser nestes têrmos: "um determinado aminoácido deve ficar neste lugar especial da cadeia de aminoácidos, para que uma certa proteína seja fabricada".

Deve haver uma mensagem responsável pela mobilização de cada tipo de aminoácido. Uma vez que há, pelo menos, 20 aminoácidos diferentes, pelo menos 20 mensagens são necessárias. Se cada nucleotídeo estivesse relacionado a um aminoácido, teríamos apenas quatro aminoácidos, codificados pela adenina (A), timina (T), citosina (C) e guanina (G).

É evidente que apenas quatro "letras" não são suficientes para codificar os 20 aminoácidos e, portanto, "palavras" mais complicadas são necessárias. Se *dois* nucleotídeos, em seqüência, significasem *um* aminoácido, então 16 aminoácidos poderiam ser codificados. Essas 16 "palavras" seriam: AA, AT, AC, AG, TA, TT, TG, TC, CA, CT, CC, CG, GA, GT, GC, GG.

Mas essas "palavras" ainda são insuficientes e os bioquímicos concluíram que grupos de, pelo menos, *três* nucleotídeos são necessários para cifrar cada um dos vinte aminoácidos. Agrupando-se os nucleotídeos, três a três, 64 combinações são possíveis, portanto, mais "palavras" do que as necessárias. É possível que algumas dessas forneçam outras informações para a célula, por exemplo: *quando* fabricar uma certa molécula protéica. É provável, também, que muitas das combinações sejam "sem sentido" e, talvez mesmo, possam funcionar como vírgulas, separando o fim de uma mensagem do início de outra.

8 — 4 Decifrando o código

Um dos mais estimulantes e proveitosos capítulos da história da pesquisa em Biologia tem sido o trabalho dos biólogos e químicos que decifraram o código genético. Êsses homens foram capazes de associar um certo significado a uma determinada combinação de nucleotídeos. Realizaram suas experiências com o RNA; sendo êste ácido bastante semelhante ao DNA, os cientistas admitiram que decifrando o código do RNA teriam também o DNA decifrado (fig. 8-1).

O ALFABETO DO DNA	O ALFABETO DO RNA
A (ADENINA NUCLEOTÍDEO)	A (ADENINA NUCLEOTÍDEO)
C (CITOSINA NUCLEOTÍDEO)	C (CITOSINA NUCLEOTÍDEO)
G (GUANINA NUCLEOTÍDEO)	G (GUANINA NUCLEOTÍDEO)
T (TIMINA NUCLEOTÍDEO)	U (URACIL NUCLEOTÍDEO)

Fig. 8-1 Os "alfabetos" do DNA e RNA são constituídos por quatro letras.

O primeiro passo para essa descoberta foi dado por Severo Ochoa, nos Estados Unidos, que já havia ganho o Prêmio Nobel com a descoberta de uma importante enzima (polinucleotídeo-fosforilase) que catalisa a reação na qual os nucleotídeos do RNA se juntam para formar cadeias.

Com essa enzima, um grupo de bioquímicos dos Estados Unidos, fabricou certos tipos especiais de moléculas de RNA. O RNA quando dispunha de uma variedade de aminoácidos, podia fabricar proteínas em tubo de ensaio. Os bioquímicos sabiam que cada tipo de RNA, com sua mensagem especial, determina a fabricação de um tipo especial de proteína. Verificando que tipo de proteína cada tipo de RNA fabricava, foram capazes de interpretar a mensagem.

No primeiro trabalho, bem sucedido, em que usaram essa enzima, os bioquímicos fizeram uma cadeia de RNA com apenas um tipo de nucleotídeo, uracila-nucleotídeo (U). Essa cadeia foi introduzida numa mistura de 20 aminoácidos diferentes e, após a reação, a proteína resultante foi analisada para verificar que aminoácidos tinham sido escolhidos pelo RNA. Encontrou-se sòmente um tipo de aminoácido na composição dessa proteína: fenilalanina.

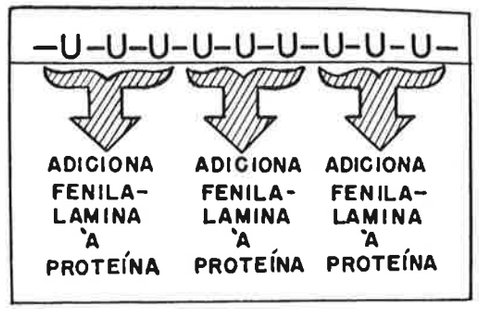


Fig. 8-2 Cada grupo de três nucleotídeos uracil, determina a adição de uma molécula de fenilalanina a uma molécula de proteína.

Vimos que os bioquímicos já haviam concluído que três nucleotídeos podem significar uma palavra do código, à qual corresponde um determinado aminoácido. Podemos, portanto, supor que uma seqüência de três nucleotídeos de uracila pode significar: "ligue-se uma molécula de fenilalanina a outros aminoácidos". Cada grupo de três uracilas-nucleotídeos na cadeia significaria a junção de outra molécula dêste mesmo aminoácido (fig. 8 — 2).

DNA NUCLEOTÍDEO	CORRESPONDÊNCIA RNA
A — ADENINA	U — URACIL
T — TIMINA	A — ADENINA
G — GUANINA	C — CITOSINA
C — CITOSINA	G — GUANINA

Fig. 8-3 As letras do alfabeto do DNA são traduzidas em letras do RNA.

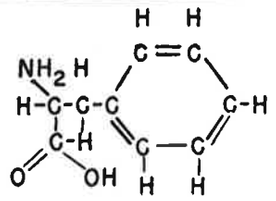
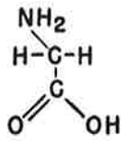
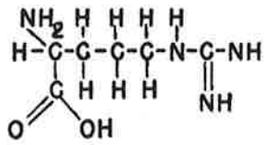
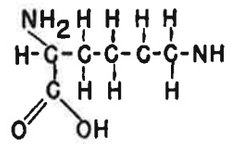
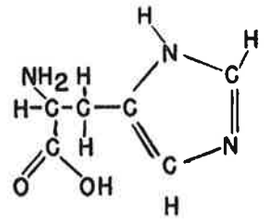
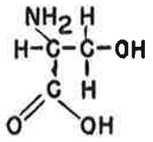
Palavras em código de DNA (Núcleo)	Palavras em código de RNA (Citoplasma)	Aminoácidos fazendo parte de proteína
AAA	UUU	fenilalanina 
ACC	UGG	glicina 
AGC	UCG	arginina 
ATT	UAA	lisina 
ATG	UAC	histidina 
AAG	UUC	serina 

Fig. 8-4 As palavras do código do DNA e do RNA para alguns aminoácidos são mostrados neste diagrama.

Podemos relacionar isto com o código do DNA: os dois alfabetos são muito semelhantes — ambos têm quatro letras; em ambos, três dessas letras são comuns (nucleotídeos de adenina, citosina e guanina) e a quarta letra (uracila-nucleotídeo no RNA e timina-nucleotídeo no DNA) é ligeiramente diferente.

Admite-se que o DNA de uma célula transmita precisamente sua mensagem ao alfabeto do RNA. Isto acontece quando uma cadeia de DNA serve de modêlo para a construção de novas moléculas de RNA no núcleo da célula. Há o mesmo "encaixamento" de nucleotídeos que ocorre na autoduplicação do DNA (Capítulo 7). Por causa da forma das moléculas dos nucleotídeos, a adenina (A) do DNA é traduzida em uracila (U) do RNA, citosina (C) do DNA em guanina (G) do RNA e assim por diante, como mostra a figura 8-3.

Na experiência que mencionamos há pouco, a cadeia de RNA fabricada continha uma seqüência de uracilas-nucleotídeos. Na célula, cada uracila-nucleotídeo (U) do RNA teria sido traduzida de uma adenina-nucleotídeo (A) do DNA. Cada grupo de três adeninas-nucleotídeos do DNA forma um grupo de três nucleotídeos de uracila do RNA. Admitimos, portanto, que a palavra UUU, do código do RNA, seja uma tradução da palavra AAA do código do DNA. Essa palavra do código ordena à célula que acrescente uma molécula do aminoácido fenilalanina à proteína que está sendo sintetizada.

Com esta experiência básica o código pôde ser decifrado. O grupo de bioquímicos que trabalhava no laboratório do Professor Ochoa e muitos outros grupos, descobriram ràpidamente quais as outras palavras do código para o resto dos aminoácidos. Sintetizaram uma série de cadeias de nucleotídeos e introduziram-nas numa mistura de 20 aminoácidos; em seguida, analisavam as proteínas resultantes, identificando os aminoácidos que as compunham (fig. 8-4).

O código genético, aparentemente, é o mesmo em todos os organismos estudados. Isto é mais uma prova de que todos os sêres vivos têm uma origem comum e que os primitivos heterótrofos devem ter respondido de modo semelhante a essas mesmas palavras em código. Essas palavras teriam se juntado formando diferentes grupos de instruções, durante a evolução, e estas diferentes instruções determinariam a síntese de uma variedade de proteínas. Por milhares de anos, a seleção natural favoreceu os organismos que tinham nas células as instruções para fabricar as proteínas mais eficientes.

...Quando uma célula se divide, transmite, por meio do código genético, as suas características às novas células formadas. Os bioquímicos fizeram enormes progressos na decifração dêsse código. Admitem que os símbolos do código são os quatro nucleotídeos dos ácidos nucléicos. Agrupando-se os nucleotídeos três a três, 64 diferentes combinações são possíveis. Há assim um número mais do que suficiente de "palavras" para codificar os 20 aminoácidos existentes.

Quando uma molécula de proteína está sendo sintetizada, a mensagem do código determina que a célula coloque um certo aminoácido numa certa posição na cadeia de aminoácidos. Desde que o código é, aparentemente, o mesmo para todos os sêres vivos, podemos admitir que êle tenha se desenvolvido nos heterótrofos primitivos.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Que é um código?
2. Quantos símbolos são utilizados nos seguintes códigos:
   a) língua portuguêsa
   b) "linguagem do DNA"
   c) "linguagem do RNA"
3. Quando uma célula transmite suas características?
4. Dê um exemplo do tipo de mensagem que o RNA pode transmitir.
5. Como puderam os bioquímicos determinar qual a combinação de nucleotídeos que codifica um aminoácido específico?

CONSTRUINDO MOLÉCULAS DE PROTEÍNAS

8 — 5 O DNA e o RNA de uma célula estão intimamente relacionados

Já vimos que as estruturas do RNA e do DNA são semelhantes. Tôdas as células, até agora examinadas, têm RNA, embora a quantidade varie de uma para outra; as que são mais ricas em RNA realizam maior síntese de proteínas. Por exemplo, os órgãos, em animais superiores, que fabricam enzimas da digestão (sintetizando assim maior quantidade de proteínas) contêm maior teor de RNA; a mesma coisa é observada nas glândulas do bicho-de-sêda, cuja secreção é de natureza protéica. Por isso, pensa-se que o RNA tenha importante papel na síntese de proteínas.

Os biólogos admitem que as instruções primárias para as células estejam codificadas no DNA, embora o DNA não possa agir *diretamente* em tôdas as reações celulares, uma vez que, na maioria das células, está localizado no núcleo, enquanto muitas das atividades celulares ocorrem no citoplasma. Há, portanto, necessidade de transmitir, de algum modo, para o citoplasma, as instruções contidas no DNA.

Pesquisas recentes indicam que há um "mensageiro", identificado como sendo uma pequena fração do RNA total da célula, que recebe as instruções do DNA e as transmite ao citoplasma. A célula responde às instruções levadas ao citoplasma, formando determinadas proteínas.

8 — 6 Onde são produzidas as proteínas?

O RNA existe no citoplasma de quase tôdas as células, porém a quantidade difere de célula para célula. Em regra, 90 % do RNA de cada célula são encontrados no citoplasma e o resto no núcleo. Depois que os biólogos descobriram que o RNA está ligado à síntese de proteínas, passaram a procurar a região *onde* se realizaria essa síntese.

Utilizando a técnica de desmembrar a célula em partes, os bioquímicos encontraram uma grande quantidade de pequenos grânulos no citoplasma (só visíveis ao microscópio eletrônico), os *ribossomos*, localizados ao longo dos canalículos que constituem o *retículo endoplasmático*. Os bioquímicos descobriram que os ribossomos contêm a maior parte do RNA da célula e que as proteínas recém-formadas estão associadas a êles. Várias experiências demostraram que os ribossomos têm papel essencial na síntese de proteínas.

Os quatro elementos que agem no processo da síntese de proteínas são 1) as moléculas de DNA existentes no núcleo; 2) as moléculas de RNA que se movimentam entre o núcleo e o citoplasma; 3) os ribossomos no citoplasma; 4) as moléculas de proteínas fabricadas pela célula. Veremos ainda que há mais um tipo de RNA que também desempenha papel nessa síntese.

8 — 7 Como são fabricadas as proteínas?

Usando várias técnicas diferentes, os cientistas foram capazes de descobrir quais as etapas que ocorrem desde a transmissão das mensagens provenientes do código do DNA até a produção final de proteínas no citoplasma.

Resumindo os passos fundamentais teríamos os seguintes itens, que podem ser acompanhados na figura 8-5:

1. Uma cadeia de uma molécula de DNA controla a síntese de um tipo específico de RNA. Os nucleotídeos adequados pareiam-se — adenina do DNA com uracila do RNA, timina do DNA com adenina do RNA, citosina do DNA com guanina do RNA, guanina do DNA com citosina do RNA. Dêsse modo, a molécula de RNA formada copia a mensagem do DNA (intervém, nessa cópia, uma enzima, RNA-polimerase).

2. Essa nova molécula de RNA (RNA mensageiro) se locomove para o citoplasma, onde se prende a um ribossomo e aí forma um molde para a síntese de proteínas.

3. Moléculas menores de RNA, que constituem o *RNA transportador* ou *solúvel*, ligam-se a aminoácidos simples que estão no citoplasma. Cada aminoácido é apanhado por um tipo específico de RNA transportador que o encaixa no lugar adequado, no RNA mensageiro. Portanto, o RNA mensageiro indica quais aminoácidos serão usados e qual o lugar que devem ocupar na molécula de proteína.

4. Depois da síntese, as novas moléculas de proteína se separam do ribossomo e do RNA transportador. Cada molécula dêste RNA pega outra de aminoácido, como foi feito anteriormente e a traz de nôvo para o ribossomo. O RNA

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

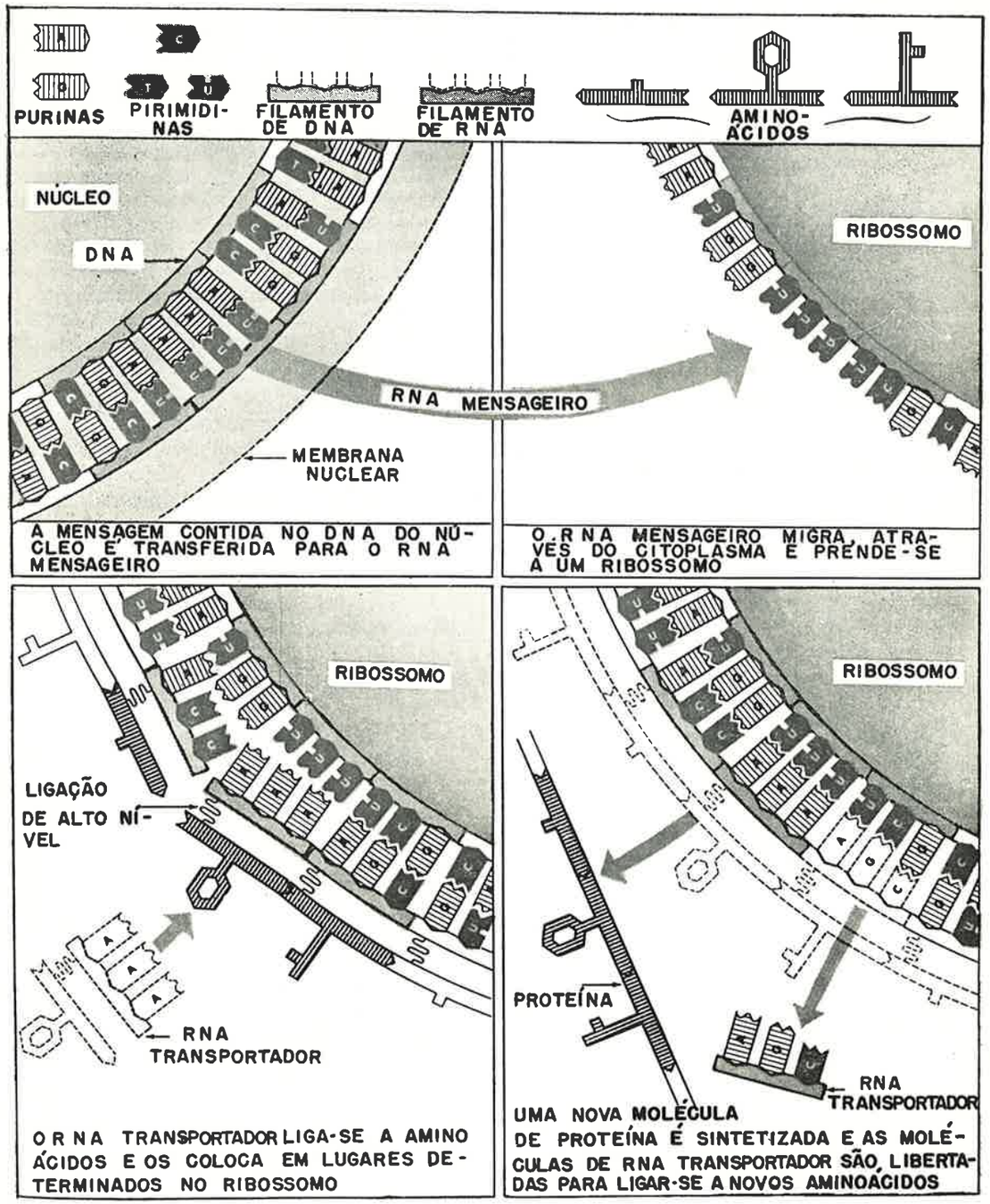


Fig. 8-5 Diagrama ilustrando uma das hipóteses sôbre a síntese de proteínas na célula.

transportador deve também ser codificado, para "reconhecer" a mensagem do RNA mensageiro.

Dêsse modo, as mensagens do DNA servem para que a célula fabrique proteínas específicas e o processo se repete contìnuamente, havendo sempre fabricação dos mesmos tipos de proteínas. Um resumo, muito sucinto, dêste processo seria: "DNA fabrica RNA e RNA fabrica proteína".

A síntese de proteínas nas células dos organismos atuais é provàvelmente muito mais complicada que nos primitivos heterótrofos, pois, à medida que a vida evoluiu, outros tipos de proteínas foram se formando para executar as diversas finalidades das diferentes células. Assim, lentamente, o DNA foi aperfeiçoando o seu contrôle sôbre a síntese de proteína e, portanto, sôbre as atividades celulares.

8 — 8 Proteínas na vida celular

Quando os bioquímicos analisam células, encontram em tôdas elas muitos tipos de proteínas, que dão, a cada célula, suas propriedades específicas.

A própria estrutura da célula depende das proteínas que ela contêm. A membrana celular e a membrana nuclear são parcialmente compostas de proteínas; a parte fluida do citoplasma e as menores estruturas da célula são, também, em grande parte, de natureza protéica. As enzimas são proteínas e já vimos, no Capítulo 6, a importância que têm na vida da célula, pois interferem na maioria das reações químicas celulares: síntese de carboidratos complexos a partir da glicose, síntese de gorduras, síntese de proteínas a partir de aminoácidos (o que significa, também, que as enzimas são necessárias para a síntese de outras enzimas). Muitas enzimas são utilizadas fora das células onde são produzidas, como acontece com as enzimas da digestão da grande maioria de animais, que agem nas cavidades do tubo digestivo.

...As proteínas desempenham um papel fundamental na vida celular, quer fornecendo material para a construção, quer agindo como enzimas. A síntese de proteínas é o resultado de uma seqüência de reações, que tem início quando o DNA manda informações do núcleo ao citoplasma pelo RNA mensageiro; no citoplasma as moléculas dêsse RNA se prendem aos ribossomos e servem como moldes para a síntese de proteínas. Os aminoácidos se ligam em cadeias na seqüência determinada pelos moldes, formando-se, assim, as proteínas características de cada célula.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Onde se localizam as instruções iniciais para a síntese de proteínas?
2. Quais os tipos de RNA encontrados na célula? Que funções desempenham?
3. Como o RNA mensageiro se torna o modêlo para a síntese de proteínas?
4. Onde são fabricadas as proteínas na célula?
5. Discrimine cinco funções exercidas nas células pelas proteínas.
6. Identifique na figura 8-5 os ribossomos e o retículo endoplasmático.

NOVAS MENSAGENS EM CÓDIGO

8 — 9 A origem de novas mensagens

Os biólogos têm agora alguns conhecimentos sôbre como o DNA e o RNA atuam nos organismos atuais. Supomos que o DNA do heterótrofo primitivo também exercia seus efeitos, através de mensagens em código, nas células e as moléculas de RNA se tornaram intérpretes das instruções do DNA. Pelo método já visto nos parágrafos anteriores, várias mensagens de DNA resultaram na síntese de vários tipos de proteínas.

Não há limite para o número de mensagens possíveis emitidas pelo DNA, pois, cada arranjo de nucleotídeos determina a síntese de um tipo diferente de proteína. À medida que os organismos se tornaram mais complexos, suas proteínas se tornaram também mais características. As espécies de vegetais, animais e protistas, hoje existentes, podem ser identificadas pelas proteínas específicas de suas células. Se cada proteína depende de um código contido na molécula de DNA, como se supõe, deve haver muitos tipos de moléculas de DNA e, o nosso próximo problema, é saber como se originam as diferentes mensagens.

Suposição 12. Geralmente os ácidos nucléicos se duplicam dando cópias exatamente iguais, mas mutações ocasionais mudam as mensagens enviadas, causando assim uma mudança nos processos que ocorrem nas células.

O modêlo de Watson-Crick sugere que cada vez que a dupla hélice de DNA se duplica, é produzida uma cópia exata, mas acidentes moleculares podem ocorrer e *realmente* ocorrem. Uma variação na mensagem enviada pelo DNA é chamada **mutação.** Uma mutação resulta, às vêzes, de um arranjo diferente nos nucleotídeos, outras vêzes, da falta de um determinado nucleotídeo necessário para duplicar a cadeia de DNA, podendo ser acidental ou surgir como resultado da ação de raios X, por exemplo. Se uma letra da mensagem fôr omitida ou substituída, todo o significado da mensagem pode ser alterado.

As mutações ocorrem raramente — possìvelmente numa célula por milhão — mas, quando a célula em que ela ocorreu se duplica, a mutação também é reproduzida e passa a fazer parte da estrutura do DNA da célula.

Nas incontáveis duplicações do DNA, que vêm ocorrendo há centenas de milhões de anos, deve ter havido um número imenso de mutações. Os biólogos encontraram mutações em todos os sêres que foram estudados: vírus, bactérias, plantas e animais. Em laboratório, pode-se também aumentar a taxa de mutação com drogas ou agentes que modificam alguns dos nucleotídeos.

8 — 10 Uma mutação afeta a vida da célula

Uma cadeia de DNA, resultante de mutação, pode diferir da cadeia primitiva por um simples nucleotídeo. Ainda assim, essa pequena modifi-

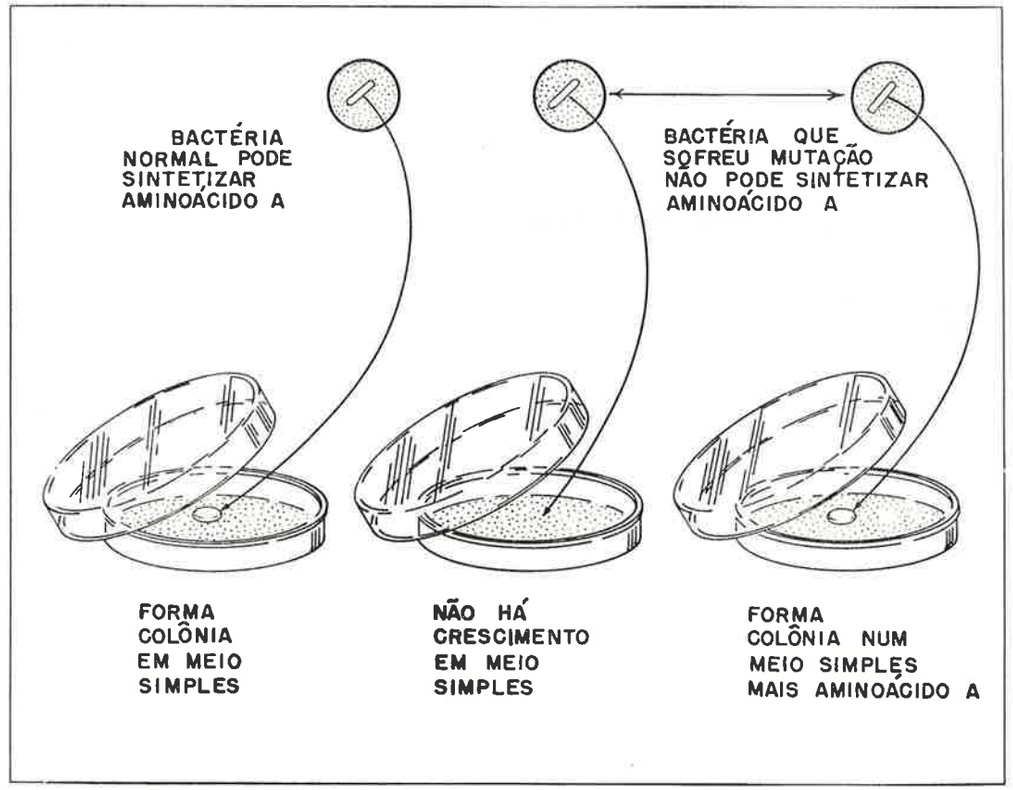


Fig. 8-6 Uma bactéria, que perdeu a capacidade de sintetizar um aminoácido, pode crescer num meio de cultura simples, ao qual é adicionado o aminoácido que está faltando.

cação tem um efeito na célula; pode causar uma pequena modificação sòmente na estrutura de uma proteína, uma enzima, por exemplo; esta enzima passa a alterar a reação que catalisa, aumentando ou diminuindo a capacidade da célula competir com outras células. Se a mutação fôr favorável, a célula terá maior possibilidade de sobreviver do que os organismos nos quais não ocorreu essa mutação e, assim, a nova mensagem do DNA se perpetua nos descendentes dessa célula.

Os efeitos das mutações podem ser estudados mais fàcilmente em microrganismos. Alguns dêles podem viver em tubos de ensaio, em misturas de substâncias simples, a partir das quais fabricam tôdas as substâncias orgânicas de que necessitam para sua subsistência, tais como, aminoácidos, vitaminas, açúcares, gorduras e proteínas. Que acontece quando ocorre uma mutação nesses microrganismos?

Um exemplo de mutação, observado numa bactéria, foi a perda da capacidade de fabricar um determinado tipo de aminoácido. Por causa dessa mudança permanente nas instruções do DNA, a bactéria deixou de fabricar certas proteínas, sem as quais não pode se reproduzir e, mesmo, continuar vivendo. Para compensar a deficiência causada por essa mutação, os biólogos podem colocar o aminoácido necessário no meio de cultura e, assim, as bactérias sobrevivem e se reproduzem enquanto receberem êsse nutriente suplementar (fig. 8 — 6). Numa outra mutação, os cientistas observaram que um fungo perdeu a capacidade de produzir uma *vitamina* necessária para a sua nutrição e, como no caso anterior, se essa vitamina fôr acrescentada ao meio nutritivo em que o fungo cresce, êste irá sobreviver e se reproduzir.

Os biólogos mantêm essas linhagens mutantes de microrganismos no laboratório, dando-lhes as substâncias que não podem fabricar. Essas linhagens, que são chamadas *mutantes nutricionais,* tornaram-se uma importante fonte de informações no estudo da fisiologia da célula normal.

A fabricação dêsses compostos, assim como as reações químicas nas quais interferem, dependem dos vários tipos de DNA da célula em que ocorrem. Êstes tipos diferentes de DNA, que desempenham papéis diferentes na célula, são chamados **gens.** A *genética* é o setor da Biologia que compreende o estudo dos gens, a sua atividade na célula e o processo de transmissão para novas células.

8 — 11 A vida do bolor do pão

Os microrganismos estão sendo intensamente utilizados nos estudos de genética. Constituem um material extremamente favorável, não só pela rapidez com que se reproduzem — alguns dêles podem produzir uma nova geração cada meia hora — como, também, pelo fato de as mutações que apresentam serem mais fàcilmente analisadas do que nos sêres de estrutura mais complexa e, ainda, porque os biólogos podem examinar milhões de descendentes de uma única célula. Êsses estudos podem nos dar alguma idéia sôbre como os gens teriam funcionado nos heterótrofos primitivos.

Um dos primeiros microrganismos utilizados em trabalho de genética foi um bolor de coloração rosada, *Neurospora,* que freqüentemente aparece sôbre o pão e pode ser cultivado em tubos de ensaio, pois é pouco exigente quanto à nutrição. Tudo o que necessita é uma mistura de sais (nitratos, sulfatos e fosfatos), um pouco de açúcar e uma vitamina chamada biotina. Num tubo de ensaio, contendo meio de cultura fluido, o fungo desenvolve primeiro um emaranhado de fios brancos e, depois, formam-se tufos de esporos de coloração rosada ou laranja sôbre pedúnculos que se elevam acima da superfície (fig. 8 — 8). Cada um dos esporos pode originar nôvo fungo.

Ao analisar êsse fungo, o bioquímico encontra uma variedade de proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas, ácidos nucléicos, moléculas de pigmentos e outras substâncias. Assim sendo, a partir dos materiais fornecidos pelo meio de cultura, o fungo foi capaz de sintetizar uma grande variedade de compostos complexos.

A *Neurospora* aparentemente não é um organismo complicado, mas quando considerada do ponto de vista bioquímico, certamente o é. É interessante comparar os nutrientes necessários ao homem e à *Neurospora.* O homem, para viver, precisa de uma grande variedade de carboidratos, aminoácidos, gorduras, sais e vitaminas. Ao contrário do fungo, que virtualmente pode sintetizar tudo o que necessita a partir de materiais muito simples, o homem precisa ingerir continuamente substâncias complexas. Provàvelmente, no longo período de evolução, o homem perdeu a capacidade de sintetizar muitas substâncias essenciais, capacidade que a maioria dos microrganismos conserva. A vida humana depende, portanto, da capacidade de outros organismos sintetizarem as substâncias complexas que lhe são necessárias.

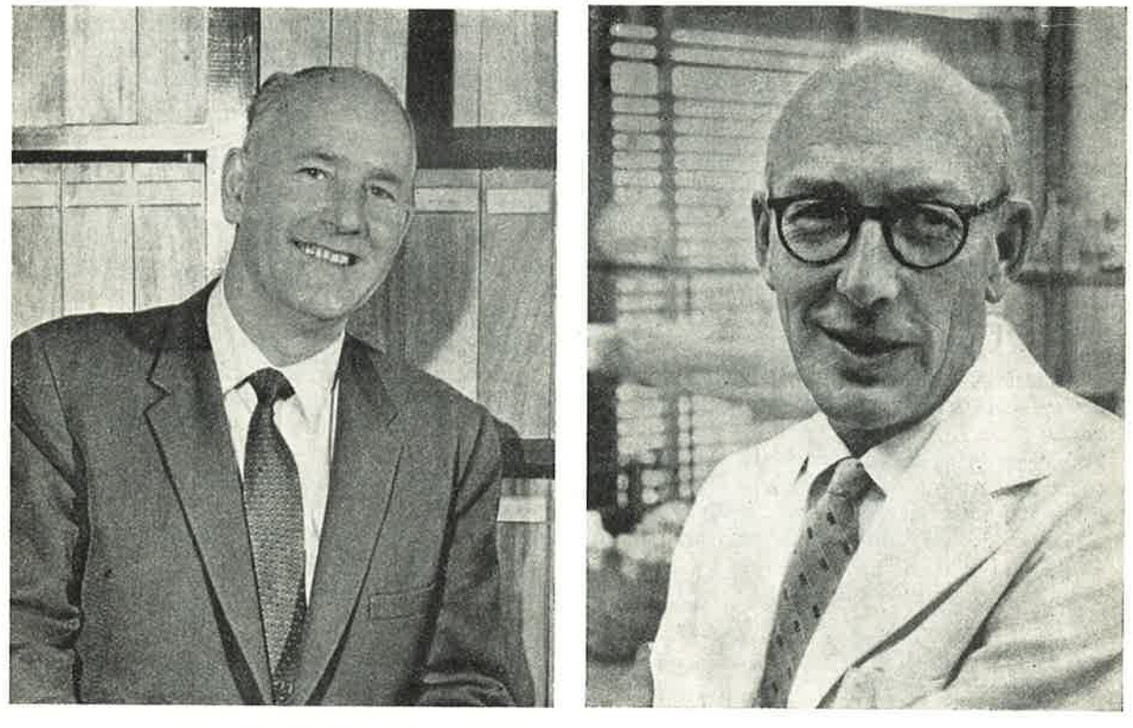


Fig. 8-7 George W. Beadle (esquerda) e Edward L. Tatum (direita).

8 — 12 Fungos com gens danificados

Já vimos que uma mutação pode fazer com que um microrganismo perca a capacidade de fabricar substâncias complexas a partir de substâncias mais simples. George W. Beadle e Edward L. Tatum, iniciaram, por volta de 1940, importantes experiências para estudar mutações em microrganismos. Expunham esporos de *Neurospora* aos raios X e, em seguida, testavam os esporos para verificar se o tratamento havia causado mutações. Queriam saber se êsses esporos dariam origem a fungos normais. Se algum dêles deixasse de produzir outros fungos normais, significaria que a sua capacidade de fabricar substâncias teria sido alterada.

Beadle e Tatum verificaram que alguns fungos haviam sofrido mutação e não se desenvolviam mais no meio de cultura habitual, mas podiam sobreviver se certos aminoácidos e vitaminas fôssem acrescentados ao meio. Os dois biólogos elaboraram uma técnica pela qual podiam identificar ràpidamente os nutrientes que permitiam ao mutante desenvolver-se. Esta técnica está esquematizada na figura 8 — 9.

Na experiência, apresentada na figura 8 — 9, o fungo normal foi tratado com raios X. Para verificar se ocorreram mutações num determinado esporo, foram acrescentados, primeiramente, a um meio de cultura simples, tôdas as vitaminas e aminoácidos necessários, o que o transformou num meio de cultura completo. O esporo desenvolveu-se normalmente nesse meio, não sendo possível distinguir se era mutante ou não. Depois de formada a colônia, esta originou numerosos esporos, descendentes do primeiro, que iriam servir de material experimental.

Em testes posteriores, verificou-se que o crescimento não ocorria no meio simples, nem no meio simples com vitaminas, mas se dava quando o meio era suplementado com todos os aminoácidos. Isto permitiu concluir que um gen (molécula de DNA), danificado pelos raios X, não foi mais capaz de determinar a síntese de um certo aminoácido. Para identificar a mutação específica, prepararam vinte tubos contendo o meio simples e, em cada um dêles foi adicionado um aminoácido diferente e um esporo. Se o desenvolvimento da colônia ocorresse sòmente no tubo ao qual foi acrescentada arginina, por

exemplo, ficaria demonstrado que a síntese dêsse aminoácido é que havia sido afetada pelos raios X.

Entre êsses esporos havia mutantes que só cresciam no meio de cultura, se fôssem adicionadas vitaminas. Nesse caso, a mutação afetou a síntese de vitaminas e não as de aminoácidos.

Com o tempo, muitos mutantes nutricionais de *Neurospora* foram encontrados e, em cada uma dessas linhagens, um gen que controlava a síntese de uma certa substância havia sofrido mutação. Ficou claro que quando um gen foi danificado pelos raios X, o fungo não poderia sintetizar a substância controlada por êsse gen. Na experiência mostrada na figura 8 — 10 o gen que controlava a síntese de arginina foi atingido.

Foram encontrados outros mutantes de *Neurospora* apresentando incapacidade de sintetizar substâncias muito semelhantes à arginina. Veja o sumário de três dêsses mutantes na figura 8 — 10.

Quais as explicações possíveis para os dados da figura 8 — 10? Ornitina, citrulina e arginina devem ser aminoácidos relacionados entre si de alguma forma e, conseqüentemente, surge a pergunta: haverá alguma relação também entre os gens que controlam a síntese dessas substâncias? Podemos considerar várias hipóteses: se, por exemplo, o fungo número 1 tivesse *três* gens mutados, significaria que cada um dêles controlaria a síntese de *um* dêsses compostos; outra possibilidade seria a de *um* só gen ser responsável pela síntese das *três* substâncias.

A hipótese de Beadle e Tatum admitia que *um* gen controlaria *uma etapa* da síntese de um determinado tipo de molécula. Possìvelmente, uma única etapa da síntese de arginina teria sido afetada quando um dos gens foi atingido pelos raios X.

Como uma explicação possível para os dados resumidos na tabela 8 — 10 vamos esquematizar uma cadeia de reações interligando essas três moléculas. O diagrama da figura 8 — 12 sugere

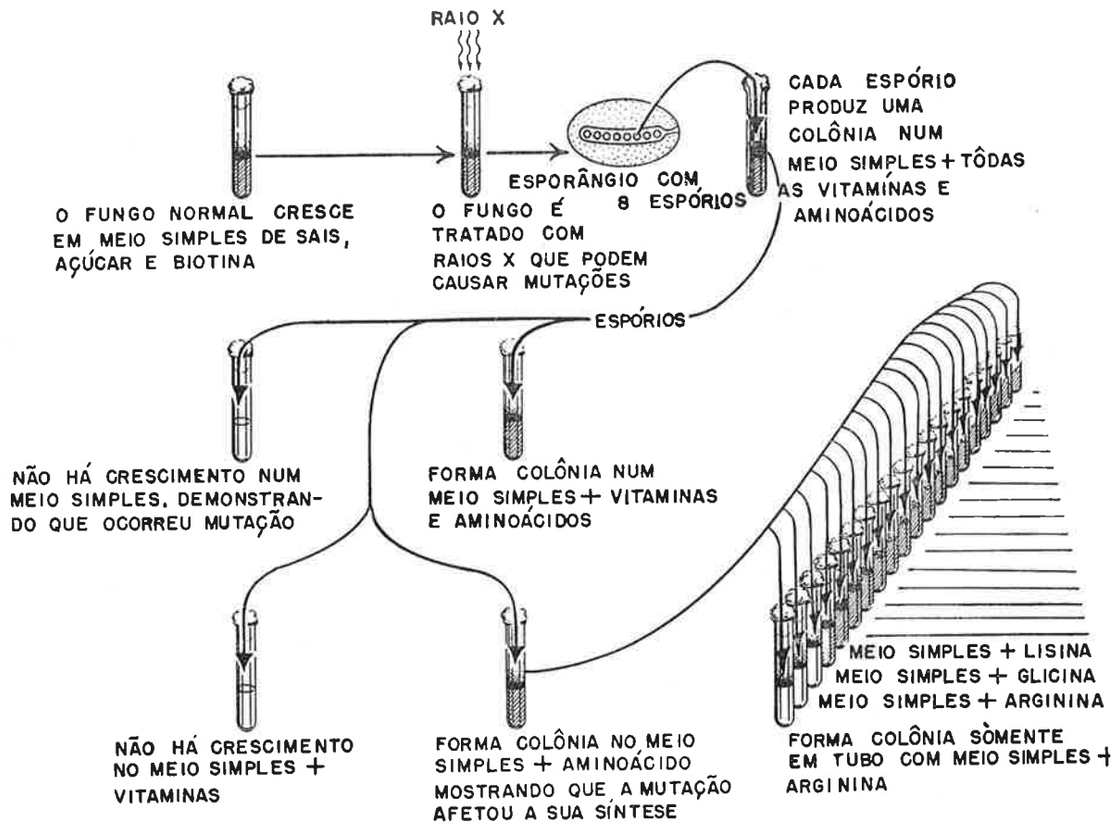


Fig. 8-8 Diagrama mostrando a técnica, que pode ser utilizada para detectar um mutante nutricional em *Neurospora*.

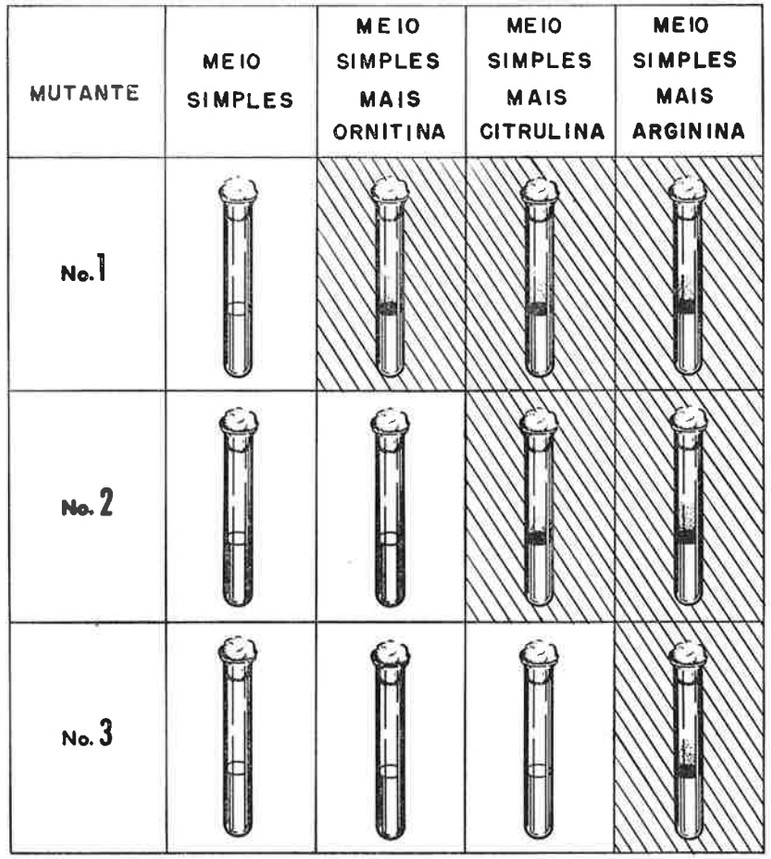


Fig. 8-9 Tabela apresentando as substâncias necessárias ao crescimento de três mutantes nutricionais de *Neurospora*.

que o gen 1 transforma uma substância pré-existente em ornitina; o gen 2 transforma ornitina em citrulina e o gen 3 converte citrulina em arginina.

Se o gen fôr atingido pelos raios X, o fungo para de crescer, pois não pode sintetizar ornitina mas, se esta substância fôr adicionada ao meio de cultura, o crescimento prosseguirá. Observe novamente a figura 8 — 10: a mesma deficiência pode ser corrigida pela adição de citrulina ou de arginina. Estaríamos, assim, adicionando um componente que surge numa etapa posterior da síntese e os gens 2 e 3 não seriam mais necessários. Portanto, a deficiência causada pela alteração do gen 1 pode ser suprida pela adição de ornitina, citrulina ou de arginina ao meio de cultura simples.

De maneira análoga, se o gen 2 sofrer mutação, podemos compensá-la colocando arginina ou citrulina no meio; não há necessidade de se adicionar ornitina, pois esta está sendo sintetizada normalmente. Se apenas o gen 3 mutar,

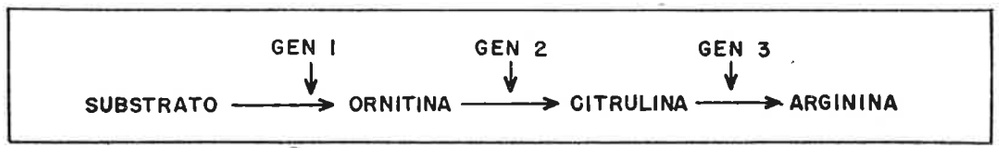


Fig. 8-10 Uma possibilidade de apresentar as etapas que levam à síntese de arginina.

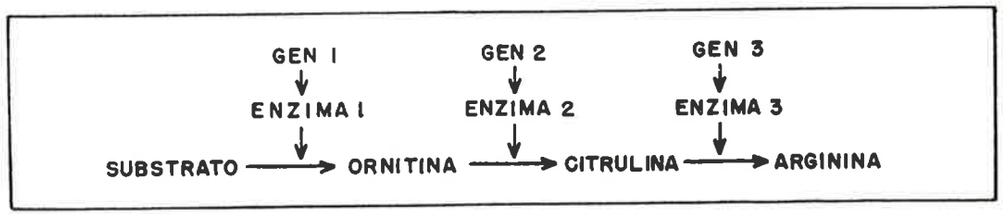


Fig. 8-11 Admite-se que gens controlam enzimas específicas, nas etapas do processo bioquímico que leva à síntese de arginina.

não é possível compensar a deficiência com citrulina ou ornitina; a única solução é acrescentar arginina ao meio.

Com o mesmo tipo de raciocínio, podemos descobrir a ordem das reações químicas na síntese de outras moléculas. É possível saber como a *Neurospora* fabrica uma determinada substância, tal como arginina, acompanhando as diversas etapas controladas por gens específicos. Para isso deve-se saber apenas que substâncias precisam ser acrescentadas ao meio de cultura básico, para que as células mutantes possam se desenvolver.

8 — 13 Gens e enzimas

De estudos análogos aos que foram feitos com *Neurospora,* os biólogos ficaram conhecendo muita coisa acêrca dos *tipos* de reações bioquímicas controladas pelos gens. Parece que essas reações podem ocorrer apenas em células que disponham de *enzimas* específicas para catalisar as reações.

Há evidências que indicam que os gens agem controlando a síntese de proteínas específicas. Se assim fôr, cada gen é responsável pela síntese de uma determinada enzima e, quando o gen funciona normalmente, a enzima por êle controlada está presente na célula e age normalmente. Porém, se o gen fôr danificado, ou se sofrer mutação, a síntese e, conseqüentemente a atividade da enzima também será afetada. Em tais casos o organismo pode ser incapaz de sobreviver ou, em casos raríssimos, pode também, como resultado dessa modificação, tornar-se mais capacitado para viver num determinado ambiente.

Já se admitia uma relação entre gens e enzimas muito antes do conhecimento dos códigos biológicos, do RNA mensageiro e RNA transportador e do papel dos ribossomos na síntese de proteínas. Admitia-se que cada gen controlaria a atividade de uma enzima específica e, esta relação esquematizada na figura 8 — 11, era chamada de relação "um gen — uma enzima". Esta hipótese foi valiosa porque sugeriu muitas experiências que ampliaram os conhecimentos sôbre a ação do gen.

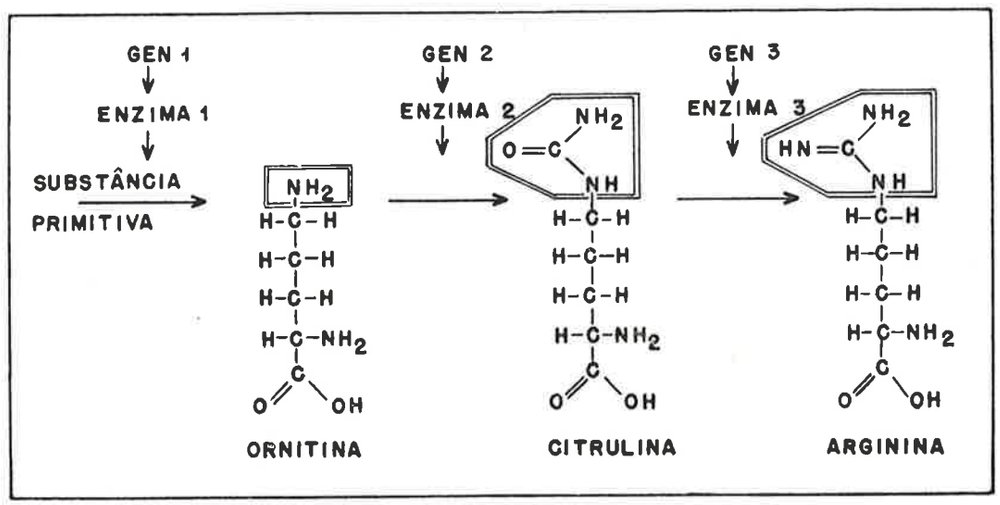


Fig. 8-12 Relações entre gens, enzimas e estruturas químicas na síntese de arginina.

Podemos ter uma idéia mais clara sôbre como age o gen nesse nosso exemplo. Observando as fórmulas estruturais da ornitina, citrulina e arginina, vemos que essas substâncias são muito semelhantes (fig. 8 — 12); tôdas têm a mesma composição básica, exceto pelos grupos de átomos marcados na figura. A enzima 2 acrescentou um grupo amino (-NH) e um grupo carbono-oxigênio (-CO) à molécula de ornitina; a enzima 3 substituiu o átomo de oxigênio da citrulina por outro grupo amino.

Neste exemplo podemos ver que uma série de enzimas vai modificando a molécula, catalisando a adição ou remoção de alguns átomos. Os biólogos admitem que, geralmente, cada gen é responsável pela atividade de uma enzima. Os gens agem através das enzimas que controlam, para juntar ou separar moléculas existentes nas células. Assim, cada enzima realiza uma pequena parte do trabalho, sendo necessárias várias delas para completar a construção de uma molécula. As enzimas agem em grupos e cada enzima deve realizar sua tarefa num momento determinado e num determinado lugar da célula. Os organismos que evoluíram devem ter tido conjuntos de enzimas eficientes.

Um dêsses conjuntos pode ter permanecido quase inalterado por milhares de anos, enquanto a vida evoluía em várias direções. A síntese de arginina, que foi descrita no bolor do pão, ocorre em muitos organismos, inclusive no homem. Sabe-se que esta substância é sintetizada nas células humanas, passando pelas mesmas etapas que ocorrem nas células de *Neurospora.* Vemos assim que os biólogos puderam compreender melhor a bioquímica do homem estudando fungos. Beadle e Tatum receberam, em 1958, o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia.

...As mensagens em código, transmitidas pelas moléculas de DNA, podem eventualmente se modificar. Essas modificações permanentes são chamadas mutações e resultam de acidentes que ocorrem nas moléculas, modificando as instruções biológicas recebidas pelas estruturas celulares. Isto determina a síntese de proteínas diferentes que, por sua vez, afetam a estrutura e fisiologia celulares e podem, também, em determinadas circunstâncias, aumentar a capacidade de sobrevivência. Os efeitos dos gens mutantes podem ser estudados mais fàcilmente em microrganismos. Pesquisas em Neurospora *levaram à elaboração da hipótese de que os gens controlam a síntese de enzimas específicas. As enzimas, por sua vez, catalisam etapas determinadas da síntese de moléculas nas células.*

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Como podemos verificar que há diferentes tipos de DNA?
2. Que é mutação?
3. Em que regiões da célula ocorrem as mutações?
4. Por que se acredita que os gens têm relação com as enzimas?
5. Descreva o mecanismo pelo qual uma mutação pode afetar a fisiologia celular.
6. Quais as causas das mutações gênicas?
7. Por que Beadle e Tatum teriam utilizado *Neurospora* em suas experiências?

NOVOS PADRÕES GENÉTICOS

8 — 14 Conjunto de moléculas de DNA

Supomos que, nos heterótrofos primitivos, as moléculas de DNA, uma após outra, começaram a exercer contrôle sôbre as várias atividades celulares. Nos casos em que êsse contrôle beneficiasse um organismo suas possibilidades de sobrevivência aumentariam. Se os gens, após se terem duplicado, ao se distribuírem nas novas células, não o fizessem de maneira tal que cada célula recebesse gens equivalentes, alguns gens essenciais poderiam ficar faltando. Seria uma vantagem para os descendentes da célula se os gens fôssem organizados de um modo que *garantisse* sua distribuição ordenada nas células filhas.

Com o tempo, graças à seleção natural, estabeleceu-se um sistema harmônico de moléculas de DNA nos sêres vivos. O sucesso dos heterótrofos primitivos deve-se à atividade de *muitas*

moléculas de DNA, agindo em conjunto. Na maioria das células hoje existentes, encontramos êsse tipo de sistema. Uma série de gens diferentes mais certas proteínas estão organizados em uma ou mais cadeias filamentosas que podem ser vistas ao microscópio óptico.

Essas estruturas foram descobertas em células de animais e plantas e, como se tornam visíveis sòmente quando coradas com corantes especiais, foram chamados *cromossomos,* que significa "corpos coloridos".

Admitimos hoje que existem cromossomos também nas formas inferiores, tais como bactérias e fungos. Muitos biólogos admitem que o longo filamento de moléculas de DNA existente nos vírus, seja um cromossomo. Em todos os organismos os cromossomos duplicam-se antes da divisão celular e são, a seguir, distribuídos nas novas células. Êste processo ordenado de separação dos cromossomos duplicados em novas células é chamado *mitose.* Não estudaremos agora os detalhes dêsse processo, que serão vistos no Capítulo 10. A figura 8 — 13 mostra fotografias de diversos cromossomos.

