

FUNDAÇÃO CECIERJ  
PRÉ-VESTIBULAR SOCIAL

# BIOLOGIA

MAURÍCIO LUZ  
CELINA M. S. COSTA  
LUCIMAR S. MOTTA

6ª EDIÇÃO  
REVISADA

MÓDULO 2  
2015



SECRETARIA DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA



## **Governo do Estado do Rio de Janeiro**

### **Governador**

Luiz Fernando de Souza Pezão

### **Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia**

Gustavo Tutuca

### **Fundação Cecierj**

#### **Presidente**

Carlos Eduardo Bielschowsky

#### **Vice-Presidente de Educação Superior a Distância**

Masako Oya Masuda

#### **Vice-Presidente Científica**

Mônica Damouche

### **Pré-Vestibular Social**

Rua da Ajuda 5 - 15º andar - Centro - Rio de Janeiro - RJ - 20040-000

Site: [www.pvs.cederj.edu.br](http://www.pvs.cederj.edu.br)

#### **Diretora**

Celina M. S. Costa

#### **Coordenadores de Biologia**

Lucimar S. Motta

Max Fonseca Pierini

Renato Matos Lopes

## **Material Didático**

### **Elaboração de Conteúdo**

Maurício Luz

Celina M. S. Costa

Lucimar S. Motta

### **Revisão de Conteúdo**

Lucimar S. Motta

Max Fonseca Pierini

Renato Matos Lopes

Filipe Cavalcanti da Silva Porto

### **Capa, Projeto Gráfico, Manipulação de Imagens e Editoração Eletrônica**

Cristina Portella

Filipe Dutra

Maria Fernanda de Novaes

Mario Lima

### **Foto de Capa**

Lillian Nelson

Copyright © 2015, Fundação Cecierj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

L979p

Luz, Maurício.

Pré-vestibular social: biologia. v. 2. / Maurício Luz, Celina M. S. Costa, Lucimar S. Motta. — 6. ed. rev. — Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2015.

128 p. ; 20,0 x 27,5 cm.

ISBN: 978-85-458-0041-5

1. Biologia. I. Costa, Celina M. S. II. Motta, Lucimar S. 1. Título.

CDD: 574



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> O código genético	7
<b>CAPÍTULO 2</b> A síntese de proteínas	11
<b>CAPÍTULO 3</b> Células-tronco	15
<b>CAPÍTULO 4</b> O sistema imunológico	19
<b>CAPÍTULO 5</b> O arquivo da hereditariedade e os cromossomos	27
<b>CAPÍTULO 6</b> O núcleo e a divisão celular	33
<b>CAPÍTULO 7</b> Os cromossomos e a reprodução sexuada	37
<b>CAPÍTULO 8</b> As leis da hereditariedade I	45
<b>CAPÍTULO 9</b> As leis da hereditariedade II	53
<b>CAPÍTULO 10</b> Os alimentos e as células I	61
<b>CAPÍTULO 11</b> Os alimentos e as células II	65
<b>CAPÍTULO 12</b> Os alimentos e as células III	69
<b>CAPÍTULO 13</b> Os alimentos e as células IV	73

<b>CAPÍTULO 14</b> Fotossíntese	77
<b>CAPÍTULO 15</b> Membrana plasmática I	83
<b>CAPÍTULO 16</b> Membrana plasmática II	89
<b>CAPÍTULO 17</b> Membrana plasmática III	95
<b>CAPÍTULO 18</b> Aprofundamento I: Testando a teoria da evolução experimentalmente	99
<b>CAPÍTULO 19</b> Aprofundamento II: O material genético e a célula: interpretando resultados	105
<b>CAPÍTULO 20</b> Aprofundamento III: O ATP: a importância da energia para as células	109
<b>CAPÍTULO 21</b> Aprofundamento IV: A utilização dos diferentes nutrientes para a produção de ATP	113
<b>CAPÍTULO 22</b> Aprofundamento V: O jejum prolongado	117
<b>CAPÍTULO 23</b> Aprofundamento VI: A origem da glicose produzida pelo organismo	121
<b>CAPÍTULO 24</b> Aprofundamento VII: O mecanismo de produção de ATP nas mitocôndrias e cloroplastos	123
<b>CAPÍTULO 25</b> Aprofundamento VIII: Membrana Plasmática: os experimentos de Gorter e Grendel	125



## APRESENTAÇÃO

*Caro Aluno,*

*Este conjunto de apostilas foi elaborado de acordo com as necessidades e a lógica do projeto do Pré-Vestibular Social. Os conteúdos aqui apresentados foram desenvolvidos para embasar as aulas semanais presenciais que ocorrem nos polos. O material impresso por si só não causará o efeito desejado, portanto é imprescindível que você compareça regularmente às aulas e sessões de orientação acadêmica para obter o melhor resultado possível. Procure, também, a ajuda do atendimento 0800 colocado à sua disposição. A leitura antecipada dos capítulos permitirá que você participe mais ativamente das aulas expondo suas dúvidas o que aumentará as chances de entendimento dos conteúdos. Lembre-se que o aprendizado só acontece como via de mão dupla.*

*Aproveite este material da maneira adequada e terá mais chances de alcançar seus objetivos.*

*Bons estudos!*

*Equipe de Direção do PVS*

Errata - Agradecemos a participação do Prof. Filipe Cavalcanti da Silva Porto na revisão do módulo 1 da Apostila de Biologia ano 2015, ISBN: 978-85-7648-976-4, do curso de Pré-Vestibular Social da Fundação Cecierj.





# 1

## O CÓDIGO GENÉTICO

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o processo por meio do qual as informações contidas no DNA são utilizadas pela célula.*

## INTRODUÇÃO

Após a elucidação da estrutura e do mecanismo de replicação do DNA, muitas questões ainda permaneciam em aberto. A primeira dessas questões dizia respeito ao fato de o DNA ser encontrado apenas no núcleo das células eucariontes, enquanto a maior parte das funções celulares ocorre no citoplasma. Desde as primeiras experiências com núcleos de células, já se suspeitava da existência de alguma outra molécula capaz de carregar a informação do DNA (existente no núcleo) para o citoplasma. Afinal, a maior parte das funções celulares é realizada fora do núcleo, mas o DNA só existe nesse núcleo. Tinha de existir, portanto, um intermediário, ou mensageiro, que levasse as informações do DNA para outras partes da célula.

Podemos resumir esse raciocínio da seguinte forma:

- O DNA, que só existe no núcleo, controla as funções citoplasmáticas.
- As principais funções dos seres vivos são controladas por proteínas que são produzidas apenas no citoplasma.
- É necessário existir alguma substância intermediária capaz de levar as informações contidas no DNA do núcleo para o citoplasma onde as proteínas são fabricadas.

## O RNA – TRANSCRIÇÃO E PROCESSAMENTO

Desde a década de 1950 já havia sido identificado um outro tipo de ácido nucleico, o RNA — ácido ribonucleico — presente nas células, encontrado tanto no núcleo quanto no citoplasma. A composição do RNA é muito semelhante à do DNA. Os dois são formados por cadeias de 4 tipos de nucleotídeos ligados entre si, porém a composição do RNA difere da do DNA pela presença do nucleotídeo uracila (U) em lugar da timina (T). Além disso, o açúcar presente no RNA é a ribose, enquanto o açúcar do DNA é a desoxirribose. Outra diferença é que o RNA é formado por uma cadeia simples de nucleotídeos enquanto o DNA é formado por uma cadeia dupla (dupla hélice).