Com raras exceções, a mitose garante que cada tipo de DNA, essencial para a vida de uma nova célula, esteja presente nela, da mesma maneira que na célula-mãe. As exceções que ocorrem são mutações. Essa capacidade de duplicação por mitose foi um avanço importante na evolução gradual dos heterótrofos primitivos. Cada cromossomo, com seus gens, adquiriu a capacidade de produzir cópias exatamente iguais a si mesmo, preservando assim o contrôle genético da célula-mãe sôbre as células formadas a partir dela.

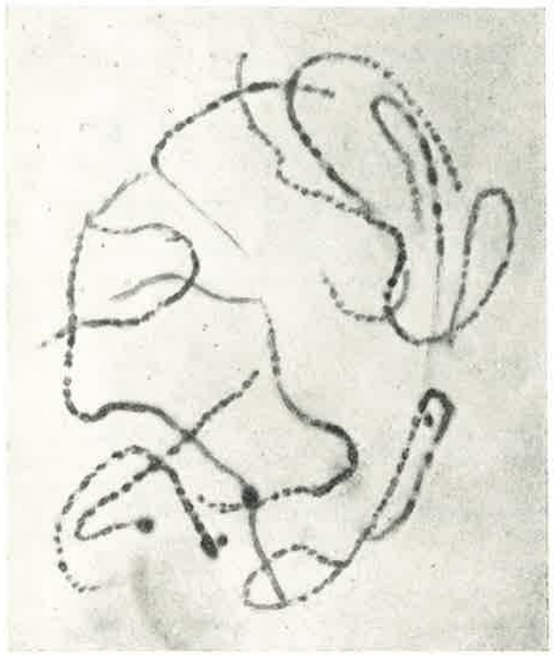


Fig. 8-13 Cromossomos.

8 — 15 Gens em novas combinações

As mutações estudadas em fungos por Beadle e Tatum são *prejudiciais* às células em que ocorrem; como afetam a fisiologia celular podem impossibilitar a vida das células; há, entretanto, outras mutações que são de grande vantagem e permitem a execução de funções celulares muito mais eficientemente.

Podemos admitir que ocorreram muitas mutações favoráveis nos heterótrofos primitivos, o que lhes deu uma melhor possibilidade de sobrevivência. Como existiram células em ambientes diferentes, é possível que uma mutação, desfavorável num meio, tenha sido favorável em outro ambiente.

Vimos que em *Neurospora* um grupo de gens age em conjunto para sintetizar uma substância necessária ao organismo. Nos organismos hoje existentes, êsses conjuntos de gens, que produzem conjuntos de enzimas, estão bem organizados, mas nos organismos primitivos devem ter variado muito em eficiência.

No curso da evolução deve ter havido um número ilimitado de combinações gênicas. Algumas eram vantajosas para as células, aumentando a possibilidade de sobrevivência e de reprodução dos organismos que as possuíam, outras, as desvantajosas, foram eliminadas. Três problemas surgem dessas considerações: 1) como se formaram as novas combinações gênicas? 2) Podem os organismos receber e experimentar usar gens de células estranhas? 3) Poderão os gens ser transmitidos por outro mecanismo que não seja divisão celular?

8 — 16 A transmissão de gens

Joshua Lederberg e Edward L. Tatum, trabalhando com várias linhagens de bactérias, em 1946, fizeram uma experiência para verificar se pode haver transferência de gens entre linhagens relacionadas. Êstes pesquisadores usaram mutantes nutricionais muito semelhantes aos provocados no bolor de pão pelos raios X.

Uma das linhagens de bactérias havia sofrido três mutações, perdendo a capacidade de sintetizar três determinadas substâncias. Essa linhagem foi mantida no laboratório, tendo sido adicionadas, ao meio de cultura, as três substâncias em falta, que podemos chamar de A, B e C. Outra linhagem de bactérias, da mesma espécie, por efeito de mutação, perdeu a capacidade de sintetizar outras três substâncias, que chamaremos de D, E e F, embora fôsse capaz de sintetizar as substâncias A, B e C. Os gens responsáveis pela síntese dessas seis substâncias haviam sido modificados por mutação. Cada uma dessas linhagens poderia ser mantida sòmente se as substâncias necessárias fôssem adicionadas ao meio de cultura.

Lederberg e Tatum puseram bactérias dessas duas linhagens num meio contendo todos os nutrientes necessários — A, B, C, D, E e F. Nessas condições, cresciam bem. Depois essa mistura de linhagens foi transferida para um outro meio de cultura em que nenhuma dessas substâncias havia sido adicionada. Que resultados você esperaria?

Não dispondo das substâncias necessárias para o desenvolvimento, não se esperaria que as bactérias se desenvolvessem, mas Lederberg e Tatum encontraram algumas colônias crescendo, o que demonstrava que essas bactérias não tinham mais deficiências e eram auto-suficientes, podendo viver num meio simples, sem nutrientes adicionais. Como explicar êsse fenômeno?

Uma explicação possível é que cada um dos gens modificados tivesse sofrido nova mutação, que lhe teria dado novamente capacidade integral de sintetizar as substâncias necessárias. Esta hipótese, contudo, não é muito provável porque as mutações ocorrem muito raramente e podem atingir *qualquer* molécula de DNA na célula. Seria necessário um número incalculável de gerações de células para obter essa combinação precisa de três mutações na mesma célula.

Uma outra hipótese pode ser feita baseada no que sabemos sôbre os pneumococos (Capítulo 7). É possível que as moléculas de DNA, que controlam a síntese de A, B e C, tivessem sido *transferidas* de uma bactéria para outra, na qual faltasse essa capacidade. Parecia que novas combinações poderiam ter, como resultado, linhagens normais, capazes de sintetizar tôdas as seis substâncias.

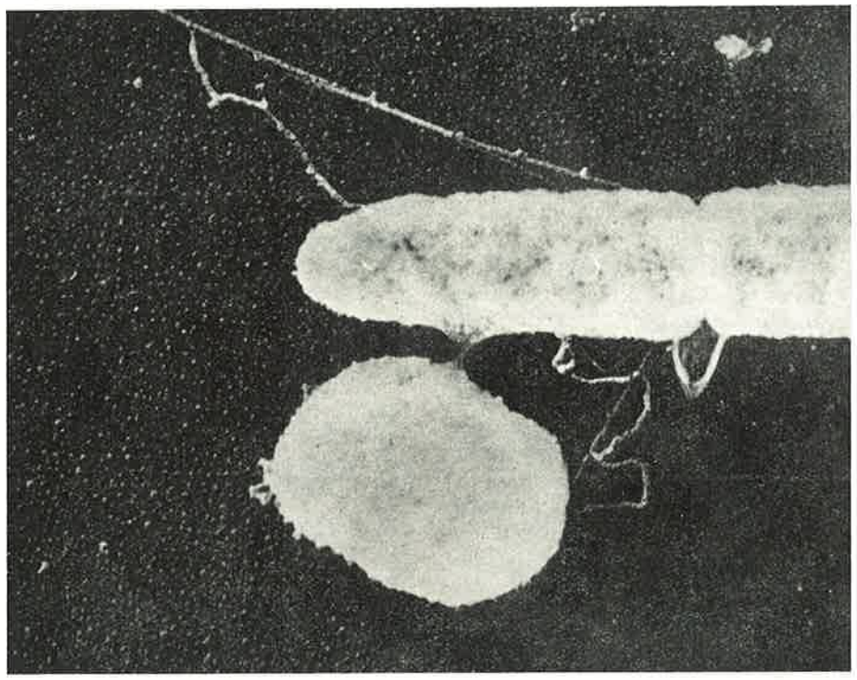


Fig. 8-14 Microfotografia eletrônica, mostrando a ponte de substância viva que se formou entre os dois bacilos. O material genético passa pela ponte de uma célula para outra.

Lederberg e Tatum optaram por essa última interpretação dos fatos descritos. Admitiam que os gens se tinham recombinado nas células das bactérias, tendo havido, de algum modo, a transferência de material de uma linhagem para outra. Não havia prova direta de que isto tivesse realmente ocorrido, mas as evidências genéticas apontavam àquela direção. Êsse trabalho pioneiro abriu um campo de investigação inteiramente nôvo e, com êle, Lederberg, Beadle e Tatum dividiram o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1958, pois êsses dois últimos tinham iniciado o trabalho com o estudo de mutantes nutricionais em fungos.

Mais tarde, com o uso do microscópio electrônico, verificou-se a existência de uma ponte de material vivo entre duas bactérias (fig. 8 — 14), demonstrando a troca de material genético entre uma célula e outra. O processo é chamado conjugação bacteriana.

8 — 17 Vantagens da reprodução sexuada para os microrganismos

Sabemos hoje que as bactérias podem injetar seus cromossomos em outras bactérias da mesma espécie. Os cromossomos são transferidos por uma ligação temporária, como se vê na figura 8 — 17. As que transferem os cromossomos são consideradas do sexo masculino e as que recebem, seriam do sexo feminino. A troca de material genético entre os microrganismos tem o mesmo efeito que a reprodução sexuada nas plantas e animais mais evoluídos; dela resultam novas combinações genéticas, ou seja, os gens se agrupam em novas combinações.

Êstes estudos em bactérias demonstram que a reprodução sexuada não está confinada aos sêres vivos mais evoluídos. Sabemos agora que êsse tipo de reprodução existe em grande número de bactérias, fungos, protozoários e em todos os animais e plantas mais diferenciados, sendo exceções os sêres que não o apresentam. A vantagem dêsse processo ficou demonstrada com as experiências de Lederberg e Tatum, acima descritas. Sem reprodução sexuada os organismos ficariam restritos às modificações que ocorressem sòmente em seu próprio DNA e, se o aperfeiçoamento dos organismos dependesse apenas dessas mutações, a evolução seria muitíssimo lenta.

A possibilidade de transferir moléculas de DNA a outros membros da espécie permite o aparecimento de um grande número de novas combinações gênicas dentro da espécie, havendo assim mudanças evolutivas muito maiores nos organismos que se reproduzem sexuadamente do que naqueles que se reproduzem por outros processos.

Não podemos saber exatamente quando a reprodução sexuada apareceu nos organismos primitivos, mas há indícios de que tenha sido bem no início da escala evolutiva. Deve ter acelerado o ritmo da evolução, tornando possível muitas novas combinações e, assim, a reprodução tornou-se um processo básico da vida.

...As experiências com bactérias serviram de argumento para a idéia de que os gens controlam a síntese de enzimas que, por sua vez, catalisam determinadas etapas da síntese de moléculas bioquímicas. Outras experiências revelaram que gens podem ser trocados entre microrganismos. Assim, formaram-se novas combinações que ficaram nas células e, desde que grupos de gens agem em conjunto, as novas combinações oferecem novos modos de controlar as atividades celulares.

As moléculas de DNA, da maioria das formas de vida, estão organizadas em longas cadeias chamadas cromossomos. Em muitos organismos os cromossomos são suficientemente grandes para serem vistos com o microscópio composto. Para maior facilidade de observação podem ser corados com corantes especiais.

A reprodução sexuada auxiliou na evolução dos organismos, desde que é por meio dela que aparecem muitas novas combinações gênicas. A seleção favoreceu aquelas combinações que permitem aos organismos competir com vantagem, sobreviver e reproduzir-se.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. De que moléculas são compostos os cromossomos?
2. Que processos permitem a distribuição equacional dos cromossomos nas novas células?
3. Como pode uma mutação ser benéfica ou prejudicial?
4. Quais as vantagens da reprodução sexuada para os microrganismos?
5. Quais os três meios de cultura usados por Lederberg e Tatum em suas experiências com bactérias?

SUMÁRIO

Neste capítulo vimos algumas maneiras pelas quais os organismos primitivos podem ter desenvolvido o contrôle sôbre a maioria das atividades celulares. As moléculas de DNA de uma célula são consideradas como a sede de instruções para a síntese de diversas moléculas necessárias para a vida da célula. Provàvelmente, essas instruções se encontram codificadas nas moléculas de DNA e as quatro bases nitrogenadas serão o alfabeto de quatro letras no qual está escrito o código genético.

Cada espécie de organismo tem suas proteínas específicas. As moléculas de proteínas, embora grandes, são compostas de apenas 20 tipos de aminoácidos. Acredita-se que cada grupo de três nucleotídeos de uma cadeia de DNA, determine a formação de um aminoácido que, durante a síntese da cadeia protéica, é colocado no lugar adequado.

Grande progresso foi feito ao se decifrar o código da vida e os nucleotídeos que especificam cada aminoácido são agora conhecidos. As instruções do DNA são transferidas para o RNA mensageiro; êste, por sua vez, passa do núcleo para o citoplasma da célula, onde se prende aos ribossomos. As proteínas são sintetizadas de acôrdo com o modêlo estabelecido pelas moléculas de RNA, que são fabricadas de acôrdo com as instruções do DNA.

As mensagens do DNA podem ser alteradas por mutações, que fazem com que a célula fabrique tipos diferentes de proteínas, mudando assim a atividade celular. Nos fungos e bactérias foram encontradas mutações que afetam a síntese de substâncias essenciais à vida celular. Os bioquímicos elaboraram a hipótese de que o DNA controla a vida celular, principalmente através da síntese de proteínas especiais, as enzimas.

Tipos diferentes de DNA determinam a fabricação de tipos diferentes de enzimas. As enzimas funcionam em grupos. Diferentes conjuntos de enzimas podem resultar de mutações ou de recombinações de gens. A formação de novas recombinações é resultado da reprodução sexuada que se estabeleceu tanto nas formas mais evoluídas de vida como nas menos evoluídas. No curso da evolução, algumas combinações gênicas deram aos organismos que as possuíam mais vantagens do que outras, permitindo que êstes tivessem mais sucesso na luta pela vida.

QUESTIONÁRIO

(A)
1. Que tipos de códigos você conhece?
2. Por que a maioria dos enxertos de pele de uma pessoa em outra, não "pega", enquanto que os realizados entre gêmeos idênticos "pegam"?
3. Por que é necessário que uma palavra no código do DNA contenha pelo menos três letras? Isto indica, obrigatòriamente, que tôdas as palavras dêsse código contenham três letras?
4. Qual a importância da descoberta de Severo Ochoa, de que uma enzima catalisa a síntese de cadeias de RNA?
5. Quais os dois aspectos da vida celular que são, segundo provas experimentais, controlados pelos ácidos nucléicos?
6. Por que se admite que o DNA funcione através de um intermediário que é o RNA?
7. Quais algumas hipóteses viáveis para explicar a duplicação exata das células?
8. Que argumentos se podem usar pró e contra as diversas hipóteses sôbre a duplicação celular?

(B)
9. Por que os biólogos admitem que os conhecimentos, obtidos das pesquisas em RNA, podem ser aplicados ao DNA?
10. Traduza as seguintes palavras hipotéticas do códico do DNA nas palavras correspondentes no código do RNA: ATA, GCT, CCT, CGA.
11. Quais as diferenças entre RNA e DNA? Quais as semelhanças?
12. Que importância podem ter as mutações, uma vez que ocorrem sòmente em uma célula em cada milhão?
13. Por que é importante que cada nova célula tenha todos os tipos de gens existentes na célula que lhe deu origem?
14. Quantos tipos diferentes de RNA mensageiro deve existir em cada célula? Por quê?

15. Pode-se comparar a capacidade de sintizar substâncias em células de fungo e humanas?

16. Biotina é uma vitamina para o môfo do pão. Que é uma vitamina?

(C) 17. Por que pràticamente não há limite para as possibilidades de transmissão de mensagens pelas moléculas de DNA?

18. Quais as relações entre DNA, gens, cromossomos e mitose?

19. Por que os protistas constituem bom material para estudos de genética?

20. Qual o papel das mutações e reprodução sexuada na seleção natural?

21. O homem e as cobaias necessitam vitamina C (ácido ascórbico). Os cães não precisam dessa vitamina. Por que diferentes organismos têm necessidade de vitaminas diferentes?

22. Quais terão sido as vantagens da reprodução sexuada para os heterótrofos primitivos?

23. Se você isolar um fungo que não pode identificar, como faria para compor um meio de cultura para manter êsse organismo no laboratório?

LEITURAS RECOMENDADAS

BEADLE, George. "Genes de Homens e Bolores", *Física e Química da Vida,* (trad.), *Scientific American,* Ed. Ibrasa, 1961, pp. 151 e segs.

Publicações da Revista *Scientific American:*

ALLFREY, Vincent G. and Alfred E. Mirsky "How Cells Make Molecules", setembro de 1961.

CRICK, F. H. C. "The Genetic Code", outubro de 1962.

NIREMBERG, Marshall W. "The Genetic Code: II, março de 1963.

FRAENKEL — CONRAT, Heinz. "The Genetic Code of a Virus", outubro de 1964.

TEMA BIOLÓGICO

A NATUREZA DA PESQUISA CIENTÍFICA

Muitas palavras têm sido usadas para dizer o que é Ciência, mas nenhuma das definições dadas satisfaz inteiramente. Digamos apenas que a Ciência está ligada à coleta e organização dos fatos do nosso mundo físico, a idéias criadoras ou, mesmo, intuições, à pesquisa, à insegurança e reavaliação, para relacionar apenas um certo número de fatôres que a compõem.

A Ciência existe porque o homem tem espírito inquisitivo. Não se contenta em observar e descrever; é-lhe necessário perguntar o "como" e o "porquê" daquilo que observa. A mente inquisidora não usa apenas as evidências já conhecidas, mas procura outras na experimentação. As respostas provisórias, ou hipóteses, que o pesquisador formula a partir das provas de que dispõe, são sòmente a melhor aproximação da realidade no momento. Êle utilizará uma hipótese para guiar seu raciocínio e poder determinar quais as experiências que devem ser feitas, enquanto ela fôr útil. Se forem encontradas provas contraditórias, êle deve rever sua hipótese ou mesmo reiniciar todo o seu trabalho.

Pela sua própria natureza, a Ciência necessita revisão e modificações contínuas porque a mente humana nunca se satisfaz com o conhecimento existente. Por isso o homem continuará a romper as barreiras do conhecimento.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

TERCEIRA UNIDADE

OS ORGANISMOS EM EVOLUÇÃO

Supuzemos que as células em evolução obtinham energia de substâncias altamente energéticas. À medida que essas substâncias se exgotaram devido ao aumento da população, uma outra fonte de energia tornou-se necessária. A evolução de organismos capazes de converter a energia solar em energia química foi um acontecimento muito importante na história da vida: não sòmente o uso da energia luminosa assegura uma fonte de alimento, mas também acrescenta oxigênio à atmosfera. Os organismos puderam obter mais energia do alimento disponível à custa do oxigênio, do que sem êle. Essas duas novas fontes de energia foram provàvelmente importantes na evolução dos complexos organismos pluricelulares. Um aumento na complexidade confere ao organismo certas vantagens, mas também causa problemas. A evolução dirigida para a complexidade com as vantagens e problemas associados a essa condição, será assunto desta unidade.

LUZ, FONTE DE ENERGIA PARA A VIDA

CAPÍTULO 9

Vimos, nos três últimos capítulos, como teriam sido resolvidos três problemas básicos para a sobrevivência dos heterótrofos primitivos: como conseguir energia do meio exterior, como organizar-se e manter essa organização, e como se reproduzir. Agora discutiremos um quarto problema — adaptação. Para que os organismos pudessem sobreviver por longos períodos de tempo tinham que estar adaptados ao ambiente. Os fósseis fornecem provas abundantes da existência de formas que se extinguiram porque não se adaptaram ao meio em modificação. Neste capítulo apresentaremos outras suposições sôbre a evolução dos heterótrofos, mas não as poremos em destaque, como fizemos nos capítulos precedentes.

EVOLUÇÃO EM UM MUNDO EM MODIFICAÇÃO

9 — 1 O meio em modificação

Que profunda modificação do ambiente teria ocorrido nos primórdios da vida, fazendo com que a evolução tomasse um rumo completamente nôvo?

À medida que os heterótrofos primitivos consumiam aminoácidos, proteínas e açúcares, o "caldo" de substâncias orgânicas, existente nos oceanos, ia se tornando mais diluído. As causas responsáveis pelo decréscimo dessas substâncias poderiam ter sido duas: as substâncias orgânicas que haviam sido acumuladas em milhões de anos não poderiam suprir contìnuamente as necessidades de uma população sempre crescente. Sem duvida continuava a síntese de compostos orgânicos pelas descargas elétricas e radiações ultravioleta mas, provàvelmente, em velocidade insuficiente para fornecer a energia necessária à crescente população de heterótrofos. (É possível que alguns materiais orgânicos sejam sintetizados ainda hoje, mas se assim fôr, são consumidos imediatamente por microrganismos).

Além do aumento de consumo de substâncias orgânicas pelos heterótrofos, talvez a velocidade de síntese dessas substâncias tenha decrescido. Isto poderia ter ocorrido da seguinte maneira: num longo período de tempo, as radiações ultravioleta teriam quebrado as moléculas da água, originando-se assim pequenas quantidades de hidrogênio e oxigênio que ficariam livres na atmosfera. Essas mesmas radiações poderiam ter transformado o oxigênio em ozona (O_3); êsse gás, concentrando-se na atmosfera superior, atuaria como absorvente das radiações ultravioleta (fig. 9 — 1).

Existe atualmente na atmosfera essa faixa de ozona. Não sabemos se sua origem é exatamente a que foi mencionada no parágrafo anterior, mas ela absorve a maior parte das radiações ultravioleta, de maneira que é muito pequena a radiação dêste tipo que alcança a Terra. Admite-se que tenha sido a formação dessa camada que tenha feito cessar a passagem dessas radiações. Portanto, é possível que, por êsse motivo, a síntese de compostos orgânicos pelas radiações

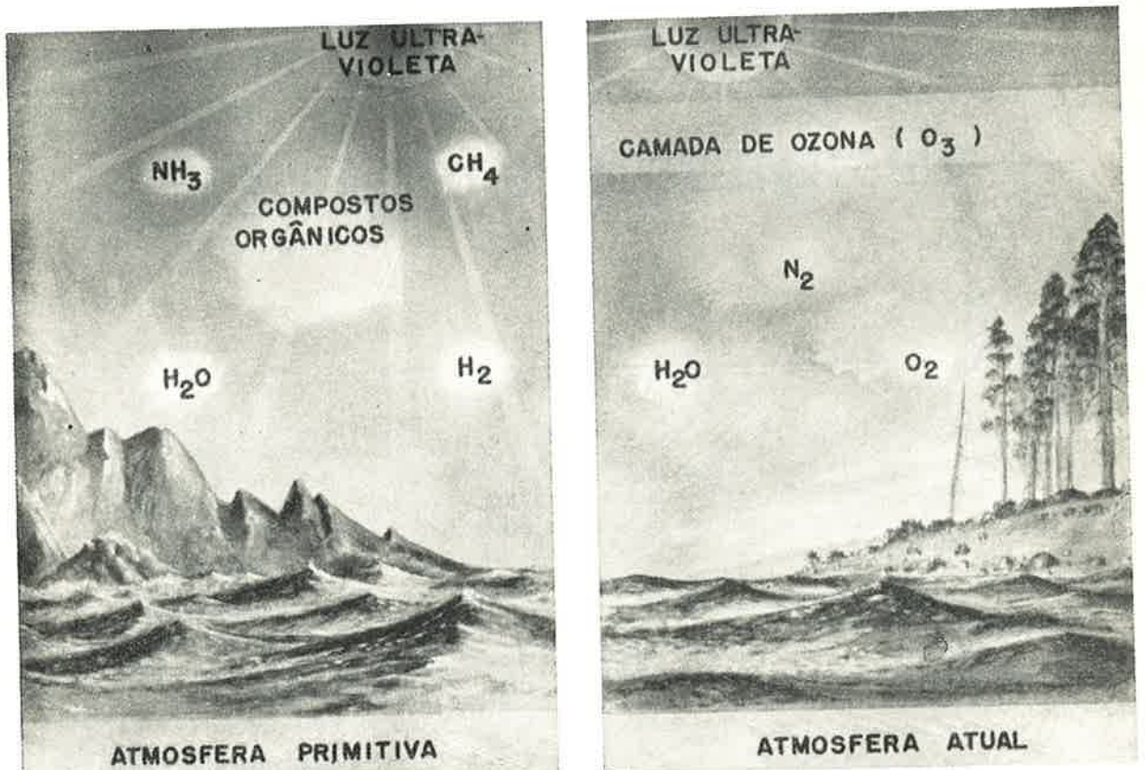


Fig. 9-1 Uma comparação entre a atmosfera primitiva da Terra e a atual. Hoje apenas uma quantidade muito pequena de CO_2 é encontrada (0,03). Na atmosfera primitiva, provàvelmente também havia um pouco de dióxido de carbono.

ultravioleta tenha decrescido e finalmente terminado quase que inteiramente.

Estas informações nos permitem supor que as reservas de alimento existentes nos oceanos primitivos tenham sido gradativamente consumidas e não puderam ser renovadas.

9 — 2 Uma nova forma de vida — os autótrofos

À medida que as substâncias orgânicas primárias desapareciam, diminuía a probabilidade que os heterótrofos tinham de encontrar alimento suficiente. Pela seleção natural, as formas que apresentassem uma vantagem nesse sentido em relação às outras poderiam sobreviver; as outras pereceriam. Se o suprimento de alimento diminuía e a seleção natural estava agindo, que adaptações teriam permitido a alguns organismos sobreviver enquanto outros não o conseguiam?

É claro que, durante esta luta pela vida, os organismos que pudessem usar uma outra fonte de energia levariam grande vantagem. Suponhamos que certos organismos tivessem se tornado capazes de usar a luz como uma fonte de energia suplementar. Mas, como teriam êles surgido? No início da vida, quando as substâncias orgânicas eram abundantes, a luz, como fonte de energia, tinha, provàvelmente, pouca importância para os heterótrofos primitivos. Contudo, à medida que os coacervados se tornavam mais complexos e suas moléculas executavam diferentes atividades, pode também ter se desenvolvido, em alguma molécula complexa, a capacidade de usar energia luminosa. As prováveis mutações das moléculas de DNA poderiam ter originado organismos capazes de usar energia luminosa. À medida que as moléculas orgânicas desapareciam, esta capacidade tornaria um organismo e seus descendentes mais aptos para sobreviver.

Podemos, agora, fazer uma nova suposição no

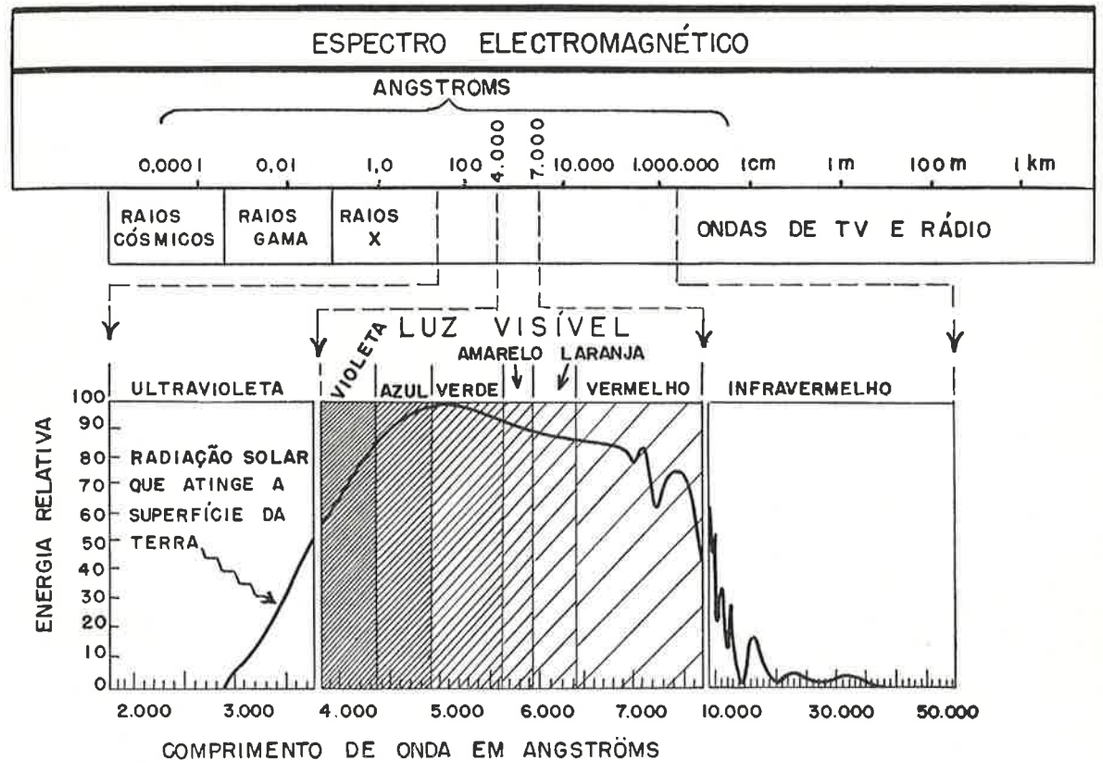


Fig. 9-2 Este diagrama representa o espectro electromagnético, dividido em diferentes regiões de acôrdo com os comprimentos de onda. Essas regiões, são chamadas "faixas". As faixas do ultravioleta, da luz visível e do infravermelho estão produzidas na parte inferior da figura em escala ampliada. A linha curva representa, para cada comprimento de onda, a quantidade de energia que atinge a Terra em comparação com o total de energia emitida pelo Sol em cada um dêsses comprimentos de onda. O angström é unidade de comprimento igual à décima milionésima parte do milímetro.

nosso estudo da evolução da vida: apareceram alguns organismos que eram capazes de usar energia luminosa para formar compostos orgânicos.

Os primeiros organismos capazes de usar energia luminosa deveriam ter se comportado em parte como heterótrofos, ingerindo compostos orgânicos para obter energia e, em parte, como autótrofos, absorvendo energia da luz solar. Ainda, hoje, há certas bactérias que apresentam exatamente essas propriedades. São bactérias de côr purpúrea que, antigamente, foram consideradas como heterótrofos; depois se descobriu que também são capazes de usar energia solar. Algumas linhagens dessas bactérias, quando mantidas no escuro, vivem como heterótrofos mas, quando estão no claro, usam energia radiante do Sol. Assim, podemos admitir que as formas primitivas tenham mudado, gradativamente, de uma existência puramente heterotrófica para outra na qual utilizavam luz do Sol como fonte de energia adicional.

9 — 3 Um problema de transformação de energia

Que significa dizer que alguns organismos utilizam parte da energia da luz solar? Para que essa energia possa ser usada, deve ser convertida em energia química. Deve ter se desenvolvido alguma forma que não só absorvesse energia radiante mas também a armazenasse na forma de energia química, útil ao autótrofo em evolução. Essa absorção de energia tinha também que ser seletiva.

Antes de começarmos a história das tentativas feitas pelo homem para compreender como alguns organismos usam energia luminosa, vejamos primeiramente alguma coisa sôbre a luz.

9 — 4 A natureza da luz

A luz é uma pequena parte da energia conhecida como energia radiante. É a parte à qual nossos olhos são sensíveis.

Todos os tipos de energia radiante têm certas propriedades em comum: por exemplo, todos êles têm, no vácuo, velocidade de 300 mil quilômetros por segundo; todos êles podem ser imaginados como ondas. Cada um dêles tem comprimento de onda (distância entre as cristas de duas ondas consecutivas) diferente. Cada um dêles transporta quantidade de energia diferente: as ondas de rádio têm longos comprimentos de onda e pouca energia, os raios X têm pequenos comprimentos de onda e muita energia.

Os tipos de energia radiante vão desde as ondas de rádio até os raios X e raios gama. Os físicos chamam a êsse conjunto *espectro electromagnético* e qualquer porção do espectro é conhecida como faixa (fig. 9 — 2). As ondas de rádio têm 500 metros de comprimento, isto é, 500 metros de crista a crista, enquanto que os raios X têm um bilionésimo de centímetro de comprimento de onda. Entre êsses extremos estão as faixas de radiações ultravioleta, de luz visível e de radiações infravermelhas.

A faixa de luz visível, geralmente conhecida como *espectro da luz,* é de particular interêsse no estudo da fotossíntese. Ela é composta por luz de diferentes côres: violeta, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho (fig. 9 — 2).

Quando a luz atinge um objeto, três coisas podem acontecer: pode atravessar o objeto, se êste fôr transparente; pode sofrer reflexão, se a superfície do objeto fôr polida, como a de um espelho, por exemplo; pode ser absorvida pelo objeto, como acontece quando a luz incide sôbre roupa preta, por exemplo. Todos êsses fenômenos podem ocorrer simultâneamente, predominando um dêles em cada caso. Se um feixe de luz incide sôbre um vidro vermelho, êste transmite e reflete grande parte da luz vermelha e os demais comprimentos de onda são quase totalmente absorvidos.

Que acontece com a luz quando ela é absorvida por um objeto? Não é mais energia luminosa mas é ainda energia. Mudou para outra forma, por exemplo, calor. Pode também transformar-se em energia química. As fôlhas são verdes porque refletem a maior parte dos comprimentos de onda associados com a côr verde e absorvem a maior parte dos comprimentos de onda associados com as outras côres. A energia absorvida é transformada em energia química e esta é a energia utilizada na fotossíntese.

...À medida que a população de heterótrofos aumentava, as substâncias orgânicas que lhes serviam de alimento diminuíam. O acúmulo gradual de ozona na atmosfera deve ter diminuído a quantidade de radiações ultravioleta que alcançava a Terra, o que fêz decrescer a produção de alimento orgânico. Durante milhões de anos, certos organismos desenvolveram a capacidade de usar luz solar para a síntese de alimento, capacidade esta que envolve a conversão de energia luminosa em energia química das moléculas. A luz visível é uma pequena porção da radiação electromagnética fornecida pelo Sol.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Cite quatro problemas que os sêres heterótrofos encontraram, provàvelmente, durante a sua evolução.
2. Quais as duas ocorrências hipotéticas responsáveis pela redução do alimento para os heterótrofos?
3. Que é ozona? Onde êle intervém na história dos sêres heterotróficos?
4. Que acontece às formas de vida que não são capazes de adaptar-se a um ambiente em modificação?
5. Que tipo de molécula ou substância se tornou parte de um heterótrofo no primeiro passo da sua evolução para autótrofo?
6. Dê um exemplo de uma propriedade constante da energia radiante.
7. Quais são algumas propriedades variáveis da energia radiante?
8. Em que uma onda de rádio difere da radiação ultravioleta?
9. Que pode acontecer com a luz quando ela incide sôbre um objeto?
10. A energia radiante é destruída quando absorvida por uma substância? Explique.

A NATUREZA DA FOTOSSÍNTESE

9 — 5 Matéria-prima e produtos da fotossíntese

Como podemos ver pelo nome (*photo,* luz e *synthesis,* produção), *fotossíntese* é o processo responsável pela produção de matéria orgânica à custa de energia luminosa. A capacidade de usar energia luminosa foi uma das etapas mais importantes na evolução dos sêres vivos.

As pesquisas sôbre fotossíntese são muito difíceis de serem realizadas. Os trabalhos feitos até agora, embora forneçam apenas conhecimentos fragmentários, esclarecem que é um processo complexo. Alguns fatos já são conhecidos há mais de um século, enquanto que outros permanecem ainda ignorados. Vamos esquematizar o processo dentro do que se conhece hoje e, então, estaremos capacitados a especular a respeito dos autótrofos primitivos.

Há muito se sabe que o processo da fotossíntese pode ser resumido numa equação simples:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{clorofila}]{\text{luz}} (CH_2O) + O_2$$

Por ela vemos que a energia luminosa, absorvida pelas fôlhas verdes, é usada para transformar o bióxido de carbono e água, que são as matérias-primas, em carboidrato (CH_2O) e oxigênio, os produtos. Os carboidratos são, então, usados pelos autótrofos como matéria-prima e como fonte de energia para a síntese de aminoácidos, proteínas, gorduras e outras substâncias que as células necessitam. Contudo, esta equação não esclarece as complexas etapas através das quais as moléculas de carboidratos são produzidas e o oxigênio libertado. Também nada esclarece a respeito do intricado processo de conversão da energia luminosa em energia química. A figura 9 — 3 ilustra os problemas fundamentais da fotossíntese.

9 — 6 Fatôres que interferem na fotossíntese

Você já deve ter aprendido, nos seus trabalhos de laboratório, que a maneira mais eficiente para compreender um processo biológico é através de medidas quantitativas. Os processos para medir podem progredir a partir de métodos muito grosseiros para métodos muito precisos. Isso aconteceu também no estudo da fotossíntese.

Da mesma maneira que Lavoisier mostrou quais as matérias-primas e quais os produtos finais do processo da fermentação, os primeiros investigadores mostraram que CO_2 e água são as matérias-primas, e carboidratos e oxigênio são produtos finais da fotossíntese. Mais tarde, foi possível medir a velocidade do processo e com isso novas questões surgiram: o processo é mais rápido com luz intensa ou com luz difusa? É mais eficiente nas células verde-escuras ou nas células verde-claras? Essas questões levaram a outras hipóteses que puderam ser testadas através de experiências, cujos resultados esclareceram um pouco mais o mecanismo da fotossíntese.

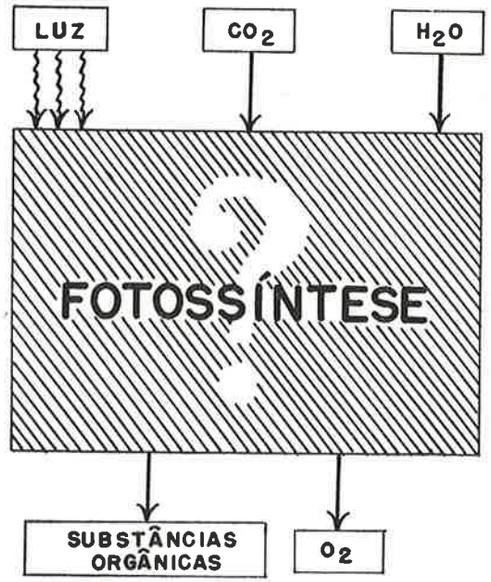


Fig. 9-3 O quadrado simboliza um problema fundamental em Biologia: fotossíntese. Os cientistas sabem o que entra na reação e o que aparece no fim. As etapas intermediárias ainda não estão completamente esclarecidas.

O primeiro problema é saber como determinar a velocidade da fotossíntese. Isto pode ser feito calculando-se a quantidade de matéria orgânica que a planta produz num determinado intervalo de tempo ou calculando-se qual é a quantidade de gás carbônico absorvida ou a quantidade de oxigênio libertada nesse mesmo tempo. É muito mais fácil medir-se as trocas gasosas efetuadas do

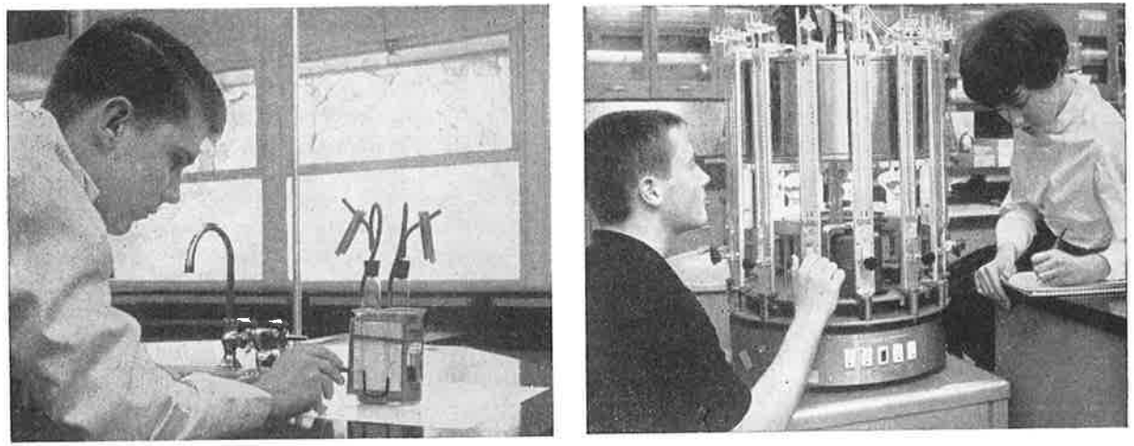


Fig. 9-4 Manômetro — usado nas escolas secundárias. b) Manômetros de Warburg.

que a quantidade de matéria orgânica produzida. Para isso, físicos e químicos desenvolveram diversos métodos, baseados nas mudanças na pressão ou no volume dos gases e em análises químicas.

Um dos aparelhos mais usados nas pesquisas modernas sôbre fotossíntese é o manômetro, semelhante, em princípio, ao que você usa no laboratório (fig. 9 — 4). Com êle podemos determinar a quantidade de CO_2 absorvida em certo tempo, ou a quantidade de O_2 libertada em certo tempo, ou ambas as coisas. Com estas medidas podemos determinar a velocidade da fotossíntese

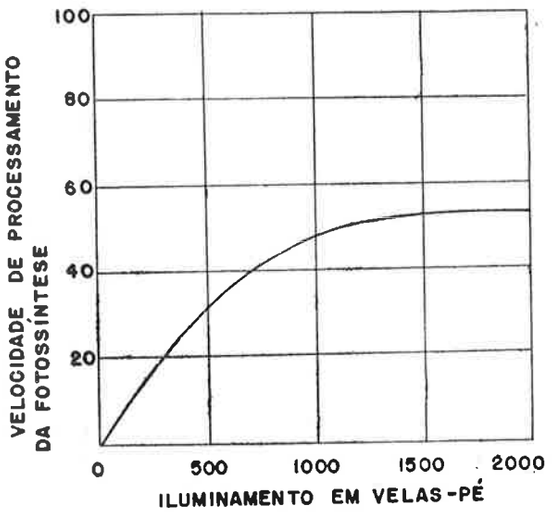


Fig. 9-5 Relação entre a velocidade de processamento de fotossíntese e a intensidade da luz.

e, a partir disso, a influência de vários fatôres como a luz, concentração de gás carbônico e temperatura no processo.

Uma vez que a energia luminosa é necessária para a fotossíntese, poderíamos pensar que o processo se torna mais rápido com luz mais in-

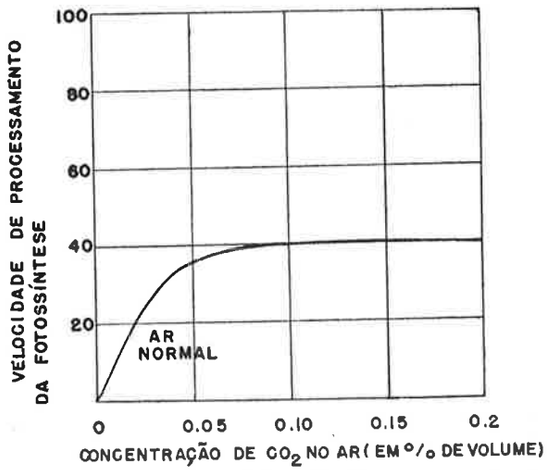


Fig. 9-6 Relação entre a velocidade de processamento da fotossíntese e a concentração de CO_2 no ar.

tensa. Porém, se medirmos as velocidades de produção de oxigênio em diversas intensidades luminosas, obteremos uma curva semelhante a da figura 9 — 5. Podemos ver que, para intensidades relativamente baixas, nossa predição é confirmada: aumentando a intensidade luminosa aumenta a velocidade da fotossíntese; nas maiores intensidades, contudo, a curva se estabiliza e

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

um nôvo aumento pràticamente não altera o resultado. Como explicar isso? Antes de tentar responder vamos examinar alguns outros resultados de experiências simples sôbre fotossíntese.

Poderíamos também pensar que a velocidade da fotossíntese aumentaria a medida que aumenta a quantidade disponível de gás carbônico. A figura 9 — 6 mostra os resultados de uma experiência em que o único fator variável é a concentração de CO_2. Nela vemos que, quando a quantidade de gás carbônico é pequena, a velocidade da fotossíntese também é muito baixa. À medida que se aumenta a concentração dêsse gás, aumenta a velocidade do processo mas, novamente, até um certo ponto; além dêle, qualquer aumento na quantidade de CO_2 não afeta a velocidade do processo.

Vamos agora combinar as duas experiências e medir o efeito da concentração do gás carbônico em três diferentes intensidades luminosas. Os resultados dessas medidas estão nas curvas mostradas na figura 9 — 7. Você poderá ver que, em concentrações baixas de bióxido de carbono, a fotossíntese depende da quantidade de gás disponível. Quando há muito gás carbônico, a velocidade dependerá da intensidade luminosa; portanto, pode-se dizer que é a menor quantidade das duas variáveis (luz e CO_2) que determina a velocidade final da fotossíntese, agindo como *fator limitante* do processo.

Os problemas da fotossíntese se tornam um pouco mais complicados quando passamos a con-

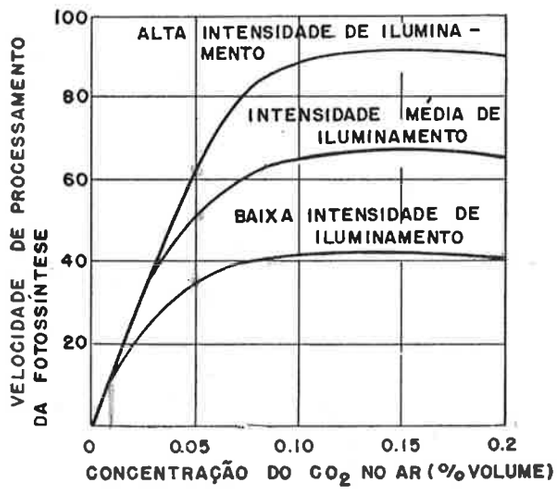


Fig. 9-7 Relação entre a velocidade de processamento da fotossíntese e a concentração de CO_2 em diferentes intensidades de iluminamento.

siderar o efeito da temperatura. Quase tôdas as reações químicas, incluindo as catalisadas por enzimas, se tornam mais rápidas à medida que a temperatura aumenta, naturalmente até um certo limite. De 0° C a cêrca de 40° C as reações enzimáticas dobram, aproximadamente, de velocidade a cada aumento de 10° C na temperatura; contudo, reações fotoquímicas, isto é, as que usam energia luminosa, geralmente não são afetadas pela temperatura, porque o pequeno ganho em energia, quando a temperatura se eleva, tem pequeno efeito comparado com o da grande quantidade de energia luminosa que é absorvida. Com êste ganho de energia a molécula tem a capacidade de iniciar o processo. A relação entre temperatura e fotossíntese é mostrada na figura 9 — 8.

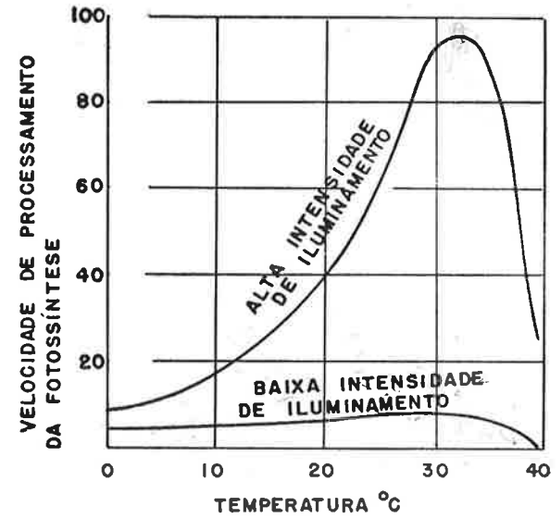


Fig. 9-8 Relação entre a velocidade de processamento da fotossíntese e a temperatura.

Estudos da influência da temperatura na velocidade da fotossíntese mostram que não há quase variação alguma na velocidade do processo quando a intensidade luminosa é baixa; a luz é o fator limitante. Quando a intensidade luminosa é elevada, contudo, o aumento da temperatura acelera a velocidade da fotossíntese, da mesma maneira que o faz em qualquer reação enzimática. Dêsses resultados podemos concluir que a fotossíntese consiste de, *pelo menos*, dois tipos de reações, algumas fotoquímicas (reações influenciadas pela luz) e algumas enzimáticas (influenciadas pela temperatura). Isto explica por-

que um aumento indefinido na intensidade luminosa não causa aumento indefinido na velocidade da fotossíntese. Em outras palavras, as reações enzimáticas, que não são afetadas pela intensidade luminosa, passam a ser o fator limitante na velocidade da fotossíntese.

Nos últimos trinta anos, pesquisadores mostraram que a fotossíntese inclui muitas reações enzimáticas. Medindo a velocidade do processo sob a ação de diversos fatôres, tiveram êles um bom ponto de partida para descrever o fenômeno. Mas apenas descobriram certos fatos e verificaram que há muitos outros que devem ser conhecidos para que se possa entender a fotossíntese. A equação

$$CO_2 + H_2O \rightarrow (CH_2O) + O_2$$

encobre muitos detalhes.

Pode-se supor que os primeiros sêres autótrofos desenvolveram, vagarosamente, em longo período de tempo, tudo o que era necessário para a seqüência de reações que ocorre na fotossíntese.

9 — 7 Uma molécula que modifica energia

Se triturarmos fôlhas verdes e dissolvermos o material obtido em álcool ou acetona, é possível separar os componentes dêsse extrato por uma técnica conhecida por cromatografia. Dois compostos são, quase sempre, identificados. O Exercício n.º 18 explica a técnica de identificação dessas substâncias. Pertencem elas ao grupo das clorofilas; uma é a clorofila *a* e a outra é a clorofila *b*. A fórmula estrutural da clorofila *a* é dada na figura 9 — 9. Examinando-se sua estrutura notam-se que os átomos de carbono e nitrogênio estão dispostos em anéis que, por sua vez, se dispõem em um anel maior com um átomo de magnésio no centro.

Estudos experimentais das clorofilas, especialmente da clorofila *a*, mostram que elas absorvem intensamente as regiões vermelha e azul do espectro da luz e refletem a parte verde.

Dissolvendo-se as clorofilas e analisando-as pela cromatografia pode-se determinar as côres absorvidas pela clorofila *a*, quando dissolvida em álcool ou em outro solvente qualquer. Modificando-se os instrumentos, é possível também medir as côres absorvidas pela clorofila *a* quando nas células vivas. Com isso nota-se que a absorção não é exatamente igual nessas duas condições. C. S. French e seus colaboradores mostraram que há diferentes formas de clorofilas *a* nas células vivas, as quais absorvem diferentes faixas da luz vermelha. Mostraram também que, quando o pigmento está dissolvido, há sòmente um tipo de clorofila *a*.

Êstes resultados se esclarecem um pouco mais quando lembramos que, nas células, a clorofila *a* está firmemente ligada a proteínas e lípides,

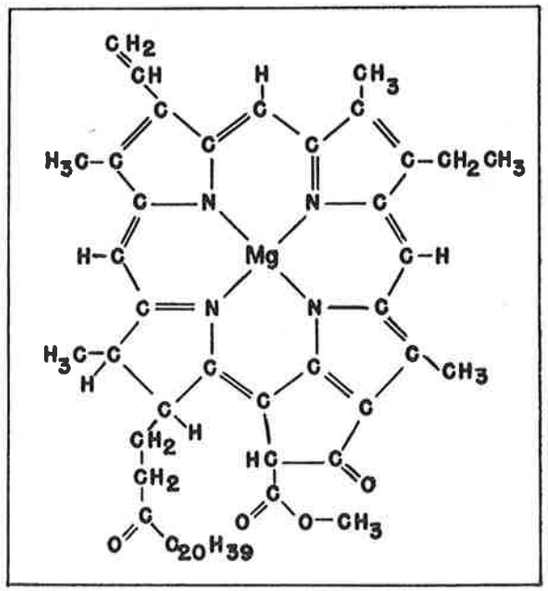


Fig. 9-9 Estrutura molecular da clorofila.

dentro de estruturas especiais que são os *cloroplastos*. Deve haver diversas maneiras pelas quais a clorofila *a* possa ligar-se a proteínas e lípides e cada uma delas modifica a absorção da luz. Se quisermos compreender o mecanismo da fotossíntese, devemos considerar não sòmente que tipos de moléculas estão presentes mas, também, como estas moléculas se dispõem em relação umas às outras. Como é comum em Biologia, a função de um componente biológico pode ser melhor comprendida pela análise de sua estrutura.

As clorofilas se caracterizam apenas por absorver energia radiante? Elas e particularmente a clorofila *a*, absorvem energia e a transferem para certos compostos que, sua vez, cederão essa energia na transformação de CO_2 em carboidratos. Dessas reações resultam tôdas as ligações químicas energéticas contidas nas células dos autótrofos.

Não se sabe, exatamente, como a energia radiante é convertida em energia química. A teoria atual baseia-se na idéia de que uma unidade de energia luminosa é absorvida por um eléctron na molécula de clorofila. Esta energia "excita" o eléctron que deixa a molécula de clorofila e é capturado por uma molécula de outro tipo. Ao ceder o eléctron, a clorofila se transforma em "doador de eléctron" e está agora em condições de agir como "aceptor de eléctron". Na transferência do eléctron a sua energia pode ser utilizada para reações que, eventualmente, produzirão carboidratos. Os conhecimentos experimentais de que dispomos não permitem determinar se esta teoria é correta ou não, contudo, ela está de acôrdo com a teoria química atual.

É importante salientar que a conversão de energia luminosa em energia química foi essencial para a evolução dos autótrofos. A formação de clorofila, ou de outros pigmentos capazes de absorver luz, nos heterótrofos foi, provàvelmente, o primeiro passo nessa evolução.

...As matérias-primas usadas pela maioria dos autótrofos são o bióxido de carbono e a água. Com essas substâncias a célula viva, na presença de luz solar, é capaz de produzir carboidratos. Oxigênio se desprende como um subproduto. A velocidade da fotossíntese aumentará à medida que a intensidade luminosa aumenta, até um certo ponto; isto também se verifica quando há aumento das concentrações de gás carbônico ou de temperatura. Quando a intensidade luminosa atingiu seu ponto máximo, um aumento na temperatura ainda poderá aumentar a velocidade da fotossíntese. Essa observação indica que há, pelo menos, duas etapas fundamentais no processo: (1) uma controlada pela luz e (2) outra que é controlada apenas por enzimas. A clorofila é a molécula-chave nas reações que envolvem luz. Muitas moléculas são sensíveis à luz e muitas moléculas absorvem luz mas, sòmente a clorofila e, provàvelmente, só a clorofila a, *tem capacidade de absorver energia luminosa e convertê-la em energia química. Êste processo possìvelmente envolve a transferência de eléctrons para outras moléculas dentro da célula.*

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual é a informação que a equação

$$CO_2 + H_2O \rightarrow (CH_2O) + O_2$$

fornece? Que fatos ela não elucida?
2. Qual é a maneira simples de se comprovar a fotossíntese e de medir sua velocidade?
3. Que é manômetro?
4. Por que a temperatura tem efeito tão pequeno na reação fotoquímica?
5. Que partes da luz a clorofila absorve?
6. Como é modificada a capacidade da clorofila de absorver luz quando ela é retirada da célula? Coisa semelhante acontece dentro da célula?
7. Que faz da clorofila uma substância singular?

FOTOSSÍNTESE — UMA SÉRIE DE REAÇÕES

9 — 8 O carbono do gás carbônico transforma-se em carbono de carboidrato

O processo da fotossíntese é uma seqüência complexa de muitas reações separadas. O carbono segue um caminho extremamente complexo, depois que entra em um ser autótrofo como gás carbônico. A maior parte do trabalho para descobrir os detalhes dêsse caminho foi feito em uma alga verde unicelular, *Chlorella*, por uma equipe de pesquisadores da Universidade da Califórnia. O chefe desta equipe foi Melvin Calvin, professor de Química que, em 1961, recebeu o Prêmio Nobel por essa pesquisa. O problema básico enfrentado por Calvin e seu grupo foi descobrir as etapas intermediárias entre a molécula de CO_2, como é absorvida pelo autótrofo, e a molécula final de carboidrato.

Calvin partiu da hipótese de que a transformação de gás carbônico em carboidrato se faz através de uma seqüência de reações químicas. Supôs que o bióxido de carbono deveria reagir com alguma substância na célula, ainda desconhecida, para produzir um nôvo composto químico que chamaremos de Composto Intermediário A. Êste composto entraria em outra reação, resultando um composto ligeiramente diferente e que chamaremos de Composto Intermediário

B. Depois de uma série de pequenas modificações semelhantes resultaria o produto final, o carboidrato. Esta série de reações pode ser esquematizada da seguinte maneira:

$$CO_2 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \ldots \rightarrow (CH_2O)$$

Para testar sua hipótese, Calvin teve que desenvolver uma técnica experimental para seguir o carbono através da seqüência de reações.

As pesquisas sôbre radioatividade, realizadas durante a Segunda Guerra Mundial, levaram à descoberta de uma forma de carbono que é radioativa. Um átomo de carbono contém, em seu núcleo, 6 prótons e 6 nêutrons. O carbono radioativo (C^{14}) contém também 6 prótons, mas 8 nêutrons, em lugar de 6 como o carbono comum (C^{12}). Os dois nêutrons a mais são, aparentemente, a causa desta forma de carbono ser instável ou "radioativa". Quando o carbono radioativo muda para uma condição estável êle emite radiação que pode ser determinada por um contador Geiger. O carbono-14 e muitas outras formas radioativas de elementos têm sido usadas desde 1948 em pesquisas médicas e biológicas. A figura 9 — 10 mostra como o trajeto do carbono radioativo pode ser seguido numa fôlha.

Calvin imaginou que, se células verdes, realizando fotossíntese em luz intensa, forem expostas a bióxido de carbono no qual alguns átomos de carbono são radiativos, parte dêsses átomos radioativos deveriam ser encontrados depois em moléculas de carboidratos. Em outras palavras, êle esperava encontrar glicose radioativa ou outra substância também radioativa. Usando algas verdes unicelulares foi possível comprovar sua hipótese experimentalmente.

Suponhamos agora que, numa outra experiência, as células verdes são expostas a bióxido de carbono radioativo por um período de tempo muito curto. Os átomos de carbono não poderão completar a série inteira de reações e, assim, sòmente alguns dos produtos intermediários terão carbono radioativo (fig. 9 — 11). Se a exposição ao gás carbônico radioativo fôr repetida por períodos de tempo cada vez menores, poderemos determinar qual é a primeira reação da série. Sòmente o Composto Intermediário A deverá conter carbono radioativo e êle poderá ser identificado por processos químicos. Êste foi o plano seguido. Células fotossintetisantes foram expostas a bióxido de carbono radioativo por diferentes períodos de tempo; em seguida, foram ràpidamente mortas e as substâncias contendo carbono-14 puderam ser identificadas.

Entretanto, algumas dificuldades foram encontradas, de maneira que o projeto levou mais tempo para ser executado do que havia sido planejado. Uma das dificuldades deve-se a ser o processo muito rápido; depois de apenas alguns

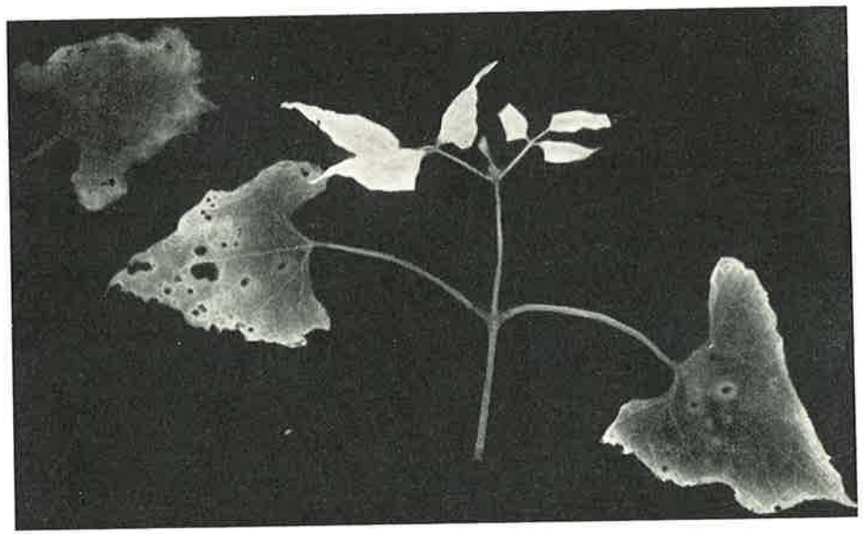


Fig. 9-10 Fotografia de um filme semelhante ao filme de Raio X. As plantas foram tratadas com CO_2 radiativo, expostas à luz e em seguida colocadas próximo ao filme, no escuro. As áreas infetadas por vírus aparecem como manchas brancas. Note que as fôlhas do alto têm uma velocidade de fotossíntese relativamente alta.

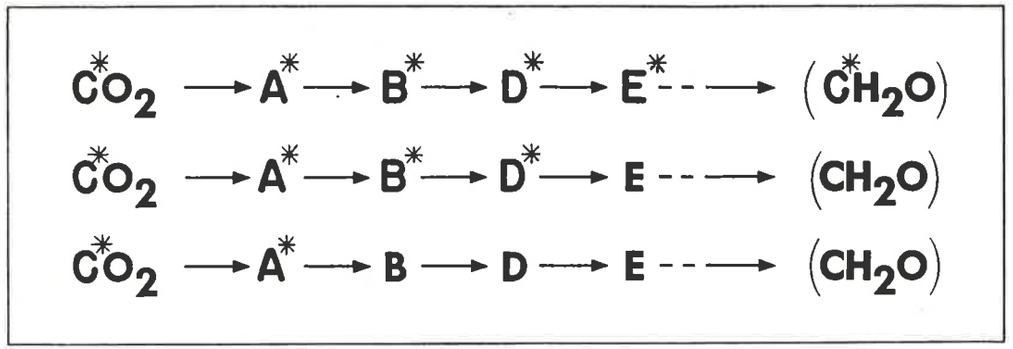


Fig. 9-11 Carbôno radiativo é usado para descobrir os produtos inttrmediários na fotossíntese.

minutos o carbono-14 já havia seguido tôda a cadeia de reações; portanto, as primeiras reações deveriam ocorrer em segundos. Outro problema foi a ocorrência simultânea de outras reações, que não tinham relação direta com a fotossíntese, e que desviavam parte do carbono-14.

A despeito das dificuldades, um quadro razoàvelmente claro de seqüência de reações pôde ser esboçado. Calvin e seus colaboradores determinaram um dos primeiros compostos intermediários no qual aparecia o carbono-14: o *ácido fosfoglicérico*. Êste ácido é um dos compostos com três átomos de carbono na molécula formado nas reações de fermentação discutidas no Capítulo 6. Nas células que estão realizando fotossíntese êle se forma imediatamente depois que o CO_2 é acrescentado à ribulose difosfato, uma pentose com dois grupos fosfóricos. Esta substância, agora com mais um carbono ligado, parte-se em duas moléculas de ácido fosfoglicérico. Êste ácido, usando a energia fornecida pela clorofila é convertido em outros compostos com três átomos de carbono na molécula e ligados a grupos fosfóricos. É interessante notar que as reações que ocorrem na fotossíntese são semelhantes às que ocorrem na fermentação, mas em ordem inversa (fig. 9 — 12).

Através de reações sucessivas, parte dessas moléculas são transformadas em hexoses, como glicose. Outra parte é usada pela célula para manter o suprimento de moleculas de ribulose difosfato, necessárias para o ciclo.

A equipe de Calvin mostrou muitos dos detalhes das reações químicas que ocorrem durante a fotossíntese.

A técnica para se determinar os compostos que contêm carbono-14 é hoje uma prática comum em laboratório. Para separar os numerosos compostos que aparecem na fotossíntese, o grupo de Calvin usou cromatografia bidimensional. Nesse processo, uma gôta do extrato é colocada em um dos cantos de uma fôlha de um papel, especialmente preparado; nela seguiam o movimento da mancha ao longo de um dos bordos e a difusão de seus componentes. Viravam então o papel a 90.º, de maneira que os componentes que se separaram poderiam então mover-se em ângulos retos com os primeiros. Esta

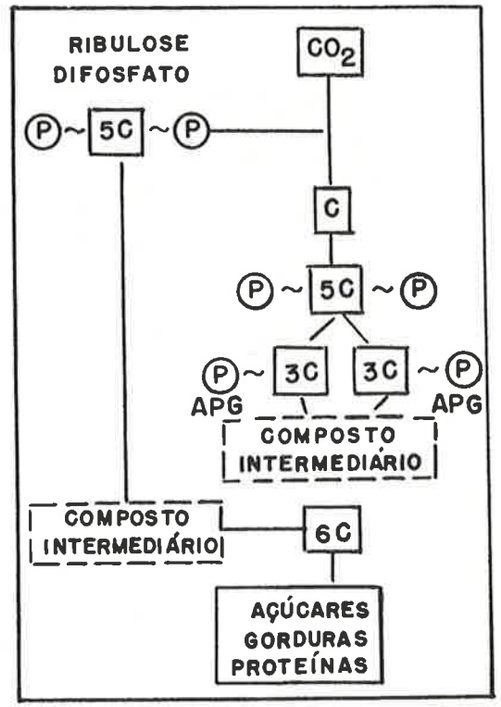


Fig. 9-12 Um diagrama simplificado do caminho do carbono na fotossíntese.

técnica separou as diversas substâncias sôbre uma fôlha de papel de cêrca de 20 centímetros quadrados. A fôlha foi então colocada sôbre um filme de raio X. Quando o filme foi revelado, mostrou que as manchas continham carbono-14. As diversas manchas do cromatograma foram analisadas e identificadas, dando diversos compostos intermediários da fotossíntese.

Tôdas as enzimas necessárias para a transformação do CO_2 em carboidrato são também encontradas nas células que não realizam fotossíntese. Por exemplo, certas células do fígado humanos convertem bióxido de carbono em carboidrato, se dispuzerem de uma fonte de energia adequada. Neste caso a energia necessária deverá vir de outros alimentos e, uma vez que, parte dessa energia se perde como calor, será necessário mais alimento do que o resultante da transformação de CO_2. Assim, não há ganho de energia nessa transformação embora novos compostos possam ter sido formados. Fotossíntese é, portanto, um processo único porque a fonte direta de energia é a luz solar. Além disso, é o único processo bioquímico que dá lucro real de energia química.

9 — 9 Transportadores de energia nas reações da fotossíntese

A absorção de energia luminosa pela clorofila é uma parte muito importante da fotossíntese. Como foi descrito anteriormente, os eléctrons, na molécula de clorofila, retiram energia da luz e deixam a molécula. Se não forem capturados por outra molécula, podem novamente perder essa energia e voltar para a molécula de clorofila. Uma substância conhecida por nicotino-adenina nucleotídeo (NADP) é o aceptor final dos eléctrons ativados da clorofila. Êstes eléctrons representam energia, de maneira que, o nicotino-adenina nucleotídeo está absorvendo energia quando recebe um eléctron ativado da clorofila.

Demonstrou-se que essa energia pode também ser usada na síntese de ATP; pode também ser usada na reação que transforma o ácido fosfoglicério em triose-fosfato, uma das importantes etapas na síntese de carboidratos. Isto significa que a energia adquirida pelo nicotino-adenina nucleotídeo é transferida para novos compostos, com mais energia armazenada nas suas ligações. Um dêstes compostos é a *glicose*.

À medida que essa energia vai sendo transferida, que acontece com a clorofila que absorveu energia luminosa e perdeu os eléctrons ativados? Apresentamos uma hipótese no item seguinte.

9 — 10 Oxigênio — um importante subproduto

A liberação do oxigênio pelas plantas verdes foi o primeiro fato relacionado com a fotossíntese a ser observado. Cêrca de duzentos anos atrás, Joseph Priestley, um dos pioneiros da Química, achou que o ar "que tivesse sido contaminado pela queima de velas" poderia se tornar novamente puro através das plantas. Esta notável observação foi feita antes de ter o oxigênio sido identificado como um elemento. Hoje sabemos que a fotossíntese é a única fonte importante de oxigênio atmosférico, substância que a maioria dos sêres vivos precisa para a respiração.

Por muitos anos pensou-se que o oxigênio produzido na fotossíntese viesse do CO_2 absorvido pelas plantas. Primeiramente, o CO_2 se decomporia em C e O_2,

$$CO_2 \rightarrow C + O_2$$

e, em seguida, o carbono reagiria com a água dando carboidrato,

$$C + H_2O \rightarrow (CH_2O)$$

Embora essa explicação pareça muito simples, a fotossíntese não ocorre desta maneira. A prova mais conclusiva foi obtida com o emprêgo de isótopos marcados. Usando-se água, na qual o oxigênio é o O^{18} em lugar de O^{16} (o O^{18} não é radioativo e pode ser identificado por um instrumento chamado espectrômetro de massa) foi possível mostrar que o oxigênio provém da água e não do CO_2.

$$2H_2O^{18} + CO_2 \rightarrow (CH_2O) + O_2{}^{18} + H_2O$$

Isto permite supor que a água sirva como fonte de eléctrons para substituir aquêles cedidos pela clorofila para o nicotino-adenina nucleotídeo. Muito pouco se sabe sôbre as enzimas e compostos celulares com os quais a água reage, mas uma hipótese foi proposta. Ela leva em consideração a tendência da água para existir como íons hidrogênio e íons hidroxila (OH^-). Numa segunda reação, que exige luz, um eléctron dos

íons hidroxila passa, com o auxílio de um composto intermediário, para a clorofila que, assim, recupera o eléctron perdido. Os íons OH^- compensam a perda de seus eléctrons unindo-se para formar moléculas de água e moléculas de oxigênio. A reação pode ser esquematizada na seguinte equação:

$$4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2$$

Esta reação seria semelhante à da eletrólise da água; num caso a fonte de energia é a eletricidade e no outro, a luz. Lembre-se que esta descrição é uma hipótese. Ela tenta explicar dois fatos: 1) que o oxigênio é um produto da fotossíntese; 2) que o oxigênio vem da água e não do bióxido de carbono.

...Pelo emprêgo do carbono radioativo verificou-se que o elemento marcado do CO_2 aparece num composto de 3 carbonos, o ácido fosfoglicérico. As moléculas dêsse ácido, depois de pequenas modificações, combinam-se para produzir moléculas de açúcar com 6 carbonos. A formação de hexose, a partir de um par de compostos com 3 carbonos, parece ser semelhante ao inverso da fermentação, na qual uma hexose dá dois compostos com 3 carbonos. A energia necessária para produzir açúcares na fotossíntese é fornecida pela energia luminosa absorvida e transformada pela clorofila. Parece que, sob a influência da luz, a energia é obtida quando eléctrons da clorofila são transferidos para certos aceptores de eléctrons como nicotinoadenina nucleotídeo e ATP. Eléctrons da água passam então para a clorofila, que recupera assim os que perdeu na transferência de energia. É na transferência de eléctrons da água para a clorofila que o oxigênio é produzido como subproduto.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual foi a hipótese de Calvin sôbre a natureza química da fotossíntese?
2. Que técnica experimental empregaram Calvin e seus colaboradores para testar sua hipótese e os fatos que predisseram?
3. Que métodos são usados para acompanhar o caminho do carbono-14 e outros isótopos marcados?
4. Qual foi uma das principais dificuldades que Calvin encontrou ao testar sua hipótese?
5. Qual uma das maiores semelhanças entre as reações químicas da fotossíntese e as da fermentação?
6. Que técnica Calvin usou para separar as várias substâncias que aparecem na fotossíntese e também identificar a localização de carbono-14?
7. Que faz da fotossíntese um processo diferente de outros mecanismos de síntese de carboidratos?
8. Qual o papel do nicotino-adenina nucleotídeo no processo da fotossíntese?
9. Como sabemos que o O_2 da fotossíntese vem da água?
10. Qual é a hipótese que explica a reposição dos eléctrons da clorofila?

A EVOLUÇÃO DA FOTOSSÍNTESE

9 — 11 Equação geral da fotossíntese

Assim como há vários tipos de fermentação, evoluíram vários tipos de fotossíntese. A maioria dos vegetais clorofilados usa água como fonte de eléctrons no processo da fotossíntese mas, outras substâncias podem ser usadas em lugar de água: algumas bactérias usam ácido sulfídrico, compostos contendo hidrogênio, ou mesmo hidrogênio livre. Inicialmente, os pesquisadores deram mais atenção à variedade de "tipos" de fotossíntese, desprezando as semelhanças.

C. B. van Niel foi o primeiro a perceber que os vários "tipos" de fotossíntese tinham um padrão comum. Sua descoberta pode ser ilustrada através das equações que resumem cada um dos tipos e que lhe permitiram chegar a uma equação geral, válida para todos êles:

a) Equação específica para a maioria dos vegetais clorofilados:

$$CO_2 + 2H_2O \rightarrow (CH_2O) + H_2O + O_2$$

b) Equação específica para certas sulfobactérias:

$$CO_2 + 2H_2S \rightarrow (CH_2O) + H_2O + 2S$$

c) Equação específica para certas bactérias:

$$CO_2 + H_2 \rightarrow (CH_2O) + H_2O$$

d) Equação geral:

$$CO_2 + 2H_2A \rightarrow (CH_2O) + H_2O + 2A$$

A, na equação geral, pode ser oxigênio, enxôfre ou mesmo nada (no caso do gás hidrogênio ser usado como fonte de eléctrons).

9 — 12 Material vivo para uso experimental

No Capítulo 6 fêz-se referência à importância de se isolar enzimas e observar sua ação fora dos sistemas vivos. Da mesma maneira, a pesquisa sôbre fotossíntese depende de como certas partes do processo poderiam ser analisadas isoladamente.

Parte do problema foi resolvido em 1919 quando Otto Warburg, bioquímico alemão, começou a usar uma alga verde unicelular, chamada *Chlorella,* nas suas experiências sôbre fotossíntese. O uso dessa alga dispensava a complexa estrutura de uma fôlha; a *Chlorella* se tornou desde então um organismo favorito para ser usado nessas experiências.

Contudo, as células da *Chlorella* realizam outras atividades além da fotossíntese. Além disso, são revestidas por uma membrana seletiva que regula a entrada de substâncias. O experimentador pode querer acrescentar alguma coisa às células que não possa atravessar a membrana. Seria necessário isolar-se as estruturas onde a fotossíntese se processa.

Por volta de 1937 pensou-se que os cloroplastos, que haviam sido identificados como estruturas onde se realiza a fotossíntese, perderiam essa capacidade quando retirados das células. Nesse mesmo ano, Robin Hill, biólogo inglês, verificou que os cloroplastos poderiam ser isolados da célula viva e, posteriormente, descobriu que êles podiam libertar oxigênio quando expostos à luz. Esta descoberta foi muito importante para a compreensão da fotossíntese. Realizando pesquisas semelhantes, Daniel Arnon, da Universidade da California, escreveu:

> Em 1954, meus colaboradores e eu, após seis anos de esforços infrutíferos, descobrimos como remover os cloroplastos de fôlhas de espinafre por meio de uma técnica que conservava, nas partículas isoladas, a capacidade de realizar o processo completo da fotossíntese realizado pelas plantas verdes: a conversão de gás carbônico e água em carboidrato e oxigênio, sem nenhuma fonte de energia externa, a não ser a luz visível.[1]

Os cloroplastos isolados podem ser usados como um material experimental quase ideal. Entretanto, deve-se lembrar que nós apenas podemos *supor* que os cloroplastos isolados estejam atuando do exatamente da mesmo maneira como agem nas células vivas.

Os cloroplastos são estruturas celulares altamente organizadas. A figura 9 — 13 mostra duas fotografias de cloroplastos. O arranjo exato das moléculas de clorofila, lípides e proteínas (incluindo enzimas) nessas estruturas não pode ser determinado pelas fotografias. Alguns modelos, semelhantes ao de Watson e Crick para o DNA, foram elaborados, mostrando como as moléculas de clorofila e de outras substâncias se dispõem em camadas. Êsses modelos, entretanto, não puderam explicar inteiramente todos os fatos observados, relacionados com a fotossínte.

9 — 13 O primeiro autótrofo

Haverá semelhança entre algum organismo fotossintetizante atual e os primeiros sêres autótrofos? Em que seqüência as várias modificações evolutivas teriam ocorrido para produzir os tipos de organismos que realizam o complexo processo da fotossíntese hoje observado? Certamente o primeiro autótrofo não adquiriu de repente a capacidade de realizar todo o complexo mecanismo. A evolução se processa por acúmulo de pequenas modificações. Vamos examinar as características da fotossíntese e tentar considerar seu significado na evolução dos autótrofos:

(1) O mecanismo de transformação de bióxido de carbono em carboidrato é bàsicamente o mesmo em todos os organismos, tanto autótrofos como heterótrofos. A razão dessa semelhança é devida, provàvelmente, à adaptação sofrida pelo sistema enzimático dos heterótrofos para realizar fotossíntese; foi essa adaptação que os transformou nos primeiros autótrofos.

(2) Os compostos que absorvem energia luminosa e iniciam sua conversão em energia química apresentam diferenças, mas mostram também um alto grau de semelhança. As clorofilas são muito semelhantes entre si; as semelhanças são

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO



Fig. 9-13 Cloroplastos: à esquerda, fotografia eletrônica de um cloroplasto numa fôlha de fumo; à direita diversos cloroplastos, numa fôlha jovem de feijão.

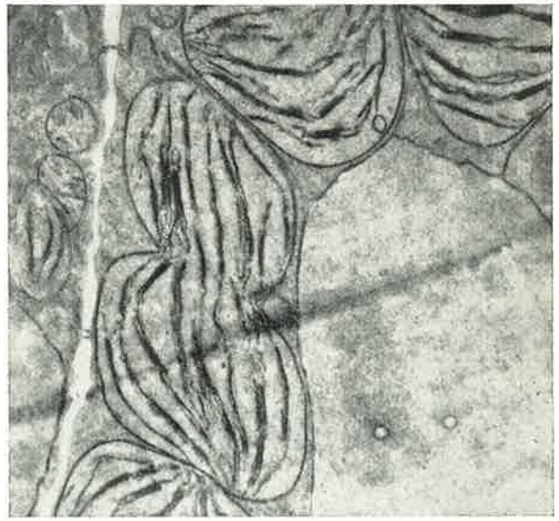
muito maiores do que as diferenças; isto sugere uma origem evolutiva comum.

(3) O estudo dos vários tipos de fotossíntese mostra que todos êles são muito complexos. Formas simples de fotossíntese aparentemente não existem nos organismos atuais. Uma suposição razoável, entretanto, e que concorda com a teoria da evolução, é que a fotossíntese deve ter começado sob uma forma muito simples que gradativamente evoluiu para as formas complexas atuais.

(4) A relação entre a energia luminosa e as transformações do carbono é a mesma em todos os organismos examinados até agora. Nicotinoadenina nucleotídeo e ATP parecem ser os transportadores universais de energia. Êsses compostos estão também envolvidos em outros fenômenos químicos celulares, tais como fermentação e pode-se supor que as células os utilizaram também na realização de outros processos.

(5) O fato de diversas substâncias serem usadas como fonte de eléctrons perdidos pela clorofila (hidrogênio, água, gás sulfídrico e outros) não nos permitem supor que um dêsses tipos de fotossíntese tenha se desenvolvido antes do outro. A mesma quantidade de luz é usada em qualquer dos casos. São necessárias mais informações e uma melhor compreensão dêsse aspecto da fotossíntese para que o fenômeno permita tirar conclusões sôbre a evolução dos autótrofos.

(6) O tópico final inclui as estruturas celulares nas quais estão localizados os pigmentos e onde ocorre o fluxo de eléctrons. Em todos os casos, há nelas um arranjo ordenado de proteínas e lípides em camadas com algumas moléculas de espessura. Uma possível exceção são os pequenos grânulos de bactérias fotossintetizantes, mas mesmo êles parecem ter camadas de proteínas, lípides e pigmentos. Camadas semelhantes, com algumas moléculas de espessura, são também



encontradas nas membranas celulares, membranas nucleares e em outras partes da célula. Êste arranjo ordenado, que mantém os pigmentos e moléculas transportadoras de eléctrons numa posição em que possam reagir umas com as outras, é sòmente um outro exemplo de estrutura no qual ocorrem inúmeras outras reações biológicas.

Considerando-se êsses ítens, que podemos dizer sôbre os primeiros autótrofos? Nêles, parte do que é necessário para a fotossíntese já estava presente — as enzimas do ciclo do carbono, por exemplo. Certos pigmentos existem em vários organismos; são quìmicamente semelhantes e tendo-se formado os primeiros, os outros poderiam ter evoluído a partir dêles. Os cloroplastos e outros corpúsculos nos quais os pigmentos se localizam têm estruturas semelhantes entre si e também a outras partes da célula.

Às vêzes, uma hipótese sôbre a evolução de um processo auxilia a compreender como êsse processo funciona. Outras vêzes ocorre o inverso — a compreensão do processo auxilia-nos a formar hipóteses sôbre sua evolução. Até o momento, entretanto, não sabemos o suficiente para elaborar uma hipótese detalhada sôbre a evolução da fotossíntese.

Os primeiros autótrofos foram capazes de sobreviver usando energia luminosa. Simultâneamente, começou a aparecer oxigênio na atmosfera e, com isto, o mundo se modificou. Os compostos orgânicos, formados ao acaso, passaram a não ser estáveis por muito tempo, pois se descompunham reagindo com o oxigênio. Talvez, o mais importante, é que o oxigênio tenha per-

mitido a evolução de um sistema para libertar energia dos alimentos, muito mais eficiente de do que o processo da fermentação. Êste novo processo é o objetivo da nossa próxima seção.

...Os processos que se desenvolveram nos sêres heterotróficos foram adaptados por evolução posterior, tornando-se uma parte da fotossíntese. Os pigmentos que convertem energia luminosa são muito semelhantes, tendo todos se originado, possìvelmente, de uma mesma substância. As estruturas que contêm os pigmentos são também muito semelhantes. Os transportadores de energia, nicotina-adenina nucleotídeo e ATP, são usados por todos os sêres autotróficos e heterotróficos. Os conhecimentos atuais sôbre as fontes de eléctrons, tais como, água, ácido sulfídrico e hidrogênio, não informam como se desenvolveu seu uso. A mesma falta de informações aplica-se ao nosso conhecimento sôbre cloroplastos e estruturas similares da célula.

Nossa análise da fotossíntese, com respeito à evolução dos autótrofos, é certamente incompleta. Para entender a evolução da fotossíntese, muitos detalhes das etapas precisam ser ainda esclarecidos. Contudo, esta análise fornece uma importante base para a hipótese dos heterótrofos. A existência de ATP e de nicotino-adenina nucleotídeo, tanto nas reações dos autótrofos como nas reações dos heterótrofos, o fato de muitas enzimas serem usadas tanto na fermentação como na fotossíntese, e muitos dos mesmos compostos ocorrerem em ambos os processos, sugerem que um se originou do outro. Como foi discutido no Capítulo 4, encaramos como muito mais provável a evolução da fotossíntese a partir da fermentação do que o inverso.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Os diferentes autótrofos desenvolveram algumas variações no processo padrão da fotossíntese. Quais são algumas dessas variações?
2. Que existe de comum entre todos os tipos de fotossíntese?
3. Que têm em comum a água, o ácido sulfídrico e o hidrogênio em relação ao processo da fotossíntese?
4. Por que é a *Chlorella* um bom material para ser usado no estudo da fotossíntese?
5. Qual é a razão de se dizer que as clorofilas têm uma origem evolutiva comum?
6. Quais são alguns dos problemas persistentes relacionados com a evolução da fotossíntese?

DESENVOLVIMENTO DA RESPIRAÇÃO

9 — 14 Oxigênio para organismos em evolução

Moléculas de água, através de modificações sofridas no processo da fotossíntese, libertam oxigênio livre para a atmosfera. Portanto, podemos supor que, como conseqüência do aparecimento dos autótrofos, uma certa quantidade de oxigênio, na forma gasosa, tenha-se acumulado gradativamente durante milhões de anos. Isto deve ter permitido a evolução de formas de vida que poderiam usar oxigênio.

O oxigênio que existe atualmente na atmosfera e nos oceanos é fornecido pela fotossíntese. Sem a constante produção dêsse gás pelos sêres autotróficos, o estoque existente logo teria terminado. É razoável supor que a fonte original de oxigênio livre na atmosfera tenha sido também a fotossíntese.

Por que é o oxigênio livre tão importante? Por que não poderiam os organismos superiores e mais complexos se desenvolver na sua ausência? As respostas a essas questões centralizam-se em dois importantes fatos: 1) o oxigênio é um dos dos mais eficientes aceptores de eléctrons entre todos os elementos químicos; 2) o processo da fermentação só é capaz de libertar uma pequena parte da energia armazenada nas ligações dos compostos orgânicos. A pequena quantidade de energia assim obtida limitaria as atividades vitais que os organismos poderiam desenvolver através da evolução. O uso do oxigênio permite a um organismo aproveitar muito mais da energia das ligações químicas de compostos tais como a glicose.

9 — 15 Comparação entre respiração e fermentação

Até agora o papel do oxigênio na quebra de compostos orgânicos foi tratado sòmente de uma maneira geral. Vamos agora discuti-lo um pouco mais detalhadamente. **Respiração** é o processo no qual o oxigênio é usado para obter energia de uma fonte alimentar. *Fermentação,* por outro lado, é o processo no qual a energia é obtida de uma fonte alimentar, na ausência do oxigênio. A respiração se tornou possível sòmente quando se formou oxigênio livre na atmosfera terrestre.

Os dois processos são comparados na figura 9 — 14. Em ambos a glicose se transforma em ácido pirúvico. A partir dêste ácido, contudo, ambos os processos se tornam diferente. Na fermentação, a quebra da glicose é *incompleta.* Termina com a formação de álcool etílico ou de compostos semelhantes, dependendo do tipo de célula em que ocorre. Na respiração, contudo, o ácido pirúvico, na presença do oxigênio, é *completamente* oxidado, dando CO_2 e água.

Há uma grande diferença entre as quantidades de energia produzida na fermentação e respiração, como foi indicado anteriormente. Na fermentação há ganho de sòmente 2 moléculas de ATP, para cada molécula de glicose que se transformou em álcool ou compostos semelhantes. Na respiração há ganho de 38 moléculas de ATP para cada molécula de glicose que é reduzida a CO_2 e água.

Fig. 9-14 Uma comparação entre a energia libertada e os produtos finais na fermentação alcoólica e na respiração.

9 — 16 O condrioma e as enzimas

As etapas finais da respiração ocorrem em pequenas estruturas encontradas no citoplasma das células, cujo conjunto é chamado *condrioma.* Essas estruturas *(condriossomos* ou *mitocôndrios),* são geralmente consideradas como as casas de fôrça das células. Observe, na figura 9 — 15, a intricada esrutura de um condriossoma típico como mostra o microscópio electrônico.

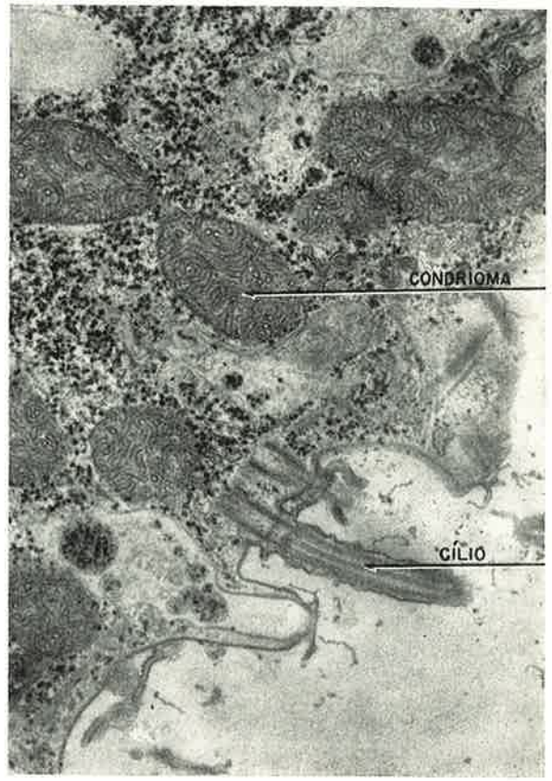


Fig. 9-15 Condrioma num *Paramecium.*

Apesar do condrioma geralmente não ser visível mesmo sob os melhores microscópios ópticos, foi possível identificá-lo o bastante para se poder supor que existe em tôdas as células. O tamanha e o número dos mitocôndrios variam de

um tipo de célula para outro. Algumas células têm cêrca de 50, enquanto outras alcançam 5 mil. O número, em cada célula, parece estar relacionado com a necessidade de energia e com a principal função executada por ela.

Muitas evidências experimentais indicam que os mitocôndrios são estruturas altamente organizadas. Contêm muitas enzimas que parecem estar arranjadas em uma ordem definida, umas em relação às outras. A maneira precisa e ordenada das muitas reações químicas que ocorrem na respiração exige êste alto grau de organização.

O condrioma parece conter a maioria das enzimas que transformam o ácido pirúvico em gás carbônico e água. Estas enzimas são muito específicas na sua ação. Algumas removem eléctrons do ácido pirúvico; outras transferem hidrogênio; isto permite que os hidrogênios e eléctrons se unam a um átomo de oxigênio para formar moléculas de água. Outras enzimas separam grupos de carbono e oxigênio do ácido pirúvico, levando à formação de gás carbônico. À medida que essas reações ocorrem, a energia obtida é usada para ligar grupos fosfóricos ao ADP, para formar ATP.

9 — 17 O ciclo do ácido cítrico

As modificações que ocorrem no interior dos mitocôndrios constituem o ciclo do *ácido cítrico* ou *ciclo de Krebs*. Entretanto, a molécula de glicose sofre diversas modificações importantes antes de entrar no condrioma, das quais resultam duas moléculas de ácido pirúvico e oito moléculas de ATP, como mostra a figura 9 — 18.

Esta etapa da respiração é muito semelhante ao processo da fermentação; contudo, na presença do oxigênio, formam-se 8 moléculas de ATP em lugar das duas que se formam na fermentação. A partir do ácido pirúvico forma-se gás carbônico, que é removido, resultando ácido acético, um composto com dois átomos de carbono na molécula.

A etapa seguinte e final do processo da respiração começa quando o ácido acético entra no mitocôndrio. Aí êle se liga a um ácido com 4 carbonos na molécula, originando-se um outro composto, com 6 carbonos, conhecido como *ácido cítrico*. Êste ácido sofre uma seqüência de reações, como mostra a figura 9-16, nas quais CO_2 é libertado, átomos de hidrogênio são removidos e eléctrons são capturados por enzimas. No fim dessa seqüência de reações está novamente formado o composto com 4 átomos de carbono e pronto para receber novamente outro ácido com 2 carbonos (ácido acético). Esta é a razão para se usar o têrmo *ciclo* para esta parte do processo respiratório. A energia conseguida nesta etapa da respiração, na qual o ácido pirúvico é quebrado em bióxido de carbono e água, fica contida nas 30 moléculas de ATP, formadas a partir do ADP e P, para cada molécula de glicose que entrou na reação.

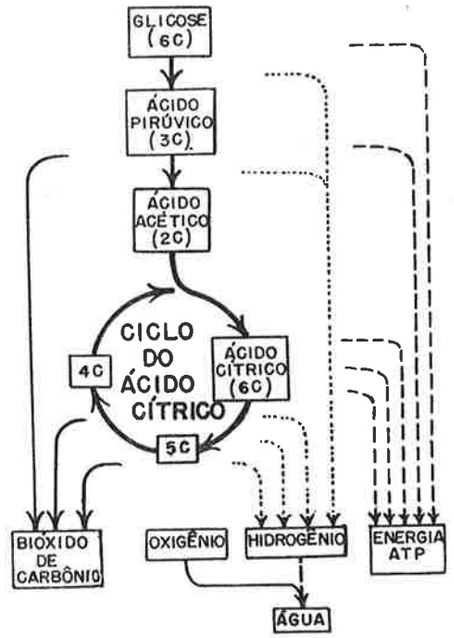


Fig. 9-16 Relação entre o ácido cítrico e o processo respiratório.

A parte do processo que ocorre no condrioma é chamada de ciclo do ácido cítrico porque o composto com 6 átomos de carbono é o ácido cítrico, ou ciclo de Krebs, porque Sir Hans Krebs descobriu a maioria dos detalhes do processo. Krebs recebeu o Prêmio Nobel de medicina em 1953 por causa dêsse trabalho.

A descrição feita explica como o ácido pirúvico é transformado em gás carbônico e água, mas não explica como as grandes quantidades de energia, contidas no ácido pirúvico, são convertidas em uma forma de energia utilizável. Êste problema da recuperação da energia tem sido intensamente investigado nos últimos anos e está sendo esclarecido. Aqui, como na fotossíntese, os eléctrons, aparentemente, passam de um nível altamente energético para um menos energético, fornecendo energia para a síntese de ATP. Quando os hidrogênios deixam os vários compostos, à medida que o ciclo ocorre, eléctrons altamente energéticos também deixam os compostos. Tanto os hidrogênios como os eléctrons são transportados, através de sistemas enzimáticos, para o oxigênio. *Em caminho* para o oxigênio os eléctrons perdem energia em etapas sucessivas; esta energia é usada para a síntese de ATP. Os eléctrons com baixa energia são aceitos pelo oxigênio e, com adição de íons hidrogênio forma-se água. As modificações que a glicose sofre na respiração são, em grande parte, oposta às que ocorrem na fotossíntese, onde a água é a fonte de eléctrons e de hidrogênio.

Quanto da energia potencial da glicose é convertida em forma útil de energia na respiração? Experiências recentes indicam que pelo menos 55 % da energia química da glicose são transferidos para o ATP. Como comparação, um moderno gerador a vapor converte sòmente 30 % da energia potencial do combustível usado em trabalho.

Parte da energia transferida para o ATP é usada pelo condrioma, mas a maior parte do ATP vai para o citoplasma para fornecer energia às atividades celulares. Pode-se, pois, dizer que o condrioma fornece energia para as células na forma de ATP.

...A capacidade de alguns autótrofos usarem água como fonte de eléctrons para a fotossíntese, fêz com que se libertasse oxigênio para a atmosfera. Êste foi um acontecimento muito importante na evolução da vida na Terra. Durante longos períodos de tempo, êste oxigênio se acumulou na atmosfera terrestre e desenvolveram-se organismos capazes de utilizá-lo para reações químicas sofridas pela glicose, nas quais havia liberação de energia. O papel específico do oxigênio na respiração é o de aceptor de eléctrons e de hidrogênio.

A maior parte da respiração ocorre no condrioma. Condrioma é um conjunto de corpúsculos microscópicos, encontrados no citoplasma de tôdas as células animais e vegetais, onde o ácido pirúvico se transforma em CO_2 e H_2O. Durante diferentes fases dessa transformação, são libertados eléctrons altamente energéticos; íons de hidrogênio são transferidos para enzimas e forma-se gás carbônico. Os eléctrons, etapa por etapa, transferem sua energia para o ATP, enquanto são transportados para o oxigênio que reage então com o hidrogênio para formar água.

Uma molécula de glicose fornece energia para formar 38 moléculas de ATP, a partir de ADP e P, no processo da respiração. Isto representa cêrca de 55 % da energia potencial de uma molécula de glicose.

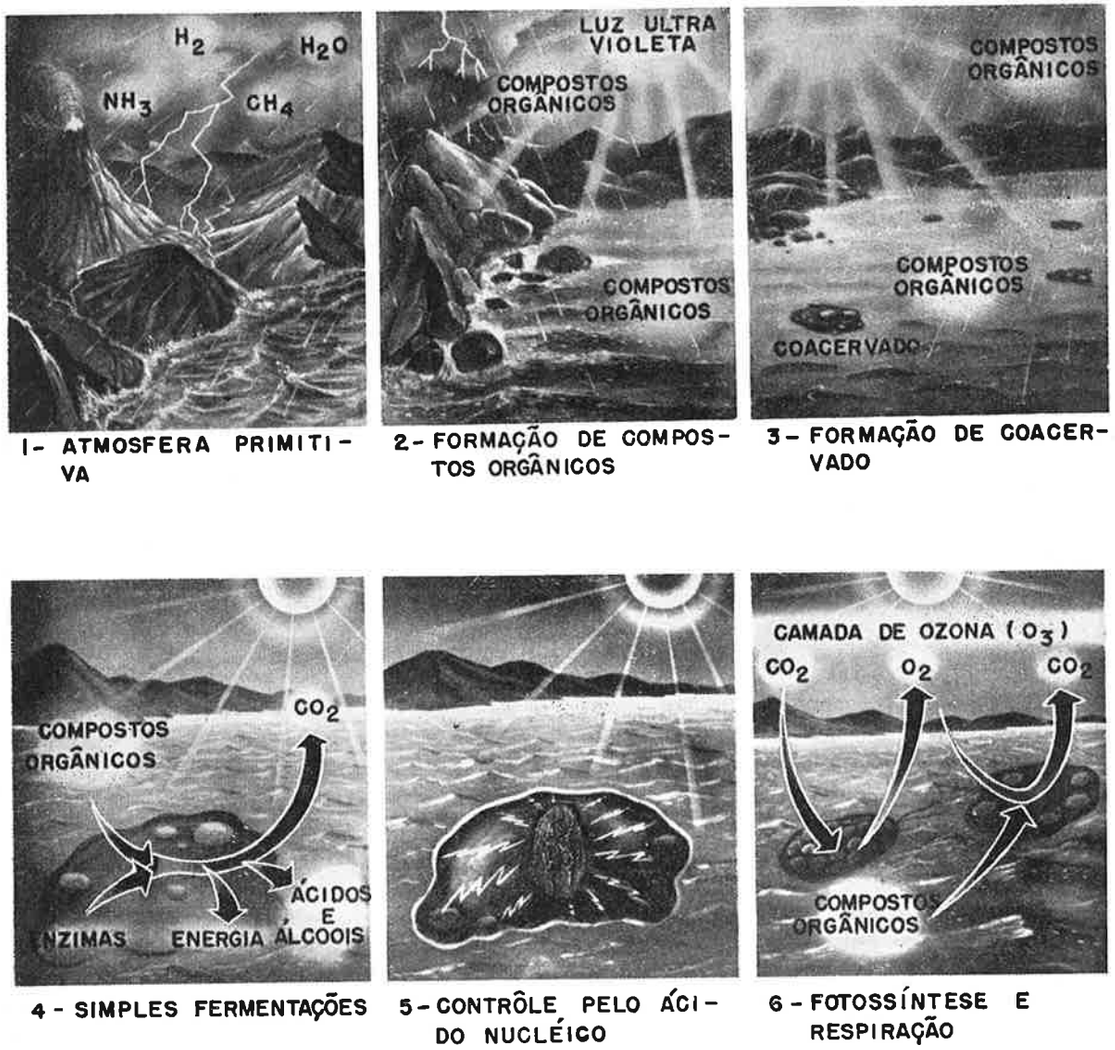
VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. A evolução dos autótrofos começou com uma mudança no ambiente e êles, por sua vez, também ocasionaram modificação no meio. Quais foram essas duas modificações?
2. Qual é a propriedade do oxigênio que o torna importante nas reações energéticas da vida?
3. Como se definiu respiração neste capítulo?
4. Compare respiração e fermentação.
5. Qual é a importância da respiração?
6. Qual é a função do condrioma na respiração?
7. Que é ciclo de Krebs? Por que também é chamado de ciclo do ácido cítrico?
8. Compare a energia conseguida na fermentação com a conseguida na respiração.

SUMÁRIO

Neste capítulo foram apresentadas as últimas suposições sôbre a hipótese heterotrófica. Ela supõe que o processo da fotossíntese tenha se desenvolvido em um longo período de tempo por fusão de diferentes processos. À medida que o suprimento inicial de materiais orgânicos dissolvidos se tornou escasso, qualquer organismo que pudesse usar outra fonte de energia teria grande vantagem sôbre os demais. O uso de energia solar pelos organismos fotossintetizantes representou essa vantagem. Na presença da luz solar, as plantas clorofiladas são capazes de combinar gás carbônico e água e sintetizar carboidratos. Oxigênio é libertado como subproduto. Êsse resumo da hipótese heterotrófica está esquematizado na figura 9-17.

O que caracteriza o processo da fotossíntese é a capacidade da clorofila absorver energia luminosa e a transformar em energia química. Neste processo é libertado oxigênio resultante da quebra da molécula da água. Nicotino-adenina nucleotídeo e ATP, provàvelmente, arma-



1- ATMOSFERA PRIMITIVA | 2- FORMAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS | 3- FORMAÇÃO DE COACERVADO

4 - SIMPLES FERMENTAÇÕES | 5 - CONTRÔLE PELO ÁCIDO NUCLÉICO | 6 - FOTOSSÍNTESE E RESPIRAÇÃO

Fig. 9-17 Pressuposições sôbre a hipótese heterotrófica.

zenam energia química transformada pela clorofila até essa energia ser usada na síntese do carboidrato. Admite-se que o ácido fosfoglicérico seja o primeiro composto estável produzido na fotossíntese, após a absorção de CO_2.

A evolução da fotossíntese produziu dois resultados significativos: (1) os organismos passaram a não depender mais do suprimento limitado de material orgânico original e (2) o oxigênio desprendido durante a fotossíntese poderia ser usado por todos os organismos, para obter mais energia do alimento disponível.

Respiração é o uso de oxigênio para obter energia de uma fonte de alimento. Produz cêrca de 19 vêzes mais energia do que a fermentação, porque produtos finais da fermentação ainda contêm muita energia que, na respiração, é libertada. Quando uma molécula de glicose é quebrada durante a respiração, 8 moléculas de ATP são primeiramente formadas pelas reações que ocorrem fora do condrioma. O produto final destas reações é o ácido pirúvico. Êste ácido é, em seguida, quebrado no ciclo de Krebs, que ocorre no condrioma, formando gás carbônico, água e 30 moléculas de ATP.

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Por que é razoável supor que o primeiro autótrofo era, ainda, em grande parte, um heterótrofo?

2. Que provas nos permitem concluir que muitas espécies de organismos se extinguiram?

3. Em que a clorofila difere de outras substâncias que também absorvem luz?

4. Por que as fôlhas são verdes?

5. Quais são os fundamentos para se concluir que na fotossíntese ocorrem tanto reações fotoquímicas como enzimáticas?

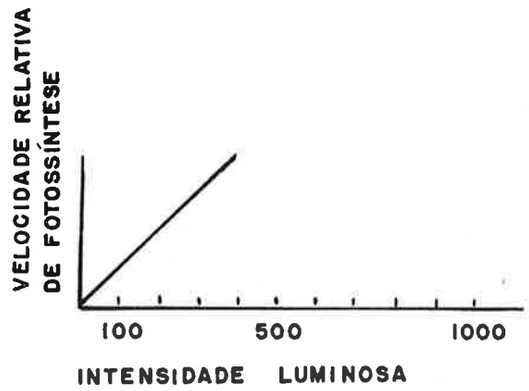


Fig. 9-18 Exercício: figura referente à questão 11.

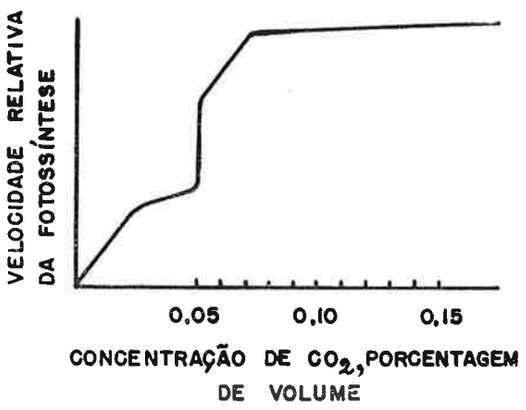


Fig. 9-19 Figura referente à questão 16.

6. Por que aumentando-se indefinidamente a intensidade luminosa e a concentração de gás carbônico não há um aumento também indefinido na velocidade da fotossíntese?

7. Por que um transportador de energia, como nicotino-adenina nucleotídeo, é necessário para a fotossíntese?

8. Por que admitimos que o processo fotossintetizante resultou de uma adaptação de sistemas enzimáticos já existentes?

(B) 9. Por que supomos que terminou a síntese de moléculas orgânicas na atmosfera primitiva?

10. Por que um autótrofo, usando energia luminosa, teve vantagem sôbre um heterótrofo, que utilizava o processo da fermentação como fonte de energia?

11. Que se pode concluir da figura 9-18? Até que ponto essa conclusão é válida?

12. Qual é a teoria atual para explicar como clorofila absorve luz e a converte em energia química?

13. Clorofila *a* varia na porção da faixa de luz vermelha que absorve. Qual é a explicação?

14. Por que os cloroplastos isolados são considerados material quase ideal para ser usado nas pesquisas sôbre fotossíntese?

15. Quais são alguns dos motivos que tornam difícil construir um quadro completo da evolução da fotossíntese?

(C) 16. Se, em uma experiência que você estiver fazendo, os dados derem um gráfico semelhante ao mostrado na figura 9-19, que interpretações você poderá tirar?

17. Por que é incorreto considerar fotossíntese como uma reação entre moléculas de gás carbônico e de água que resultam na formação de glicose?

18. Por que a separação química e a análise dos materiais envolvidos na fotossíntese exigem um trabalho muito cuidadoso?

19. Que se supõe prèviamente ao se usarem cloroplastos nas pesquisas sôbre fotossíntese? Por que devemos ter cuidado com essa suposição?

20. Compare fotossíntese com respiração, dando alguns detalhes. Que acontece com as ligações químicas em ambos os processos? Que acontece com a energia em ambos e o que é diferente? Em que diferem êles inteiramente?

21. Por que é razoável pensar que a respiração seja uma adaptação de reações enzimáticas usadas na fotossíntese e na fermentação?

OBRAS MENCIONADAS

ARNON, Daniel I. "Photosynthesis as an Energy Conversion Process". *Frontiers of Modern Biology*, ed. G. B. Moment. Boston, Houghton Mifflin Company, 1962.

LEITURAS RECOMENDADAS

RABINOWITCH, Eugene I. "Fotossíntese", *Física e Química da Vida, Scientific American*, ed. Ibrasa, 1961, p. 27.

RABINOWITCH, E. I. "Avanços em Fotossíntese", *A Vila Maravilhosa das Plantas, Scientific American*, ed. Ibrasa, p. 95.