Em 1960 foi descoberta uma enzima capaz de produzir RNA na presença de DNA e de nucleotídeos de Adenina, Uracila, Citosina e Guanina que foi chamada de RNA-polimerase. O DNA apresenta sequências específicas, denominadas PROMOTORES, que sinalizam exatamente onde a síntese do RNA deve ser iniciada. A RNA-polimerase desliza ao longo de uma das fitas do DNA ligando entre si nucleotídeos de RNA complementares àqueles presentes na fita do DNA que está servindo de molde. Este processo ocorre até que a RNA polimerase encontre uma sequência específica no DNA que determina o término da transcrição. Desse modo, a sequência de nucleotídeos de uma molécula de DNA determina a sequência de nucleotídeos da molécula de RNA.

Sempre que houver uma Adenina no DNA, a enzima RNA-polimerase liga um nucleotídeo de Uracila no RNA que está sendo construído, se houver uma Timina no DNA, liga-se uma Adenina no RNA e assim por diante de acordo com a complementaridade das bases mostrada na tabela 1.1.

nucleotídeo do DNA	nucleotídeo complementar do RNA
A	U
T	A
C	G
G	C

**Tabela 1.1:** complementaridade entre bases do DNA e do RNA.

### Atividade 1

Identifique a principal diferença entre o pareamento de bases no caso da duplicação do DNA e da síntese do RNA.

Existem nas células 3 tipos de RNA com diferentes funções. O mais pesado deles recebeu o nome de RNA-mensageiro (RNAm) e é o responsável por levar ao citoplasma a informação contida na sequência de nucleotídeos do DNA.

### Atividade 2

Considerando um segmento de DNA composto pela seguinte sequência de nucleotídeos:

**A - T - C - A - A - G - G - C - T - C - A - G - C - T - A - A**

Qual deve ser a sequência de nucleotídeos no RNA-mensageiro (RNAm) correspondente a esse DNA?

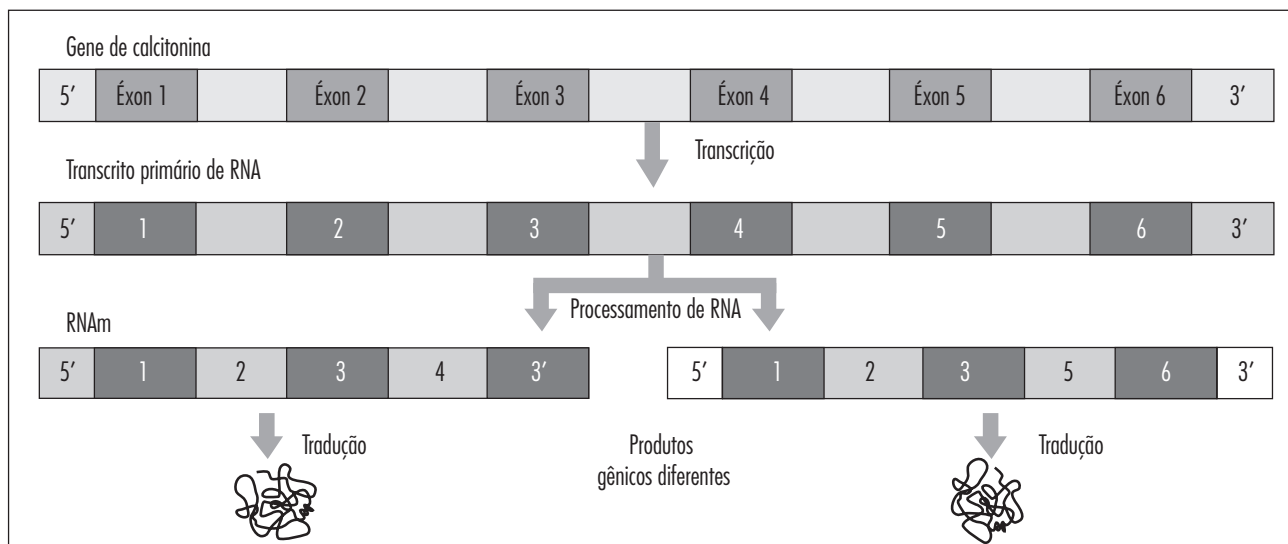
Esse processo de síntese do RNA a partir de uma das cadeias do DNA recebe o nome de transcrição. A transcrição do DNA em RNA é feita a partir de uma única cadeia do DNA, nunca das duas.