Publicações da revista Scientific American:

BASSHAM, J. A. "The Path of Carbon in Photosynthesis", junho de 1962.

GREEN, David E. "The Mitochondrion", janeiro de 1964.

TEMA BIOLÓGICO

MODIFICAÇÃO DOS SÊRES VIVOS ATRAVÉS DO TEMPO

O início da Biologia moderna é marcado por uma teoria revolucionária — uma das mais profundas tentativas do homem para compreender o mundo em que vive. A maioria dos biólogos acredita que não é mais possível um estudo completo ou mesmo coerente dos sêres vivos sem conhecer a história da sua evolução.

Os primórdios da história da evolução apareceram quando os biólogos começaram a perceber que a forma atual de um organismo só pode ser compreendida à luz da sua história. As dificulades em compreender a existência de certas estruturas sem função e as semelhanças estruturais foram ràpidamente resolvidas quando se considerou os sêres vivos como tendo evoluído a partir de formas comuns. Suas semelhanças eram resultantes da existência de ancestral comum; suas diferenças eram o resultado da seleção, pelo meio, de variações que aparecem naturalmente nos organismos.

Num outro mundo, semelhante ao nosso, podemos esperar processos evolutivos para produzir um conjunto semelhante, ainda que não igual, de espécies animais e vegetais. A evolução não é sòmente produto do tempo, mostrando acontecimentos passados; é também um processo que continua no presente. Muito se tem aprendido sôbre o mecanismo da evolução desde a época de Darwin.

A CÉLULA ATUAL

CAPÍTULO 10

Os capítulos anteriores mostraram como o organismo unicelular primitivo poderia ter evoluído. Examinando a grande diversidade dos sêres unicelulares atuais, é difícil dizer, pelas características que apresentam, se um é mais primitivo do que outro; presumimos que todos êles são produtos da seleção natural e, portanto, formas evoluídas de formas ancestrais. Tentamos situar as características fisiológicas da grande variedade de bactérias, protozoários e algas num sistema coerente, expresso na hipótese da origem heterotrófica dos sêres vivos.

Discutimos também, nesses capítulos, uma variedade de tipos de organismos unicelulares hipotéticos. Consideramos as maneiras possíveis pelas quais obteriam e usariam energia, como se reproduziriam e como se teriam adaptado às modificações do seu meio ambiente. Neste capítulo, ao descrever as características gerais das células, resumiremos essas informações. A diversidade dos organismos atuais também será descrita. É importante frisar que, se os organismos atuais são produtos da evolução, apresentarão, como conseqüência, semelhanças e diferenças.

A CÉLULA COMO UNIDADE FUNCIONAL

10 — 1 Células em geral

As células, apesar de serem geralmente muito pequenas, são extremamente complexas. Precisam dispor de mecanismos para obter e usar energia, para se reproduzir, para transportar alimento para o seu interior e para expelir o material inútil. Tôdas essas funções devem ser executadas coordenadamente, fazendo da célula uma unidade.

As pesquisas que vêm sendo feitas sôbre a célula, desde que ela começou a ser observada, forneceram as informações necessárias para se obter um quadro relativamente completo a respeito. Já podemos atribuir funções específicas a muitas das microestruturas celulares e, no futuro, êsse quadro deverá tornar-se ainda mais completo, à medida que novas pesquisas forem efetuadas.

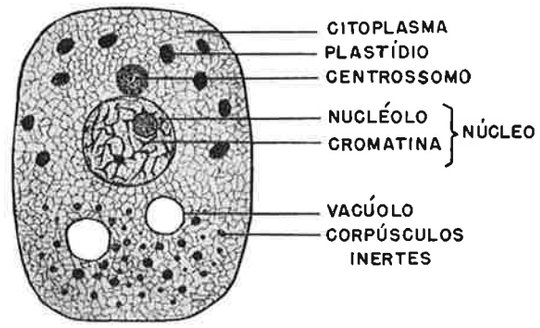


Fig. 10-1 Esquema de uma célula, segundo E. Wilson (1922).

Em 1922, E. B. Wilson apresentou um desenho de uma célula-padrão, onde identificou seis ou mais componentes celulares; seu desenho ba-

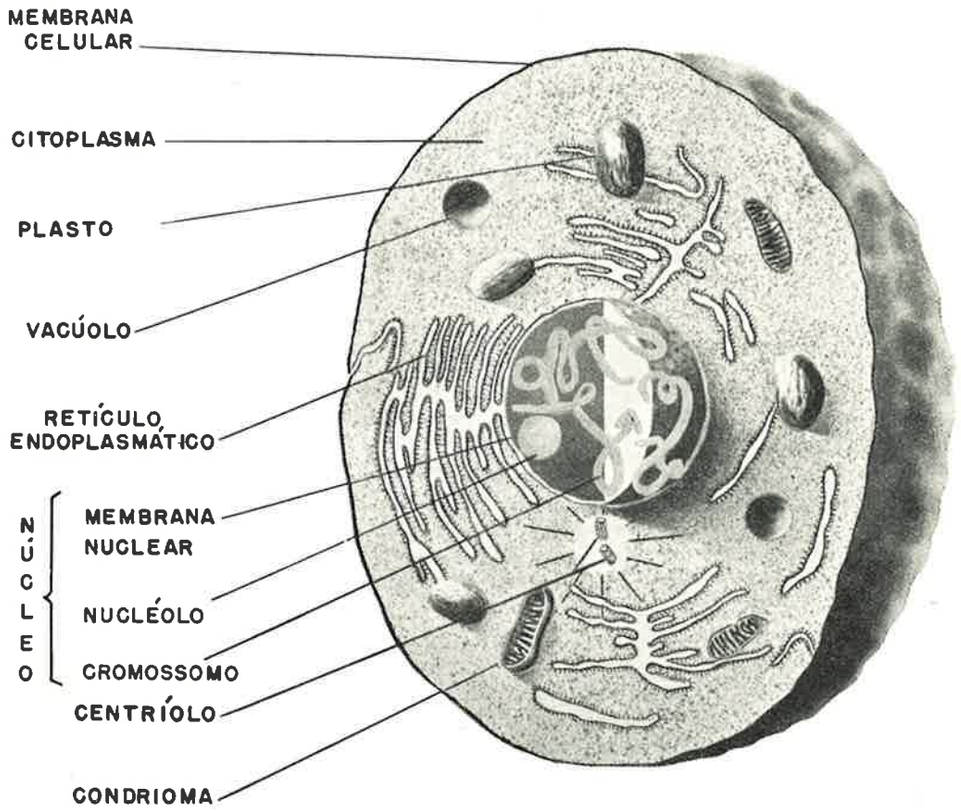


Fig. 10-2 A célula como é interpretada hoje à luz das descobertas recentes da Ciência.

seou-se, parcialmente, num anterior, feito em 1896 (fig. 10-1). Desde 1922, muitas outras estruturas foram identificadas e estudadas; o microscópio electrônico tornou possível a observação detalhada de muitas delas. A figura 10-2 mostra o esquema de uma célula-padrão, feito em 1963 e já se podem associar funções específicas a algumas das estruturas indicadas na figura.

Êsse modêlo esquematiza os nossos conhecimentos atuais. Parecerá êle, daqui a quarenta anos, tão simples e incompleto quanto nos parece agora o modêlo apresentado em 1922?

10 — 2 As células mantém sua organização

Para funcionar como uma unidade e manter sua existência, as células precisam conservar juntos os seus vários componentes. Para isso, como vimos no Capítulo 6, contribuem as membranas envolventes que as individualizam sem as isolar totalmente do meio ambiente, uma vez que permitem que se efetuem as trocas de material necessárias. Nesse mesmo capítulo discutiram-se alguns dos conhecimentos atuais sôbre a estrutura da membrana celular e seu comportamento, mas o problema não está ainda totalmente resolvido: para que o seja são necessárias informações mais exatas que novas pesquisas deverão fornecer.

A maioria das células possui um núcleo que coordena as muitas atividades celulares. Vimos, no Capítulo 7, que as moléculas de DNA, existentes no núcleo, fornecem instruções em código que são transmitidas às moléculas de RNA; estas agem como mensageiros, saindo do núcleo.

O núcleo também controla o processo de reprodução celular. Novamente o DNA fornece instruções em código e, graças à sua capacidade de autoduplicar-se, podem ser formadas duas novas células contendo cromossomos idênticos. No Capítulo 8 discutimos, de maneira detalhada, o que sabemos sôbre a maneira pela qual o DNA funciona, mas não descrevemos o fenômeno da duplicação celular, o que será feito neste capítulo.

O núcleo é uma das estruturas que mais chamam a atenção dos observadores. Nêle estão os cromossomos e os *nucléolos,* que são pequenos corpúsculos constituídos principalmente por RNA. Pensa-se que os nucléolos participem na transmissão de mensagens, pelo RNA, a estruturas situadas fora do núcleo e que possam, também, sintetizar certos tipos de moléculas para a célula.

10 — 3 Constituintes do citoplasma

Todo o material que fica entre o núcleo e a membrana celular é chamado *citoplasma.* O citoplasma contém uma variedade de estruturas em suspensão em uma mistura de água, proteínas, carboidratos, gorduras e pigmentos. Alguns dêsses materiais agrupam-se formando grãos relativamente grandes.

Entre as estruturas citoplasmáticas estão os *vacúolos,* que armazenam substâncias de reserva. Estão intimamente relacionados, na sua função, com a membrana celular: parecem coletar alimento na membrana para que seja transportado para o interior da célula; parecem também coletar o excesso de água e as substâncias inúteis, tomando parte no processo de expelir tais materiais da célula (*excreção*). Vimos, no Capítulo 6, como se apresentam os vacúolos na maioria das células vegetais.

Outro componente do citoplasma é o *condrioma,* já descrito no Capítulo 9. Sua função é converter a energia química das moléculas de alimento em energia das ligações fosfóricas e ATP, mais fàcilmente utilizável.

Em células autotróficas, o citoplasma contém clorofila, geralmente organizada nos *cloroplastos,* como também foi visto no Capítulo 9. Lembre-se que a clorofila absorve energia radiante e a usa para sintetizar glicose, que é a substância primária utilizada pelo condrioma para obter energia, a fim de fabricar ATP a partir de ADP e grupos fosfóricos.

Outra estrutura é a rêde de canais que constitui o *retículo endoplasmático,* discutido no Capítulo 8. *Endo* significa dentro; *plasmático* refere-se a fluidos celulares (da mesma maneira que na palavra citoplasma); *retículo* significa pequena rêde. Êsse sistema de canais estende-se através do citoplasma, parecendo pôr em comunicação as membranas celular e nuclear. Os canais são revestidos por grânulos, denominados ribossomos, que contêm uma grande quantidade de RNA. As células que produzem grande quantidade de proteínas contêm sempre grande quantidade de RNA. Cêrca de 90 % do RNA da célula são encontrados nos ribossomos. Pensa-se, por isso, que aí ocorra a síntese de proteínas. A função dos ribossomos como fabricantes de proteínas não está ainda bem esclarecida.

Além dessas estruturas há, ainda, no citoplasma das células, o *complexo de Golgi.* Esta estrutura foi descoberta por um cientista italiano, Camilo Golgi, em 1898. Em células tratadas com compostos de prata ou ósmio, pode ser visto ao microscópio óptico; seu aspecto varia grandemente com o tipo de célula e também numa mesma célula, de acôrdo com o seu estado fisiológico. Entretanto, o microscópio electrônico permitiu descobrir que o complexo de Golgi é constituído por uma série de estruturas membranosas, com formas e dimensões variadas, que formam canalículos que ficam em comunicação com o retículo endoplasmático. Nêle não aparecem ribossomos. Sua função não está, ainda, claramente elucidada, mas como é particularmente desenvolvido nas células que têm atividade secretora, pensa-se que êle esteja relacionado, de alguma forma, com esta capacidade da célula. Alguns investigadores acreditam que, talvez, o complexo de Golgi seja responsável pela produção contínua de novas membranas para o retículo endoplasmático. O fato de escurecer ràpidamente quando a célula é impregnada com corantes à base de prata ou de ósmio, indica que é rico em substâncias gordurosas.

...A célula é constituída por três partes principais: a membrana celular, que a limita e fica em contato com o meio externo; o núcleo, que age como centro controlador — os cromossomos emitem instruções químicas ao RNA mensageiro, que leva a mensagem para fora da membrana nuclear; e o citoplasma, que possui diversas estruturas onde ocorrem processos vitais, tais como, respiração (condrioma) e síntese de proteínas (ribossomos e retículo endoplasmático).

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual é a função associada com cada uma das seguintes estruturas celulares:
   a. membrana celular
   b. cromossomos
   c. ribossomos
   d. núcleo
   e. cloroplastos
   f. condrioma
2. Que moléculas, em especial, se acham ligadas a cada uma das estruturas celulares da lista anterior?
3. Qual a importância da membrana para a célula?

DIVISÃO CELULAR

10 — 4 A natureza da divisão celular

Uma vez conhecida a célula e identificados seus principais constituintes, surgiu um nôvo problema para ser resolvido: como uma célula produziria outra?

Uma das maiores dificuldades se deve ao fato das células vivas terem um aspecto uniforme ao microscópio óptico. Para se ver núcleo, cromossomos e outras estruturas é necessário corá-las, matando-as em conseqüência. Infelizmente, isso significa que, se estivermos interessados em estudar qualquer atividade celular dinâmica, seremos obrigados, antes, a fazer cessar todos os movimentos internos e, então, a partir dêsse quadro inanimado, teremos que tentar reconstruir o que estaria acontecendo na célula viva.

Felizmente, os citólogos dispõem agora do microscópio de fase, que funciona segundo um princípio diferente daquele do microscópio óptico ou electrônico. O microscópio de fase permite que se veja muita coisa na célula, sem necessidade de corá-la e matá-la.

Apesar de tôdas as dificuldades, a compreensão de como a célula se divide já havia sido obtida em 1880 e, pràticamente, não se modificou desde então. Detalhes do mecanismo e algumas exceções, foram acrescentados de tempos a tempos, mas os conceitos fundamentais não foram alterados.

Células novas se originam de outras mais antigas por um processo conhecido por *divisão celular*. Êste processo envolve duas etapas: *duplicação do núcleo* e *divisão do citoplasma*. Fundamentalmente é o mesmo nas células animais e vegetais; há apenas pequenas diferenças que serão mencionadas nos itens seguintes.

No Capítulo 8 vimos a hipótese que procura explicar como um organismo heterotrófico primitivo podia duplicar-se de modo preciso. Antes que se conhecesse o papel do DNA e do desenvolvimento do modêlo de Watson-Crick, os biólogos já haviam feito numerosas observações sôbre o fenômeno da divisão celular, observações essas que serão o assunto desta seção. Lembre-se, ao estudá-las, que o modêlo de Watson-Crick tenta relacionar e explicar essas observações.

O têrmo divisão celular, como é usado aqui, refere-se ao processo pelo qual uma célula forma outras duas. Cada uma dessas pode crescer até seu tamanho máximo e, então, se dividir novamente. É isto que ocorre no crescimento de um organismo.

É importante que as células resultantes da duplicação de uma célula sejam exatamente iguais; de outro modo, o conjunto de características favoráveis, que a célula-mãe conseguiu através da seleção natural, pode perder-se e as células-filhas serem incapazes de sobreviver.

As duas células resultantes da divisão celular serão muito mais semelhantes à célula que lhes deu origem, se o centro controlador (núcleo) fôr duplicado exatamente. Usando isso como hipótese, vamos ver quais são as etapas da divisão celular.

10 — 5 Divisão nas células vegetais

A célula que vai entrar em divisão apresenta modificações nos cromossomos, os quais, em outra ocasião, são tão finos que é pràticamente impossível vê-los, mesmo quando corados. Numa célula pronta para se dividir êles se tornam mais espessos e espiralados; ao mesmo tempo, a membrana nuclear e os nucléolos aparentemente se desfazem e não podem mais ser vistos. A partir de material nuclear e citoplasmático, formam-se fibras que se dispõem de maneira a formar uma estrutura conhecida por *fuso*. Êste processo é esquematizado na figura 10 — 3.

Os diagramas mostram o que esperamos ver numa célula vegetal em divisão, supondo que ela tenha sido corada de maneira adequada, que permita a observação de tôdas as suas estruturas. Você poderá observar algumas dessas etapas quando fizer o Exercício n.º 20.

No período no qual a membrana nuclear e os nucléolos não são mais visíveis, os cromossomos se movem em direção ao equador do fuso, onde se dispõem num único plano, quase em ângulo reto com as fibras do fuso. Neste estágio é possível contá-los. Devemos notar que cada espécie vegetal e animal possui um número constante de cromossomos em cada célula, a não ser que ocorra algum êrro durante a divisão. Não presuma, porém, que o número de cromossomos determine a espécie: o homem, uma certa árvore (*Ligustrum*) e um tipo de peixe tropical, apresentam exatamente o mesmo número de cromossomos, ou seja, 46. Não é, portanto, o número de cromossomos que produz as enormes diferenças existentes entre êsses organismos, mas sim a composição dos seus gens.

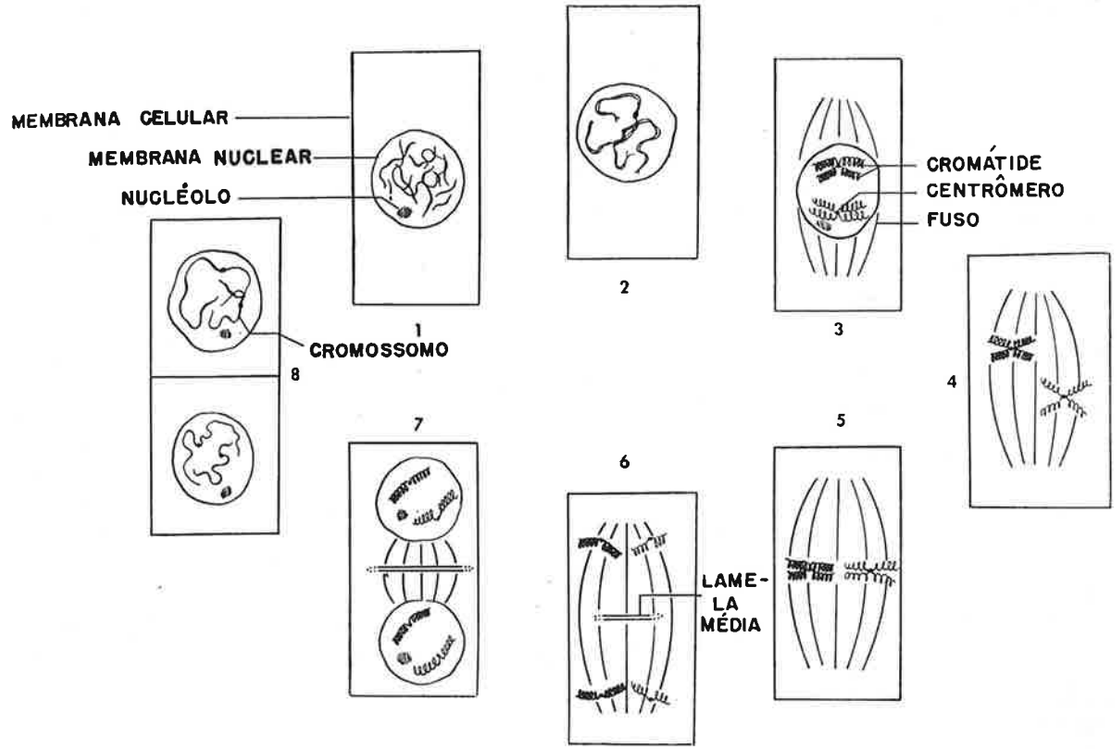


Fig. 10-3 Esquema de mitose e divisão celular numa célula vegetal.

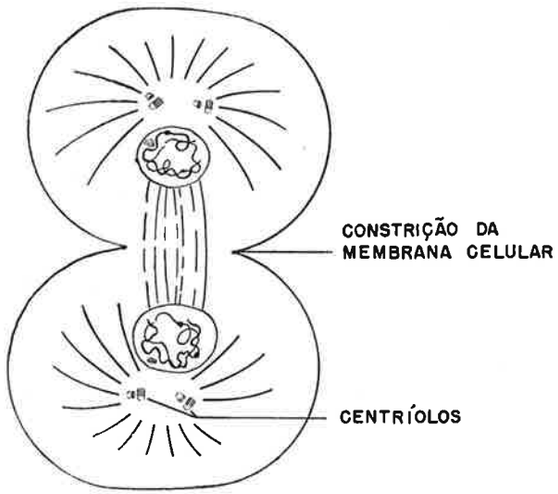


Fig. 10-4 Êste diagrama, de uma divisão celular e mitose numa célula animal mostra duas características do processo; a presença de centríolos e a ausência de uma lamela média.

Os cromossomos da figura 10 — 3 são estruturas *duplas*, o que é interpretado como resultado da duplicação das moléculas de DNA, feita antes do início da divisão celular. As metades dos cromossomos duplicados chamam-se *cromátides* e permanecem unidas por uma determinada região, chamada *centrômero*.

Logo depois que os cromossomos se dispõem no equador do fuso, o centrômero se divide e as duas cromátides se separam, começando a se movimentar em direções opostas, uma para cada pólo do fuso. Cada cromátide parece estar prêsa pelo centrômero a uma fibra do fuso; aparentemente, as fibras se contraem, puxando as cromátides para os pólos.

Chegando aos pólos, as cromátides se separam das fibras do fuso e êste desaparece. É importante lembrar que as cromátides são cópias exatas uma da outra; são agora consideradas cromossomos. Desta maneira, cada pólo da célula recebe o mesmo número e, exatamente, os mesmos tipos de cromossomos que a célula-mãe possuía

no início do processo. Assim, o material nuclear se duplicou.

Continuando o processo de divisão celular, em cada pólo da célula, os "novos" cromossomos se tornam emaranhados e uma membrana nuclear e nucléolos começam a se formar. Os cromossomos se tornam menos visíveis. Não é possível, pelo menos com as técnicas atuais, contar os cromossomos e individualizá-los numa célula que não esteja se dividindo.

Enquanto as cromátides se dirigem para os pólos do fuso, um outro processo se desenrola no citoplasma. Numa célula vegetal em divisão, os mitocôndrios se agrupam ao redor do equador do fuso, mas não se prendem a êle. Uma nova estrutura, a *lamela média* (fig. 10 — 3), forma-se ao nível do meio do fuso e se estende até encontrar as paredes da célula. Esta placa, conseqüentemente, divide o citoplasma em duas porções, cada uma delas contendo um agrupamento de mitocôndrios. As outras estruturas do citoplasma também se dividem mais ou menos equacionalmente. Sôbre a lamela média, constituída por pectatos de cálcio e magnésio, deposita-se celulose (começam-se a formar novas porções da parede celular, de maneira que as duas novas células se individualizam).

A distinção entre as duas seqüências — duplicação do núcleo e divisão do citoplasma — deve ter ficado mais clara. Uma das etapas compreende a duplicação e separação dos cromossomos: cada célula recebe uma cópia de cada cromossomo original da célula-mãe e, conseqüentemente, uma réplica de cada molécula de DNA do núcleo (centro controlador). A outra etapa se relaciona com a divisão do citoplasma em duas partes, as quais não são necessàriamente iguais. Dá-se o nome de **mitose** ao mecanismo de duplicação nuclear.

É possível que a mitose ocorra sem que haja divisão do citoplasma. Dessa maneira nós, às vêzes, encontramos sêres unicelulares com mais de um núcleo, como em certas algas clorofíceas, que são constituídas por massa citoplasmática plurinucleada (plasmódio) originada de uma célula cujo núcleo sofreu mitoses sucessivas e o citoplasma aumentou em quantidade, sem que se formassem membranas intercelulares. Os mixomicetos (Exercício n.º 21) são outros exemplos de plasmódio.

10 — 6 Divisão em células animais

Na maioria das células animais e em algumas células vegetais, há alguns aspectos do processo



Fig. 10-5 Uma fotografia electrônica de um par de centríolos de uma célula animal.

de divisão que diferem do que foi descrito no ítem anterior. Nessas células aparece centro celular e, na divisão do citoplasma, não há formação de lamela média (fig. 10 — 4).

Quando a célula vai entrar em divisão, aparece no citoplasma, junto ao núcleo, uma área conhecida por *centro celular*, cuja função não é bem conhecida. O centro celular, ao microscópio óptico, parece ser constituído por fibrilas, mais brilhantes do que o citoplasma, que convergem para um ou dois corpúsculos centrais, os *centríolos*. O microscópio electrônico revelou que cada centríolo são dois cilindros que se dispõem perpendicularmente um em relação ao outro, como mostram as figuras 10 — 4 e 10 — 5. A primeira coisa que ocorre, na divisão da célula animal, é a duplicação dos centríolos e separação dos dois novos centros celulares que se movem em direção aos pólos opostos do núcleo. Enquanto os centros celulares se movimentam, as fibrilas que rodeiam os centríolos começam a se desenvolver e formam o fuso, ao qual se prendem os cromossomos. A existência de centríolos não foi ainda demonstrada na grande maioria dos vegetais.

Os fenômenos que ocorrem na divisão da célula animal são bàsicamente os mesmos que ocorrem na célula vegetal: duplicação do núcleo e divisão do citoplasma, mas êste se divide por estrangulamento, que vai se acentuando, até separar completamente as duas novas células. A figura 10 — 6 mostra uma seqüência de fotografias de divisão celular em embrião de peixe.

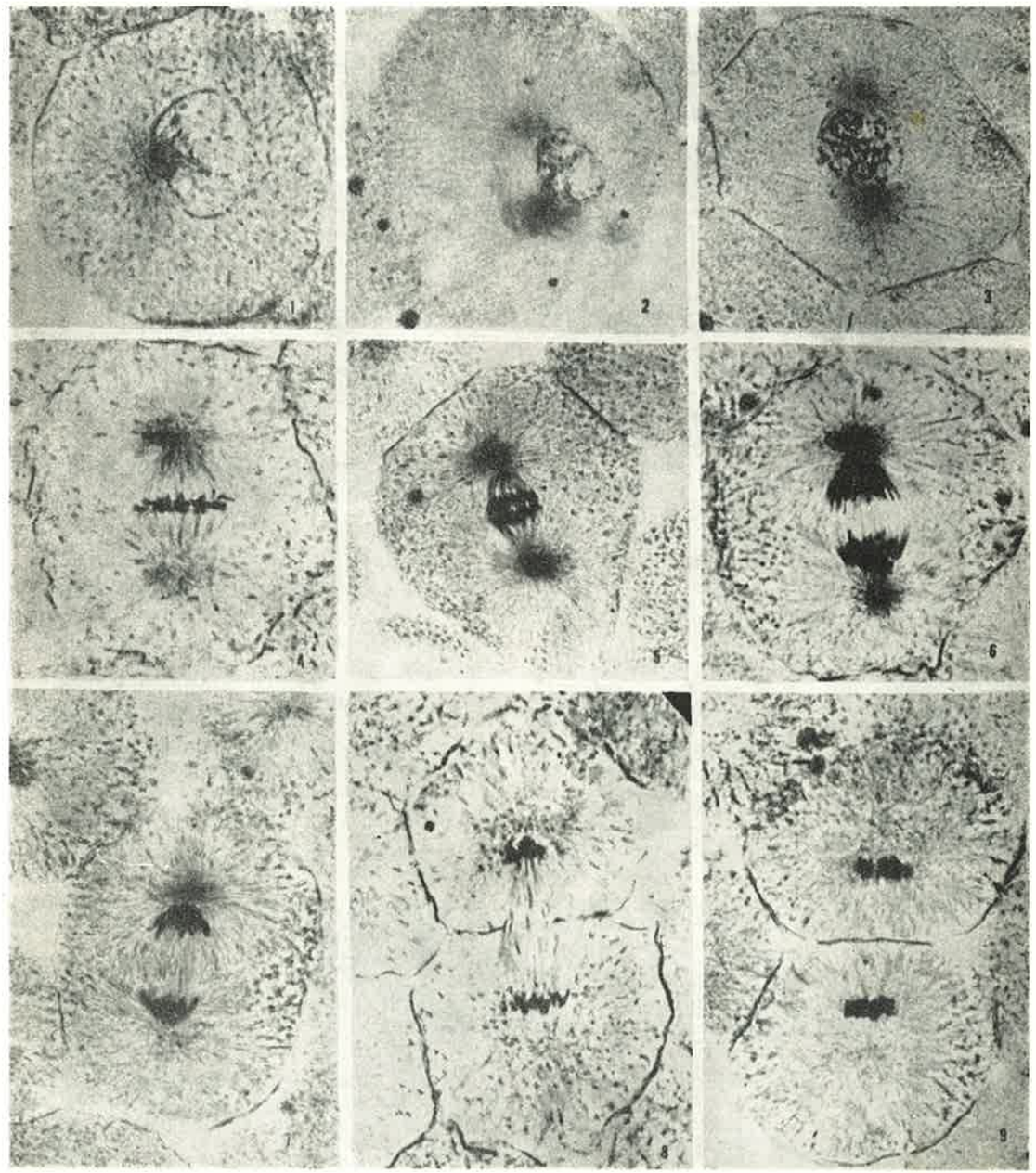


Fig. 10-6 Esta série de fotografias mostra a seqüência de fases da mitose em embrião de peixe.

O fato das células animais e vegetais passarem por processos semelhantes a fim de produzir novas células, pode indicar uma relação evolutiva entre os dois tipos de sêres. Êste fato também parece indicar que não surgiu nenhum mecanismo melhor para dividir, exatamente, os componentes nucleares essenciais, ou seja, os cromossomos. Pode-se predizer, quase como certeza, que, daqui a milhões de anos, as células animais e vegetais estarão ainda se dividindo da mesma maneira.

10 — 7 O contrôle da divisão celular

Apesar de serem bem conhecidos os fenômenos que ocorrem na divisão celular, não há ainda uma explicação satisfatória sôbre o que leva a célula a se dividir, isto é, pouco se conhece a respeito das fôrças que desencadeiam a seqüência ordenada que é observada. No Capítulo 7 vimos que a divisão é influenciada tanto pelo tamanho crítico da célula, como por um sinal interno. Êstes fatos, contudo, não especificam as *causas* da divisão celular. Talvez, essa falha no nosso conhecimento seja a razão pela qual ainda estamos longe de conhecer e controlar muitos tipos de câncer que, como você deve saber, relacionam-se com a divisão rápida e descontrolada das células. É possível que, quando se tiver uma boa explicação para a mitose, possamos ser capazes de controlar o crescimento das células cancerosas.

Se bem que não se tenha uma teoria para a mitose, sabemos alguma coisa a respeito das relações entre divisão celular e certos fatôres físicos, como por exemplo, a temperatura. Foi verificado que em certas células vegetais, a mitose levará 30 minutos para ocorrer, se a temperatura fôr de 45° C; 75 minutos, se fôr de 25° C, enquanto que outras levam 135 minutos, se fôr de 10° C. Lembre-se que, no Capítulo 6, foi estudada a influência da temperatura na velocidade das reações químicas: em geral, um aumento de 10° C na temperatura duplica a velocidade da reação. Dados como os acima permitem supor que a mitose seja, pelo menos parcialmente, controlada por reações químicas.

Embora essa descrição geral seja válida para a maioria das células, devemos, no entanto, esperar algumas variações na estrutura da célula e no processo da divisão, como resultado da seleção natural e da evolução. Nas páginas seguintes vamos considerar algumas das variações na organização, nos movimentos e na fisiologia das células.

...A divisão celular compreende duas fases principais: na primeira, mitose, os cromossomos se dividem e se tornam estruturas duplicadas, chamadas cromátides. Cada cromátide se transformará em um cromossomo nas novas células. A segunda fase se relaciona com a divisão, algumas vêzes desigual, do citoplasma. A divisão celular nas células animais e vegetais se processa de maneira quase idêntica. Os fatôres que controlam o processo são ainda pouco conhecidos.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais são alguns motivos que, durante muito tempo, impediram que se compreendesse perfeitamente a divisão celular?
2. Quais são as duas fases do processo de divisão celular? Descreva-as.
3. Quais são as modificações na célula que indicam que ela vai entrar em divisão?
4. Em que a divisão celular das células vegetais é diferente da divisão das células animais?
5. Em que são iguais ambos os processos?
6. De que maneira, conhecimentos melhores a respeito dos fatôres que desencadeiam a divisão celular, poderão auxiliar a entender o que é o câncer?

10 — 8 Podem existir células sem núcleo?

A maioria das células possui um centro controlador que é o seu núcleo. Um núcleo visível falta, porém, nas algas azuis (Cianofíceas), que são formas muito primitivas de vida. Mesmo assim, pode-se presumir a existência de um centro controlador e, que, simplesmente, não se tenha ainda descoberto uma técnica adequada para tornar o núcleo visível. De qualquer maneira, grãos de cromatina, que são constituídos por DNA, são encontrados no interior das células destas algas.

A *Gloeocapsa* (fig. 10 — 7) é um exemplo de cianofícea. É microscópica, esférica, possui clorofila e outros pigmentos e é circundada por uma camada gelatinosa. A clorofila existente na *Gloeocapsa* e nas demais algas dêsse grupo não se encontra concentrada em cloroplastos, parecendo estar distribuída pelo citoplasma. No entanto, quando examinada ao microscópio electrônico, pode-se ver que a clorofila parece se concentrar na superfície dos *grana*, como será visto no Capítulo 19 (2.º volume desta série).

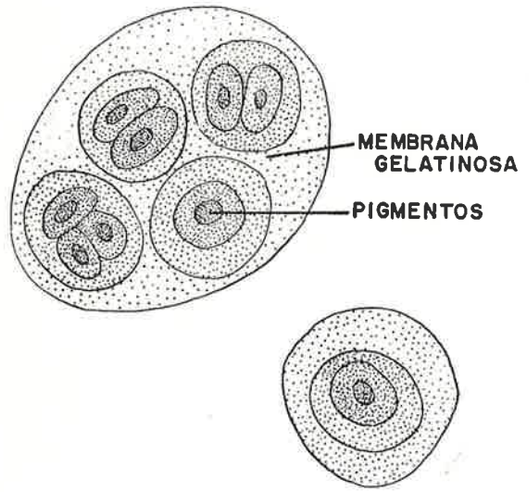


Fig. 10-7 *Gloeocapsa*. O corpo central pode ter a mesma função que o núcleo, embora não seja considerado como tal.

As Cianofíceas são relativamente simples, comparadas a outros organismos. Tomando-se como base os testemunhos fósseis, pode-se dizer que a existência de algas azuis é anterior à dos musgos, fetos ou plantas com sementes. Na realidade, fósseis que se imaginam ser dessas algas, estão entre os mais antigos; admite-se que alguns tenham mais de 500 milhões de anos. É possível que a *Gloeocapsa* e organismos semelhantes, depois de terem aperfeiçoado sua estrutura simples, há milhões de anos atrás, não evoluíram mais posteriormente, não deram origem a formas mais aperfeiçoadas, isto é, permaneceram as mesmas desde aquêle tempo.

Uma questão que poderá surgir, é a seguinte: se a hipótese heterotrófica é exata e se a seleção natural agiu durante todos êsses anos, por que êsses organismos unicelulares permaneceram imutáveis? Por que não se transformaram em formas pluricelulares, em lugar de aumentar a complexidade de suas células únicas? Não se pode responder com certeza, mas você pode elaborar uma hipótese para explicar porque essas algas foram bem sucedidas no seu ambiente.

Você pode ver que as algas azuis constituem uma variação do que se considera uma célula típica, pois, apesar de conterem cromatina e clorofila, êsses componentes não se encontram organizados em cromossomos e cloroplastos, como na maioria dos organismos unicelulares. Por essa razão, pode-se perguntar se elas não representariam uma forma muito primitiva de célula.

10 — 9 Bactérias: mais células sem núcleo individualizado

As bactérias são semelhantes às Cianofíceas em vários pontos: (1) são unicelulares; (2) não possuem núcleo individualizado, isto é, delimitado por uma membrana, embora os corantes mostrem claramente corpúsculos de DNA no citoplasma; (3) como a *Gloeocapsa*, algumas bactérias possuem uma camada gelatinosa ao redor da membrana celular. A figura 10 — 8 mostra três espécies comuns de bactérias.

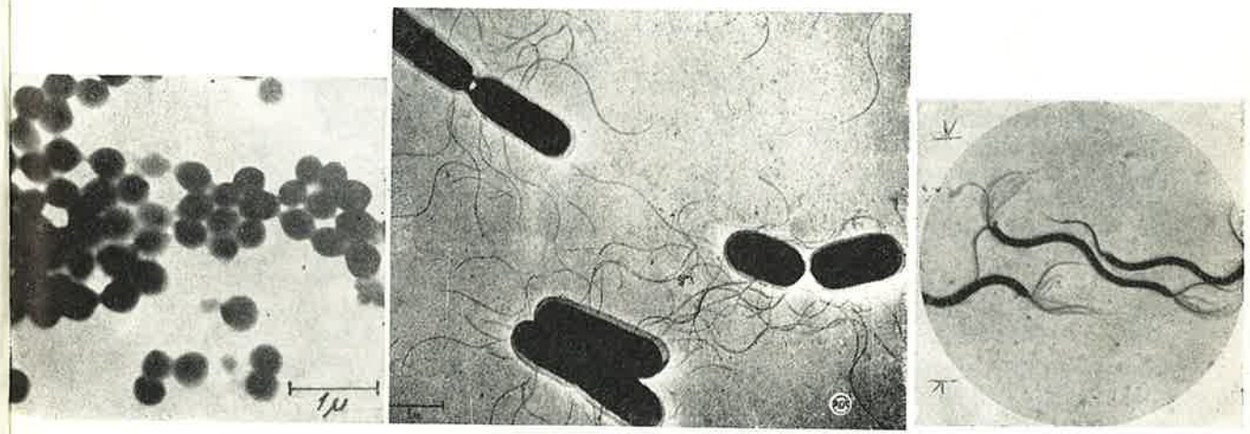


Fig. 10-8 Três tipos de bactérias: à esquerda, formas esféricas (cocos); no centro, bastonetes (bacilos); à direita, formas esféricas (espirilos).

Embora algumas bactérias possam sintetizar seu próprio alimento, a maioria é heterotrófica. Algumas são parasitas, isto é, podem sobreviver e se multiplicar sòmente às custas de outro ser vivo. Entre estas estão as que causam doenças (patogênicas); contudo, deve-se salientar que os parasitas mais altamente adaptados são aquêles que não matam seu hospedeiro, pois, é evidente que se o matarem, perderão "casa e comida". O melhor parasita é o que vive dentro de seu hospedeiro sem causar grande mal e, se possível, até auxiliando-o. Citando um exemplo, existem certas bactérias que fornecem ao hospedeiro vitaminas muito necessárias, como algumas que vivem no nosso trato digestivo e que sintetizam vitamina K, por nós absorvida e utilizada.

Algumas bactérias utilizam sòmente matéria orgânica morta como alimento (saprófitas), transformando-a, muitas vêzes, em compostos inorgânicos simples. Estas bactérias são extremamente importantes para a existência contínua de vida na Terra. Como resultado de sua atividade, compostos tais como sais inorgânicos, bióxido de carbono e água são restituídos ao solo e podem ser usados pelas plantas na síntese de novos alimentos. Graças a êste tipo de atividade bacteriana, não há necessidade de se temer que as plantas verdes venham a sofrer falta de bióxido de carbono. De fato, devido à atividade das bactérias saprófitas, provàvelmente, a grande maioria de átomos de carbono que você tem agora no corpo foi, em outras épocas, parte de outros sêres vivos. Alguns podem ter pertencido a um dinossauro, há cêrca de 200 milhões de anos atrás, outros podem ter feito parte de alguma planta primitiva, que vivia num pântano pré-histórico qualquer. Os organismos normalmente se gastam; os átomos são pràticamente indestrutíveis.

Analisando-se outras características das bactérias, podemos considerar agora a capacidade de se movimentar que algumas possuem, movendo-se, às vêzes, muito ràpidamente. Calcula-se que algumas podem manter a mesma velocidade de um automóvel possante, cêrca de 300 quilômetros por hora.

Outro aspecto a ser considerado, é a capacidade que certas bactérias têm de adaptar-se às condições desfavoráveis. Quando o meio se torna adverso, parte do citoplasma e do material nuclear é circundada por uma membrana muito resistente, formando-se assim o *esporo* (a figura 10 — 9 mostra o aspecto de um dêsses esporos numa microfotografia electrônica). Alguns esporos são capazes de resistir à água em ebulição por muitas horas, enquanto que a bactéria morreria.

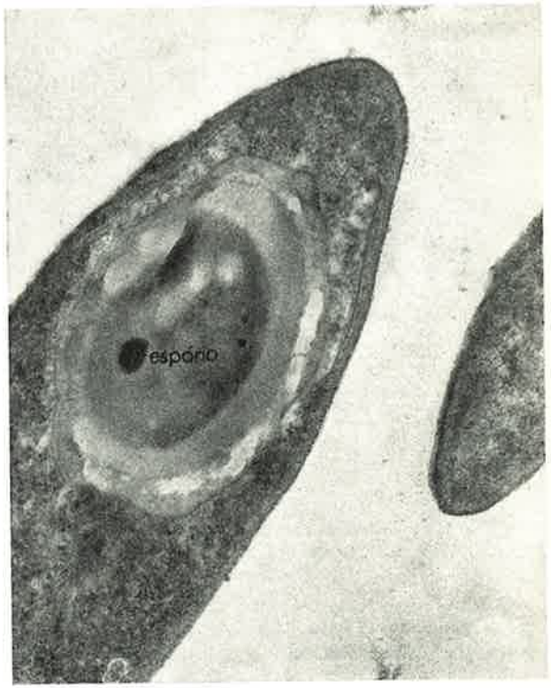


Fig. 10-9 Uma célula de bactéria, contendo um esporo. Aumento de 120000 X.

O estudo das bactérias é importante, não só porque são causadoras de diversas doenças mas, também, porque são úteis como organismos experimentais no estudo de algumas propriedades fundamentais de outros organismos vivos. Seu tamanho, a facilidade de mantê-las em cultura, a grande rapidez com que se reproduzem e mais o fato de serem mutáveis, fazem delas material ideal de laboratório.

10 — 10 Movimentos celulares

Os sêres heterotróficos precisam conseguir alimento no meio em que vivem. Para isso, ou êles se movimentam ou fazem, de alguma maneira, com que o alimento venha até êles. Muitos organismos unicelulares apresentam mecanismos de locomoção, sejam heterótrofos ou autótrofos, pois, para êstes, é também conveniente poder mover-se à procura de uma área onde haja melhor iluminação. Outros protistas não se locomovem, mas, em lugar de esperar que o alimento chegue até êles acidentalmente, empregam vários mecanismos que provocam uma corrente de água; esta sempre transporta coisas que lhes servem de alimento.

O tipo mais simples de movimento celular é a adaptação relacionada com a existência de uma membrana celular, muito flexível, como vemos nas amebas. Êsses organismos podem emitir expansões citoplasmáticas que empurram a membrana em qualquer direção e, dessa maneira, se locomovem. Essas expansões transitórias do citoplasma são chamados *pseudópodes*. Há, porém, um grande inconveniente neste tipo de movimento — é muito lento, mas o grande número de formas existentes que se locomovem dessa maneira, indica que êle é biològicamente bem sucedido, apesar dessa falha.

Um outro tipo de locomoção dos sêres unicelulares envolve estruturas filamentosas que se projetam da célula. Com o batimento dessas estruturas, o organismo é impulsionado. Estas estruturas são chamadas cílios se forem curtas, e flagelos se forem longas. No Exercício n.º 4 você deve ter visto muitos organismos que se movimentam de uma dessas maneiras.

O microscópio electrônico mostrou a existência de uma variedade dessas estruturas, não só nos sêres unicelulares como também nas formas superiores. Nestas, elas podem servir para a locomoção de uma célula como, por exemplo, os espermatozóides e anterozóides (células sexuais masculinas respectivamente dos animais e vegetais) ou então, permitem o movimento de fluido ao longo de uma superfície. Estudos recentes ao microscópio electrônico mostraram que os cílios e flagelos possuem condrioma na sua base. Um corte transversal de uma dessas estruturas (fig. 10 — 10) mostra que elas são limitadas por uma membrana, sob a qual há um feixe de nove fibras protéicas circundando duas fibras semelhantes que ocupam o centro. Essa mesma estrutura é encontrada nos centríolos que, entretanto, não servem para movimentar a célula nem para criar corrente de líquido.

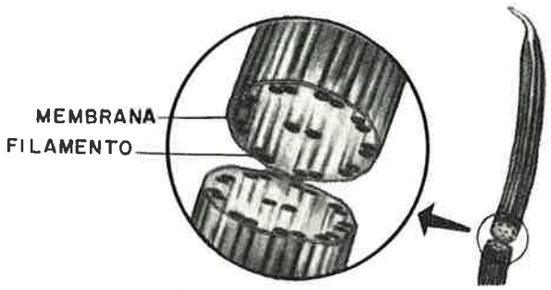


Fig. 10-10 Uma seção transversal de um flagelo, mostrando o arranjo típico 9-2.

Muito antes do microscópio electrônico se tornar um instrumento comum de pesquisa, estudiosos de anatomia concluíram que certas células imóveis fôssem cílios ou flagelos modificados que, em outras épocas, tivessem sido capazes de se mover e que tivessem se modificado depois de um longo período de tempo. Dêsse tipo seriam as células sensitivas do ôlho e algumas do ouvido, por exemplo. Examinadas ao microscópio electrônico, descobriu-se que essas células do ôlho e do ouvido possuem o anel externo de nove fibras protéicas, mas não têm as duas fibras centrais.

Você é capaz de interpretar êsses fatos e de tirar algumas conclusões? O que pensaria a respeito da origem dessas células, semelhantes às estruturas que impulsionam os microrganismos? Qual seria a função das duas fibras centrais? Qual seria o papel da membrana?

Pesquisas recentes mostraram que a aplicação de ATP faz um flagelo em repouso começar a bater rìtmicamente; quanto maior fôr a concentração, mais rápidos serão os movimentos. Isso nos leva a supor que a indução de contrações musculares e flagelares é análoga, uma vez que, como veremos num outro capítulo, o ATP se acha relacionado com a contração muscular. Supõe-se que, de uma maneira que não se sabe bem qual seja, a aplicação de ATP cause uma mudança de forma e um encurtamento na proteína dentro das fibras. É de Hoffman-Berling a seguinte citação:

> ...muitos movimentos celulares, e alguns dêles muito importantes, se originam porque as estruturas protéicas mudam ativamente suas formas. Os mecanismos podem ser completamente diferentes. A natureza não iniciou a motilidade executando um esfôrço muito grande; tentou diferentes meios. Que, acima de todos, o mecanismo de contração muscular fôsse mantido e desenvolvido, parece indicar que êste mecanismo é realmente o melhor[1].

10 — 11 Variedade de estrutura e função

Um outro aspecto de variação que vamos abordar é a complexidade que existe na fisiologia das chamadas "formas simples". Já discutimos um pouco a respeito dessa complexidade, mas é necessário falar um pouco mais. Como exemplo

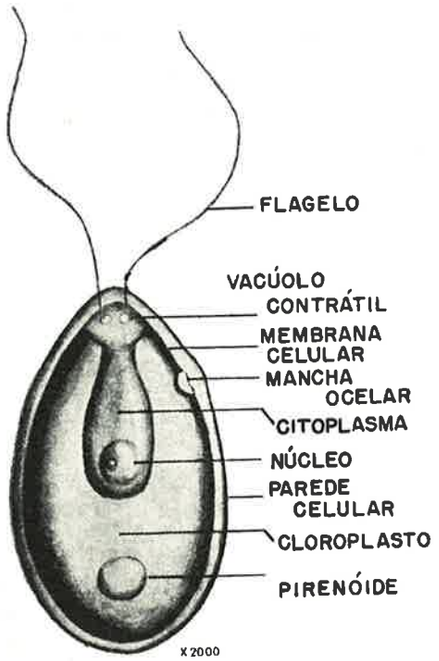


Fig. 10-11 *Chlamydomonas,* uma alga verde.

de forma unicelular, que possui muitos dos característicos já descritos e mais alguns outros, podemos considerar a *Chlamydomonas,* que pode ser vista na figura 10 — 11.

Envolvendo a membrana celular da *Chlamydomonas* há uma outra, bastante espêssa, que é a membrana celulósica. Esta membrana, como já vimos, é típica da maioria das células vegetais e também é encontrada nos protistas autotróficos.

Ocupando grande parte do citoplasma da *Chlamydomonas* há um cloroplasto grande, em forma de cálice, que permite ao organismo sintetizar seu próprio alimento a partir da água e gás carbônico e que fêz com que êle fôsse considerado vegetal pelos botânicos. Por outro lado, com base na presença de seus dois flagelos, a *Chlamydomonas* tem sido, também, classificada como animal. Se pensarmos um pouco a respeito do problema, chegaremos à conclusão de que as palavras "animal" e "vegetal" são baseadas em observação empírica, de maneira que parece mais lógico considerar a *Chlamydomonas* um protista e não tentar rotulá-la como animal ou vegetal.

Uma outra estrutura que você pode ter notado, ao fazer o Exercício n.º 22, é uma formação especializada, conhecida como mancha ocelar: sabe-se que a *Chlamydomonas* se dirige para luz fraca e se afasta da luz forte e que, provàvelmente, a mancha ocelar tem relação com êste comportamento. Êste organismo, supostamente um heterótrofo evoluído, vive como autótrofo capaz de movimentos rápidos e de reagir à luz. Em resumo, nesta pequena célula verde, encontramos uma grande escala de atividades vitais.

Uma das mais notáveis descobertas está relacionada à *Euglena,* um organismo unicelular semelhante à *Chlamydomonas* — também possui flagelo e clorofila; recentemente verificou-se que se ela fôr tratada com estreptomicina (um antibiótico comum), perderá tôda clorofila. Isto, porém, não acarretará, necessàriamente, sua morte; ela poderá passar a viver de maneira heterotrófica, alimentando-se de bactérias e de outros microrganismos. Neste caso, devido a certas condições, um autótrofo transformou-se em heterótrofo.

Existem também tipos de *Chlamydomonas* que vivem como heterótrofos, não porque tenham sido submetidos à estreptomicina, mas porque não possuem clorofila. Como foi explicado no Capítulo 9, certos heterótrofos em evolução, provàvelmente, foram capazes de usar a luz para sintetizar alimento e de agir, simultâneamente, como heterótrofos; é possível que a *Euglena* e êsses tipos de *Chlamydomonas* representem o tipo primitivo de heterótrofo-autótrofo em evolução.

Uma outra forma unicelular, muito comum em poças d'água e em qualquer infusão, é o paramécio, que você, com certeza, já observou ao microscópio ao realizar o Exercício n.º 22. Um outro organismo, também comum em infusões, é o *Euplotes* (fig. 10 — 12); ambos são microrganismos altamente especializados e fogem, quase que inteiramente, do que se considera uma célula-padrão.

O *Euplotes* não tem membrana espêssa para manter sua forma, mas possui um envoltório flexível composto de proteína. Numa das extremidades pode-se ver uma série de cílios dispostos em fileira, estendendo-se ao longo de uma cavidade que se prolonga até cêrca da metade da célula. Projeções mais grossas, chamadas *cirros,* também podem ser encontradas na superfície, sendo cada uma delas constituída de um grupo de cílios fundidos. O *Euplotes* parece se movimentar usando seus cirros quase como nós usamos as pernas. O paramécio apresenta numerosos cílios iguais, revestindo tôda a sua superfície; o batimento rítmico e coordenado permite sua

locomoção. Êsse movimento organizado leva a crer que os cirros do *Euplotes* e os cílios do paramécio sejam coordenados por alguma coisa semelhante ao sistema nervoso dos animais mais complexos, que também ocorreria em qualquer protista que se movesse de maneira coordenada. No entanto, parece não existir sistema nervoso, mas há um grande número de neurofibrilas unindo os cirros (no *Euplotes*) e os cílios (no paramécio) a um "centro controlador".

Note que as palavras "nervos" ou "cérebro" não foram usadas nesta descrição, embora seja difícil evitá-las. Os cientistas chamam essas fibras de *neurofibrilas* que, literalmente, significa pequenas fibras nervosas.

Uma operação simples demonstra que as neurofibrilas funcionam como nervos: com instrumentos especiais, adequados para cirurgia celular, faz-se um corte, semelhante ao mostrado na figura 10 — 12. Veja que o corte foi feito entre o centro controlador e os cirros. O resultado é que o *Euplotes* se tornará incapaz de coordenar os movimentos. Se cortes, igualmente profundos, foram feitos em outros lugares, sem cortar as neurofibrilas, a coordenação não será afetada.

O *Euplotes* não possui clorofila e, portanto, não fabrica seu próprio alimento; contudo, pode absorver moléculas de alimento dispersas na água, através da membrana celular. Isto, porém, não é suficiente para manter um indivíduo tão ativo, mas êle pode captar partículas maiores de alimento sólido por meio de sua *goteira oral.* O batimento dos cílios leva água com alimento até a extremidade da goteira e aí se forma uma bôlsa na membrana celular, que se fecha como se fôsse um saco, mantendo o alimento dentro. Esta bôlsa é um *vacúolo digestivo,* que circula no citoplasma; nêle o alimento é digerido.

Devido ao fenômeno da osmose (Capítulo 6), a água entra contìnuamente nos organismos que estamos descrevendo. Ela pode, porém, ser removida por uma estrutura especial denominada *vacúolo contrátil,* que se enche de água e ràpidamente se contrai, expelindo-a através da superfície do corpo. Êste vacúolo funciona como uma espécie de bomba para expelir o excesso de água que poderia interferir nas funções celulares.

Além de tudo isso, os núcleos do *Euplotes* e os do paramécio, também fogem à regra; êles têm dois núcleos, de diferentes tamanhos, como pode ser visto na figura 10 — 12.

10 — 12 Uma curiosidade bioquímica

Vejamos agora, um outro organismo unicelular que tem um nome pouco comum — *Tetrahymena.* Como muitas das formas unicelulares, move-se por cílios e se alimenta de organismos menores do que ela, principalmente bactérias. A figura 10 — 13 é de *Tetrahymena* fixada, para mostrar suas fileiras de cílios. Pesquisas mostraram, contudo, que é possível cultivar êsses mi-

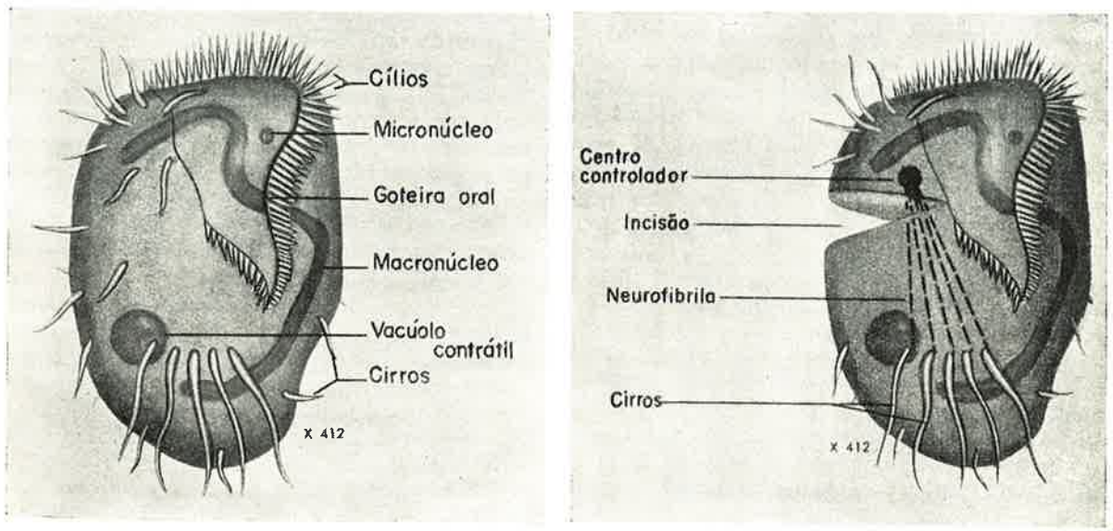


Fig. 10-12 À esquerda um protozoário ciliado; à direita, um esquema de uma experiência com *Euplotes,* no qual uma incisão foi feita próxima ao centro controlador.

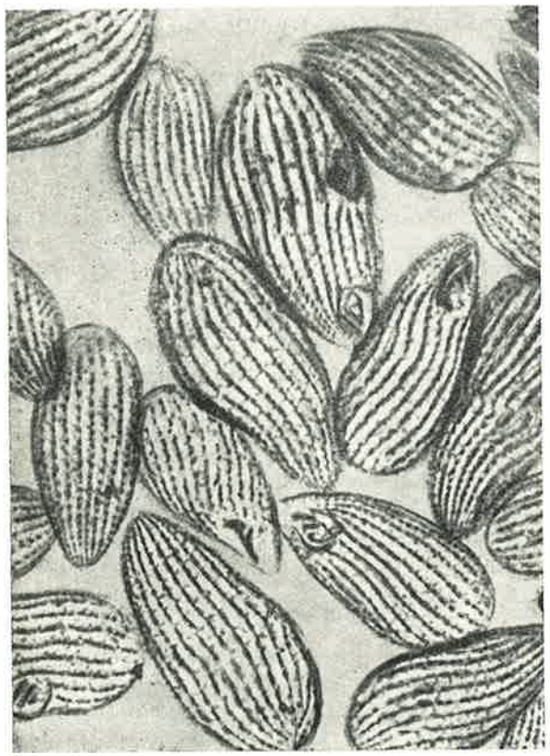


Fig. 10-3 *Tetrahymena,* um protozoário ciliado corado para mostrar as fileiras de cílios.

crorganismos num meio completamente livre de bactérias, desde que outro alimento seja fornecido. Descobriu-se que *Tetrahymena* exige os mesmos aminoácidos, minerais, vitaminas e açúcares que o organismo humano e que, como êle, é incapaz de sintetizar certos componentes químicos essenciais. Êste ser é um exemplo de heterótrofo unicelular evoluído, bioquìmicamente tão "complicado" como o organismo humano. Poder-se-ia chamá-lo de forma simples de vida?

10 — 13 Podem existir células sem citoplasma?

Parece muito pouco provável que qualquer organismo possa viver sem citoplasma. Como poderia ser libertada a energia necessária para a vida, sem condrioma? Como poderia se dar a síntese de proteínas e de enzimas, sem ribossomos? Como poderia se formar o fuso na mitose? Se tal organismo existisse, teria que ser constituído de material nuclear e de algum tipo de envoltório e, dificilmente, poderia exibir muita atividade. É interessante lembrar que os vírus se enquadram muito bem dentro desta descrição. A figura 10 — 14 mostra fotografias de alguns vírus conhecidos, tiradas ao microscópio electrônico. Seu método de autoduplicação foi discutido no Capítulo 7.

Os vírus não apresentam nenhuma das estruturas indicadas na célula-padrão. São tão pequenos que, geralmente, só podem ser vistos ao microscópio electrônico. Quanto à forma, podem ser esféricos, em bastonetes ou hexagonais com uma cauda. Sua composição parece ser muito simples: o interior é constituído de ácido nucléico (DNA ou RNA) e um envoltório protéico. Não há núcleo distinto, citoplasma, nem membrana celular. Assim como há uma grande variedade de plantas e de animais, há também uma grande variedade de vírus.

Apesar dessa aparente simplicidade, os vírus são bastante complexos. Um grupo de pesquisadores da Universidade da Califónia anunciou, em 1961, ter finalmente determinado a estrutura do envoltório de proteína do vírus do mosaico do fumo (fig. 10 — 14). Mostraram que ela é constituída por cêrca de 2.000 moléculas, em forma de coluna, cada uma formada de 158 tipos de moléculas de aminoácidos, os quais são de 16 variedades diferentes. Mais tarde, foi analisado o interior do vírus e descobriu-se que é composto de 6.502 moléculas de nucleotídeos, as quais formam cêrca de 10 a 100 gens (moléculas de RNA) dêsse vírus.

Pelo que foi possível determinar até agora, os vírus só atacam um tipo específico de célula; por exemplo, o vírus da poliomielite só sobrevive em células nervosas. Não foi possível ainda cultivar vírus em material que não seja vivo, ou sintetizar vírus. No entanto, em 1962, um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos, comunicou ter tido êxito ao criar condições fora de células vivas, onde vírus do mosaico do fumo puderam duplicar-se. Sabe-se que os vírus podem conservar sua faculdade de infeccionar plantas e animais depois de terem passado muito tempo fora de material vivo, ou seja, êles podem se manter inativos até que tenham oportunidade de encontrar o tipo adequado de célula que necessitam.

Vimos no Capítulo 7 que o bacteriófago se prende à membrana celular de bactéria e injeta suas moléculas de ácido nucléico no interior da célula. O seu envoltório protéico permanece fora. O DNA do vírus usa os aminoácidos da célula para se duplicar, muitas vêzes num espaço de tempo muito pequeno. Depois disso, os ácidos

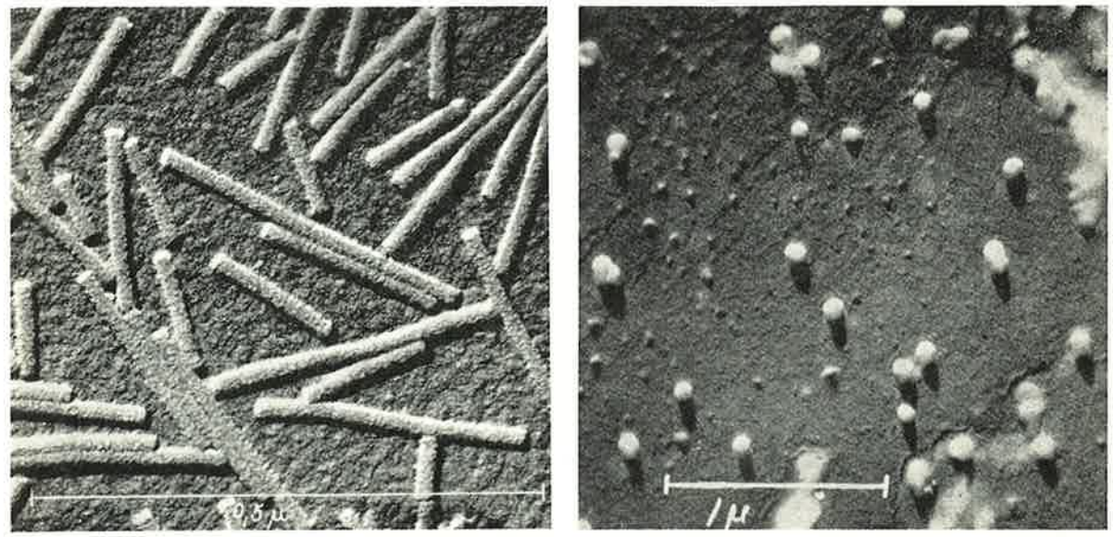


Fig. 10-14 Vírus.

nucléicos do vírus sintetizam os envoltórios de proteína para cada indivíduo, usando, também, material fornecido pela célula parasitada. Finalmente esta se rompe, e todos os vírus recém-formados são libertados. Podem ser considerados como gens à procura de uma célula onde sejam capazes de se reproduzir.

...Se bem que as cianofíceas e as bactérias não possuam núcleo individualizado, suas atividades vitais são cuidadosamente reguladas e os descendentes são semelhantes à célula que lhes deu origem. Êstes dois fatos indicam a existência de um contrôle nuclear e de algum tipo de mecanismo genético.

Certos organismos unicelulares abandonaram a existência inativa, desenvolvendo vários processos de locomoção. Como resultado, apresentam agora os mais diversos graus de complexidade em movimentação, estrutura e nutrição.

Os vírus possuem uma estrutura muito simples; são constituídos por ácido nucléico, e revestidos por um envoltório de proteína. São capazes de se duplicar sòmente dentro de uma célula viva, injetando seu DNA ou seu RNA na célula que invadem. Uma vez que êles são inteiramente parasitas, dependendo de células vivas para sua alimentação, não é provável que tenham sido os primeiros heterótrofos.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais são as diferenças entre a *Gloeocapsa* e a célula-padrão, descrita no começo do capítulo?
2. Quais são as variações da célula-padrão apresentadas pelas bactérias?
3. Qual é a utilidade das bactérias em relação aos autótrofos?
4. O que indica que a *Gloeocapsa* e as bactérias pertençam a um grupo superior ao das grandes moléculas simples?
5. Por que certas bactérias podem suportar condições de ambiente extremamente desfavoráveis? Isso é um exemplo de variação?
6. Qual a prova, apresentada neste capítulo, que sugere que a evolução adapta estruturas já existentes a novas funções?
7. Que argumentos você pode empregar para classificar o *Euplotes* como animal?
8. Faça uma lista das variações na estrutura celular descritas neste capítulo.
9. Qual a prova que existe para indicar que o *Euplotes* tem um centro controlador que coordena algumas de suas atividades?

10. Como pode ser interpretada a variação no número de mitocôndrios nas células?

11. Qual a vantagem de um organismo em ser autótrofo e heterótrofo ao mesmo tempo?

12. Quais são algumas das mensagens em código contidas no DNA do vírus?

13. Quais são algumas das mensagens em código que não estão contidas no DNA do vírus?

14. Por que se diz que os vírus só puderam aparecer depois de existirem outras células?

15. Descreva como o bacteriófago usa a célula hospedeira.

SUMÁRIO

A semelhança de estrutura encontrada nas células evoluídas é, aparentemente, responsável pelas semelhanças básicas nas funções celulares. O condrioma relaciona-se com libertação de energia; os ribossomos, com o seu RNA, assim como o RNA disperso no citoplasma, relacionam-se com a síntese de proteínas; os cromossomos contêm o código genético.

A divisão celular implica, em primeiro lugar, na transmissão das instruções em código de uma geração à seguinte mas, também, dá às células-filhas uma porção de citoplasma com suas inclusões. Cada nova célula fica, assim, apta a funcionar de maneira semelhante à célula que lhe deu origem.

Apesar de as formas unicelulares mostrarem semelhanças básicas, também apresentam variações consideráveis do esquema da célula padrão. Algumas não possuem núcleo individualizado, outras parecem não ter citoplasma; assim mesmo, tôdas vivem e se reproduzem. Essa diversidade combinada com as semelhanças, pode ser freqüentemente observada em Biologia e pode ser explicada pela seleção natural.

Do Capítulo 5 ao 9 desenvolveu-se o conceito da hipótese heterotrófica. Começando de grupos simples de átomos, mostramos como a vida pode ter aparecido. Isto foi feito para demonstrar como os cientistas tentam resolver os problemas que se apresentam.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Qual o significado que pode estar ligado ao fato de que tôdas as células tendem a apresentar os mesmos componentes?

2. Por que a variedade é esperada como uma conseqüência natural da evolução?

3. Faça uma lista das partes da célula, indicando a natureza molecular de cada e as funções que executa.

4. Que se pode dizer dos mitocôndrios sabendo-se que, normalmente, tôdas as partes da célula possuem um agrupamento dêsses corpúsculos à sua volta?

5. Por que a duplicação exata dos cromossomos é a fase mais importante da divisão celular?

6. Qual é o significado do processo da mitose?

7. Qual a prova que existe de que o DNA do bacteriófago contém instruções limitadas?

(B) 8. Qual a prova, apresentada neste capítulo, que indica ser a mitose um processo químico enzimático?

9. O crescimento é uma prova evidente do aumento de células em tamanho, em número ou em ambos. Por que se espera que um organismo que viva nos trópicos deva crescer mais ràpidamente do que um que viva nos pólos?

10. Dê um exemplo que mostre que possuímos agora muito mais conhecimento real e teórico da célula, do que há quarenta anos atrás.

11. Quais são algumas das questões a respeito de célula que não foram ainda respondidas?

12. Seria possível criar um microcosmo onde *Gloeocapsa* e bactérias fôssem as únicas formas de vida? Explique.

13. Você poderia citar alguma razão para se sugerir que os pigmentos dos olhos fôssem semelhante à clorofila?

14. Se a *Chlamydomonas* executa fotossíntese, que vantagem há na sua tendência de se afastar de luz forte e procurar luz difusa?

(C) 15. Pode-se considerar de significação evolucionária o fato das bactérias e *Gloeocapsa* não apresentarem núcleo visível?

16. A evolução leva a crer que as formas vivas se modificam e se tornam mais complexas. Sugira razões que expliquem porque formas simples, tais como bactérias e *Gloeocapsa* continuam a existir. Tente coadunar suas razões com a teoria da evolução.

17. Quais os argumentos que você pode apresentar pró e contra a idéia de que a *Gloeocapsa* é uma forma evoluída dos primeiros heterótrofos?

18. Que espécie de relações, ligadas à evolução, podem prender-se ao fato de que organismos, como *Tetrahymena* e os homens, são incapazes de sintetizar a maioria das substâncias químicas necessárias para uma existência saudável?

19. Que pensa você a respeito de não terem sido os vírus as primeiras formas de vida? Que argumentos podem ser usados para provar que êles seriam formas "prováveis" de heterótrofos evoluídos?

20. Que aspecto da divisão animal e vegetal pode ser usado para defender a idéia de que ambos os reinos evoluíram a partir de um ancestral comum?

OBRAS MENCIONADAS

1 HOFFMANN — BERLING. *Cell, Organism and Milieu,* ed. Rudnich, Dorothea, New York, The Ronald Press Company, 1959, p. 61

LEITURAS RECOMENDADAS

GAMOW, G. "O Enigma da Vida", *Um, Dois, Três, Infinito,* (trad.), Ed. Zahar.

MAZIA, Daniel. "Divisão Celular", *Física e Química da Vida, Scientific American* (trad.), Ed. Ibrasa, 1961. p. p. 211.

WADDINGTON, C. H. "Diferenciação Celular", *ibid.,* pág. 211

BASILE, Renato. *Um Pouco Sôbre a Célula,* Ed. da Universidade de São Paulo, IBECC, 1963.

ROBERTIS, E. D. P. de, W. W. Nowinski e F. A. Sáez. *Citologia General,* 4.ª edição, Libreria "EL Ateneo" editroial, Buenos Aires.

SWANSON, Carl P. *The Cell,* Prentice-Hall Foundations of Modern Biology Series (2.ª edição).

BONNER, J. T. *Idéias Fundamentais da Biologia,* Zahar Editôres, Rio de Janeiro, 1964.

Número especial da revista *Scientific American,* setembro de 1961.

A TEORIA CELULAR

CAPÍTULO 11

A Biologia, como qualquer outra Ciência, envolve a interação de idéias e instrumentos. Novos instrumentos permitem observações melhores, as quais, por sua vez, servem de base para outras idéias e generalizações. A teoria celular, seguindo essa regra, desenvolveu-se, como veremos, da interação de idéias e fatos, que se tornaram conhecidos graças ao aperfeiçoamento contínuo dos instrumentos.

Esta teoria partiu de conceitos e observações simples, chegando a um estágio de observações precisas e conceitos bem elaborados. Para êsse progresso, que exigiu três séculos, contribuíram homens dos mais diversos países. A maioria das teorias científicas cresce dêsse modo, à custa do trabalho contínuo de muitas pessoas e não da inspiração súbita de um único homem.

Ao estudar êste capítulo, não se preocupe em memorizar nomes dos cientistas, nem as datas de suas descobertas, pois o mais importante é reconhecer que esta grande teoria foi o produto do esfôrço de muitos homens, cada um dos quais acrescentou algo aos conceitos já existentes. O sucesso e as falhas que tiveram êsses cientistas dependem da época e do lugar em que viveram, dos instrumentos de que dispunham e dos conceitos a partir dos quais elaboraram sua teoria.

PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE CÉLULAS

11 — 1 O microscópio leva a novas observações

Os gregos antigos, particularmente Aristóteles e Teofrasto, conheciam relativamente bem os órgãos que compõem os sêres vivos, mas desconheciam inteiramente a existência das células que constituem êsses órgãos, uma vez que não possuíam nenhum instrumento adequado para essa observação.

No século XVII, considerado o comêço da "revolução científica", começou a se desenvolver uma atitude diferente em relação à pesquisa livre. Essa nova atitude possibilitou o aperfeiçoamento de diversos instrumentos, entre os quais as lentes, o que, sem dúvida, contribuiu para facilitar as investigações científicas. As oficinas e "ateliers" dos artistas forneciam a mão-de-obra necessária para êsse tipo de trabalho e podem, por isso, ser considerados os precursores dos modernos laboratórios. Durante os últimos 300 anos, a Ciência tem sido encarada como uma atividade que ocorre essencialmente no laboratório, onde são utilizados instrumentos cada vez mais aperfeiçoados. Em nenhum período anterior, tinham sido os estudos da Ciência tão ligados ao uso de qualquer aparelho.

A construção do primeiro microscópio composto é atribuída a artesãos holandeses, os irmãos Janssen, por volta de 1600. Um microscópio composto é constituído por duas ou mais lentes e, se elas forem bem polidas, o aumento e a nitidez são muito maiores do que os obtidos com uma única lente. Durante longo tempo as lentes foram deficientes, produzindo imagens embaçadas e destorcidas. Foi preciso quase um século de aperfeiçoamento para que as imagens vistas ao microscópio composto fôssem iguais às obtidas com uma única lente. Anton van Leeuwenhoek, por exemplo, sempre usou uma só lente como "microscópio".

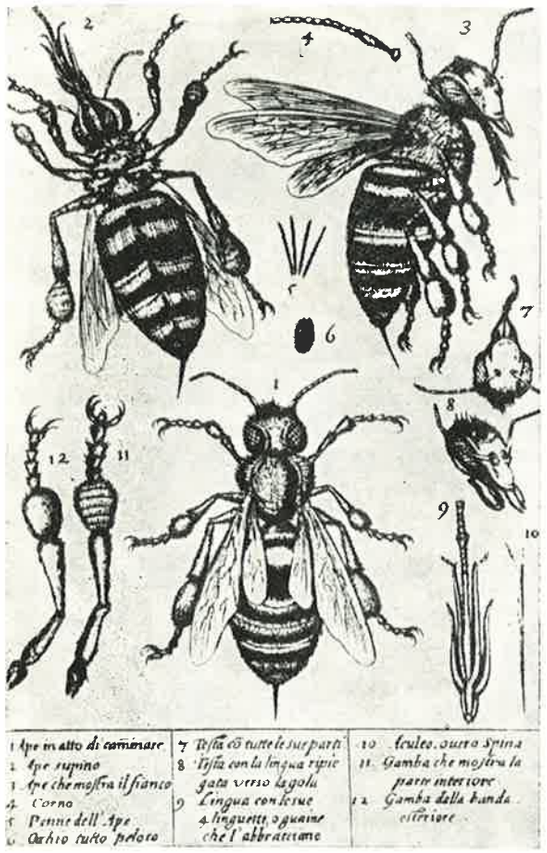


Fig. 11-1 Desenho de Francesco Stelluti, mostrando uma abelha e diversas de suas partes. Esta fotografia foi publicada em 1625, cêrca de 40 anos antes da publicação do desenho das células, feitos por Hooke.

O microscópio composto abriu um nôvo campo de observação, que ainda não foi completamente explorado. Segundo as crônicas da época, só 35 anos depois de sua invenção é que começou a ser utilizado para a observação de sêres vivos. A figura 11 — 1 mostra desenhos de uma abelha, feitos por Francisco Stelluti. É o primeiro desenho baseado em observações através do microscópio.

11 — 2 Hooke vê a célula

Robert Hooke, cientista inglês do século XVII, contribuiu de maneira notável para o aperfeiçoamento do microscópio composto (fig. 11 — 2). Os resultados de suas observações ao microscópio foram publicados em Londres, no ano de 1664, no seu livro *Micrografia*. Usando um canivete, cortou uma fatia muito fina de cortiça e a examinou ao microscópio. Na citação seguinte, tirada de seu trabalho, êle descreve minuciosamente o que fêz e o que viu.

> Mas, julgando pela leveza e compressibilidade da cortiça... que, provàvelmente, usando algum outro artifício, poderia conseguir discerni-la com um microscópio, tirei, com o mesmo canivete amolado, um pedaço extremamente fino da superfície lisa da cortiça e, colocando-a sôbre um porta-objetos prêto, porque a cortiça era branca, e concentrando a luz sôbre ela por meio de uma lente plano-convexa, poderia perceber claramente que



Fig. 11-2 Um desenho do microscópio usado por R. Hooke. O tubo principal tinha cêrca de 10 cm de comprimento, com um tubinho menor, encaixado dentro, que era usado para focalizar. O sistema de lentes podia dar um aumento de cêrca de 270 X. O globo era cheio de uma solução clara para concentrar a luz fraca da lâmpada.

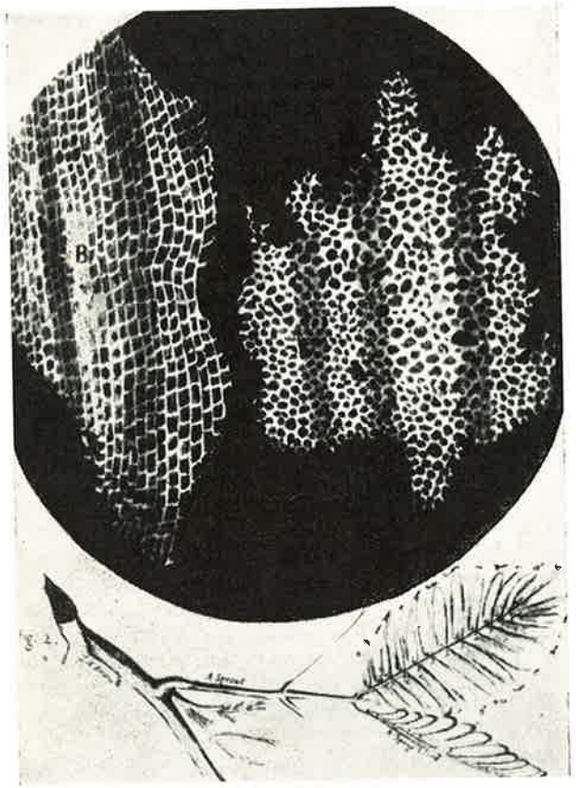


Fig. 11-3 Desenho de R. Hooke, das células de cortiça. São os primeiros desenhos de células e o nome que receberam foi dado pelo autor.

ela era tôda perfurada e porosa, assemelhando-se muito a um favo de mel... êsses poros, ou células, não eram muito profundos, e sim, consitiam de um grande número de pequenas caixas...

Logo que discerni êsses poros (os quais eram, na verdade, os primeiros poros microscópicos que eu jamais vira e que, talvez, jamais tenham sido vistos, pois nunca encontrei um autor, ou uma pessoa, que a êles tivesse feito menção antes disso), julguei que a descoberta dêles me sugeria, agora, a razão verdadeira e inteligível de todos os fenômenos da cortiça; ...[1]

Note que Hooke usou a palavra *células* para descrever os minúsculos "poros" que êle havia visto nas fatiazinhas de cortiça. Neste trabalho, mostrou estar a par e seguir tôdas as etapas necessárias num trabalho científico: primeiro explicou, escrevendo e ilustrando o que viu — seus *dados* — (fig. 11 — 3), depois especulou a respeito do significado de suas observações: a elasticidade da cortiça resultava de sua textura porosa. Não pôde, entretanto, formar uma idéia exata sôbre o conteúdo das "cavidades" que havia visto no material: menciona um "suco natural" que, admitia ter possibilidade de passar de uma célula para outra.

Hooke dizia ter feito uma descoberta. Realmente fêz: foi o primeiro a observar as pequenas cavidades e, o que é mais importante, foi também o primeiro a usar o microscópio composto para fazer observações meticulosas, o que encorajou outros cientistas a usarem êste nôvo instrumento.

11 — 3 Outros cientistas observam células

Outros cientistas da época de Hooke, que podiam dispor de microscópios, passaram a examinar cortes muitos finos de diferentes animais e vegetais. Freqüentemente observavam nesses materiais "poros" semelhantes aos descritos por Hooke.

Nehemiah Grew, biólogo inglês, estudava plantas na época em que Hooke realizava suas observações; ambos pertenciam à mesma sociedade científica, *Royal Society,* e usavam o mesmo microscópio. No seu livro, *A Anatomia das Plantas,* publicado em 1682 (18 anos depois da publicação da *Micrografia* de Hooke), descreve assim suas observações:

> O microscópio confirma a verdade disto e, mais precisamente, mostra que êsses poros são em geral esféricos na maioria das plantas, que são, assim, uma massa infinita de pequenas células ou vesículas[2].

O têrmo *célula* não tinha ainda se estabelecido firmemente, embora crescesse a idéia de que certas partes da planta fôssem formadas destas minúsculas unidades. Observe, na figura 11 — 5, o desenho de um corte transversal de caule, feito por Grew; nêle há vários tipos de células. Êle se referia às células do setor EFG do desenho como "vesículas". Compare as células desenhadas por Grew com as que vê em uma figura de

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

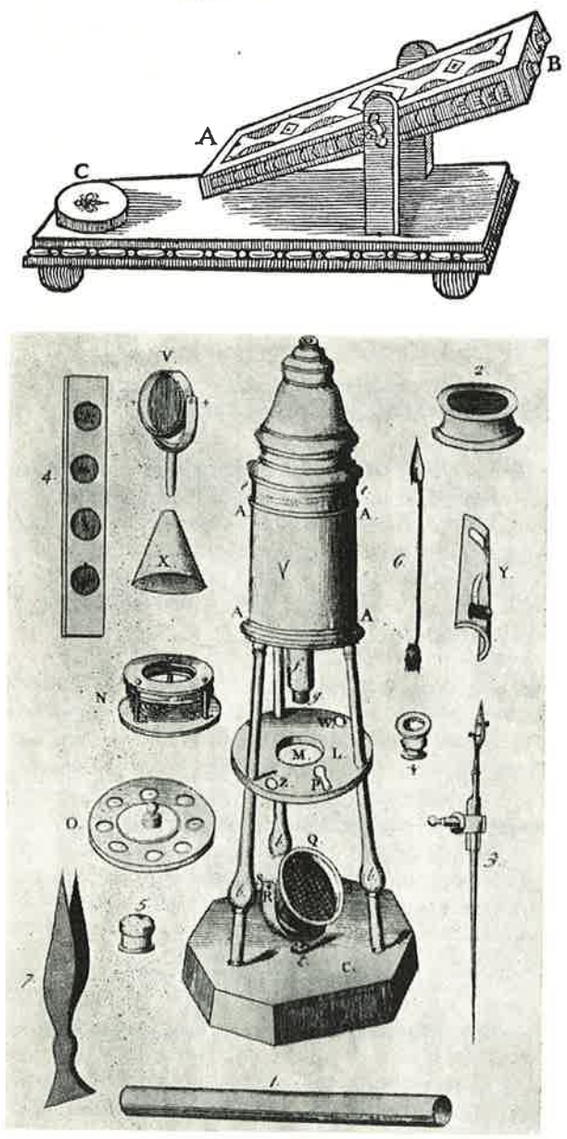


Fig. 11-4 Ao alto, desenho de um microscópio binocular em 1685. Embaixo, microscópio monocular usado em 1760.

livro que represente corte transversal de caule ou com o que vê ao microscópio, ao observar uma lâmina dêsse material.

À medida que o microscópio se tornou mais conhecido, embora fôsse ainda instrumento grosseiro, muitas observações importantes foram feitas. Marcelo Malpighi, no seu livro *Anatomia das Plantas,* publicado em 1682, analisou a estrutura microscópica dos vegetais; êle também admitia que fôssem constituídos por células, embora as chamasse de "utrículos".

Anton van Leeuwenhoek fêz numerosas observações de pequenos organismos animados que chamou de "animálculos". Estas observações, como você lembra, foram usadas na discussão sôbre o problema da geração espontânea. Numa série de cartas dirigidas à *Royal Society* de Londres, Leeuwenhoek descreveu êsses organismos com tal precisão, que até hoje é possível identificá-los como protozoários, bactérias e espermatozóides. Não há, porém, nenhum indício de que êle relacionasse êsses "animálculos" com células.

...A invenção do microscópio permitiu que fôssem feitas, pela primeira vez, observações de células. Os chamados "filósofos naturalistas" examinavam todos os tipos de sêres minúsculos e, depois, partes de animais e vegetais. À medida que aumentava o número de cientistas que se in-

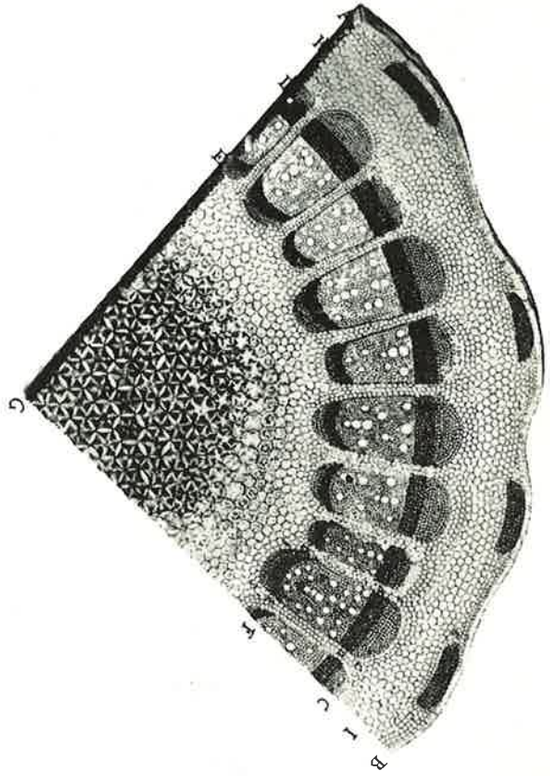


Fig. 11-5 Desenho de um corte transversal de caule feito por N. Grew.

teressava pelo uso do microscópio, mais descrições e desenhos de células eram feitos. Os cientistas do século XVII trabalhavam quase que exclusivamente num nível empírico, talvez pela novidade que significava ver coisas minúsculas aumentadas pelo microscópio composto.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais os dois acontecimentos que deram início à "revolução científica" do século XVII?
2. Por que Leeuwenhoek usou um microscópio de uma lente em lugar de usar um microscópio composto?
3. Que importância teve o fato de Hooke ter usado microscópio?
4. Qual a contribuição de Grew e Malpighi para o estabelecimento do conceito de célula?

GENERALIZAÇÕES SÔBRE AS CÉLULAS

11 — 4 Aumentam gradualmente os conhecimentos sôbre as células

A hipótese que supõe que todos os sêres vivos são constituídos por células foi crescendo lenta e gradualmente, à medida que iam sendo aperfeiçoadas as lentes, permitindo observações mais precisas da estrutura interna de animais e vegetais. Por exemplo, em meados do século XVIII, Kaspar Friedrich Wolff, jovem estudante de Medicina, estudou a estrutura de diversos embriões, particularmente os de galinha, e sôbre isso escreveu:

> Cada órgão é formado inicialmente de uma pequena massa de fluido claro, viscoso, nutritivo, sem organização de qualquer espécie, composto principalmente por glóbulos. Nessa massa semi-fluida desenvolvem-se cavidades; se estas permanecem esféricas ou poligonais, se tornam as células subseqüentes...[3]

Wolff foi aos poucos se convencendo de que o embrião atinge sua forma e tamanho peculiares pela formação de novas células especializadas que formam novos órgãos, ou seja, as células não só cresceriam em número como também se disporiam nas posições adequadas para formar as diferentes partes de um organismo complexo. Wolff teve uma grande influência na embriologia moderna. Suas observações foram notáveis, considerando-se que êle usava um microscópio mais deficiente do que os usados atualmente nas escolas secundárias.

Mais ou menos no início do século XIX, já se sabia que os órgãos eram constituídos de *tecidos*. Os tecidos dos vertebrados são: epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso. Os órgãos vegetais — raiz, caule e fôlhas — também são constituídos de tecidos. Mas, o que constitui um tecido?

Embora muitos cientistas tivessem feito observações cuidadosas, nos 150 anos posteriores às descobertas de Robert Hooke, nenhum estabeleceu uma teoria unificadora sôbre a existência das células. Foi então que na França, R. J. H. Dutrochet começou a comparar sistemàticamente tecidos animais e vegetais. Êle era um observador cuidadoso e se aproximou muito do que poderia ser considerado uma teoria sôbre as células, quando disse:

> ...todos os tecidos orgânicos dos animais são realmente células globulosas extremamente pequenas, unidas sòmente por coesão. Portanto, todos os tecidos, todos os órgãos animais e vegetais, realmente são apenas um tecido celular, diversamente modificado[4].

Dutrochet acreditava que todos os tecidos vivos fôssem minúsculas células, mantidas juntas por alguma fôrça aglutinadora, e que os órgãos fôssem compostos de diferentes tipos de tecidos.

Um passo importante resultou do trabalho de um botânico escocês, Robert Brown. Observando células de orquídeas, encontrou, em cada uma delas, uma formação mais densa, globulosa, que denominou *núcleo*. Generalizou essas observações, admitindo que êsses núcleos também se encontrassem nas células de outras plantas.

11 — 5 A teoria celular é proposta

Com essas descobertas, havia sido atingido o estágio adequado para uma primeira proposição clara de uma teoria sôbre as células. Isto foi realizado por dois biólogos alemães do século XIX, Theodor Schwann e Mathias Schleiden. Schleiden, no seu trabalho publicado em 1838 sôbre a origem das células, lançou a hipótese de que o núcleo desempenha papel fundamental no desenvolvimento celular. Disse também que cada célula leva vida dupla, uma relativa ao seu próprio desenvolvimento e outra como parte da planta, isto é, cada célula, seja ela de raiz, caule ou fôlha, age como um pequeno organismo independente, mas apesar dessa independência, contribui para a vida do organismo de que faz parte.

Enquanto Schleiden trabalhava com células vegetais, Schwann observava células animais e concluiu que algumas das observações feitas por êle em células de sapo podiam ser interpretadas de acôrdo com as idéias de Schleiden para a célula vegetal. Schwann comprovou suas idéias examinando uma variedade de estruturas animais, desde ovos de aves até fibras musculares. Essas observações levaram-no a fazer a seguinte generalização:

> ...as partes elementares de todos os tecidos são formadas de células... portanto, pode-se dizer que há um princípio universal de desenvolvimento para as partes elementares dos organismos, embora sejam diferentes entre si, e êste princípio é a formação de células[5].

Schleiden e Schwann não descobriram a célula e nem siquer lhe deram nome. Simplesmente estabeleceram, mais claramente do que fôra feito anteriormente, a idéia básica de que as células formam todos os sêres vivos, desde os unicelulares até os pluricelulares mais complexos. Esta teoria é chamada **teoria celular** e sua formulação significou um grande avanço para a Biologia. Liga, em uma ampla generalização, tôdas as observações feitas desde o tempo de Hooke, abrindo assim o caminho para novas pesquisas.

...O desenvolvimento da teoria celular ilustra importantes relações entre observações, hipóteses e o uso de instrumentos em Ciência. Durante 150 anos os cientistas observaram células, mas não compreenderam completamente seu significado. Quando a teoria celular foi proposta, tôdas as observações isoladas puderam ser relacionadas. Esta teoria é o resultado de observações e generalizações de muitos pesquisadores.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais as conclusões de Wolff sôbre a maneira como o embrião se desenvolve?
2. Como Dutrochet ampliou as conclusões de Wolff?
3. Qual o significado da expressão de Dutrochet: "tecido celular diversamente modificado"?
4. Qual a contribuição de Robert Brown para o desenvolvimento da teoria celular?
5. Quais as importantes idéias expressas por Schleiden, em seu trabalho publicado em 1838?
6. Como Schwann expandiu as idéias de Schleiden?
7. Qual o significado do trabalho de Schleiden e Schwann?

11 — 6 Instrumentos mais aperfeiçoados auxiliam a pesquisa

Uma vez aceita a teoria celular, a nova maneira de considerar a estrutura de plantas e animais deu nôvo espírito à pesquisa biológica. O progresso nas técnicas de coloração e na fabricação de lentes para microscópio proporcionou aos cientistas melhores instrumentos para a procura de informações relacionadas com as células.

Na época de Schleiden e Schwann, o microscópio composto já vinha sendo usado há cêrca de 200 anos, sem que tivesse havido grande aprimoramento nos métodos de sua fabricação. Já vimos que as primeiras observações microscópicas foram feitas com lentes muito primitivas e, mesmo quando Wolff examinou os embriões de galinha, teve que enfrentar as aberrações ópticas resultantes das imperfeições das lentes. No seu microscópio, as delgadas lâminas de tecidos animais e vegetais apresentavam tôdas as côres do arco-íris, o que prejudicava a observação. Foi no início do século XIX que as lentes acromáticas (lentes em que não há formação de zonas coloridas) começaram a ser usadas nos microscópios, podendo-se, assim, ter a imagem aumentada sem aberrações que interferissem nas observações.

11 — 7 Tôda célula provém de outra célula

A etapa seguinte no desenvolvimento da teoria celular foi a verificação e correção de algumas idéias de Schleiden e Schwann, principalmente as relacionadas com a divisão celular, pois êles

admitiam que as células se cristalizavam a partir de um fluido, ou então que minúsculas cèlulazinhas se formavam no interior das já existentes.

Uma década, se tanto, após a apresentação da teoria celular foi demonstrado o êrro dessas idéias com a análise dos primeiros estágios de desenvolvimento de embriões de animais. Os cientistas verificaram que as células se duplicavam por divisão celular. Logo depois, vários biólogos identificaram os espermatozóides e óvulos como células, o que não tinha sido feito até então. Em 1842, foi demonstrado que os grãos de pólen se formam por divisão celular. Em todos êsses processos, o núcleo sempre estava envolvido.

Finalmente, em 1855, Rudolf Virchow, médico e biólogo alemão, generalizou o conceito de que as células se multiplicam por divisão. A frase de Virchow, em latim, é: *Omnis cellula e cellula,* que significa: tôda célula provém de outra célula.

11 — 8 A substância viva da célula

Em meados do século XIX, tornou-se mais e mais evidente que a parede ao redor das células não era viva, ao contrário do material existente no seu interior. Qual é, realmente, a natureza dêsse material gelatinoso em que o núcleo está imerso?

No início não houve sequer um nome para êle. Alguns autores o chamaram de "protoplasma", nome que é ainda encontrado em muitos livros de Biologia, mas não foi possível identificá-lo como uma substância pura nem como uma mistura de composição constante. O protoplasma deve ser considerado como sendo o conjunto das estruturas celulares que estão contìnuamente sofrendo mudanças rápidas.

Alguns biólogos do século XIX levaram ao exagêro a associação de vida com protoplasma, dizendo que "a vida é uma propriedade do protoplasma" ou "o protoplasma é o material formador do ser vivo"; sendo assim, seria possível dizer que o protoplasma é material vivo ou que a vida é protoplasma. Por esta razão, a palavra protoplasma tornou-se sem sentido e deixaremos de usá-la neste livro.

11 — 9 Novos corantes revelam a atividade nuclear

Por muito tempo, o papel do núcleo na divisão celular permaneceu obscuro, provàvelmente, por causa das dificuldades em observá-lo com nitidez.

Na célula viva êle é visível com grande dificuldade ao microscópio óptico comum, sendo ainda mais difícil a observação de uma divisão nuclear. Você verá, no Exercício n.º 20, lâminas com tecidos animais e vegetais coradas por diversas substâncias; as anilinas colorem diferencialmente o núcleo, o citoplasma e a membrana, tornando assim possível e fácil distingui-los. Êsses corantes são fabricados pelo homem e sua síntese não havia sido descoberta até meados do século XIX.

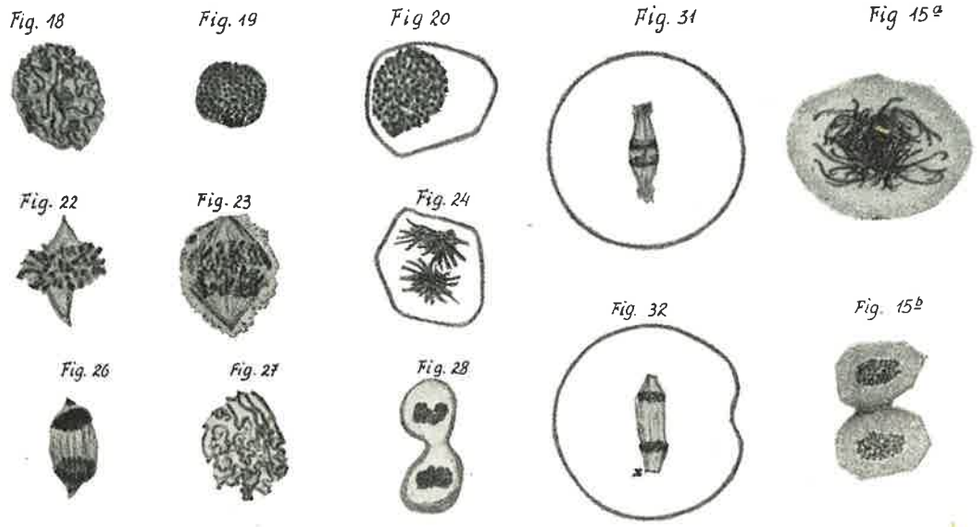


Fig. 11-16 Desenhos de células e cromossomas em vários estágios de mitose feitos em 1879, por Walter Flemming.

Os corantes naturais, usados antes dessa época, nem sempre coravam suficientemente o núcleo, permitindo distingui-lo do resto da célula. Ainda uma vez, os progressos da Ciência ficavam na dependência dos meios de observação, não mais a falta de microscópios potentes, mas sim de conhecimentos sôbre a técnica de preparação das células, de modo a torná-las mais visíveis. Não se sabia se as anilinas eram mais eficientes que os corantes naturais, mas alguém, usando o método empírico, tentou a sorte usando-as nas preparações de lâminas de tecidos vegetais e animais e acertou.

Em 1879, o biólogo alemão, Walther Flemming, utilizando corantes de anilina e lentes acromáticas, conseguiu acompanhar a divisão celular e assim pôde descrever no seu livro *Substância Celular, Núcleo e Divisão Celular,* as etapas do processo, pràticamente como as conhecemos hoje, A figura 11 — 6 é um desenho tirado de seu livro. Por causa do aspecto filamentoso dos cromossomos, Flemming chamou ao processo mitose, palavra que significa, em grego, fio. Como já vimos o processo da mitose refere-se sòmente à duplicação nuclear sendo a formação da membrana intercelular e dos sulcos intercelulares, processos de divisão do citoplasma.

Seria êrro admitir que Flemming fêz suas descobertas sòzinho, pois a compreensão a que chegou da seqüência completa dos fatos que ocorrem, dependeu do trabalho de muitas pessoas, em várias épocas. Uma das maiores dificuldades para elucidar o processo, isto é, determinar a seqüência dos vários fenômenos, é que a célula morre ao ser corada, portanto sua atividade só pode ser estudada depois de interrompida. Dessa visão estática, Flemmnig e outros pesquisadores reconstruíram o processo dinâmico que ocorre na célula. Outros cientistas, baseando-se nesses trabalhos, compreenderam a relação entre os cromossomos com a hereditariedade e com a evolução. Esta é a maneira como a Ciência, geralmente, progride: não com descobertas sensacionais, feitas sùbitamente por um gênio, e sim pelo paciente e árduo trabalho de muitos homens, durante muito tempo.

11 — 10 As funções do organismo como um todo dependem das células

A atual teoria celular vai além da elaborada por Schleiden e Schwann e é uma concepção geral baseada em fatos. Todos estão de acôrdo que *animais e vegetais são formados de unidades funcionais e estruturais denominadas células, que agem independentemente e contribuem para a vida dos organismos,* mas os biólogos modernos vão muito além. Quer discutam digestão no homem ou fotossíntese numa planta, referem-se a êsses fenômenos no nível celular, pois tôdas as funções começam e dependem de estruturas celulares. Muitas delas dependem da contribuição de grandes grupos de células, trabalhando juntos. Os biólogos sabem também que muitas substâncias, como as proteínas, DNA, glicose e enzimas, parecem ter atividade independente mas são sintetizadas na célula e, na grande maioria dos casos, só existem no seu interior. A vida de um organismo depende da vida de suas células e da interação delas. A maneira pela qual cada célula contribui para a regulação das respostas do organismo, como um todo, ao meio ambiente, determina como o organismo pode sobreviver e se reproduzir.

Vimos, no Capítulo 8, que as células fornecem a base física para a continuação da vida de geração a geração. As células reprodutoras asseguram a continuidade da espécie pela transmissão dos cromossomos e de DNA que contêm. O ôvo assim formado dá, por sucessivas divisões mitóticas, um organismo pluricelular e as células originadas se especializam posteriormente dando os diversos tipos de tecidos e órgãos.

A história da teoria celular é uma boa ilustração da relação entre raciocínio e observação em Ciência. As especulações podem levar a idéias erradas, mas ainda redundar em progresso, se criarem o problema na mente de outros cientistas que por, sua vez, farão novas pesquisas até chegarem ao resultado desejado.

A teoria celular, como tôdas as generalizações em Ciência, relacionou fatos já conhecidos e permitiu novos progressos ao dar margem a proposição de novas questões que os cientistas de outrora desprezaram ou que não podiam alcançar. Podemos citar, como exemplo, várias dessas questões: Como as células absorvem o alimento? Como um ôvo se desenvolve para formar um organismo constituído de diferentes tipos de células? Como, em um longo período de tempo, as características de uma célula se modificam?

Nos capítulos seguintes veremos como, ainda hoje, muitos homens em todo o mundo trabalham para responder não só a essas perguntas como a milhares de outras que surgiram como conseqüência da teoria celular.

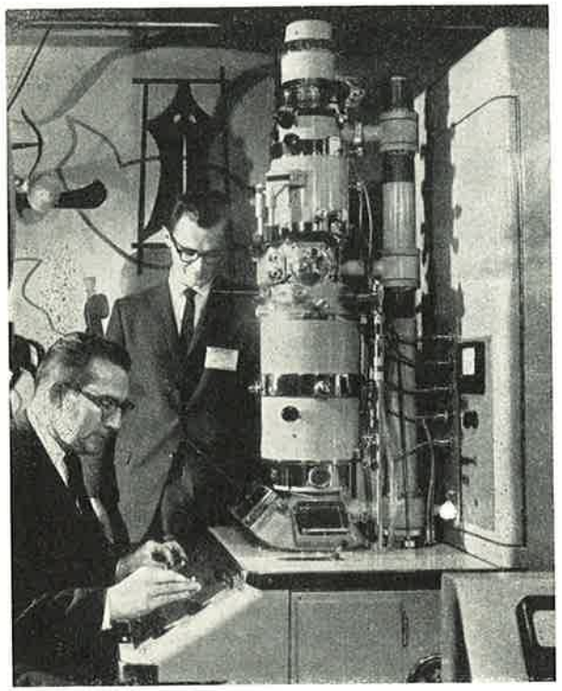


Fig. 11-7 Um microscópio eletrônico.

11 — 12 Novos instrumentos determinaram o progresso

Ainda novos progressos virão com a invenção e aperfeiçoamento de novos instrumentos para auxiliarem nossos sentidos. A célula apresentada no Capítulo 10 é muito diferente nos seus detalhes da célula conhecida pelos biólogos do século XIX. Durante quase cem anos sòmente detalhes insignificantes foram acrescentados aos conhecimentos sôbre a estrutura celular e, de repente, em apenas alguns anos, houve um avanço extraordinário. Por quê?

Dois novos instrumentos foram inventados por volta de 1930 e utilizados no estudo da estrutura celular. Um dêles foi o microscópio electrônico, inventado por V. Zworkin, nos Estados Unidos; êste microscópio utiliza, em lugar de raios luminosos, feixes de eléctrons para a iluminação. O objeto não é observado diretamente (fig. 11-7): faz-se passar um feixe de eléctrons através dêle, em direção a uma tela ou chapa fotográfica. O filme é então revelado, aumentado e analisado. O microscópio electrônico é capaz de aumentar imagens até 100.000 vêzes. Tal aumento revelou detalhes inesperados no condrioma e nos plastos. A figura 11 — 8 mostra quantos detalhes podem ser vistos através dêsse microscópio.

O outro microscópio que contribuiu para êsse progresso foi o microscópio de fase, inventado por um holandês, Fritz Zernike. Êste aparelho permitiu o exame de células vivas, não coradas.

As descobertas continuarão e novos instrumentos serão planejados e construídos, abrindo novos horizontes para pesquisas científicas.

11 — 13 A teoria celular é uma das vigas mestras da Biologia

A teoria celular e a teoria de evolução são duas generalizações fundamentais em Biologia. Uma terceira teoria, igualmente básica, é a do gen, introduzida no Capítulo 7 e que será desenvolvida em vários capítulos do 2.º volume desta série. O que é extremamente importante é que essas três teorias se uniram em uma ampla estrutura de idéias relacionadas, na qual cada uma

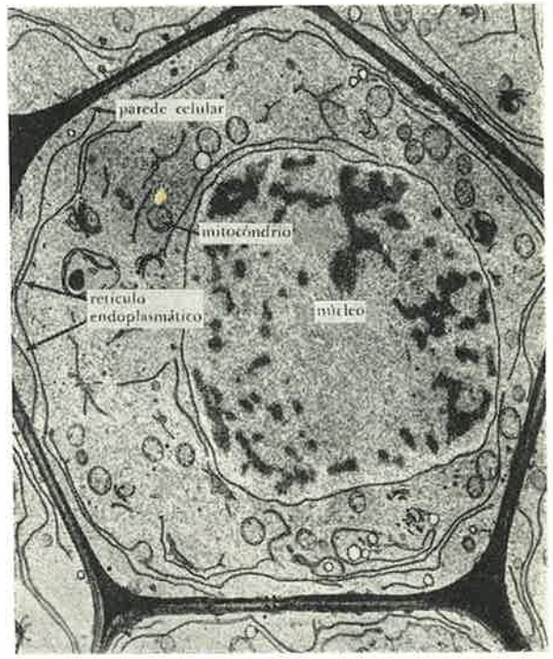


Fig. 11-8 Microscopia electrônica de uma célula meristemática de ponta de raiz. As linhas longas e curvas são o retículo endoplasmático. Note o grande núcleo com membrana circundante.