Por muito tempo se pensou que os genes eram arranjos contínuos de nucleotídeos que eram transcritos diretamente em RNA mensageiros. Em 1977, porém, descobriu-se que havia genes interrompidos, isto é, ao se comparar o RNAm com o gene (trecho do DNA) que lhe serviu de molde percebia-se que havia muito mais nucleotídeos no DNA do que no RNAm.

Os RNAs sintetizados no processo de transcrição, que contêm toda a sequência de nucleotídeos complementar à sequência do DNA, são chamados de transcritos primários. O processamento do transcrito primário, chamado de “splicing”, consiste na retirada de algumas partes da sequência de nucleotídeos para produzir o RNA funcional. Os trechos retirados são chamados de introns e os que permanecem no RNA funcional são os éxons.



O esquema abaixo mostra o processo de “splicing”:



**Figura 1.1** - Processamento do RNAm

Um mesmo transcrito primário pode ser processado de diferentes maneiras originando diferentes RNAm que por sua vez darão produtos gênicos (proteínas) diferentes.

Após o processamento, o RNA maduro é transportado para o citoplasma onde será traduzido.

### Atividade 3

A respeito do mecanismo de splicing representado na figura 1.1 assinale V (verdadeiro) ou F (falso):

- O processamento do RNA ocorre fora do núcleo, após a saída dessa molécula para o citoplasma. ( )
- O conceito “Um gene, uma proteína” é contrariado pelo splicing do RNA. ( )
- Em um transcrito primário de RNA com 3 éxons é possível a formação de até 4 proteínas diferentes. ( )
- O transcrito primário possui o mesmo número de nucleotídeos do DNA que corresponde a ele. ( )

## CÓDONS: AS UNIDADES DO CÓDIGO GENÉTICO E SUA EXPRESSÃO

Após ser sintetizado e processado o RNAm chega ao citoplasma onde vai comandar a síntese de proteínas. A questão que ocupou os pesquisadores por bastante tempo era: “de que maneira a sequência de nucleotídeos do RNAm determina a sequência de aminoácidos na proteína?”

Se cada tipo de nucleotídeo do RNAm correspondesse a 1 tipo de aminoácido da proteína não poderia haver tantos aminoácidos diferentes nas proteínas existentes. Lembre-se de que as proteínas são formadas por 20 tipos diferentes de aminoácidos e o RNA por apenas 4 tipos de nucleotídeos. Portanto a correspondência de 1 para 1 estava descartada.

### Atividade 4

Se cada dupla de nucleotídeos no RNAm correspondesse a um aminoácido na proteína, quantos tipos de aminoácidos poderiam ser codificados pelos RNAm? Que número de duplas possíveis de nucleotídeos é suficiente para codificar todos os 20 aminoácidos?

### Atividade 5

Pensando dessa forma os pesquisadores chegaram à conclusão de que cada aminoácido deveria corresponder a pelo menos uma trinca de nucleotídeos do RNAm. Você saberia explicar o porquê dessa hipótese?

A partir de experiências realizadas com RNA sintético, com sequências conhecidas de nucleotídeos, os pesquisadores conseguiram finalmente, confirmar que o código genético era baseado em trincas de nucleotídeos, e que cada trinca no RNAm determinava a entrada de um aminoácido na sequência da proteína que estava sendo sintetizada. A trinca de nucleotídeos do RNAm, capaz de codificar um aminoácido da proteína, recebeu o nome de códon. Foi possível, também, determinar quais trincas (códon) codificavam quais aminoácidos das proteínas, isto é, o código genético foi decifrado.