CURSO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

fornece apoio às outras e permite numerosas inter-relações. No outro volume desta série veremos como essas teorias são usadas para explicar muito das atividades fisiológicas dos animais e vegetais complexos.

As principais suposições da teoria celular são: 1) a célula é a unidade básica de *estrutura* e *função* de um organismo pluricelular; 2) da divisão celular depende a continuidade genética entre as células-mães e células-filhas. A teoria celular explica também, de uma maneira lógica, como os organismos pluricelulares podem ter evoluído de formas unicelulares. Processos básicos, como fermentação, respiração, fotossíntese e duplicação cromossômica são atividades exercidas dentro das células. De acôrdo com a teoria celular êsses mesmos fenômenos ocorrem tanto em organismos unicelulares como nas células dos pluricelulares, ou seja, a *vida* dos organismos pluricelulares depende das atividades que ocorrem em *suas células*. No capítulo seguinte discutiremos alguns dos problemas que se originam quando muitas células se associam.

...A teoria celular foi sendo aperfeiçoada desde os tempos de Schleiden e Schwann. À medida que novos instrumentos iam sendo inventados, mais conhecimentos sôbre a estrutura celular tornaram-se possíveis. O processo da mitose pôde ser observado com mais detalhe devido ao uso dos corantes de anilina e de melhores lentes. O funcionamento de um organismo depende da vida individual de cada uma de suas células, ainda que cada uma delas mantenha a sua própria vida independente. A continuidade da vida é assegurada pelas células especializadas para a reprodução. O microscópio de fase e o microscópio electrônico permitiram aos biólogos, químicos e físicos examinarem partes da célula, antes nunca imaginadas pelo homem.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

Cada uma das palavras ou frases seguintes tem significado no desenvolvimento da teoria celular. Explique, de maneira sucinta, o significado de cada uma.

1 — mitose

2 — lentes acromáticas

3 — microscópio composto

4 — corantes de anilina

5 — protoplasma

6 — fatos e idéias

7 — técnica

8 — microscópio electrônico

SUMÁRIO

O desenvolvimento da teoria celular representa uma ilustração da interação de fatos e idéias. Durante o período inicial do seu desenvolvimento os cientistas acumularam fatos relativos às células com o auxílio dos primeiros microscópios. O período intermediário compreendeu não só observações, mas também tentativas de generalizações feitas pelos cientistas. Êste período terminou com o trabalho de Scheleiden e Schwann e a proposição clara da teoria celular: "todos os animais e vegetais são constituídos de células".

Desde que foi proposta, a teoria celular foi aperfeiçoada e mais fatos foram explicados por ela. Êste progresso dependeu de melhores instrumentos para observação. Atualmente, a teoria celular é a principal teoria unificadora da Biologia e com a teoria da evolução e a teoria genética constitui a viga que suporta tôdas as ciências biológicas.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Como se desenvolve uma teoria científica?

2. Por que o século XVII é considerado o início da "revolução científica"?

3. A observação das células seguiu-se automàticamente à invenção do microscópio composto. Explique.

4. Por que as lentes acromáticas foram importantes para o aperfeiçoamento dos microscópios?

5. Qual a contribuição de Rudolph Virchow para a teoria celular?

6. Quais as maiores dificuldades encontradas por Walter Flemming e outros para entender a divisão celular?

(B) 7. Por que o desenvolvimento da teoria celular levou cêrca de duzentos anos?

8. Por que muitos dos biólogos atuais evitam o uso do têrmo protoplasma?

9. Qual a importância do microscópio de fase e do microscópio electrônico para os biólogos?

10. Quais alguns dos problemas que os cientistas tiveram que resolver, antes que pudessem usar mais eficientemente o microscópio óptico?

(C) 11. Com o que você aprendeu de Biologia, até agora, tente explicar como a teoria celular se adapta à teoria da evolução para formar uma estrutura de idéias mais ampla.

12. Explique como a estrutura celular se adapta à teoria do gen para formar uma estrutura de idéias mais ampla.

PROJETO

Neste capítulo não descrevemos os diversos tipos de microscópios modernos. Muitos dêles são instrumentos de uso especializado; outros podem ser usados de várias maneiras. Enciclopédias ou outros livros adequados contêm informação adicional sôbre êsses microscópios. Será interessante você fazer um estudo sôbre isso. Peça o auxílio de seu professor de Física, se fôr necessário.

OBRAS MENCIONADAS

1 HOOKE, Robert. "Micrographia" (1665), *Great Experiments in Biology*, ed. M. L. Gabriel and S. Fogel. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 1955.

2 GREW, Nehemiah. *The Anatomy of Plants* (1672).

3 WOLFF, Caspar Friedrich. *Theoria Generationes* (1759).

4 DUTROCHET, Henri. *Recherches Anatomiques et Phisiologiques sur la Struture Intime des Animaux et des Vegetaux et sur leur Motilité*. (1824), citado em *Moments of Discovery* (Vol. II), George Schwartz and P. W. Bishop, eds., New York, Basic Books Inc., 1959

5 SCHWANN, Theodor. *Microscopical Researches into the Accordance of Structure and Growth of Animals and Plants* (1839), citado em *Moments of Discovery, op. cit.*, p. 565.

TEMA BIOLÓGICO

A HISTÓRIA DOS CONCEITOS BIOLÓGICOS

Os conceitos são estabelecidos pelo homem; assim, sua história é a própria história do homem e suas idéias. Isso significa que a Ciência é um empreendimento humano e parte da sua herança cultural. Originando-se nos espíritos inquisitivos dos brilhantes filósofos naturalistas dos séculos XVI e XVII, os conceitos científicos atuais surgiram da sua atitude de fundamentar o conhecimento na observação do mundo físico. Os primeiros biólogos, Vesalius, Harvey e Van Leeuwenhoek, entre outros, iniciaram o estudo dos sêres vivos por êsse método. O estudo dos sêres vivos, contudo, teve que permanecer como um conjunto de dados isolados e fragmentários até Darwin apresentar provas para a teoria da evolução e outros assentarem os alicerces para a teoria celular e a teoria do gen. Tanto quanto em qualquer outro campo de atividade humana, a história da Biologia é a história da criação de conceitos amplos, unificadores, a partir de idéias e fatos esparsos e aparentemente não relacionados.

Olhar a Biologia na sua perspectiva histórica previne àquêles que imaginam que os caminhos da Ciência levam diretamente ao sucesso. Basta analisar a história das hipóteses feitas entre a época de Darwin e a redescoberta da teoria de Mendel para ver em quantas direções errôneas os pesquisadores podiam tatear à procura de uma resposta. Basta analisar a teoria genética da herança e seu efeito sôbre a teoria da evolução para compreender quantas provas precisam algumas vêzes ser acumuladas, antes que possam tornar-se coerentes e significativas quando abarcadas por um conceito unificador.

O ORGANISMO PLURICELULAR

CAPÍTULO 12

Usamos a hipótese heterotrófica como a melhor explicação para a origem da vida. A célula atual é uma estrutura complexa que realiza uma enorme variedade de funções. Embora as primeiras células tenham aparecido há milhões de anos atrás, ainda existem alguns dos seus descendentes unicelulares. As **Chlamydomonas**, por exemplo, retiram substâncias da água onde vivem, absorvem energia luminosa e realizam fotossíntese; sintetizam proteínas e ácidos nucléicos e se reproduzem. Realizam, portanto, tôdas as funções necessárias à sobrevivência de um ser vivo.

Apesar de existir **Chlamydomonas** em quase tôdas as lagoas, charcos e riachos, muitos de nós não nos apercebemos delas nem de outros milhares de sêres vivos unicelulares; damo-nos conta mais fàcilmente dos sêres maiores, formados por milhares de células. Haverá alguma ligação entre as primeiras células, surgidas há milhões de anos passados, e os animais e plantas pluricelulares atuais? Haverá vantagens em ser pluricelular? Neste capítulo analisaremos tanto as vantagens como as desvantagens dessa condição.

COMPETIÇÃO OU COOPERAÇÃO

12 — 1 Agregados de células

Átomos associados formam moléculas, moléculas simples associadas formam moléculas mais complexas e, para tudo isso é necessário energia. As moléculas complexas têm características especiais e diferentes. Não podemos prever as características de um composto baseando-nos nas propriedades dos elementos que o formam; por exemplo, os nucleotídeos quando ligados de maneira adequada formam ácidos nucléicos, mas quem poderia prever as propriedades notáveis do DNA, examinando apenas os seus nucleotídeos?

Vimos, nos capítulos concernentes à origem da vida, que cada etapa da evolução resultou numa estrutura mais complexa (átomos, moléculas, agregados de moléculas e, finalmente, células) que podia realizar certas funções que não podiam ser realizadas pelos seus componentes mais simples. Êste mesmo princípio da complexidade crescente de organização pode ser aplicado tanto às células como às menores estruturas que as constituem.

Para dar uma idéia das vantagens usufruídas por um ser composto de várias células, usaremos como exemplo o *Volvox,* um dos mais simples e primitivos organismos pluricelulares, encontrado em certas lagoas e charcos. É uma esferaôca, composta de centenas de células, que são bàsicamente muito semelhantes às *Chlamydomonas*; cada uma tem dois flagelos, um cloroplasto caliciforme, uma mancha ocelar, núcleo e citoplasma. Uma membrana espêssa e gelatinosa envolve cada célula e a separa das vizinhas, formando uma colônia que, conseqüentemente, toma o aspecto de uma esfera gelatinosa na qual as células

estão embebidas. De cada célula projetam-se dois flagelos para fora da camada envolvente (fig. 12 — 1).

Uma das vantagens em ser pluricelular está na maior segurança em relação a acidentes. Se a membrana celular de uma *Chlamydomonas* sofrer uma perfuração, a célula poderá não se recuperar, mas se uma das células do *Volvox* fôr perfurada e morrer, a colônia continuará viva.

Observando-se uma colônia de *Volvox* ao microscópio, com grande aumento, pode-se ver que cada célula se liga à célula vizinha por filamentos citoplasmáticos extremamente delicados. Portanto, os indivíduos que formam a colônia, embora sejam todos capazes de se locomover e de realizar fotossíntese, estão ligados mais ìntimamente do que os que formam uma colônia de *Gloeocapsa,* por exemplo, onde apenas uma camada gelatinosa une os diversos indivíduos. Outra característica do *Volvox* é que certas células são maiores do que as outras. Quando a colônia se move, gira na água com um dos seus pólos de rotação dirigido para a linha de movimento, ou seja, para a frente, o que indica que há uma região anterior e uma posterior diferenciadas; as células maiores estão, geralmente, na parte posterior. Isto implica numa considerável coordenação, porque se tôdas as células

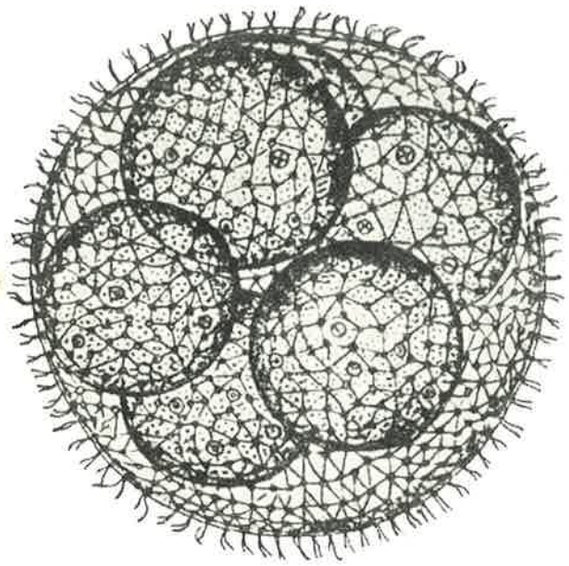


Fig. 12-1 *Volvox,* é uma esferaôca cuja parede é formada de células que possuem uma pequena especialização. Êste organismo provàvelmente é representativo de um estágio na evolução de organismos pluricelulares.

movimentassem seus flagelos ao acaso e independentemente das outras, só poderia resultar um movimento desordenado. Vemos assim que as células da colônia estão organizadas de maneira a formar uma unidade, a qual pode se locomover de uma maneira muito diferente do que se locomoveria cada uma das células isoladas.

Já vimos que na colônia em movimento, as células maiores ficam, geralmente, na parte posterior. Assim, mesmo que a única diferença visível seja o tamanho, essas células devem diferir também na função e, de fato, elas podem participar do processo de reprodução do *Volvox* (fig. 12-1).

12 — 2 Divisão de trabalho

Em todos os organismos pluricelulares complexos há vários tipos de células. Tôdas elas devem realizar as atividades normais da vida, tais como acúmulo de materiais e síntese de enzimas, entre outras. Na maioria dos casos, contudo, além de desempenhar essas funções, cada tipo de célula executa uma outra função específica. Por exemplo, células de um certo tipo podem ser adaptadas para a condução de impulsos elétricos; um outro tipo pode ter adaptação para produzir grandes quantidades de certas substâncias. As células que executam uma função especial, além do trabalho normal executado por qualquer célula, sofreram **especialização.** Geralmente, as células especializadas se diferenciam tanto no aspecto como na função.

Nos animais e vegetais pluricelulares, um grupo de células executando a mesma função constitui um *tecido.* Em regra, tôdas as células de um mesmo tecido são semelhantes, embora haja exceções.

Em qualquer organismo um pouco mais complicado do que o *Volvox,* podemos encontrar tecidos constituídos de células especializadas. Cada um dêles realiza um trabalho específico e assim contribui para a manutenção do indivíduo. Lembre-se das experiências feitas com hidras (fig. 12 — 2) no Exercício n.º 22. Podem ser considerados tecidos as células agrupadas que êsses animais apresentam?

Plantas e animais mais evoluídos possuem organização mais complexa. Diversos tecidos se agrupam nas estruturas denominadas *órgãos* e diversos órgãos se associam formando *sistemas.* Portanto, os animais e vegetais pluricelulares são, na sua maioria, conjuntos de sistemas formados por órgãos, tecidos, células, componentes celulares, moléculas e átomos.

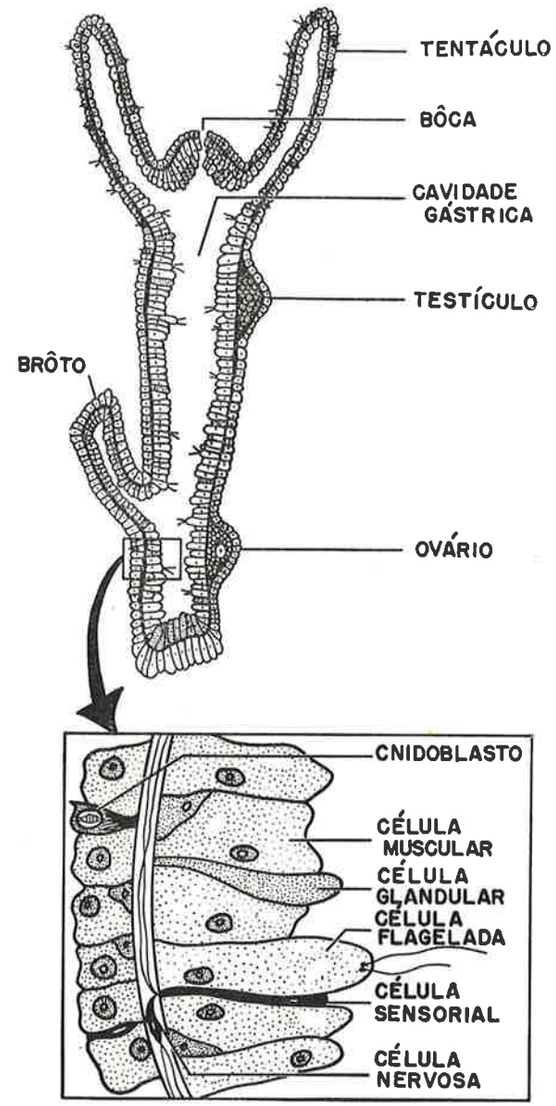


Fig. 12-2 Seção longitudinal de uma hidra, mostrando diversas células em vários graus de especialização.

A energia gasta para ligar moléculas maiores é muito maior do que a energia necessária para ligar moléculas menores ou átomos; a formação de uma estrutura organizada a partir de partes não organizadas exige também muita energia. Podemos, portanto, perguntar por que evoluíram sêres tão altamente organizados? Quais as vantagens apresentadas por essa estrutura organizada de células e tecidos que justifiquem as grandes quantidades de energia exigidas? Estará um organismo pluricelular melhor equipado para sobreviver do que um organismo unicelular? Essas perguntas não podem ser respondidas diretamente porque são muito amplas para serem testadas por qualquer experiência. Podemos apenas admitir que "deve ser assim, pois a evolução tomou essa direção".

Naturalmente, há vantagens na especialização: qualquer trabalho pode ser executado mais eficientemente por um grupo de células que sejam especializadas para desempenhar essa função; cada tecido realiza um tipo de trabalho exigido pelo organismo. Por exemplo, um grupo de células pode digerir alimento em quantidade suficiente para si próprio e para tôdas as outras células do organismo; outras podem proteger-se e proteger tôdas as outras da mesma maneira. Dêsse modo, enquanto a organização persistir, as células e tecidos, cooperando, executarão tôdas as atividades necessárias ao organismo, com menor gasto de energia do que se cada célula trabalhasse sòzinha.

Uma das vantagens menos óbvia dessa complexa organização é a maior possibilidade de sobrevivência do organismo quando as condições não são ideais. Se o alimento disponível estiver em grandes pedaços, por exemplo, um animal capaz de cortá-lo em pedaços menores e com sistema digestivo apto a digeri-lo, poderá sobreviver mais fàcilmente do que uma única célula. Da mesma maneira, se houver apenas uma quantidade limitada de certo material necessário, os unicelulares competirão por ela, mas se êsse mesmo número de células estivesse cooperando, poderia fazer render muito mais a mesma quantidade de alimento.

Por causa das relações superfície-volume, discutidas no Capítulo 7, sòmente os pluricelulares podem atingir grandes dimensões. Tamanho grande não é necessàriamente uma vantagem, mas pode vir a ser: o elefante, por exemplo, tem poucos inimigos.

Certamente a especialização apresenta também desvantagens; o indivíduo unicelular consegue seu próprio alimento, fabrica as substâncias que lhe são próprias, protege-se, pode-se reproduzir por simples divisão e regula suas próprias atividades. A célula especializada pode realizar apenas uma dessas tarefas; as outras *devem ser feitas para ela* por outras células com diferentes especializações. A destruição completa de um tecido pode causar a morte do organismo, mesmo

que as outras células não tenham sido danificadas.

Certamente, quanto mais especializadas se tenham tornado as partes de um organismo animal ou vegetal, mais vulneráveis são e menos capazes de se adaptarem a uma mudança no ambiente. Felizmente, porém, os animais e as plantas mais complexos mantêm uma reserva de células relativamente não especializadas que, numa emergência, podem realizar diversas funções necessárias. Por exemplo, certas células animais podem se transformar para formar tecido de cicatrização; certas células dos caules podem entrar em divisão e formar raízes adventícias.

A organização dos sêres vivos pode ser comparada à estrutura da sociedade humana. As células cooperando podem sobreviver em condições em que uma só, competindo com as outras, pereceria. Um sistema de órgãos bem estruturado está apto a realizar funções que seriam impossíveis para células isoladas; por exemplo, é inteiramente sem sentido falar em audição ou em visão para células isoladas. Entretanto, a organização complexa também apresenta desvantagens. Mais energia é gasta para coordenar as atividades, a célula perde a capacidade de sobreviver sòzinha e se torna dependente do todo. Do mesmo modo, o organismo, como um todo, depende de suas partes: se uma perece, o organismo se enfraquece, assim como o colapso de uma indústria básica pode perturbar uma comunidade. Podemos porém concluir que as vantagens superam as desvantagens: os organismos complexos sobreviveram na luta pela vida.

...Muitos dos organismos que conhecemos são unidades organizadas formadas por muitas células. Células trabalhando juntas não competem entre si: a cooperação permite que sobrevivam quando células isoladas não o conseguiriam. Nos animais e plantas mais complexos, as células se organizam em tecidos, êstes em órgãos que, por sua vez formam os sistemas. Cada tecido, órgão e sistema é especializado para realizar uma parte do trabalho do organismo. As células especializadas perdem sua versatilidade, mas o organismo pode tornar-se muito mais versátil do que uma célula isolada. Podemos comparar um organismo pluricelular à sociedade humana.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Dê exemplos que ilustrem os diversos graus de complexidade nos organismos celulares.
2. Qual a vantagem evidente que goza um organismo pluricelular como o *Volvox*?
3. Qual a prova de que as atividades das células do *Volvox* sejam coordenadas?
4. Que é especialização? Dê exemplos.
5. Que prova você procurará que indique a especialização de um tecido?

O COMPLEXO ORGANISMO PLURICELULAR

12 — 3 Eficiência energética

Qualquer emprêsa comercial que utilize eficientemente seu capital e tenha poucos prejuízos terá maiores probabilidades de vencer, na concorrência, suas rivais que não ajam do mesmo modo.

Um organismo pluricelular complexo opera de acôrdo com os mesmos princípios, usando energia em lugar de capital. Êsse organismo tem certa quantidade de energia investida na formação da sua estrutura complexa; para obter matéria-prima deve gastar energia, realizando trabalho para locomoção, transporte ativo ou processos químicos; também uma certa quantidade de energia é necessária para manter as partes em funcionamento, ou seja, para a conservação do indivíduo (fig. 12 — 3).

Anotando e medindo cuidadosamente a quantidade total de energia recebida e desprendida por um animal num dado período de tempo, seria possível fazer um balanço que mostrasse como o animal gastou a energia; ter-se-ia assim, uma estimativa da eficiência dêsse animal, fornecida pela quantidade de energia que usou em seu benefício. O resto foi perdido.

Qualquer organismo está sempre competindo com outros e quando as condições não são ideais, aquêle que usa sua energia de modo mais eficiente sobreviverá e manterá a espécie.

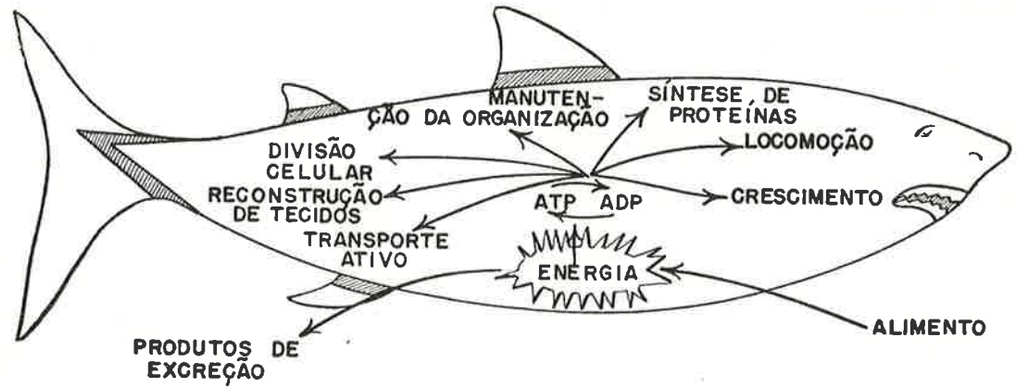


Fig. 12-3 Alguns dos tipos de utilização da energia em organismos pluricelulares.

12 — 4 A vida no ambiente terrestre

Viver no ambiente terrestre não nos parece particularmente difícil. Os homens e uma grande variedade de outros animais e vegetais passaram por tantas modificações evolutivas que, atualmente, só podem viver na terra. Podemos apenas formular hipóteses sôbre quando e como os primeiros organismos emergiram dos oceanos, onde a vida se originou, mas a observação de certos fatos que ocorrem hoje nos servirá de indício para os problemas da vida no ambiente terrestre.

Vamos imaginar uma célula isolada vivendo no oceano; a célula tem uma membrana que envolve uma solução: água contendo açúcar, aminoácidos, sais e outras substâncias dissolvidas. A água do mar é uma solução salina, portanto, não há muito movimento de água para a célula (osmose), que permanece pràticamente do mesmo tamanho. Se esta célula fôsse colocada em água que quase não contivesse sal, a água atravessaria a membrana celular e ela aumentaria de volume, a menos que fôsse capaz de realizar transporte ativo. Assim, as primeiras células que, como se discutiu no Capítulo 5, teriam tido membranas muito simples, incapazes de realizar transporte ativo, só poderiam sobreviver nas águas oceânicas. Nas lagoas deixadas pelas marés ou junto às desembocaduras dos rios, onde a concentração salina é variável, a seleção natural favoreceu as células que tivessem capacidade de realizar transporte ativo ou que dispusessem de outro mecanismo para manter constante a água de seu meio interno.

Se a célula estivesse exposta ao ar, a água se evaporaria. O efeito seria equivalente ao de uma célula colocada em uma solução muito concentrada: perderia água até que não pudesse mais funcionar adequadamente.

Todos os animais e vegetais terrestres atuais dispõem de mecanismos especiais para combater a perda de água. Há, para isso, duas possibilidades: reduzir a velocidade da evaporação ou substituir a água ràpidamente, à medida que ela evapore. A maioria dos organismos usa ambos os métodos. Os animais mais complexos têm um tegumento que os protege contra a dessecação e precisam de água para beber. As únicas exceções são alguns animais do deserto que repõem tôda a água perdida à custa da água dos alimentos que ingerem ou da respiração celular.

As plantas superiores têm um problema ligeiramente diferente. Uma das substâncias básicas para os vegetais é o gás carbônico do ar, mas quase tôdas as estruturas que permitem a entrada dêsse gás favorecem também a saída da água. Êsse problema será considerado detalhadamente no Capítulo 19 (2.º volume desta série).

O meio terrestre é extremamente variável; nêle há mudanças na temperatura, na intensidade luminosa, na umidade, nos ventos. Todos êsses fatôres influem nas perdas de água, o que dificulta o contrôle interno dessa substância. Se examinarmos animais superiores, cuidadosamente, veremos que a quantidade de água que contêm é pràticamente constante. Há cêrca de um século, Claude Bernard, médico francês, considerou o interior de um animal superior como sendo um meio interno isolado do meio exterior e compreendeu a importância de ser mantida constante a sua composição. Observou que uma parte importante das suas atividades vitais consiste na regulação do meio interno. Por exemplo, água,

substâncias nutritivas e excretas são adicionados ou removidos contìnuamente, mantendo a composição química balanceada. Nos mamíferos e aves, até a temperatura é regulada. A maioria das células dos animais trabalham sob condições ideais, independentemente de qualquer modificação no meio externo. A maneira pela qual isso foi conseguido é assunto de diversos capítulos do segundo volume desta série.

As plantas terrestres também regulam seu meio interno, mas numa extensão limitada. As partes da planta expostas ao ar têm revestimento que as protege contra a perda de água. Isso mantém o conteúdo interno de água num nível mais constante do que o grau de umidade do ar exterior. As plantas têm sido capazes de sobreviver com um contrôle menos preciso e, em conseqüência, com flutuações internas geralmente maiores do que as dos animais.

12 — 5 Estrutura e função

Qual é a relação entre a forma de um animal ou vegetal e as funções que desempenham?

Sabemos que a seleção natural favorece as mudanças, variações ou mutações que apresentam vantagens. Qualquer forma ou estrutura que não seja eficiente será imediatamente eliminada. Consideremos como exemplo a forma do corpo de uma planta e de um animal.

Como as plantas precisam realizar fotossíntese, só podem sobreviver em um ambiente em que haja luz, água, gás carbônico e sais minerais. A planta poderá absorver melhor as moléculas menores e utilizar energia radiante eficazmente se uma grande superfície estiver exposta ao meio. Fôlhas largas e uma estrutura ramificada são o ideal para essa função. A água evapora ràpidamente da superfície das fôlhas expostas ao ar, mas é substituída pela água que as raízes absorvem.

A forma da planta resulta do seu padrão de crescimento. Na extremidade de cada ramo e de cada raiz há um tecido cujas células estão em constante divisão e que, por isso, é responsável pelo crescimento contínuo do vegetal. Enquanto a planta se desenvolve e expõe uma superfície cada vez maior para a absorção de energia e de substâncias necessárias, sua forma básica permanece a mesma. Esta forma e êste padrão de crescimento são uma vantagem na luta pela vida. Se parte da planta servir de alimento para algum animal, a planta pode ainda sobreviver e formar novos ramos e fôlhas. Esta estrutura fotossintetizante, contìnuamente em crescimento e ricamente ramificada, é ótima adaptação para o meio terrestre.

Os animais têm exigências diferentes; uma vez que não podem utilizar a energia luminosa, dependem, para se alimentar, dos vegetais que fazem fotossíntese. Portanto, precisam se locomover para encontrar alimento e água. Muitos se alimentam diretamente dos vegetais, outros são predadores, mas todos êles precisam de mecanismos que os protejam de se tornarem prêsas fáceis dos seus inimigos. Uma estrutura larga, achatada, ramificada, certamente não seria a mais favorável para os animais e, na realidade, é raramente encontrada entre êles. A forma mais comum é a cilíndrica modificada, com várias aberturas e apêndices; esta forma é compacta, permite locomoção fácil e oferece uma superfície mínima para perda de água (fig. 12 — 5).

...A vida depende da energia, portanto, os sêres vivos não podem desperdiçá-la. A sobrevivência no meio terrestre é um teste difícil para a eficiência dos organismos, pois, nesse ambiente, não é fácil conseguir água e as variações são mais acentuadas. Os organismos que são muito bem sucedidos regulam seu meio interno. Para a absorção de O_2, CO_2, energia luminosa, as plantas apresentam grandes superfícies expostas ao meio. Refazem ràpidamente as partes que perdem por servirem de alimento aos animais. A grande maioria dos animais precisa locomover-se para conseguir alimento e defender-se dos predadores. A forma compacta, aproximadamente cilíndrica, é a melhor para êles.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Qual é a principal dificuldade para uma árvore conservar água?
2. Quais são alguns dos fatôres que complicam a existência dos sêres vivos no ambiente terrestre?
3. Que sugeriu Claude Bernard sôbre o meio interno dos animais?
4. Quais algumas das atividades dos organismos que exigem energia?
5. Há alguma atividade para a qual a energia não seja necessária? Explique.

PROBLEMAS DECORRENTES DA COMPLEXIDADE — ALGUNS EXEMPLOS

12 — 6 Reprodução e desenvolvimento

O processo de reprodução é mais complexo em organismos pluricelulares do que nos unicelulares, onde a reprodução se deve algumas vêzes, a uma simples divisão por mitose. Os animais e plantas pluricelulares, assim como dispõem de órgãos especializados para executar tôdas as outras funções, possuem órgãos reprodutores para produzir células que vão dar novos organismos.

Produzem uma pequena porção de material vivo especializado que é, potencialmente, um nôvo organismo. Êste material, muitas vêzes tão pequeno como uma célula isolada, geralmente não tem no aspecto nada de semelhante ao organismo animal ou vegetal em que se transformará, mas dêle devem originar-se tôdas as estruturas especializadas e a organização do nôvo indivíduo. O crescimento e desenvolvimento dêsse material envolvem divisões celulares, geralmente seguidas de aumento em tamanho das células. À medida que mais células são produzidas, algumas começam a se tornar especializadas, isto é, formam tecidos que executam funções determinadas. Essa transformação em partes diversamente especializadas chama-se **diferenciação.**

Mesmo num organismo tão simples como o *Volvox* já existe, como vimos, alguma diferenciação, pois, em pouco tempo, algumas células tomam um aspecto diferente das outras. Nos organismos pluricelulares mais complexos o processo de diferenciação ocorre em longos períodos de tempo. Um dos problemas mais fascinantes da Biologia e, até agora, não solucionado, é saber como os processos de diferenciação se coordenam na seqüência adequada de etapas para atingir o estágio de organismo adulto. O Capítulo 14 (2.º volume desta série) mostrará como as semelhanças no padrão de diferenciação podem ser usadas no estudo da evolução.

12 — 7 Matérias-primas e excretas

Tôdas as células vivas necessitam de certas substâncias para a sua sobrevivência. Os tipos e quantidades dessas substâncias podem variar de uma célula para outra, mas há um mínimo necessário. O organismo pluricelular é um conjunto de células dispostas num espaço menor do que aquêle que seria ocupado pelo mesmo número de células livres. Um dos problemas decorrentes dessa complexidade é fazer chegar a cada célula os suprimentos adequados de materiais necessários; por isso, os organismos pluricelulares apresentam estruturas especializadas para retirar o material do meio e distribuí-lo para as células.

Um organismo unicelular pode absorver da água que o rodeia, com relativa facilidade, a quantidade necessária de uma determinada substância mineral. Um organismo pluricelular, por outro lado, pode ter órgãos especializados capazes de movimentar grandes volumes de água para, assim, obter a quantidade necessária dessa mesma substância mineral, para servir tôdas as suas células.

A obtenção da luz, embora ela não seja um elemento químico, apresenta os mesmos problemas que a obtenção das substâncias minerais. Uma única *Chlamydomonas* pode ficar completamente exposta à luz, mas se imaginarmos várias células ligadas de maneira a formar uma esfera do tamanho de uma bola de futebol, veremos que algumas ficarão sempre menos iluminadas.

Um outro exemplo de especialização é encontrado na remoção dos excretas. O metabolismo celular dá origem a vários tipos de substâncias que não podem ser aproveitadas pela célula. Especialmente nos animais, algumas dessas substâncias são tóxicas, mesmo quando em pequenas concentrações. Quanto mais células houver num determinado espaço, tanto maior será a concentração do material que deve ser excretado, ou seja, haverá um espaço menor, por célula, para onde eliminar os excretas. Assim, nos organismos mais evoluídos, onde os excretas metabólicos constituem um problema, há um sistema especializado para sua remoção.

12 — 8 Distribuição de substâncias

A obtenção de substâncias necessárias e sua distribuição para cada célula é um problema dos sêres pluricelulares. Uma árvore é um organismo pluricelular complexo, com tecidos e órgãos especializados. Nas fôlhas ocorre fotossíntese a partir da energia luminosa, água e bióxido de carbono. Uma vez que o ar é muito sêco para fornecer água em quantidade suficiente, a única fonte significativa é o solo e, como as fôlhas e as raízes podem estar separadas por uma distân-

cia de vários metros, é necessário um sistema aperfeiçoado para o transporte da água das raízes para as fôlhas. As raízes, por sua vez, dependem das fôlhas para obter alimento orgânico, portanto, um sistema para o transporte dessas substâncias é também essencial.

A situação dos animais é ainda mais complicada. A sua forma compacta e a pequena superfície exposta fazem com que muito poucas células estejam em contato direto com o meio externo. Desde que o movimento muscular, a comunicação através dos nervos e o transporte ativo em diversos órgãos exigem grandes quantidades de energia, a taxa de liberação de energia é geralmente muito alta. Para manter essa alta atividade metabólica, as células necessitam de grandes quantidades de açúcares e de oxigênio (fig. 12 — 4).

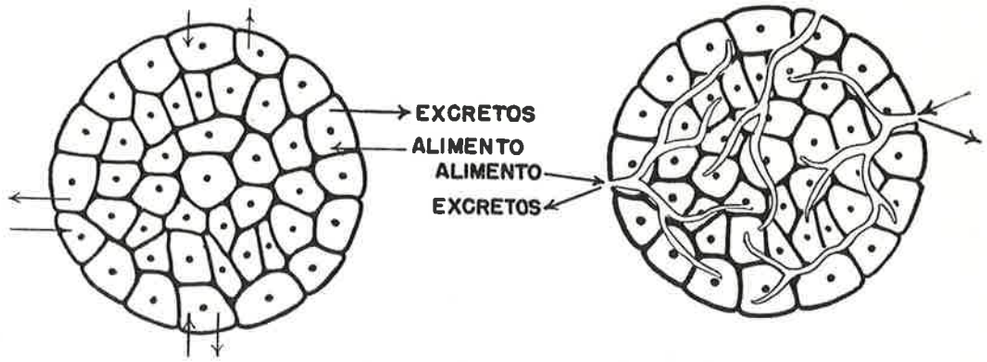


Fig. 12-4 Um problema básico para o organismo pluricelular: como manter a vida das células que estão longe da fonte de alimento.

O alimento é retirado do ambiente e introduzido no aparelho digestivo. O oxigênio é obtido através da superfície dos pulmões ou de órgãos similares (brânquias, traquéias). Os tecidos que revestem os pulmões e o sistema digestivo ficam a distâncias relativamente grandes das regiões de metabolismo mais ativo, havendo, por isso, necessidade de outro sistema que assegure a distribuição dos materiais até a região em que são necessários. Da mesma maneira há, também, necessidade de expulsar os excretas e êstes precisam ser transportados para o sistema especializado para exercer essa função.

12 — 9 Integração das atividades

Em um animal ou vegetal pluricelular, muitas atividades ocorrem ao mesmo tempo e precisam ser coordenadas ou reguladas para que haja rendimento. Os animais superiores têm a capacidade de manter seu meio interno pràticamente constante, enquanto que o meio externo varia. Isto implica na necessidade de algum tipo de contrôle ou regulação. O meio interno constante mantém, pràticamente ideais, as condições ao redor da maioria das células.

O sistema regulador dos animais complexos controla a temperatura, a concentração da glicose, a concentração de vários sais, a quantidade de oxigênio e as quantidades de excretas do metabolismo. Qualquer mudança no meio ou na atividade do animal necessita de um ajustamento do sistema controlador automático.

Os sistemas funcionam de tal modo que o resultado é favorável ao organismo. Dezenas de músculos estão envolvidos no simples ato de andar; durante a digestão, diversas enzimas são segregadas no momento exato. Todos êsses processos são controlados de modo que haja perfeita coordenação entre êles. Êste funcionamento regulado e balanceado é chamado de **integração.** Une as partes de um organismo numa unidade coordenada que tem maior probabilidade de sobrevivência. Nos vegetais, o sistema de integração não é tão elaborado como nos animais.

12 — 10 Sistemas de finalidades múltiplas

Os organismos têm sistemas de finalidades múltiplas bem aperfeiçoados pela seleção natural. Sempre que um mesmo órgão ou sistema servir para realizar mais de uma função, ao mesmo tempo, haverá economia de energia e de matéria. Por exemplo, as árvores podem realizar mais fotossíntese quando as fôlhas ficam no alto, expostas à luz e ao ar, mas isto requer transporte da água absorvida pelas raízes e um sistema de sustentação que dê rigidez necessária ao tronco e aos ramos. O sistema que se encarrega do transporte da água forma, também, grande parte das "vigas" que sustentam as fôlhas no ar. Suas células mortas, de paredes fortemente espessadas, formando canais contínuos, estão bem adaptadas para essas duas funções.

Um outro exemplo de sistema de finalidades múltiplas é o sistema circulatório dos animais, constituído pelo coração, vasos sanguíneos e sangue. Êsse mesmo sistema distribui glicose e outros alimentos para as células, transporta oxigênio e excretas, auxilia a regular a temperatura, transporta hormônios que coordenam as funções de outros órgãos e, também, ajuda a combater infecções.

...Os organismos complexos têm problemas que os unicelulares não têm. Sua reprodução e o desenvolvimento de um nôvo organismo são processos muito mais complicados. A acumulação de materiais necessários e sua distribuição não podem depender sòmente da difusão. Um dos problemas mais sérios é que todos os tecidos, órgãos e sistemas precisam funcionar harmônicamente. Os animais e vegetais pluricelulares complexos possuem estruturas eficientes, incluindo aquelas que têm mais de uma finalidade.

VERIFIQUE O QUE APRENDEU

1. Quais os sistemas que os organismos pluricelulares evoluídos possuem para sua sustentação?
2. Por que os sistemas de finalidades múltiplas economizam energia para o organismo?
3. Como as plantas e os animais resolveram o problema de reprodução?
4. Por que a maioria dos organismos precisa eliminar alguns dos produtos finais das reações que ocorrem nas células?
5. Dê um exemplo que ilustre o alto nível de coordenação e contrôle utilizado por um animal.

SUMÁRIO

As células vivas têm, freqüentemente, maior probabilidade de sobrevivência quando cooperam entre si em lugar de competirem. Uma unidade maior é atingida quando há especialização; o trabalho do organismo é dividido entre as várias partes que o compõem. Nos organismos pluricelulares complexos a especialização é tão completa que as partes que formam os sistemas são também estruturas complexas e organizadas. Os sistemas podem ser divididos em órgãos constituídos por tecidos especializados e, por sua vez, cada tecido é formado de células especializadas para realizar uma determinada função.

Estruturas especializadas podem realizar funções que células isoladas não podem e, mesmo quando se trata das funções mais simples, há um menor gasto de energia e assim é atingida maior eficiência. São necessárias sòmente pequenas mudanças no trabalho realizado por cada parte para ajustar o mecanismo a um nôvo meio, sendo mantido o mesmo plano básico.

Os animais e vegetais pluricelulares mais conhecidos são terrestres, embora seja difícil a sobrevivência nesse meio. Todos os organismos terrestres têm adaptações para obter e conservar água. As condições internas são freqüentemente muito diferentes das do meio exterior. Todos os organismos complexos têm um plano estrutural básico relacionado com as suas atividades. As plantas alimentam-se de moléculas existentes no ar e no solo. Essas pequenas moléculas, assim como a luz, são absorvidas pela grande superfície exposta. Animais mais complexos dependem de alimento mais complexo. Seu corpo móvel e compacto reflete a diferença na nutrição.

A complexidade tanto apresenta problemas como vantagens. Mais energia é usada na formação de uma estrutura complexa e na diferenciação das partes especializadas. O movimento dos materiais de um lugar a outro, dentro dos organismos requer um sistema aperfeiçoado de transporte. As células perdem sua versatilidade e se tornam dependentes de tôdas as outras células. O funcionamento de um organismo como um todo depende do funcionamento de cada uma de suas partes. É essencial a integração das várias e diferentes atividades numa unidade.

QUESTIONÁRIO

(A) 1. Quais as atividades vitais que devem ser realizadas por uma célula isolada?
2. Como podem ser distribuídas as atividades vitais de maneira que algumas células se tornem especializadas na atividade ou nas atividades que realizam? Dê exemplos.

3. Que vantagens podem ser associadas com a especialização das células?
4. Qual é o fundamento para se dizer que tecidos especializados trabalham com menor gasto de energia do que o mesmo número de células trabalhando independentemente?
5. Por que uma árvore necessita de sistemas condutores de materiais?
6. Por que os animais necessitam de um sistema condutor?
7. Por que um animal necessita de um sistema controlador de suas atividades?

(B) 8. Por que é exigida a condição de pluricelularidade antes que um organismo possa crescer até um tamanho apreciável?
9. Que possíveis desvantagens podem resultar do tamanho de um organismo e do fato de êle ser pluricelular?
10. Quais alguns dos problemas enfrentados por um organismo terrestre?
11. Que métodos podem ser usados pelos organismos terrestres para se protegerem da perda de água?
12. De que maneira a forma de uma árvore e a forma de suas partes são adaptadas para exercer adequadamente suas funções?
13. Por que a forma aproximadamente cilíndrica de um animal pode ser considerada uma adaptação?
14. Pode uma célula isolada ter necessidade de diferenciação?
15. Como um organismo pluricelular resolve o problema de obtenção de minerais e de substâncias nutritivas da água que o rodeia?

(C) 16. Por que é importante que um organismo seja capaz de utilizar eficientemente a energia de que dispõe?
17. Por que a reprodução é muito mais complexa nos organismos pluricelulares do que nos unicelulares?
18. Quais os problemas especiais que podem ser associados ao desenvolvimento dos organismos pluricelulares e que não existem para os unicelulares?
19. Por que um vegetal exige um sistema controlador muito menos amplo do que o exigido por um animal?

PROJETO

Escolha uma fôlha de um vegetal que possa ser considerada de tamanho médio; calcule sua área aproximada e seu número de estômatos. Faça uma estimativa do número de fôlhas existentes na planta e calcule a área total das fôlhas e o número total de estômatos. Como você determinaria a perda de água diária dessa planta?

LEITURAS RECOMENDADAS

RAWITSCHER, Felix. *Elementos Básicos de Botânica*, Capítulo III: Organização da Planta — 1. Traços Gerais.
BONNER, J. T. *Idéias Fundamentais da Biologia*, Zahar Editôres, Rio de Janeiro, 1964.

APÊNDICE

RELAÇÃO DOS SÊRES VIVOS

Êste apêndice mostra uma das maneiras pelas quais os taxionomistas separam os sêres vivos em grupos gerais. Você poderá estranhar a classificação usada aqui, pois, provàvelmente, é diferente das encontradas na maioria dos livros brasileiros e mesmo estrangeiros. Não vamos discutir os critérios adotados para se fazer essa classificação, nem pretender achar que ela é completa e perfeita. Apenas esperamos que ela possa ser usada para referência, mesmo porque não há razão para que ninguém, a não ser que se trate de um especialista, decore nomes científicos e posição sistemática dos inúmeros sêres vivos existentes.

PROTISTAS

(Filo Schizomycophita)

(Bactérias, vírus e rickettsias)

O nome do filo vem do grego: *schizein,* cortar + *mycos,* fungo + *phyton,* planta.

O filo compreende organismos extremamente pequenos, sem núcleo distinto. A maioria não possui clorofila. Podem ocorrer isolados ou agrupados em colônias ou cadeias. Muitos se locomovem por flagelos. Composição molecular e estrutura complexas. Cêrca de 1.500 espécies.

Classe Microtatobiotes. Vírus e rickettsias (0,01 a 0,6 mícron). Crescem e se reproduzem sòmente dentro de células vivas.

ORDEM VIRALES (vírus — 0,01 a 0,3 mícron). Os vírus causam inúmeras doenças no homem, tais como varíola, sarampo, hidrofobia, poliomielite. Outros animais e plantas também são suscetíveis de ataque por vírus.

ORDEM RICKETTSIALES (rickettsias — 0,3 a 0,6 mícron). Parasitas dos artrópodes, mas também podem causar doenças no homem, como por exemplo, o tifo exantemático.

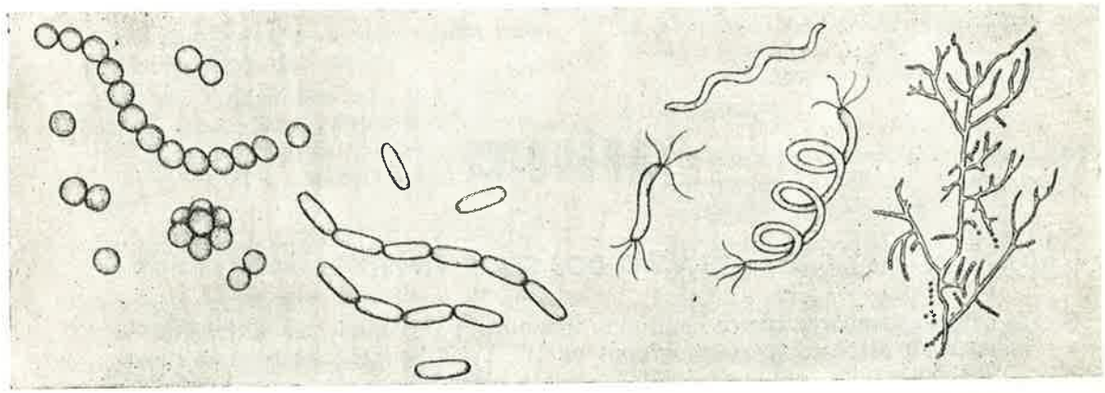
Classe Schizomycetes. Bactérias verdadeiras (0,5 a 50 micra). Tôdas unicelulares, a maioria móvel. Podem crescer e se reproduzir usando uma grande variedade de fontes de alimento, que podem ser sêres vivos ou outros materiais. Podem ser classificadas, segundo a forma, em *cocos* (esféricos), *bacilos* (em bastonete) e *espirilos* (em espiral) (ap. 1).

ORDEM PSEUDOMONADALES. Algumas fotossintetizantes ou quimiossintetizantes; a maioria é heterótrofa. Ex. *Vibrio comma* (causador do cólera).

ORDEM EUBACTERIALES (bactérias verdadeiras). Esta ordem contém o maior número de espécies relacionadas com o homem. Ex. *Escherichia coli, Diplococcus, Staphylococcus, Bacillus.*

ORDEM ACTINOMYCETALES. Bactérias com grande tendência a se ramificar. Algumas vêzes são chamadas de "bactérias fungiformes". Ex. *Mycobacterium tuberculosis* (causadora da *pneumonia*); *Streptomyces* (ap. 1).

ORDEM SPIROCHAETALES. Célula em forma de espiral, sempre móvel. Sem flagelo. Ex. *Treponema pallidum,* causador da sífilis.



Cocos Bacilos Espirilos Actinomicetes

AP. 1 — BACTÉRIAS

Filo Myxophyta

(Algas azuis)

O nome do filo vem do grego: *myxa,* lôdo + *phyton,* planta.

Algas muito simples, na maioria aquáticas ou de ambiente terrestre úmido. Células isoladas ou em colônias filamentosas ou em placas. Não se conhece reprodução sexuada no grupo. Não apresentam núcleo organizado nem plastos. A côr é devida à preponderância de ficocianina (pigmento azul) sôbre os outros pigmentos: clorofila *a* e carotenóides. As células reservam uma substância nutritiva semelhante ao glicogênio. Cêrca de 2.500 espécies. Ex. *Gloeocapsa, Oscillatoria, Nostoc,* etc. (ap. 2).

Filo Mastigophora

Flagelados

O nome do filo vem do grego: *mastigo,* chicote + *phoros,* portador.

Locomoção por apêndices em forma de chicote chamados flagelos. Ocorrem isoladamente ou em colônias. Formam um grupo de transição entre vegetais e animais. Alguns realizam fotossíntese; muitos ingerem o alimento e apresentam nutrição estritamente semelhante a animal; alguns são parasitas. As formas coloniais são consideradas como transitórias entre protistas e vegetais pluricelulares, assim como entre protistas e esponjas.

Classe Phytomastigina. São os flagelados semelhantes aos vegetais. Ex. *Euglena, Cryptomonas* (ap. 3).

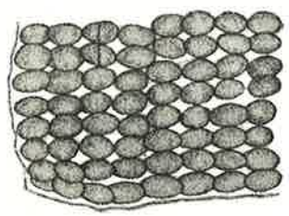
Classe Dinoflagellata. Ex. *Ceratium, Noctiluca* (ap. 3).

Classe Zoomastigina. Flagelados com características análogas às dos animais. Ex. *Trypanosoma, Leishmania* (ap. 3).

Filo Ciliophora

(Ciliados)

O nome do filo vem do latim: *cilium,* cílio, e do grego: *phoros,* portador.



Merismopedia

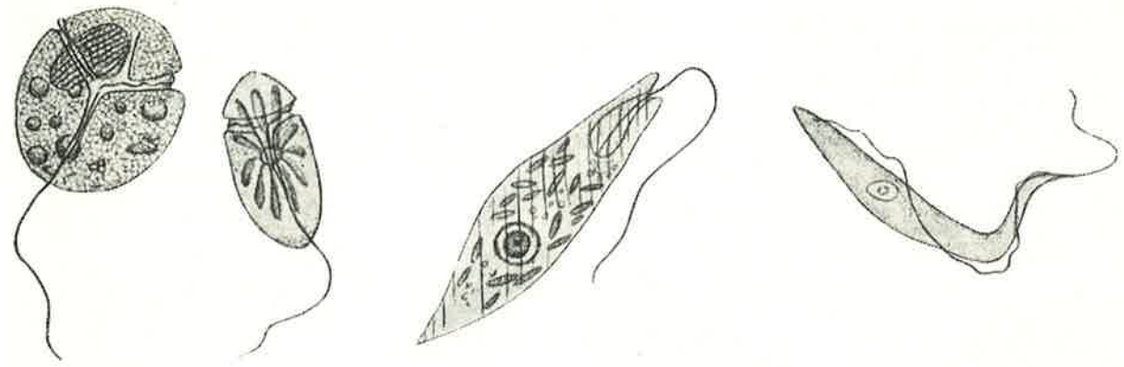


Nostoc



Rivularia

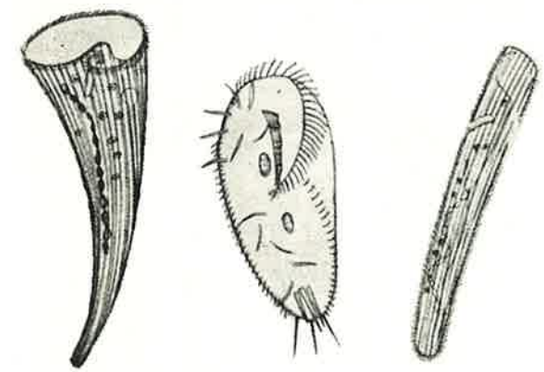
AP. 2 — ALGAS AZUIS



Dinoflagelados *Euglena* *Trypanosoma*

Ap. 3 — FLAGELADOS

Protistas semelhantes aos animais. Locomoção por meio de cílios. São os maiores e mais organizados de todos os protistas. Possuem, geralmente, um macronúcleo e um micronúcleo.



Stentor *Stylonychia* *Spinostomum*

AP. 4 — CILIADOS

Cêrca de 10.000 espécies descritas. Ex. *Paramecium, Stentor, Euplotes, Vorticella* (ap. 4).

Filo Sarcodina

(Rizópodes)

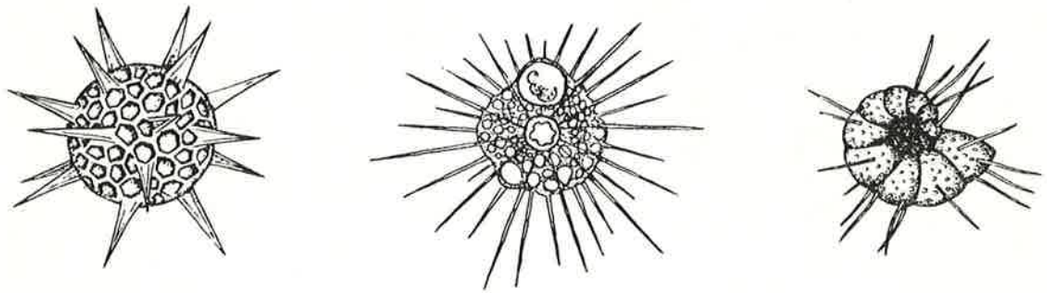
O nome do filo vem do grego: *sarx,* carne + *eidos,* forma.

Muitos elaboram carapaças intricadas ou estruturas com função de esqueleto. Outros são nus. Geralmente divididos em cinco classes. Ex. *Amoeba, Foraminifera, Radiolaria* (ap. 5).

Filo Sporozoa

(Esporozoários)

O nome do filo vem do grego: *spora,* semente + *zoon,* animal.



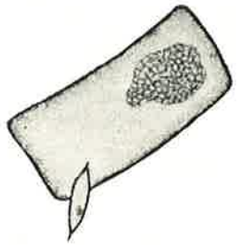
Radiolaria *Actinophris* Foraminifera

AP. 5 — RIZÓPODES

Parasitas, com ciclos de vida complicados. Geralmente não apresentam apêndices locomotores (pesudópodes ou flagelos podem existir em certos estágios do ciclo de vida de alguns). Não têm vacúolos contráteis. Ex. *Babesia* (transmitida por carrapatos), causa febre aftosa, *Plasmodium* (transmitido por mosquito do gênero *Anopheles*), causador da maleita em aves, mamíferos e especialmente no homem (ap. 6).



Plasmodium vivax (em glóbulo vermelho humano)



Eimeria (entrando em célula epitelial de centípede)

AP. 6 — ESPOROZOÁRIOS

Filo Myxomycetes

(Mixomicetes)

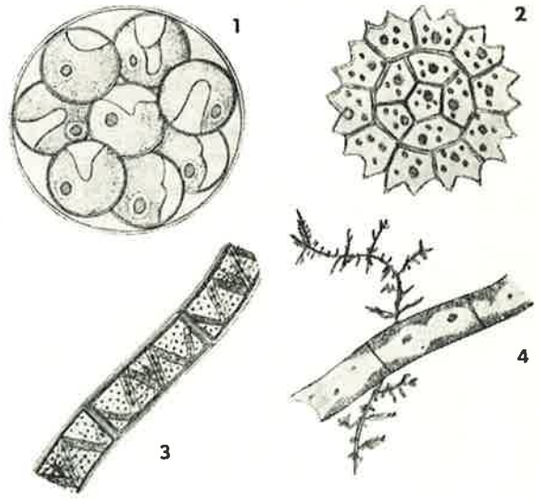
O nome do filo vem do grego: *myxa,* lôdo + *myketas,* fungo.

Grupo de organismos muito simples com características tanto de animais como de vegetais. Os indivíduos podem ocorrer como grandes massas simples de citoplasma com centenas de núcleos e sem membranas celulares (plasmódio). Esta massa se movimenta e ingere alimento como uma ameba gigantesca. Reprodução por esporos que apresentam, em alguns gêneros, paredes celulósicas e são formados em esporângios (característica de vegetal). Largamente distribuídos, são encontrados em lugares úmidos ou em vegetais em putrefação. Ex. *Physarum.*

Filo Chlorophyta

(Algas verdes)

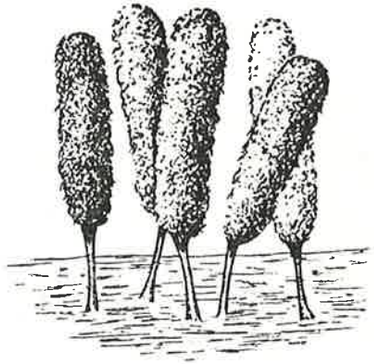
O nome do filo vem do grego: *khloros,* verde e *phyton,* planta.



AP. 8 — ALGAS VERDES
1. *Chlorella*
2. *Pediastrum*
3. *Spirogyra*
4. *Draparnaldia*



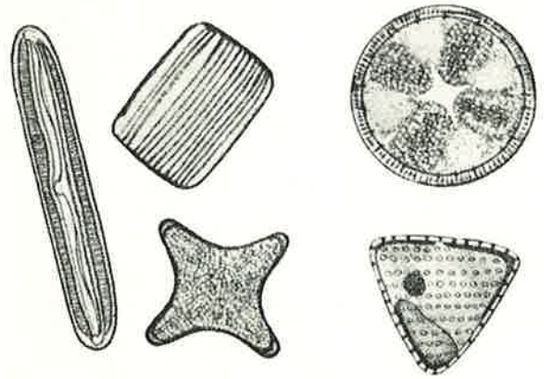
Diachea



Arcyria

AP. 7 — MIXOMICETES

CENTRO DE TRATAMENTO PARA PROTOZOÁRIOS DE CÃES DE SÃO PAULO



AP. 9 — Diatomáceas

Algas verdes, aquáticas na maioria. Células isoladas móveis ou imóveis, colônias móveis ou imóveis, filamentosas, em fita ou tubulares. Reprodução sexuada geralmente por meio de gametas móveis, mas são conhecidos muitos outros processos, tanto sexuais como assexuais. Células altamente organizadas. Pigmentos característicos: clorofila *a* e *b*, xantofilas e caroteno-B, os mesmos que das plantas superiores. Alimento armazenado sob a forma de amido. Cêrca de 5.700 espécies. Ex. *Chlamydomonas, Spirogyra, Ulva, Nitella* (ap. 8).

Filo Chrysophyta

(Algas douradas)

O nome do filo vem do grego: *khrysos,* ouro e *phyton,* planta.

Algas simples, nas quais predominam caroteno e xantofila. Produtos da fotossíntese nunca armazenados como amido, mas freqüentemente como óleo. Maioria unicelular, mas são conhecidas formas coloniais, filamentosas e tubulares. Cêrca de 5.700 espécies.

Classe Xantophyceae. Algas verde-amareladas superficialmente semelhantes às algas verdes. Pigmentos característicos: clorofilas *a* e *b*, caroteno-B e uma xantofila. Óleo ou leucosina geralmente presentes nas células. Ex. *Vaucheria.*

Classe Chrysophyceae. Algas pardo-douradas. A maior parte das espécies faz parte do plâncton, mas raramente são encontradas em grande número. Pigmentos característicos: clorofila *a,* caroteno-B e duas xantofilas. Células móveis devido a dois flagelos de comprimentos diferentes. Ex. *Synura, Ochromonas.*

Classe Bacillariophyceae. Diatomáceas. As paredes celulares contêm sílica e constituem duas valvas que se encaixam como as duas partes de uma caixa. Pigmentos característicos: clorofilas *a* e *c,* caroteno-B e xantofilas. Ex. *Pinnularia, Navicula, Melosira* (ap. 9).

Filo Phaeophyta

(Algas pardas)

O nome do filo vem do grego: *phaios,* pardo e *phyton,* planta.



Palmeira-do-mar

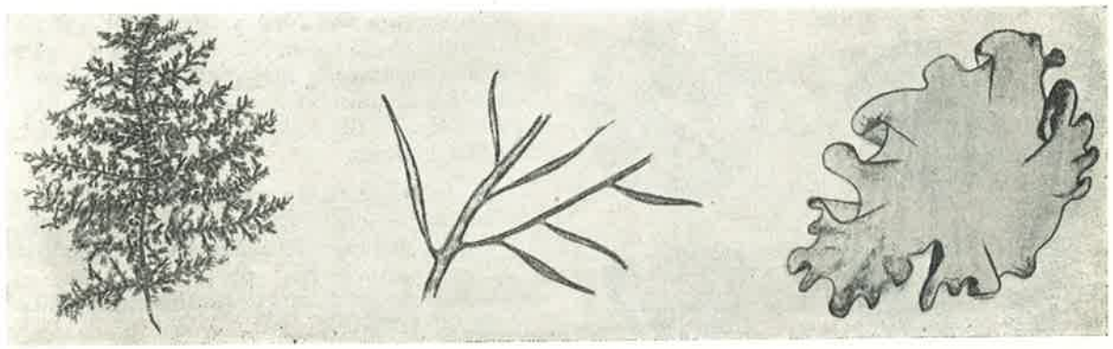


Sargassum



Ectocarpus

AP. 10 — ALGAS PARDAS



Corallina *Agardhiella* *Porphyra*

AP. 11 — ALGAS VERMELHAS

Algas marinhas, comumente apresentando formas complexas. Geralmente de côr parda ou verde-oliva. Pigmentos característicos: clorofilas *a* e *c*, caroteno-B e xantofilas, especialmente fucoxantina. Alimento armazenado sob a forma de laminarina, um carboidrato. Paredes celulares geralmente rodeadas de algina, substância econômicamente importante. Cêrca de 900 espécies conhecidas. Ex. *Ectocarpus, Laminaria, Fucus, Macrocystis, Sargassum, Dictyota* (ap. 10).

Filo Rhodophyta

(Algas vermelhas)

O nome do filo vem do grego: *rhodon,* rosa e *phyton,* planta.

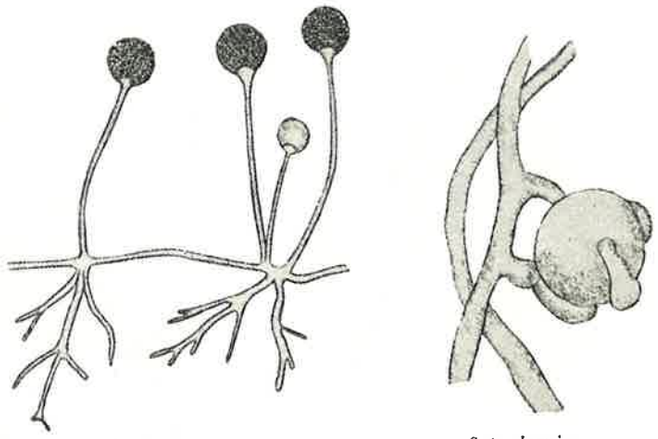
Predominantemente marinhas, geralmente vermelhas. São conhecidos muitos tipos de ciclos de vida complexos. Não apresentam células móveis. Pigmentos característicos: clorofilas *a* e *d*, carotenóides e ficoeritrina. Alimento armazenado como um tipo especial de amido. Cêrca de 2.500 espécies conhecidas. Ex. *Batrachospermum* (único gênero de água doce), *Porphyra, Polysiphonia* (ap. 11).

Filo Mycophyta

(Fungos)

O nome do filo vem do grego: *mykes,* fungo + + *phyton,* planta.

Organismos semelhantes a plantas, sem clorofila, sem raízes verdadeiras, caule ou fôlhas. A maioria saprófita ,alguns parasitas de plantas ou de animais. O corpo é constituído por filamentos (hifas) entrelaçadas e é chamado micélio.

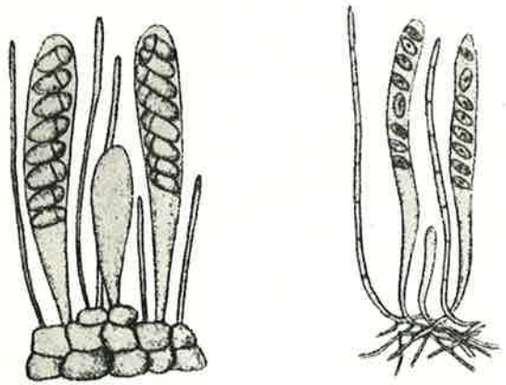


Rhyzopus *Saprolegnia*

AP. 12 — PHYCOMYCETES

Classes Phycomycetes. Fungos semelhantes a algas. Hifas principalmente tubulares sem septos transversais. Espécies terrestres e aquáticas. Reprodução sexuada por zigósporos ou oósporos. Cêrca de 1.000 espécies. Ex. *Allomyces, Saprolegnia, Rhizopus* (bolor prêto do pão) (ap. 12).

Classe Ascomycetes. (Do grego: *askos,* saco + *myketes,* fungo). Micélio constituído por hifas septadas. Principalmente terrestres. Comumente se associam a algas formando liquens. Os esporos são produzidos em um esporângio em forma de saco (asco) depois de uma reprodução sexuada. Cêrca de 12.500 espécies. Ex. *Saccharomyces* (lêvedo), *Penicillium, Neurospora, Aspergillus* (ap. 13).

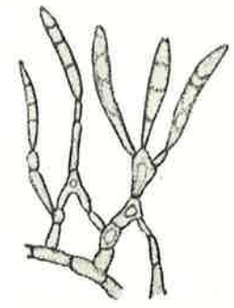


Neurospora

AP. 13 — ASCOMYCETES

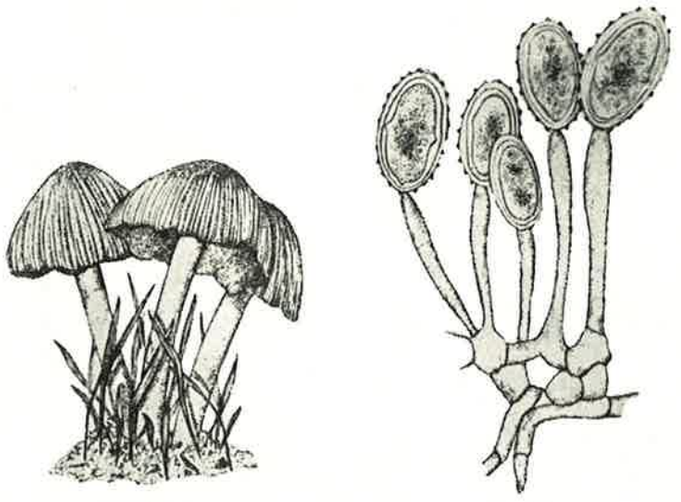
Classe Basidiomycetes. (Gr.: *basis,* base + *myketes,* fungo). Nesta classe estão os cogumelos conhecidos por cogumelo de chapéu, orelha-de-pau. Micélios constituídos por hifas com septos transversais definidos. Células comumente binucleadas. Grandes esporóforos terrestres muito comuns. Esporos produzidos na extremidade de uma hifa especial (basídio) depois de uma reprodução sexuada. Cêrca de 13.000 espécies. Ex. *Puccinia, Ustilago, Psalliota* (ap. 14).

Classe Deuteromycetes. (Gr.: *deuteros,* secundário + *myketes,* fungo). Fungos imperfeitos. Todos os fungos nos quais a reprodução sexuada não é conhecida. Cêrca de 10.500 espécies. Ex. *Trichophytoneae,* um grupo de fungos responsável pelo "pé-de-atleta" e outras micoses (ap. 15).



Fusarium

AP. 15 — DEUTEROMYCETES



Coprinus *Puccinia*

AP. 14 — BASIDIOMYCETES

VEGETAIS

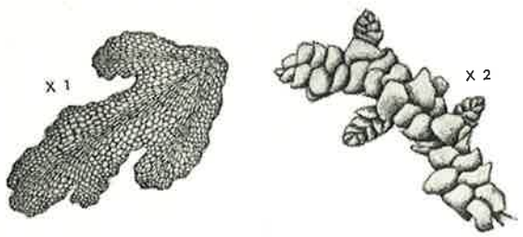
Filo Bryophita

(Briófitas)

O nome do filo vem do grego: *bryon,* musgo + *phyton,* planta.

Plantas de pequeno porte, sem raízes verdadeiras, mas muitas vêzes com aparência de plantas vasculares. Órgãos reprodutores pluricelulares, revestidos externamente por uma camada de células estéreis. A geração dominante é a gametofítica; o esporófito geralmente parasita o gametófito. Cêrca de 22.000 espécies.

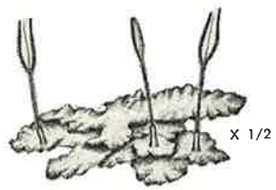
Classe Hepaticae. (Gr.: *hepatikos,* em forma de fígado). Plantas com o corpo dividido em lobos (de onde o nome), em muitos casos com simetria dorsiventral. Esporófitos pequenos, de curta duração. Ex. *Riccia, Pellia, Marchantia* (ap. 16).



Conocephalum *Porella*

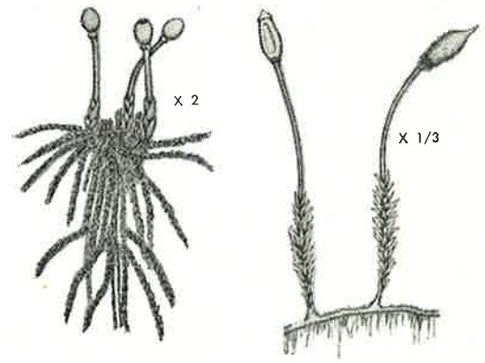
AP. 16 — HEPÁTICAS

Classe Anthocerotae. (Gr.: *anthos,* flor + *keras,* chifre) Parecidas com as hepáticas no aspecto do gametófito; esporófito muito maior, quase independente. Ex. *Anthoceros.*



AP. 17 — *Anthoceros*

Classe Musci. Musgos. (Latim: *muscus,* musgo). Plantas não mais achatadas dorsiventralmente; geralmente foliáceas. Gametófitos e esporófitos com vida relativamente longa. Ex. *Sphagnum, Mnium, Polytrichum.*



Sphagnum *Polytrichum*

AP. 18 — MUSGOS

Filo Tracheophyta

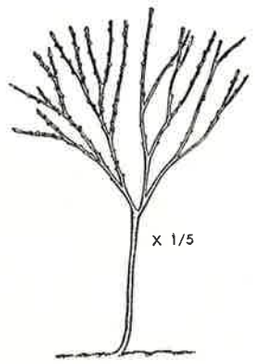
(Plantas vasculares)

O nome do filo vem do grego: *trakheia,* traquéia + *phyton,* planta.

Vegetais de estrutura complexa. A geração predominante é a esporofítica. Gametófitos geralmente microscópicos. Sistemas condutores presentes.

Subfilo Psilopsida

(Gr.: *psilos,* nu + *opsis,* aparência). Plantas sem raízes nem fôlhas, representadas sòmente por dois gêneros atuais. Os esporângios se localizam nas extremidades de ramos curtos. Quatro espécies. Ex. *Psilotum, Tmesipteris.*

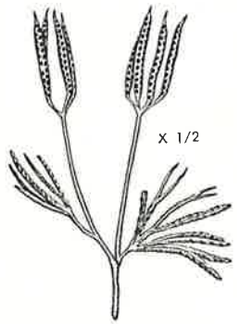


AP. 19 — *Psilotum*

Subfilo Lycopsida

(Gr.: *lycos,* lôbo + *opsis,* aspecto — em virtude de as raízes se parecerem com garras de lôbo).

Plantas com fôlhas pequenas e numerosas dispostas em espiral. Esporângios nas axilas de esporófilos, geralmente agrupados formando um cone. Cêrca de 1.000 espécies. Ex. *Lycopodium, Selaginella, Isoetes.*



AP. 20 — *Lycopodium*

Subfilo Sphenopsida

(Gr.: *sphenos,* cunha + *apsis,* aspecto). Cavalinhas. Plantas de superfície áspera com caules sulcados e divididos em nós. Fôlhas vestigiais em pequenos verticilos. Esporângios em esporófilos altamente modificados, agregados num cone. Cêrca de 25 espécies. Ex. *Equisetum.*

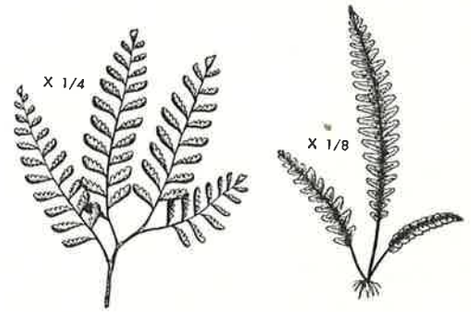


AP. 21 — *Equisetum*

Subfilo Pteropsida

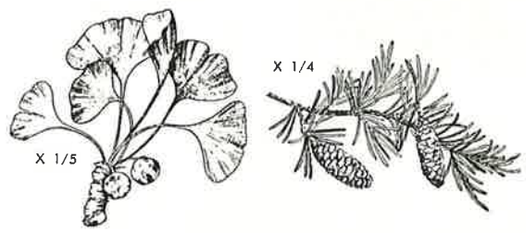
(Gr.: *pteron,* asa + *opsis,* aspecto). Fetos, gimnospermos e angiospermos. Fôlhas e caules geralmente maiores e mais complexos.

Classe Filicinae. (Lt.: *filix,* samambaia). Fetos. Caules geralmente subterrâneos, fôlhas compostas. Esporângios numerosos, muitas vêzes agrupados na superfície inferior dos folíolos. É necessária a presença de água para os anterozóides, dotados de flagelos, alcançarem as oosferas. Cêrca de 10.000 espécies. Ex. *Marsilea, Botrychium, Polystichum, Polypodium, Salvinia.*



AP. 22 — Samambaias

Classe Gymnospermae. (Gr.: *gymnos,* nu + *sperma,* semente). Plantas que apresentam cones. Caules aéreos e fôlhas de vários tipos. Esporos produzidos em cones especiais (heterosporia). As sementes não estão encerradas em frutos; são nuas. Gametas masculinos móveis ou não; a água não é necessária para a fecundação, havendo formação de tubo polínico. Cêrca de 700 espécies. Ex. *Cycas, Pinus, Cupressus, Cedrus, Juniperus, Araucaria* (ap. 23).



AP. 23 — *Ginkgo*

Classe Angiospermae. (Gr.: *ageion,* cápsula, + sperma, semente). Plantas com frutos. Caules e fôlhas complexas, esporos produzidos na flor (heterosporia). Células masculinas imóveis, formação de tubo polínico. Não há critérios bem definidos para definir ordens. Já foram descritas mais de 300 famílias.

Subclasse Dicotyledoneae

(Gr.: *dis,* dois + cotilédone). Plantas com dois cotilédones na semente. Fôlhas geralmente com nervuras reticuladas. Constituintes dos verticiclos florais em número de 4, 5 ou múltiplos dêsses números. Cêrca de 200.000 espécies.

Família Myrtacea (eucalipto, goiaba, jabuticaba, pitanga). Árvores ou arbustos com flôres hermafroditas, tetrâmeras ou pentâmeras. Fôlhas simples, opostas, sem estípulas, dotadas de glândulas onde são fabricados óleos aromáticos de cheiro característico para a espécie. Muitas espécies com frutos comestíveis.

Família Malvaceae. (*Hibiscus*, quiabo, algodão). Plantas herbáceas ou lenhosas. Fôlhas inteiras ou lobuladas com estípulas. Flôres geralmente vistosas com estames concrescidos formando coluna ao redor do estilete (andróforo). Fruto capsular.

Família Cruciferae (couve, mostarda, nabo, repôlho). Plantas herbáceas. Flôres com simetria radial, com 4 sépalas, 4 pétalas, 2 grupos de estames (4 longos e 2 curtos), 1 carpelo, ovário súpero.

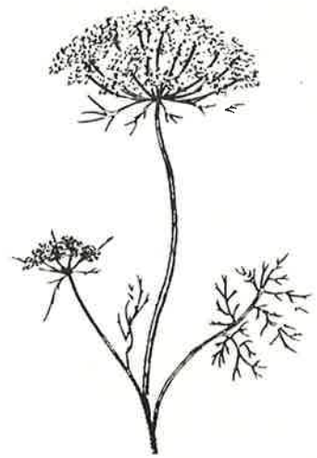
Família Rosaceae (morango, pêra, pêssego, rosa). Arbustos, árvores ou plantas herbáceas. Flôres com simetria radial, com 5 pétalas, numerosos estames, 1 ou mais carpelos, ovário súpero ou ligeiramente ínfero.

Família Leguminosae (feijão, ervilha, amendoim, flamboyant, pau-brasil). Plantas herbáceas, geralmente trepadeiras ou árboreas, ornamentais. Flôres com simetria bilateral, com 5 sépalas, 10 estames, 1 carpelo, ovário súpero. O fruto é chamado legume.



AP. 24 — Ervilha

Família Umbeliferae (salsa, erva-doce, cenoura, cicuta). Herbáceas. Flôres com simetria radial, com 5 sépalas pequenas, 5 pétalas, 5 estames, 1 carpelo, ovário ínfero. A inflorescência é umbela composta. Frutos secos com canais resiníferos. Muitas espécies alimentícias ou usadas como condimento ou medicamento.

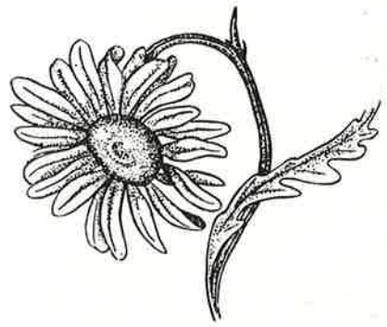


AP. 25 — Erva-doce

Família Solanaceae (fumo, batatinha, tomate, berinjela, manacá). Arbustos, árvores, ervas. Muitas espécies nutritivas, ornamentais ou medicinais. Flôres com 5 sépalas, 5 pétalas, 5 estames, 2 ou 5 carpelos.

Família Euphorbiaceae (mamona, seringueira, mandioca, bico-de-papagaio, coroa-de-cristo). Arbustos, árvores ou plantas herbáceas. Flôres sempre unissexuadas. As flôres femininas têm um aspecto típico de cápsula com 3 partes proeminentes, devido aos 3 carpelos uniovulados. Flôres rodeadas por brácteas geralmente vistosas e por glândulas de néctar. Geralmente possuem canais lactíferos.

Família Compositae (margarida, alface, alcachôfra, picão, carqueja). Herbáceas. Inflorescência típica em capítulo com flôres hermafroditas, masculinas e femininas. Flôres com



AP. 26 — Margarida

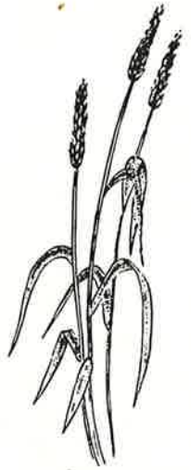
5 sépalas, 5 pétalas, 5 estames e 2 carpelos. Fruto geralmente dotado de pontas, espinhos ou pára-quedas destinados a garantir a disseminação.

Família Rubiaceae (café, quina, jenipapo, jasmim, ipecacuanha). Árvores, arbustos ou plantas herbáceas. Flôres hermafroditas, número de estames igual ao das pétalas. Ovário ínfero. O fruto é baga, drupa ou cápsula. Plantas de valor ornamental, medicinal e comercial.

Subclasse Monocotyledoneae

(Gr.: *monos*, um + cotilédone). Plantas com um cotilédone na semente. Fôlhas em geral com nervuras paralelas. Partes florais geralmente em número de 3 ou múltiplo. Caules com feixes vasculares dispersos, câmbio ausente. Cêrca de 50.000 espécies.

Família Gramineae (grama, bambu, arroz, sapé, cana-de-açúcar, milho). Plantas herbáceas com exceção do bambu. Flôres pouco vistosas, polinização pelo vento. Flor uni ou bissexuada, sem perianto, envôltas por brácteas sêcas e duras (glumas). 1 a 6 estames, 1 carpelo, ovário súpero. Inflorescências de tipos variados, principalmente cachos e espigas. De grande importância econômica, sendo cultivadas desde épocas pré-históricas nas mais variadas regiões do Globo.



AP. 27 — Trigo

Família Palmae (coqueiro, carnaubeira, palmeira-imperial, palmito). Caule em estipe, fôlhas grandes em leque ou penadas. Flôres hermafroditas ou de sexos separados, reunidas em inflorescências protegidas por uma ou mais brácteas grandes, chamadas espatas. Características de regiões tropicais. Muito ornamentais, várias espécies úteis cultivadas e exploradas.

Família Musaceae (bananeiras em geral, com frutos e espécies ornamentais). Plantas herbáceas, de grande porte, caule carnoso e fôlhas grandes. Cultivadas para se aproveitarem seus frutos, de enorme importância econômica nos países tropicais e temperados, ou como plantas ornamentais. Multiplicação vegetativa, pois, na grande maioria, os frutos não possuem sementes.

Família Liliaceae (lírio, alho, cebola, *Yucca*). Geralmente herbáceas, algumas espécies em arbustos. Flôres com simetria radial com 3 pétalas, 3 sépalas (geralmente da mesma côr, parecendo 6 pétalas), 3 estames ou 6, 1 carpelo, ovário súpero. De grande importância econômica, pois são cultivadas como plantas ornamentais, medicinais e comestíveis. Certos bulbos podem ser guardados durante muito tempo sem se estragar nem perder seu poder germinativo (ap. 28).



AP. 28 — Tulipa



AP. 29 — Orquídea

Família Orchidaceae (orquídeas em geral, baunilha). Herbáceas. Flôres com simetria bilateral, com 3 sépalas, 3 pétalas (unidas) 1 ou 2 estames, 1 carpelo, ovário ínfero. Os estiletes e os estames concrescem formando uma coluna chamada ginostênio, característica da família. Muitas espécies epífitas de árvores tropicais. Ornamentais (ap. 29).

ANIMAIS

Filo Porifera

(Esponjas)

O nome vem do latim: *porus,* poros + *ferre,* apresentar.

Animais aquáticos primitivos, marinhos na maioria e sempre presos a um substrato. Geralmente em colônias constituídas por muitos indivíduos indistinguíveis. A parede do corpo é constituída por duas camadas de células separadas por uma camada gelatinosa e limita a cavidade gastrovascular. Poros na parede do corpo ligados a um sistema de canais. Esqueleto de espículas ou de espongina (substância orgânica). Cêrca de 3.000 espécies divididas em três classes:

Classe Calcispongiae. Esponjas com esqueleto calcário, sistema de canais simples. Pequeno tamanho. Ex. *Grantia, Scyphya, Leucosolenia.*

Classe Hyalospongiae. Esponjas vítreas. Maiores e mais complexas. Esqueleto de sílica. Ex. *Euplectella.*

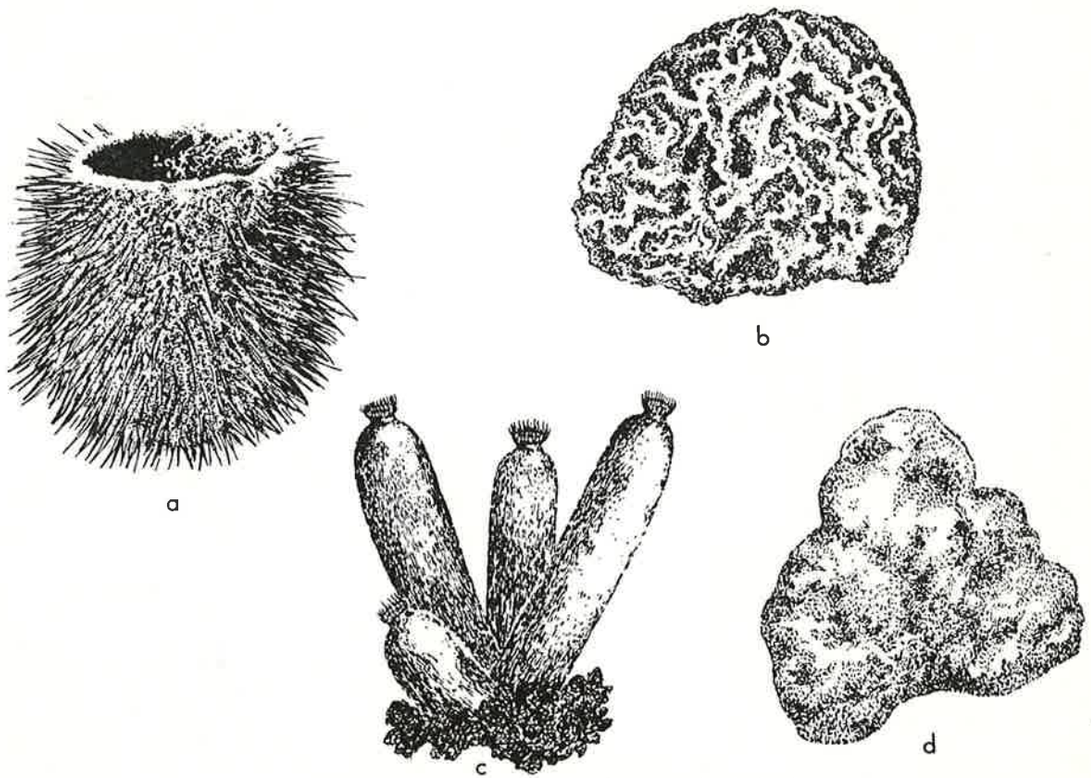
Classe Demospongiae. Esponjas sem esqueleto ou com esqueleto de espongina. Sistema de canais complexo. Grandes colônias. Ex. esponja de banho.

Filo Coelenterata

(Celenterados)

O nome do filo vem do grego: *koilos,* ôco + + *enteron,* intestino.

Animais marinhos na maioria. Parede do corpo constituída por uma camada externa (ectoderme) e por uma camada interna (endoderme) que limita a cavidade gástrica, a qual tem uma única abertura, a bôca. Simetria radial. Sem segmentação. A organização do corpo, típica em forma de saco, ocorre sempre, mas é modificada para

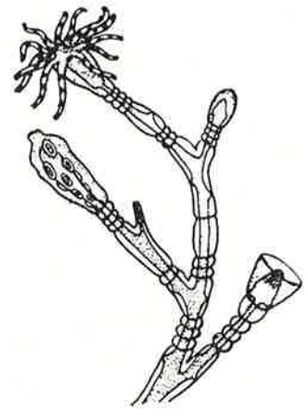


a — esponja vítrea; c — *Grantia;* d — esponja de banho

AP. 30 — ESPONJAS

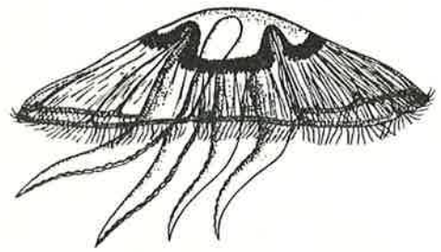
formar um pólipo tubular ou uma medusa em forma de campânula. Apresentam geralmente tentáculos com células urticantes altamente especializadas. Cêrca de 9.000 espécies divididas em três classes:

Classe Hydrozoa. (Gr.: *hydros,* água + *zoon,* animal) Indivíduos pequenos e isolados, colônias que lembram vegetais ou indivíduos coloniais complexos. Ex. *Hydra, Obelia, Physalia.*



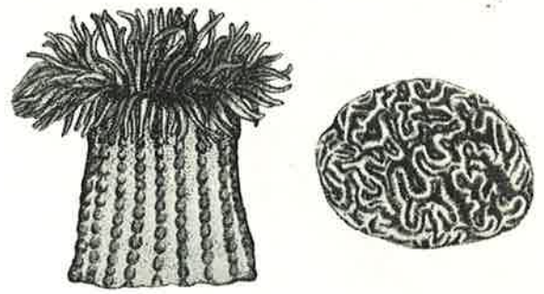
AP. 31 — *Obelia*

Classe Scyphozoa. (Gr.: *skyphos,* taça + *zoon,* animal). Águas-vivas verdadeiras. Gônadas de origem endodérmica. Muitos indivíduos de grande tamanho. Ex. *Aurelia.*



AP. 32 — *Aurelia*

Classe Anthozoa. (Gr.: *anthos,* flor + *zoon,* animal) Indivíduos isolados ou em colônias. Predomina a forma pólipo. Um grupo forma esqueleto de carbonato de cálcio. Ex. anêmonas-do-mar, corais.



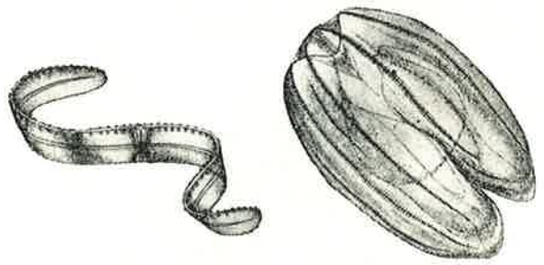
Anêmona-do-mar — Corais

AP. 33

Filo Ctenophora

O nome do filo vem do grego: *ktenos,* pente + + *phoros,* portador.

Pequeno grupo de animais marinhos gelatinosos, semelhantes em parte às águas-vivas, mas mais evoluídos que os celenterados (ap. 34).



Cinto-de-vênus — *Beroe*

AP. 34

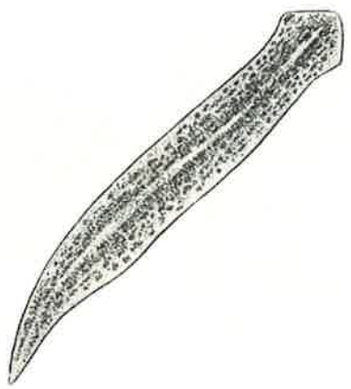
Filo Platyhelminthes

(Vermes chatos)

O nome do filo vem do grego: *platys,* chato + + *helmins, inthos,* verme.

Vermes achatados dorsoventralmente. Simetria bilateral. Animais de vida livre ou parasitas. Cêrca de 6.000 espécies divididas em três classes:

Classe Turbellaria. (Lt.: *turba,* distúrbio) Assim chamados porque os cilios produzem pequenas correntes na água). Platelmíntios de vida livre, geralmente marinhos, mas alguns de água doce e terrestres. Epiderme ciliada. Ex. *Planaria.*



AP. 35 — *Planaria*

Classe Trematoda. (Gr.: *trematodes,* com buracos). Animais parasitas com forma de fôlhas. Geralmente possuem ventosas. Ex. *Fasciola, Schistosoma.*



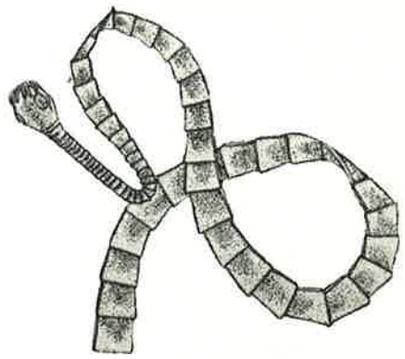
AP. 36 — *Fasciola*

Classe Cestoda. (Gr.: *kestos,* cinto) Animais parasitas, geralmente em forma de fita. Possuem um escólex com ventosas e, algumas vêzes, com ganchos. Ex. solitárias (ap. 37).

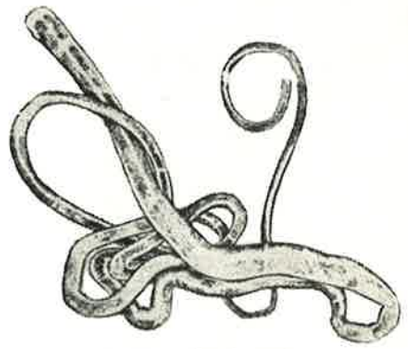
Filo Nemertea

O nome do filo vem do grego: *Nemertes,* nome de uma ninfa aquática da Mitologia.

Pequeno filo relacionado aos Platelmíntios. Marinhos na maioria. Tamanho variando desde formas muito pequenas a muito grandes (algumas espécies alcançam 27 metros — ap. 38.



AP. 37 — *Taenia*



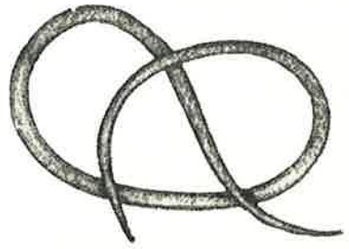
AP. 38 — *Cerebratulus*

Filo Nematoda

(Vermes cilíndricos)

O nome do filo vem do grego: *nema, atos,* fio.

Vermes de corpo cilíndrico, parasitas ou de vida livre. Simetria bilateral. Sistema digestivo tubular, com bôca e ânus. Cavidade do corpo presente, mas reduzida. Corpo alongado, cilíndrico e, geralmente, pontiagudo em ambas as extremidades. Cêrca de 10.000 espécies. Ex. *Ascaris* (lombriga), *Wuchereria* (causa a elefantíase), *Necator* (causa o amarelão).

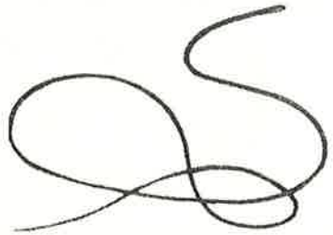


AP. 39 — *Ascaris*

Filo Nematomorpha

O nome do filo vem do grego: *nema, atos,* fio + *morphe,* forma.

Pequeno grupo de vermes muito longos e finos que vivem em água doce ou no mar. Parte do ciclo de vida passam como parasitas dos artrópodes (ap. 40).



AP. 40 — *Gordius*

Filo Acanthocephala

O nome do filo vem do grego: *akantha,* espinho + *kephale,* cabeça.

Vermes cilíndricos com um órgão com espinhos para se prenderem. Parasitas do intestino de vertebrados (ap. 41).



AP. 41 — *Oncicola*

Filo Trochelminthes

(Rotíferos)

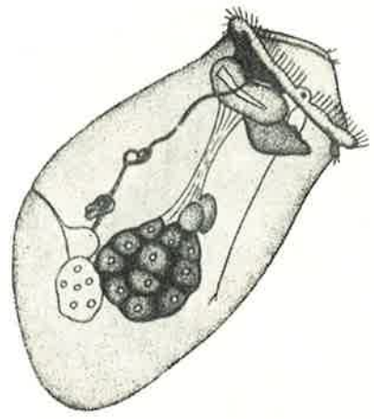
O nome do filo vem do grego: *trokhos,* roda + + *helmins, inthos,* verme.

Animais microscópicos de água doce ou marinhos. Cavidade do corpo e sistemas bem desenvolvidos (ap. 42).

Filo Bryozoa

(Briozoários)

O nome do filo vem do grego: *bryon,* musgo + + *zoon,* animal.



AP. 42 — *Asplanchna*

Animais pequenos, presos a um substrato, não segmentados, marinhos na maioria. Bôca circundada por uma coroa de tentáculos. Intestino em forma de U, situando-se o ânus próximo à bôca. Cêrca de 1.200 espécies conhecidas.

Filo Brachiopoda

O nome do filo vem do grego: *brakhion,* braço + *pous, podos,* pé.

Animais marinhos com conchas formadas por duas valvas simétricas entre as quais há um par de "braços" com tentáculos. Superficialmente semelhantes aos moluscos. Grupo fóssil importante (ap. 43).



AP. 43 — *Lingula*

Filo Phoronidea

O nome do filo vem do grego: *Phoronis,* nome de um símbolo mitológico.

Animais sedentários, marinhos, semelhantes a vermes. Vivem dentro de buracos no fundo do mar (ap. 44).

Filo Chaetognatha

O nome do filo vem do grego: *khaite,* cabelo + + *gnathos,* mandíbula.



AP. 44 — *Phoronis*

Cêrca de 6 gêneros de animais marinhos, pequenos e transparentes. Podem ocorrer junto à superfície em grande número (ap. 45).



AP. 45 — *Sagitta*

Filo Mollusca

O nome do filo vem do latim: *mollis,* mole.

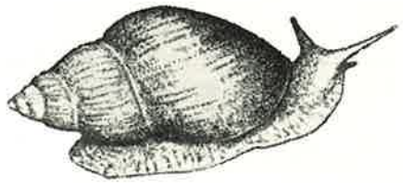
Caramujos, ostras, lulas e polvos. Animais de corpo mole, não segmentados e sem apêndices articulados. Simetria bilateral tendendo à assimetria (caramujos). Geralmente apresentam uma concha (que falta ou é rudimentar em alguns). Respiração branquial ou pulmonar. Corpo geralmente compreendendo cabeça, pé e massa visceral. A maioria é marinha, mas muitos são de água doce e alguns são terrestres. Cêrca de 80.000 espécies foram descritas e as formas fósseis são numerosas. Geralmente divididos em cinco classes:

Classe Amphineura. (Gr.: *amphi,* duplo + + *neuron,* nervo). Moluscos com concha composta de 8 placas imbricadas (expostas ou ocultas). Sem cabeça distinta. Pé muscular largo e achatado. Ex. *Chiton.*



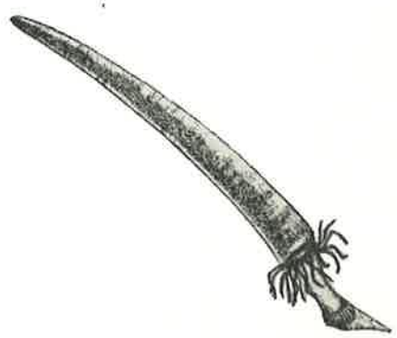
AP. 46 — *Chiton*

Classe Gastropoda. (Gr.: *gastros,* estômago + + *pous, podos,* pé). Moluscos com cabeça distinta e muitos com concha espiralada (faltam conchas nas lêsmas). Ex. caramujo, caracol, lesma.



AP. 47 — Caramujo

Classe Scaphopoda. (Gr.: *skaphe,* barco + + *pous, podos,* pé). Marinhos; concha em forma de cone; sem cabeça distinta. Um grupo relativamente pequeno. Ex. *Dentalium.*



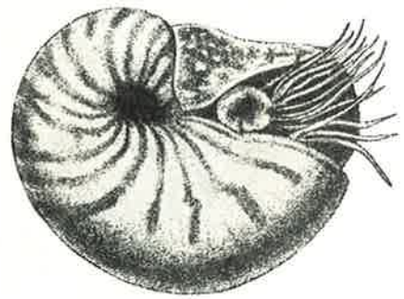
AP. 47 — *Dentalium*

Classe Pelecypoda. (Gr.: *pelekys,* machado + + *pous, podos,* pé). Moluscos sem cabeça distinta, com concha dividida em duas valvas. Ex. ostras, mariscos.



AP. 49 — Marisco

Classe Cephalopoda. (Gr.: *kephale,* cabeça + + *pous, podos,* pé). Marinhos, com ou sem conchas, cabeça bem desenvolvida com olhos. Pé transformado em tentáculos com ventosas. Ex.: lula, polvo (ap. 50).



AP. 50 — *NAUTILUS*

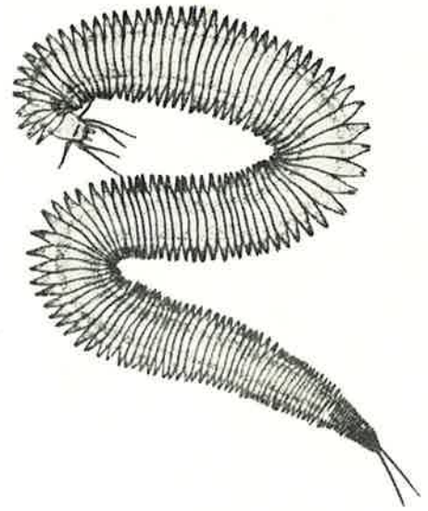
Filo Annelida

(Vermes segmentados)

O nome do filo vem do latim: *anulus,* anel.

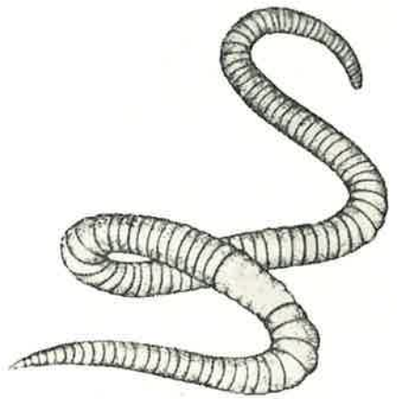
Vermes segmentados tais como minhocas e sanguessugas. Simetria bilateral; sistema de órgãos relativamente complexos. Apêndices não articulados, quando presentes. Segmentos do corpo mais ou menos semelhantes. Marinhos, de água doce ou terrestres. Intimamente relacionados aos artrópodes. Cêrca de 8.000 espécies descritas, divididas em cinco classes:

Classe Polychaeta. (Gr.: *polys,* muito + *khaite,* pêlos). Quase exclusivamente marinha. Constroem tubos ou cavam buracos na areia. Geralmente com apêndices lomocotores em cada segmento do corpo (parapódios). Apêndices cefálicos freqüentes. Ex. *Nereis, Chetopterus.*



AP. 51 — *NEREIS*

Classe Oligochaeta. (Gr.: *oligos,* pouco + + *khaite,* pêlos). Muitos adaptados à água doce e outros terrestres. Apêndices do corpo reduzidos ou ausentes. Ex. minhocas.

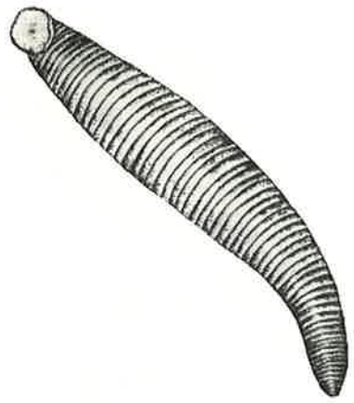


AP. 52 — Minhoca

Classe Archiannellida. Pequeno grupo de anelídeos primitivos.

Classe Hirudinea. (Lt.: *hirudo,* sanguessuga). Animais de água doce ou terrestres. Adaptados ao ectoparasitismo. Sem apêndices locomotores; apresentam duas ventosas. Ex. sanguessuga (ap. 53).

Classe Gephyrea. Formas encontradas ao longo das praias, enterradas na areia. Classificação duvidosa.



AP. 53 — Sanguessuga

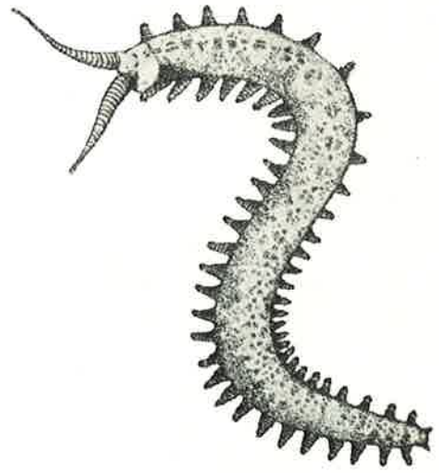
Filo Arthropoda

(Artrópodes)

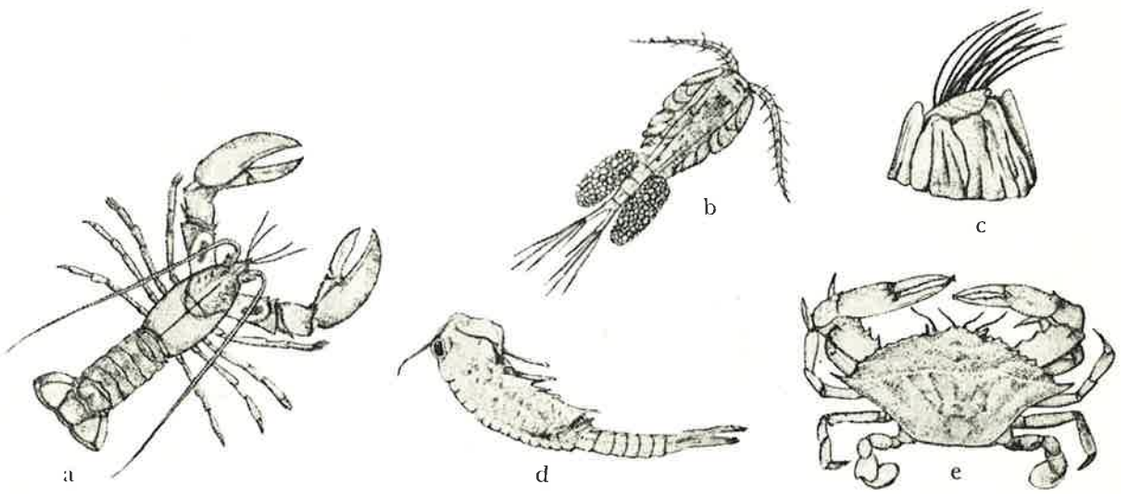
O nome do filo vem do grego: *arthron,* articulação + *pous, podos,* pé.

Crustáceos, centopéias, insetos, aranhas e animais relacionados a êsses. Animais complexos; exosqueleto; apêndices articulados; sementação bem desenvolvida com tendência dos segmentos se fundirem ou se agruparem formando regiões do corpo distintas. Respiração por brânquias, traquéias ou modificações dessas. Cordão nervoso ventral e sistema circulatório lacunoso. Habitam todos os ambientes. Cêrca de 650.000 espécies vivas são conhecidas, das quais 600.000 são insetos, 90 % do reino animal. Classificação variável, mas geralmente são admitidas as classes seguintes:

Classe Onychophora (Gr.: *onyx, ukhos,* garra + *phoros,* portador). Artrópodes vermiformes, terrestres, de região tropical. Possuem uma série de pares de patas mostrando fraca segmentação. Respiração traqueal como

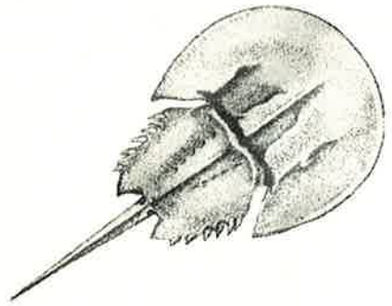


ap. 53 *Peripatus*

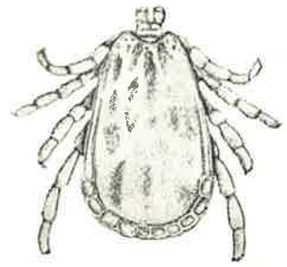


a — lagosta; b — *Cyclops;* c — craca; d — pulgão d'água; e — siri

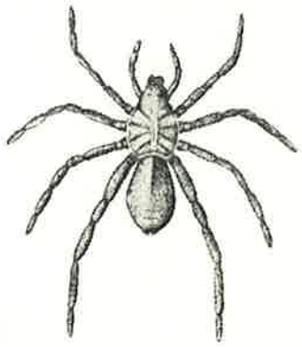
AP. 55 — CRUSTÁCEOS



Limulus



Carrapato



Aranha

AP. 56 — ARACNÍDEOS

a dos insetos. São de interêsse para a Biologia porque combinam muitas das características dos anelídeos às dos artrópodes. Às vêzes colocados num filo à parte. Ex. *Peripatus* (ap. 54).

Classe Crustacea. (Lt.: *crusta,* casca). Artrópodes com 2 pares de antenas. Respiração branquial. Maioria de habitat aquático, mas alguns terrestres, ocorrendo em lugares úmidos. Ex.: lagosta, camarão, caranguejo, siri, craca, barata-de-praia, *Daphnia* (ap. 55).

Classe Arachnida (Gr.: *arakhne,* aranha). Artrópodes sem antenas e com 4 pares de patas. Respiração por meio de filotraquéias (pulmões em livro). Segmentação reduzida. Ex. escorpião, aranha, carrapato, *Limulus* (ap. 54).

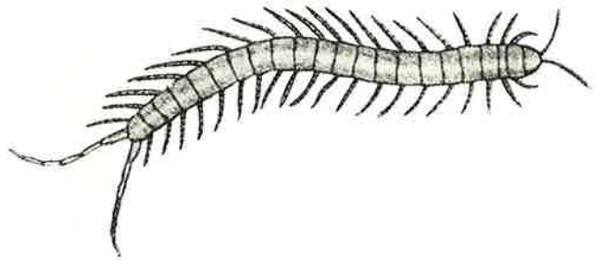
Classe Chilopoda (Gr.: *kheilos,* lábio + *pous, podos,* pé). Artrópodes de corpo alongado e aparentemente semelhantes a vermes. Um par de antenas longas; um par de garras ligadas a glândulas de veneno. Corpo achatado com um par de patas em cada segmento do abdome. Ex. centopéia (ap. 57).

Classe Diplopoda (Gr.: *diploos,* dois + *pous, podos,* pé). Artrópodes de corpo alongado e aparentemente semelhantes a vermes. Um par de antenas curtas. Corpo cilíndrico com dois pares de patas em cada segmento do abdome. Ex. piolho-de-cobra (ap. 58).

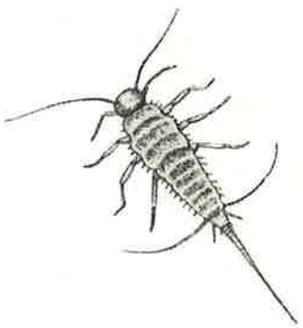
ap. 57 Milípede

Classe Insecta (Lt:. *in,* dentro + *secare,* dividir — devido ao corpo segmentado). Artrópodes com um par de antenas. Três pares de patas. Respiração traqueal. Corpo geralmente dividido em cabeça, tórax e abdome. Muitos com asas. Algumas das ordens mais freqüentes são:

Ordem Thysanura. (Gr.: *thysanus,* borla + + *oura,* cauda). Insetos pequenos e sem asas. Escamas minúsculas e de tonalidade prateada. Três longos apêndices filiformes no último segmento do abdome. Ex.: traça-de-livro.



AP. 57 — Centípede



AP. 59 — Traça-de-livro

Ordem Collembola. (Gr.: *kolla,* cola + *embole,* inserção). Insetos pequenos e sem asas. Abdome freqüentemente com um órgão ventral que permite a locomoção por salto.

Ordem Orthoptera. (Gr.: *orthos,* direito + + *pteron,* asa). Terrestres, asas anteriores pergaminâceas recobrindo as posteriores que são membranosas. Aparelho bucal do tipo triturador. Ex.: gafanhotos, baratas, louva-a-deus, bicho-pau.



AP. 60 — Gafanhoto

Ordem Isoptera (Gr.: *isos,* igual + *pteron,* asa). Térmites. Corpo pequeno e macio. Formas aladas e não aladas; aparelho bucal triturador. Insetos sociais.



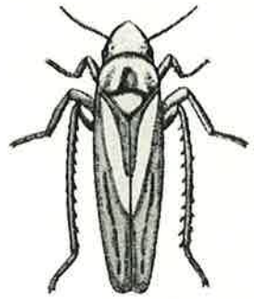
AP 61 — Térmite

Ordem Anoplura (Gr.: *anoplos,* desarmado + + *oura,* cauda). Piolhos. Insetos pequenos e sem asas. Corpo achatado. Aparelho bucal triturador ou sugador. Parasitas.



AP. 62 — Piolho

Ordem Homoptera (Gr.: *homos,* igual + + *pteron,* asa). Cigarra, afídeos (pulgões). Sem asas ou com dois pares de asas membranosas, apresentando as anteriores consistência mais ou menos espêssa. Aparelho bucal sugador pungitivo.



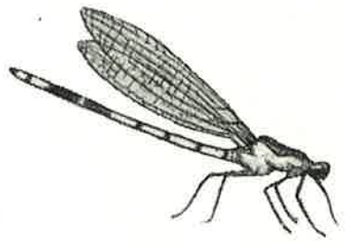
AP. 63 — Cigarra

Ordem Hemiptera (Gr.: *hemi,* metade + *pteron,* asa) Percevejos, barbeiro ou chupança, baratas-d'água. Sem asas ou com dois pares de asas sendo as anteriores parcialmente coriáceas. Aparelho bucal do tipo pungitivo.



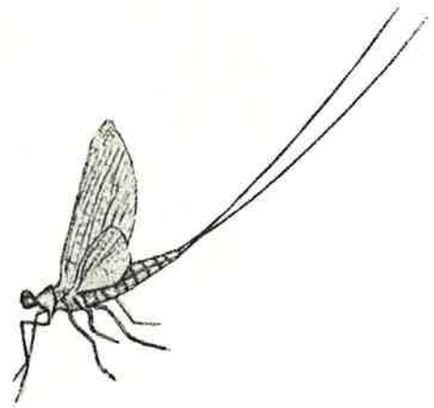
AP. 64 — Hemíptero aquático

Ordem Odonata. Libélulas. Insetos grandes com dois pares de asas semelhantes. Antenas curtas. Corpo longo e fino. Formas imaturas aquáticas.



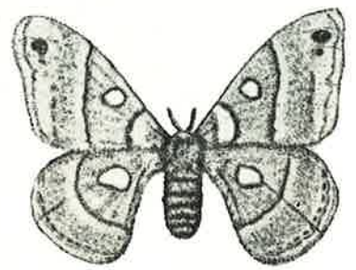
AP. 65 — Libélula

Ordem Ephemerida (Gr.: *ephemeros,* efêmero). Dois pares de asas transparentes, sendo as posteriores menores. Dois ou três filamentos longos na parte terminal do abdome. Formas imaturas aquáticas (ap. 66).



AP. 66

Ordem Lepidoptera (Gr.: *Lepidos,* escama + + *pteron,* asa). Borboletas e maripôsas. Dois pares de asas com escamas; aparelho bucal sugador em forma de tromba.



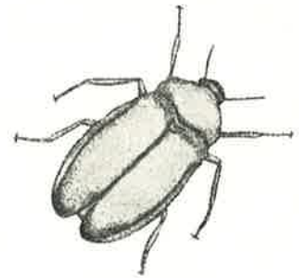
AP. 67 — Maripôsa

Ordem Diptera (Gr.: *dis,* duas vêzes + *pteron,* asa). Môscas e mosquitos. Dois pares de asas, sendo o segundo par reduzido e com forma de halteres (balanceiros). Antenas pequenas. Olhos grandes. Aparelho bucal sugador pungitivo ou não pungitivo.



AP. 68 — Môsca

Ordem Coleoptera (Gr.: *koleos,* estôjo + *pteron,* asa). Besouros. Sem asas ou com dois pares de asas, sendo o anterior duro e espêsso, recobrindo as posteriores. Aparelho bucal triturador. Antenas geralmente curtas.



AP. 69 — Besouro

Ordem Hymenoptera. (Gr.: *hymen, enos,* membrana + *pteron,* asa). Abelhas, vespas e formigas. Sem asas ou com dois pares de asas sendo as posteriores menores. Aparelho bucal triturador ou sugador. Insetos sociais.



AP. 70 — Vespa

Filo Echinodermata

(Equinodermos)

O nome do filo vem do grego: *ekhinos,* áspero, espinhoso + *derma,* pele.

Estrêlas-do-mar, ouriços-do-mar, pepino-do-mar. Todos marinhos. Animais complexos. Adultos com simetria radial (geralmente pentarradial) e as larvas com simetria bilateral. Tegumento geralmente recoberto por espinhos; esqueleto formado por placas calcárias podendo ser reduzido em alguns. Sistema ambulacral. Celoma desenvolvido. Cêrca de 6.000 espécies atuais, divididas em cinco classes:

Classe Crinoidea. (Gr.: *krinon,* lírio + *eidos,* aspecto). Equinodermos que lembram vege-

tais no aspecto. Longos braços geralmente ramificados e freqüentemente presos por um pendúnculo ao fundo do oceano (ap. 71).



AP. 71

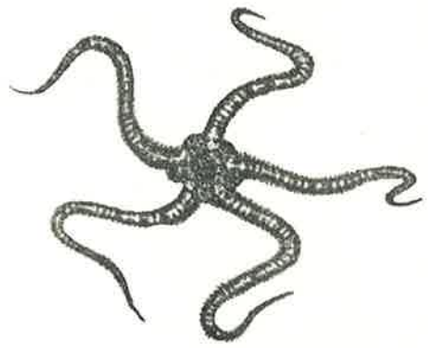
Classe Asteroidea. (Gr.: *aster, eros,* estrêla + + *eidos,* aspecto). Equinodermos com forma típica de uma estrêla com cinco pontas. O disco central contém cinco projeções regularmente espaçadas (braços). Ex. estrêla-do-mar.



AP. 72 — Estrêla-do-mar

Classe Ophiuroidea. (Gr.: *ophis,* serpente + + *oura,* cauda + *eidos,* aspecto). Equinodermos com cinco braços (às vêzes ramificados) longos e finos saindo do disco central e que não apresentam goteira ventral (ap. 73).

Classe Echinoidea, (Gr.: *ekhinos,* áspero, espinhoso + *eidos,* forma). São esféricos ou discóides, sem braços, mas com espinhos longos ou com estruturas curtas, semelhantes a pêlos, prendendo-se as placas calcárias que constituem o esqueleto. Ex. ouriço-do-mar, corrupio.

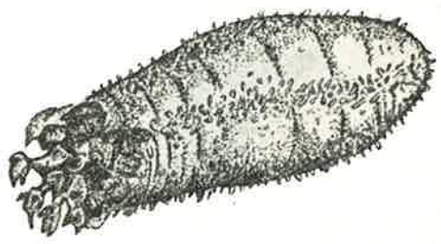


AP. 73 — OFIUROIDEA



AP. 74 — Ouriço-do-mar

Classe Holothuroidea. (Gr.: *holothurion,* uma espécie de animal aquático + *eidos,* forma). Equinodermos de corpo alongado, sem braços, com tentáculos ao redor da bôca. Não há espinhos no tegumento e o esqueleto é reduzido a partículas microscópicas imersas na parede do corpo. Ex. *Holothuria* (pepino-do-mar).



AP. 75 — *HOLOTHURIA*

Filo Chordata

(Cordados)

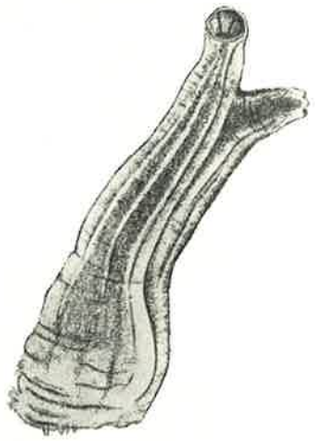
O filo é caracterizado pela presença de notocórdio, pelo menos em alguma etapa do desenvolvimento embrionário; tubo nervoso dorsal e fendas branquiais na faringe (também, pelo menos, na fase embrionária). Segmentação e celoma evidentes. Há cêrca de 70.000 espécies existentes, divididas em quatro subfilos. Os primeiros três podem ser agrupados sob o nome de Protocordados; o quarto subfilo, Vertebrados, pode ser dividido em sete classes.

Subfilo Hemichordata

Animais marinhos, vermiformes. Vivem em galerias que cavam na areia. O corpo é dividido em três regiões distintas. Tubo nervoso dorsal, localizado na região colar; fendas branquiais na faringe; notocórdio apenas na região anterior do corpo. Sem endosqueleto. A comparação do estágio larvar com o dos equinodermos indica um ancestral comum. Ex.: *Balanoglossus.*

Subfilo Urochordata

Tunicados. Animais pequenos, marinhos, fazendo parte do plâncton ou presos a um substrato quando adultos. Sem endosqueleto; notocórdio e tubo nervoso dorsal degeneram no adulto. Ex.: *Ascídeas.*



AP. 76 — Ascídeas

Subfilo Cephalochordata

Animais pequenos, livres-natatórios, translúcidos, marinhos, tendo forma semelhante à dos peixes. Tubo nervoso dorsal e notocórdio bem desenvolvidos. Fendas branquiais na faringe. Ex.: *Amphioxus.*

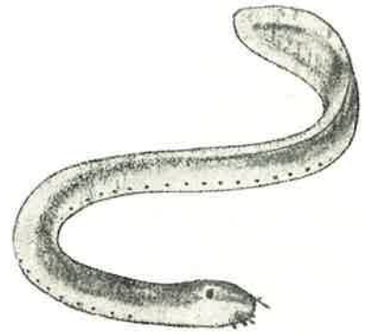


AP. 77 — *AMPHIOXUS*

Subfilo Vertebrata

O notocórdio, presente no embrião, é substituído pela coluna vertebral que é o eixo central do endoesqueleto. Cérebro protegido por um crânio ósseo ou cartilaginoso. Muitos têm apêndices locomotores pares e quase todos têm órgãos olfativos, ouvido e olhos. A maioria dos cordados pertence a êsse subfilo. Podem ser divididos nas seguintes classes:

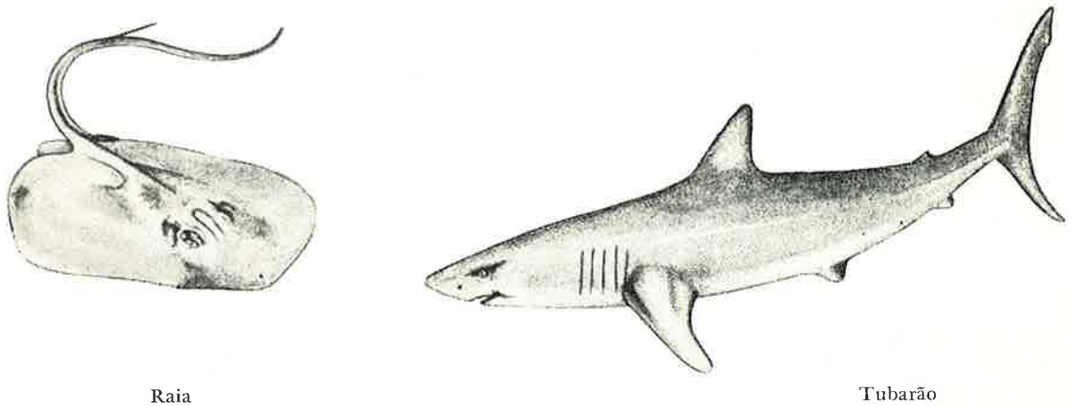
Classe Agnatha. (Gr.: *a,* sem + *gnathos,* mandíbula). São vertebrados marinhos, de corpo vermiforme, sem nadadeiras pares. A bôca situa-se na base de uma cavidade em forma de funil e realiza movimentos de sucção na alimentação. Esqueleto cartilaginoso e coração com duas cavidades. Ex.: lampreia.



AP. 78 — Lampreia

Classe Chondrichthyes. (Gr.: *khondros,* cartilagem + *ikhthyes, nos,* peixe). Peixes cartilaginosos, marinhos, com mandíbulas e nadadeiras pares. Os tubarões e as raias são os representantes mais importantes da classe. Coração com duas cavidades (ap. 79).

Classe Osteichthyes. (Gr.: *osteon,* osso+ *ikhthyes, nos,* peixe). Peixes de esqueleto ósseo. A maioria dos peixes atuais pertence a essa classe e possui um esqueleto ósseo, escamas

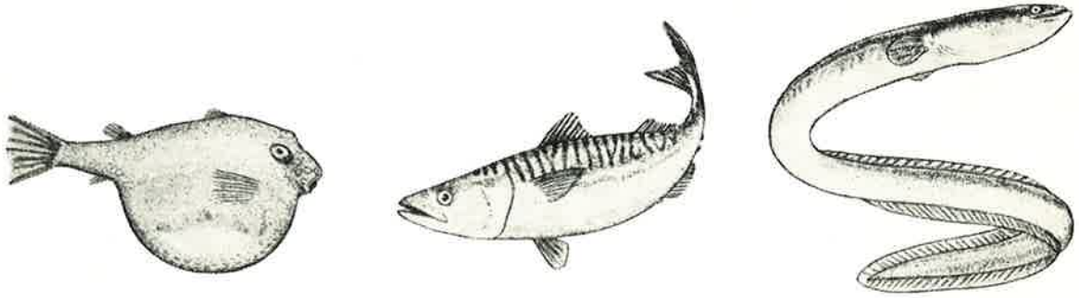


Raia Tubarão

AP. 79 — PEIXES CARTILAGINOSOS

e bexiga natatória. Coração com duas cavidades (ap. 80).

Classe Amphibia. (Gr.: *amphi,* duplo + *bios,* vida). Salamandras, sapos, rãs, cobra-cega. Fase larvar adaptada à vida aquática, respirando por brânquias. Adultos adaptados à vida terrestre e com respiração pulmonar e cutânea. Tetrápodes típicos (2 pares de pa-

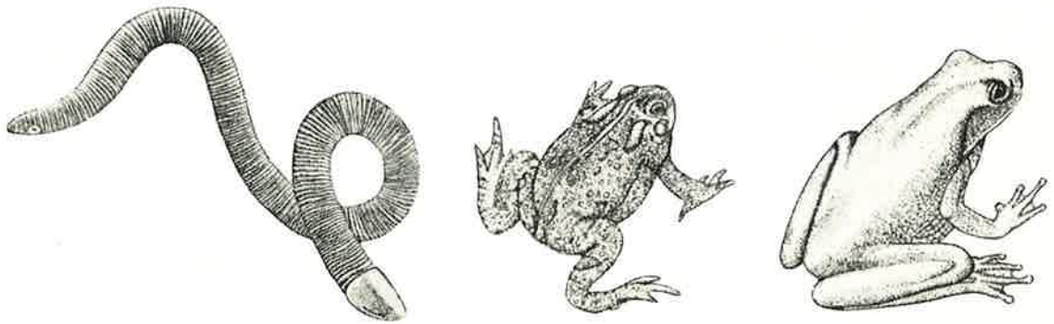


Baiacu Enguia

AP. 80 — PEIXES ÓSSEOS

Animais com tegumento sem escamas e úmido devido a grande quantidade de glândulas produtoras de muco que possuem na pele.

tas) embora os apêndices possam ser reduzidos ou faltar em algumas espécies. Dedos sem garras. Coração com três cavidades (ap. 81).

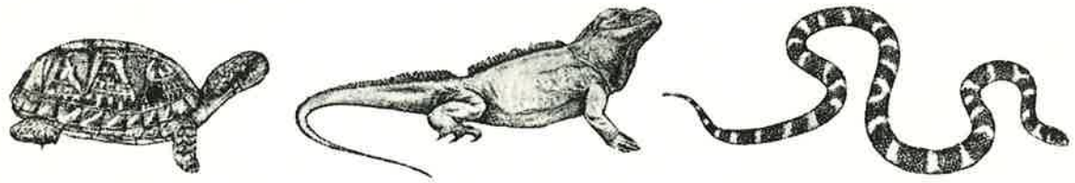


Gymnophiona (cobra-cega) Sapo Rã

AP. 81 — ANFÍBIOS

Classe Reptilia. (Lt.: *repere,* rastejar). Cobras, lagartos, tartarugas, jacarés e crocodilos. Animais de respiração pulmonar. Apresentam escamas de origem epidérmica; alguns com ossos dérmicos. Independem do meio aquático para reprodução; os ovos têm membranas que contêm líquidos e são protegidos pela casca. Inclui transição entre coração com três e quatro câmaras (ap. 82).

Ordem Marsupialia. (Gr.: *marsypos,* bôlsa). Canguru, gambá, cuíca. Os filhotes nascem muito pequenos e incompletos e terminam seu desenvolvimento na bôlsa marsupial. Aplacentários (ap. 85).

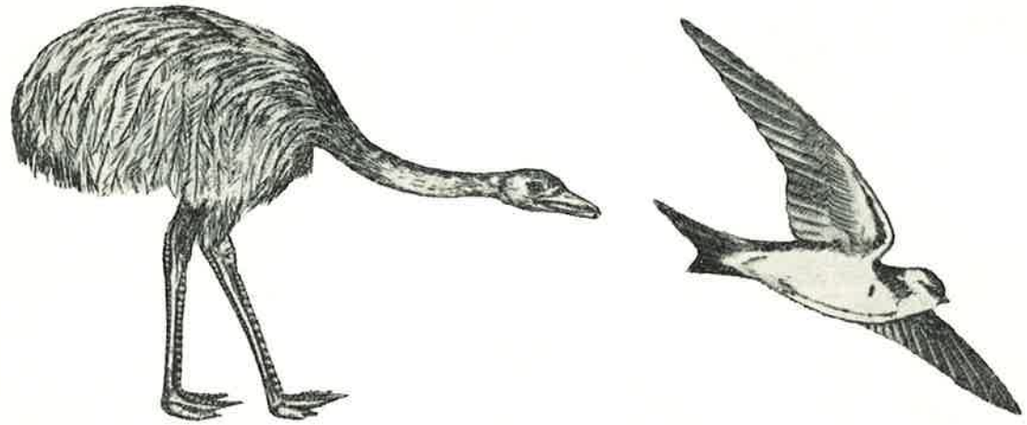


Jabuti Iguana Cobra

AP. 82 — RÉPTEIS

Classe Aves. (Lt.: *avis,* pássaro). Tegumento com penas. Esqueleto com ossos ocos. Animais homotérmicos (mantêm temperatura do corpo constante). Coração com 4 cavidades (ap. 83).

Ordem Insectivora. (Lt.: *insectum,* inseto + + *vorare,* comer). Pequenos mamíferos que se alimentam de insetos, adaptados para cavar buracos onde vivem. Geralmente com metabolismo muito alto; comem vorazmente (ap. 86).



Ema Andorinha

AP. 83 — AVES

Classe Mammalia. (Lt.: *mamma,* glândula mamária). Mamíferos. Tegumento com pêlos. Os filhotes são alimentados com leite segregado pelas glândulas mamárias das mães. Animais homotérmicos. Coração com 4 cavidades. As ordens mais comuns são:

Ordem Monotremata. (Gr.: *monos,* um + + *trema,* abertura). Ornitorrinco e equidna. Animais primitivos, mamíferos semelhantes a répteis encontrados na região australiana. Ovíparos, sem placenta e glândulas mamárias sem mamilos (ap. 84).

Ordem Chiroptera. (Gr.: *kheir, kheiros,* mão + *pteron,* asa). Morcegos. Únicos mamíferos voadores. Dois grandes grupos são frugívoros e vivem nos trópicos e um outro grupo, menor, é insetívoro e é encontrado no mundo todo (ap. 87).

Ordem Primata: (Lt.: *primus,* primeiro). Macacos, sagüis, homem. Crânio grande,



ap. 84 Ornitorrinco



ap. 86 Toupeira



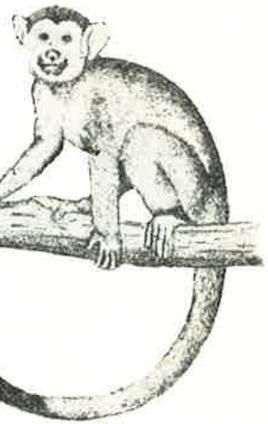
ap. 87 Morcêgo



ap. 85 Canguru



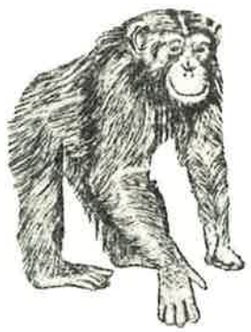
Família Lorisidae



Família Cebidae



Família Tarsiidae



Família Pongidae
(Chimpanzé)



Família Cercopithecidae
(babuino)

AP 88 — PRIMATAS

olhos situados frontalmente. Os indivíduos geralmente podem ter posição ereta. Polegar em oposição aos outros dedos. Os dedos têm unhas em lugar de garras (ap. 88).

Ordem Edentata. (Lt.: *edentare,* tirar os dentes). Preguiça, tatu, tamanduá. Sem dentes ou com dentes reduzidos. Alimentam-se de frutos e insetos. São encontrados nas regiões tropicais do Nôvo Mundo.



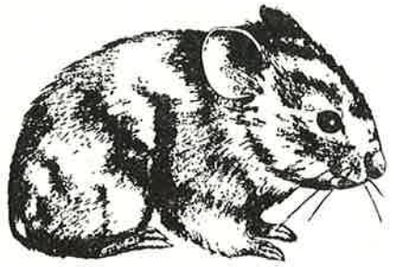
ap. 88 Porco-espinho

Ordem Rodentia. (Lt.: *rodere,* roer). Ratos, camundongo, castor, preá, paca. Grupo encontrado em tôdas as partes do mundo, constituído principalmente por mamíferos pequenos com dentes adaptados para roer: 4 grandes incisivos com ponta em bisel. Grande capacidade reprodutora (ap. 89).

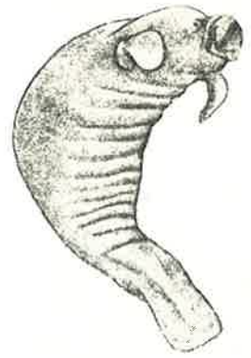
Ordem Lagomorpha. (Gr.: *lagos,* lebre + + *morphe,* forma). Coelhos e lebres. Mamíferos semelhantes aos roedores mas com 2 pares de incisivos no maxilar superior (ap. 90).



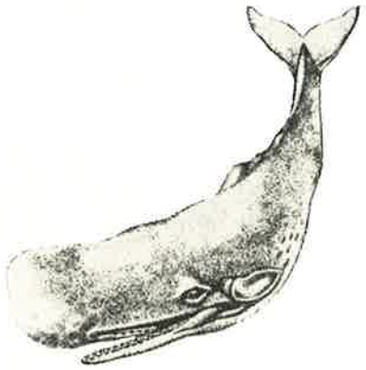
ap. 92 Hiena



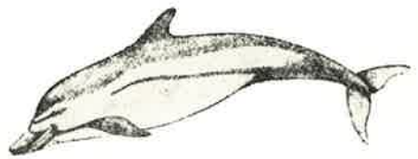
ap. 90



ap. 93 Peixe-boi



Cachalote

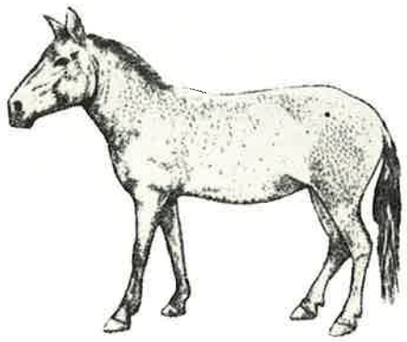


Delfim

AP. 91 — CETÁCEOS

Ordem Cetacea. (Gr.: *ketos,* baleia). Baleias, bôto, cachalote. Mamíferos marinhos com membros anteriores reduzidos a nadadeiras e os posteriores ausentes. Pêlos reduzidos; olhos pequenos e cabeça muito grande (ap. 91).

Ordem Carnivora. (Lt.: *carnis,* carne + *vorare,* comer). Cão, gato, urso, foca. Geralmente com garras e dentes altamente especializados para cortar e triturar carne (ap. 92).



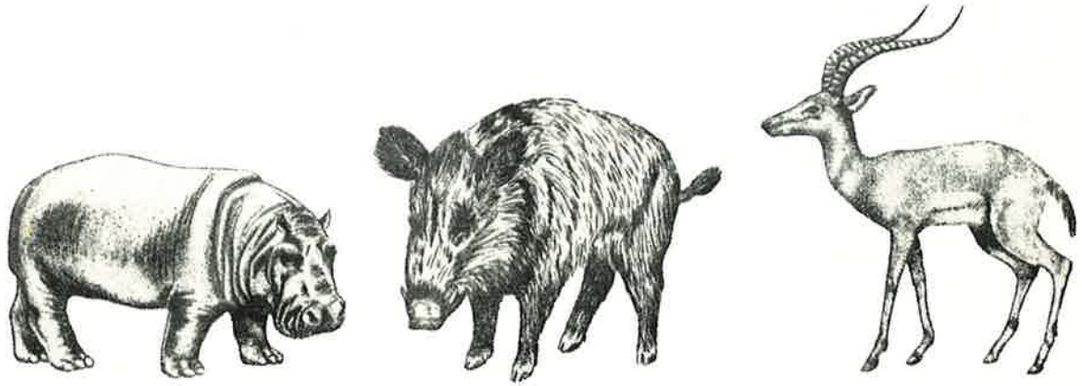
AP. 94 — Asno

Ordem Proboscidea. (Gr.: *pro,* antes + *boskein,* alimentar). Elefantes. Mamíferos herbívoros, com nariz transformado em tromba.

Ordem Sirenia. (Lt. *sirena,* sereia). Peixe-boi. Aquáticos, herbívoros, sem membros posteriores e com cauda larga e achatada. Poucos pêlos (ap. 93).

Ordem Perissodactyla. (Gr.: *perissos,* desiguais + *daktylos,* dedo). Cavalo, hipopótamo, zêbra. Herbívoros, com cascos e número ímpar de dedos: um, três ou cinco (ap. 94).

Ordem Artiodactyla. (Gr.: *artios,* iguais, + + *daktylos,* dedo). Suínos (porco, javali), Cervídeos (veados), Girafídeos (girafas), Camelídeos (camelo, dromedário), Bovídeos (boi, carneiro). Herbívoros, com cascos e número par de dedos. Muitos com chifres ou cornos (ap. 95).



Hipopótamo

Javali

Impala

AP. 95 — ARTIODÁCTILOS

GUIA DE LABORATÓRIO

CENTRO DE TREINAMENTO PARA PROFESSÔRES DE CIÊNCIAS DE SÃO PAULO

INTRODUÇÃO AO TRABALHO DE LABORATÓRIO

Êste curso de laboratório tem dupla finalidade. A primeira é apresentar alguns fatos que sustentam os conceitos biológicos mais gerais. A segunda e, talvez, a mais importante é permitir que você participe ativamente de investigação científica.

O laboratório é a oficina do cientista. É o lugar em que se percebem melhor os problemas existentes sôbre a natureza e onde melhor se podem encontrar respostas para êsses problemas. Estudos e discussões são importantes em Ciência, mas é no laboratório que as idéias são testadas. Será no laboratório que você entenderá porque a Ciência depende de medidas precisas, de observações acuradas e de comunicação clara e concisa.

Para realizar eficientemente seu trabalho, você terá de aprender algumas técnicas básicas. Aprenderá a usar aparelhos como o microscópio, a balança e o manômetro. Aprenderá a lidar com os organismos vivos. Observar cuidadosamente às seguintes regras, ajudá-lo-á a adquirir a habilidade necessária para o trabalho do laboratório.

I. REGRAS IMPORTANTES PARA O TRABALHO DE LABORATÓRIO

1. Leia o exercício marcado, antes do dia de trabalho no laboratório. O tempo disponível deve ser empregado sòmente para fazer as experiências e observações.

2. Antes de começar a trabalhar, separe o material que irá necessitar. Isto evitará confusão e perda de tempo.

3. Etiquete cuidadosamente todos os materiais.

4. Siga precisamente as instruções. Assim "um minuto" significa "um minuto contado no relógio". Trabalho feito sem cuidado é tempo perdido.

5. Depois de usar, guarde sempre o material em seu lugar.

II. LIMPEZA

1. Depois de usar, lave a vidraria e os instrumentos com detergente e enxágüe em água limpa. Para retirar manchas produzidas por corantes em pipêtas ou lâminas, deixe o material em água ligeiramente acidulada com ácido clorídrico diluído.

2. Quando forem necessários métodos para esesterilização, siga exatamente as instruções.

3. Não jogue o lixo nas pias. Embrulhe-o em papel e ponha na lata de lixo.

4. No fim do trabalho, deixe seu lugar no laboratório em ordem. Esvazie a pia e seque a mesa.

III. CUIDADOS COM PLANTAS E ANIMAIS

1. Regue as plantas diàriamente. A terra deve ficar úmida, mas não encharcada.

2. Providencie diàriamente água e alimento para os animais. Em alguns casos devem ser tomadas providências para que as plantas e animais recebam cuidados nos fins de semana.

3. Certifique-se de que os animais estão bem presos e não podem fugir.

4. Limpe as gaiolas diàriamente.

5. O uso dos animais vivos em laboratório deve ser considerado um privilégio. Você deve tratá-los com humanidade. Quando tiver de matar um animal, use anestesia.

IV. CUIDADOS COM O MATERIAL DE LABORATÓRIO

Grande parte do material que você vai usar é caro. Seja cuidadoso. Um descuido pode significar a perda de material ou de equipamento valioso.

VI. MANUTENÇÃO DE REGISTROS

1. Uma das mais importantes partes de seu trabalho é a anotação de dados. Anote os resultados num caderno, na hora da observação. Coloque a data da obtenção dos dados.

2. Organize o relatório de cada experiência de uma forma lógica, como por exemplo:

a) Título.
b) Problema considerado.
c) Procedimento.
d) Resultados; podem ser dados em forma de tabelas, gráficos, descrições, desenhos, etc.
e) Conclusões.

Estas são apenas sugestões para os relatórios; você poderá modificá-los segundo sugestões do professor.

3. Escreva sempre em linguagem simples e clara, usando as palavras mais adequadas.

4. Sempre que possível, represente os dados quantitativamente. Não dê uma idéia de maior precisão do que o real. Não diga que uma coisa pesa 1,00 g quando sua balança não tem precisão maior que 0,1 g. Ao tirar médias não leve a conta até várias casas decimais, quando os dados originais têm uma precisão menor.

5. Os gráficos representando dados quantitativos são muito importantes para as comunicações científicas. Use-os sempre que possível. Coloque os pontos cuidadosamente no gráfico e una-os por linhas bem desenhadas. Não esqueça de mencionar a que unidades se referem as quantidades, tanto no eixo vertical (ordenada) como no horizontal (abscissa), e de colocar um título conciso.

6. Desenhos são uma parte importante dos relatórios. Quando necessários, faça-os à lápis com linhas firmes e contínuas. Ponha nome nas estruturas. Não use sombreado porque em geral isto mais confunde do que esclarece.

Exercício 1

MEDIDAS EM BIOLOGIA

MEDINDO NO LABORATÓRIO

No Capítulo 1 dêste livro você aprendeu que Ciência é uma interação de fatos e idéias. Fatos são observações que podem ser repetidas e verificadas; as idéias resultam da atividade mental. Os fatos, isolados, não contribuem para a Ciência — é preciso que estejam organizados num conjunto de explicações e hipóteses. Por outro lado, a atividade mental, que não esteja baseada em fatos, tem pouca relação com a realidade. No laboratório você executará duas importantes atividades científicas: observação cuidadosa e interpretação racional.

Usaremos diversas formas de observação, não só através dos órgãos dos sentidos como também através de instrumentos — réguas, balanças, termômetros, etc. Em alguns casos observaremos coisas que não se modificam mas, mais freqüentemente, lidaremos com modificações associadas às atividades dos sêres vivos. Tais modificações podem ser: variação nas côres, no tamanho, na forma, na locomoção, etc. Em alguns casos serão necessários instrumentos especiais para que se possam perceber as modificações.

As observações podem ser *qualitativas* ou *quantitativas*. As qualitativas envolvem uma qualidade ou característica de um objeto ou acontecimento e, geralmente, podem ser feitas apenas com órgãos dos sentidos, dispensando o auxílio de instrumentos. Por exemplo, ao observarmos um copo de limonada, poderemos dizer que é um líquido verde-claro, frio e de gôsto característico. Numa outra experiência poderemos ver um determinado líquido mudar de côr, passando do amarelo a azul, por exemplo. De modo geral, as observações qualitativas são as que se fazem primeiro e podem estimular o raciocínio e levar a outras investigações.

As observações quantitativas são mais exatas; nelas é introduzida a idéia de quantidade, tal como: *Quanto? De que tamanho? Qual é a velocidade?* São mais difíceis porque dependem de instrumentos precisos que ampliam a capacidade dos órgãos dos sentidos.

Nas pesquisas científicas modernas as observações quantitativas desempenham um papel importantíssimo. *Medir é comparar um objeto ou acontecimento com um objeto ou acontecimento padrão.*

VARIABILIDADE E ÊRRO DE MEDIDA

Material

fita métrica
régua graduada

Procedimento

Êste exercício deve ser feito por pequenos grupos; cada grupo deve obter as alturas de todos os colegas da classe. Todos devem manter os sapatos e as medidas obtidas (em centímetros) devem ser aproximadas até o inteiro mais próximo.

Anote tôdas as medidas em ordem crescente e prepare uma tabela como a seguinte, dada como exemplo:

ALTURA	*NÚMERO DE INDIVÍDUOS*
141 — 145 cm	1
146 — 150 cm	2
151 — 155 cm	4

Com êstes dados, prepare um gráfico que mostre as relações entre o número de pessoas de cada grupo e os grupos obtidos, como mostra a figura 1 — 1:

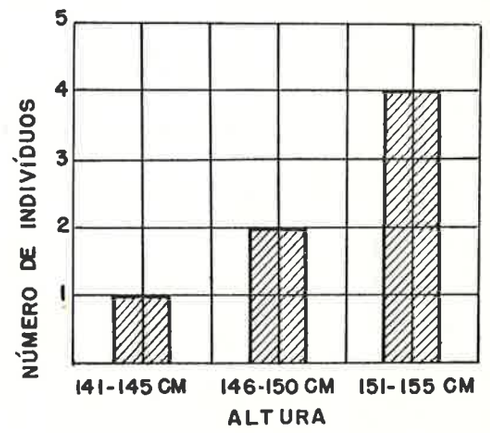


Figura 1-1

Em seguida, meça, com uma régua, o comprimento desta página; anote o resultado em milímetros — se obtiver fração, aproxime-a até o milímetro mais próximo. O passo seguinte requer *honestidade científica:* as medidas obtidas por todos os alunos deverão ser colocadas no quadro-negro e todos deverão copiar a lista e examiná-la para verificar se há alguma vantagem em organizar grupos de números, como no caso anterior. Prepare um gráfico com essas medidas.

Discussão

1. Considerando-se as alturas dos alunos, qual é a mais freqüente entre os componentes de sua classe?

2. Quais são as alturas menos comuns?

3. Qual é a vantagem de se construírem gráficos?

4. Que diferenças você esperaria se as medidas fôssem feitas sem os sapatos? Que resultado seria mais exato? Por quê?

5. Os comprimentos de tôdas as páginas medidas são os mesmos?

6. Se houver variação, ela é tão grande quanto a da altura das pessoas?

7. Como se explicam as variações que aparecem?

MEDIDA DE UMA MODIFICAÇÃO BIOLÓGICA SIMPLES

Material

batata
furador de rôlhas ou cortador: tome um paralelepípedo de madeira, de cêrca de 1 cm de largura, 2 de altura e 10 de comprimento. Com um bom cola-tudo, cole as duas lâminas de barbear nas faces de 2 cm de altura.
régua
proveta graduada
estilete
solução de cloreto de sódio a 5 %: coloque na proveta 5 g de sal e adicione água até completar 100 ml de solução.
solução de cloreto de sódio a 10 %: coloque 10 g de sal na proveta e adicione água até completar 100 ml de solução.
3 béqueres* de 100 ml
etiquêtas
papel de alumínio

Procedimento

Corte três pedaços de batata, em forma de paralelepípedo ou de cilindro, que tenham aproximadamente 4 cm de comprimento. Meça exatamente o comprimento, a largura e a altura de cada pedaço, aproximando o resultado, se necessário, até o milímetro seguinte. Calcule o volume em cm^3.

Coloque uma certa quantidade de água na proveta. Pergunte ao professor como ler o nível da água corretamente. Com o estilete coloque na proveta um dos pedaços de batata, que chamaremos de A; êle deve ficar completamente imerso. Observe o nível da água e calcule a diferença — esta representa o volume do paralelepípedo (ou do cilindro). Realize as mesmas observações com os outros dois pedaços de batata (B e C). Em seguida, coloque o pedaço *A* em um béquer contendo água pura, o *B* em um béquer com solução de cloreto de sódio a 5 % e o *C* no terceiro béquer com solução a 10 %.

Verifique se todos os béqueres estão devidamente etiquetados e cubra-os com papel de alumínio. No dia seguinte, retire os pedaços de batata e faça novas medidas de comprimento, largura, altura e volume.

Será mais fácil analisar os resultados se você colocá-los em uma tabela, como a da página anterior, por exemplo. Tente idealizar um outro tipo.

* Aportuguesação de *beaker* = copo grande, de bôca larga.

	A		B		C	
	antes da imersão	depois da imersão	antes da imersão	depois da imersão	antes da imersão	depois da imersão
Altura						
Comprimento						
Largura						
Vol. calculado						
Vol. medido						

Discussão

8. Foram usados dois métodos para determinar o volume dos pedaços de batata. Os resultados são os mesmos? Por quê?

9. Que modificações ocorrem nos pedaços de batata após 24 horas de imersão em água destilada?

10. Que modificações ocorreram nos pedaços de batata B e C?

11. Compare as variações em volume e as variações em pêso.

12. Qual é a relação entre a concentração das soluções salinas e as modificações ocorridas nos respectivos paralelepípedos ou cilindros?

13. Poderíamos formular a seguinte hipótese: "Deve haver uma determinada concentração para a solução na qual os paralelepípedos não se modificam"?

14. Planeje uma experiência para testar a hipótese acima.

Exercício 2

OBSERVAÇÃO QUALITATIVA DOS SÊRES VIVOS

Você deverá iniciar êste exercício pela parte que leva mais tempo e, enquanto espera os resultados, poderá realizar uma série de testes que o ajudarão a compreender o que está acontecendo.

Material

solução de azul de bromotimol — esta substância é um indicador — apresenta-se verde em meio neutro, azul em meio básico e amarelo em meio ácido.
estante para tubos de ensaio.
seis tubos de ensaio pequenos, com rôlhas.
algodão.
tubos de ensaio de tamanho médio.
provetas graduadas.
béqueres.
sacarose.
fermento Fleischmann — dissolva 100 g de sacarose em água até perfazer um litro de solução. Adicione meio tablete de fermento, agite bem e depois, deixe em repouso por um dia. Coloque a mistura em um béquer. Antes de usar, agite outra vez e ferva uma parte da mistura, em banho-maria, durante 15 minutos.
10 sementes de rabanete em dormência.
10 sementes de rabanete em germinação: coloque um pedaço de papel de filtro numa placa de Petri; umedeça-o e distribua as sementes sôbre êle; cubra-as também com papel umedecido e feche a caixa. A germinação deverá iniciar-se durante a noite.
papel de filtro.
conta-gôtas.
HCl — 0,1 N.
bicarbonato de sódio.
tubo de vidro ou plástico.
água contendo CO_2: faça reagir uma parte de bicarbonato de sódio com, aproximadamente, 2 ou 3 partes de HCl; faça passar, com auxílio de um tubo plástico ou de vidro, o CO_2 resultante pela água. Se você usar água gelada, maior será a quantidade de CO_2 que nela se disolverá.
canudos de refrêsco ou pipêtas.
funil.
hidróxido de cálcio.
água de cal: a um litro de água adicione um excesso de $Ca(OH)_2$. Deixe repousar até o dia seguinte e filtre. Feche bem o frasco até a hora de usar, para evitar que se turve. Se isso acontecer, filtre novamente antes de usar.
insetos: besouros ou môscas.

Procedimento

Coloque seis tubos de ensaio na estante e adicione a cada um dêles 5 gôtas do indicador, que deverá estar verde.

A um centímetro, aproximadamente, acima do indicador coloque um parafuso ou uma bolinha de algodão ou de papel servindo de suporte para o material, que não deve tocar no indicador. Prepare os tubos da seguinte maneira e tampe-os, em seguida, com uma rolha (fig. 2 — 1).

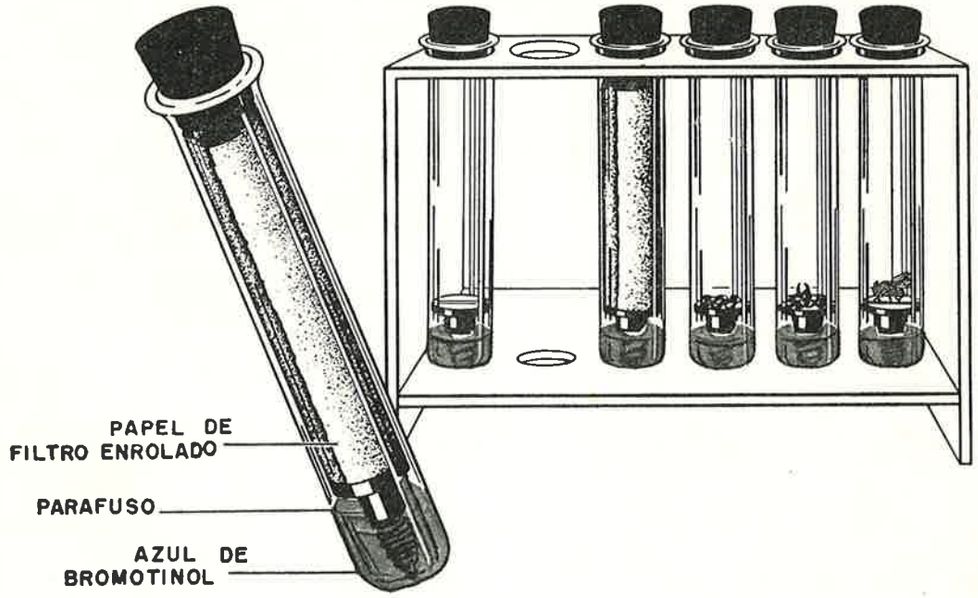


Figura 2-1

tubo 1: nada.
tubo 2: enrole uma tira de papel de filtro e mergulhe-a na suspensão de fermento. Segure-o sôbre o béquer até que pare de pingar e depois ponha-o no tubo 2.
tubo 3: prepare-o da mesma maneira que o anterior, mas use mistura de fermento fervida.
tubo 4: 10 sementes de rabanetes em dormência.
tubo 5: 10 sementes de rabanetes em germinação.
tubo 6: um inseto.

Arrolhe os tubos imediatamente após a montagem. Enquanto você prepara a série seguinte de tubos, observe nesses 6 as mudanças na côr do indicador. Anote suas observações cuidadosamente.

Nos testes seguintes você desenvolverá dois métodos para testar a presença de CO_2. Cada um dos métodos é baseado em diferentes propriedades dêsse gás.

Teste 1. Ponha 3 ou 4 gôtas do indicador em um tubo de ensaio e adicione uma gôta de ácido clorídrico. Que aconteceu à coloração? Agora adicione uma solução de hidróxido de sódio, gôta a gôta, até que haja nova mudança de côr. Descreva essa segunda mudança.

Teste 2. Lave um tubo com água destilada e coloque 3 ou 4 gôtas do indicador. Junte algumas gôtas de água contendo gás carbônico, até que mude a coloração. Anote.

Teste 3. Lave um tubo com água destilada e ponha 10 ou 12 gôtas do indicador no fundo. Sopre, devagar, através de um canudo de refrêsco, ou pipeta, de modo que o ar borbulhe na solução. Anote a mudança de côr.

Teste 4. Ponha água de cal num tubo de ensaio limpo até uma altura de 1 centímetro. Junte ácido clorídrico, uma gôta por vez, até que se tenham colocado 15 ou 20 gôtas. Que acontece?

Teste 5. Lave o tubo com água destilada, ponha água de cal até uma altura aproximada de 1 centímetro e, em seguida, junte 4 ou 5 gôtas de água com CO_2. Anote as observações.

Teste 6. Lave o tubo e coloque nêle um pouco de água de cal. Sopre, através do canudo de refrêsco ou pipeta. Que acontece?

Discussão

1. Comparando com os resultados dos testes 1 e 2, que acontece ao CO_2 quando dissolvido em água?

2. Se uma substância é misturada ao indicador e produz uma mudança de coloração como a do teste 2, você pode afirmar, com certeza, que essa substância contém um ácido?

3. Pode estar certo de que ela contenha CO_2?

4- Considere os resultados do teste 3. O ar expirado contém um ácido ou alguma substância que se transforma em ácido? Como sabe?

5. Você pode afirmar, com certeza, considerando sòmente o teste 3, que o ar expirado contém CO_2?

6. A água de cal reage com o ácido de modo que possa ser observado? E com o CO_2?

7. A julgar pelos resultados dos testes 3 e 6, pode você afirmar que o ar expirado contém CO_2?

8. Se uma certa substância apresentar os mesmos resultados quando submetida aos testes 3 e 5, é possível que ela não seja gás carbônico?

9. Em quais dos 6 tubos de ensaio pequenos, ocorreu mudança de coloração?

10. Em quais não houve mudança?

11. Que havia em comum nos tubos que mudaram de coloração?

12. Que havia em comum entre aquêles em que não houve mudanças de côr?

13. Que conclusão poderia ser esboçada pelos resultados dessa experiência?

14. Descreva uma outra experiência que você poderia fazer e que lhe daria maior segurança nas conclusões.

15. Qual a finalidade do suporte?

16. Por que foi necessário incluir certos tubos na experiência apesar de não ter havido nêles mudança de coloração?

Exercício 3

UMA EXPERIÊNCIA QUANTITATIVA CONTROLADA

FORMULANDO UMA HIPÓTESE

Observe os dois frascos com mistura de lêvedo em água e açúcar preparados pelo seu professor. Um dêles foi colocado na geladeira, enquanto o outro permaneceu à temperatura ambiente. Que diferenças você pode observar entre os dois frascos? Por que há mais bôlhas num frasco que em outro? Tente resolver o problema, elaborando uma hipótese. Como faria para testar experimentalmente sua hipótese?

Como não nos é possível prever tôdas as hipóteses nem os métodos para testá-las em que você poderá pensar, daremos aqui, como ilustração, uma hipótese possível e a maneira de testá-la. Podemos admitir que as bôlhas de gás sejam resultantes de uma atividade que ocorra no frasco que ficou à temperatura mais elevada e não no outro. Desta suposição podemos estabelecer uma hipótese que poderá ser testada: — "A atividade responsável pela formação de bôlhas é influenciada pela temperatura".

Para completar a hipótese vamos considerar um outro fato e utilizá-lo para uma nova suposição. O *fato:* os dois frascos contêm uma mistura de lêvedos vivos em água e açúcar; a *suposição:* a produção de gás é devida ao lêvedo. Nossa hipótese poderia então, ser a seguinte: "A velocidade com que as células de lêvedo produzem gás é influenciada pela temperatura". Quais seriam os meios para testar essa hipótese?

ORGANIZANDO A EXPERIÊNCIA

O procedimento que orientará êste exercício baseia-se no fato de que os gases exercem pressão. Medindo as pressões no interior dos frascos, que estão em diferentes temperaturas, você poderá verificar as modificações nas quantidades de gás. O instrumento usado para medir pressões é chamado manômetro. O manômetro consiste em um tubo em U contendo um líquido até certo nível; qualquer pressão exercida em um dos braços do tubo, sôbre a coluna de líquido, provocará seu deslocamento para o lado oposto. Su-