A associação entre o códon e o aminoácido é feita por uma molécula de RNA denominada RNA transportadora (RNAt). Esta molécula possui uma região complementar ao códon, denominada anticódon e é responsável por transportar os aminoácidos que farão parte da proteína em construção.

Vimos que 4 tipos de nucleotídeos podem formar 64 trincas diferentes (confirme isso fazendo os possíveis arranjos), um número bem maior do que os 20 tipos de aminoácidos existentes. Logo, há trincas sobrando, já que só há necessidade de 20 códon, um para codificar cada um dos aminoácidos.

Descobriu-se, entretanto, que alguns aminoácidos são codificados por mais de uma trinca. Só que se descobriu também que o código genético faz mais do que informar qual o aminoácido que deve ser incluído em uma proteína que está sendo sintetizada.

De fato, dessas 64 trincas existentes, algumas não codificam nenhum aminoácido. Quando essas trincas aparecem no RNAm o acréscimo de aminoácidos à proteína é interrompido. Ou seja, elas informam também o momento em que a síntese de uma proteína deve parar. Essas trincas representam pontos finais na síntese de proteínas. Além disso, existe também uma trinca que marca o início da leitura do RNAm, isto é, marca o ponto onde a síntese de uma determinada proteína deve começar. O códon de início corresponde ao aminoácido metionina (Met). Ou seja, quase todas as proteínas possuem um aminoácido Metionina em uma de suas pontas. O código genético informa, portanto, não só a sequência de aminoácidos de uma proteína, mas também onde essa sequência começa e onde termina.

Em 1965 o código genético estava decifrado. A tabela 1.2, abaixo, mostra a correspondência entre as trincas (códon) do RNAm e os aminoácidos das proteínas.

### Atividade 6

Considere que o sétimo nucleotídeo (contendo adenina) do gene de uma proteína fosse substituído por um nucleotídeo contendo guanina. Como ficaria a sequência de aminoácidos? Explique.

		2ª base					
		U	C	A	G		
1ª base	U	UUU Phe	UCU Ser	UAU Tyr	UGU Cys	U	3ª base
		UUC Phe	UCC Ser	UAC Tyr	UGC Cys	C	
		UUA Leu	UCA Ser	UAA parada	UGA parada	A	
		UUG Leu	UCG Ser	UAG parada	UGG parada	G	
	C	CUU Leu	CCU Pro	CAU His	CGU Arg	U	
		CUC Leu	CCC Pro	CAC His	CGC Arg	C	
		CUA Leu	CCA Pro	CAA GluN	CGA Arg	A	
		CUG Leu	CCG Pro	CAG GluN	CGG Arg	G	
	A	AUU Ileu	ACU Thr	AAU AspN	AGU Ser	U	
		AUC Ileu	ACC Thr	AAC AspN	AGC Ser	C	
		AUA Ileu	ACA Thr	AAA Lis	AGA Arg	A	
		AUG Met	ACG Thr	AAG Lis	AGG Arg	G	
	G	GUU Val	GCU Ala	GAU Asp	GGU Gly	U	
		GUC Val	GCC Ala	GAC Asp	GGC Gly	C	
		GUA Val	GCA Ala	GAA Glu	GGA Gly	A	
		GUG Val	GCG Ala	GAG Glu	GGG Gly	G	

**Tabela 1.2:** O código genético (a partir do RNAm)

### Atividade 7

Um trecho codificante de RNAm é formado por 150 nucleotídeos. Quantos aminoácidos tem a proteína por ele codificada?

Utilize a tabela 1.2 para responder às próximas atividades.

### Atividade 8

Um trecho de RNAm tem a seguinte sequência de nucleotídeos:

**A-U-G-U-U-A-A-C-G-G-U-C-C-A-U-A-C-A-A-A-C-G-A-G-C-C**

Qual é a sequência de aminoácidos codificada por esse trecho de RNAm?

### Atividade 9

Suponha que o nono nucleotídeo do RNAm acima (guanina) tenha sido substituído por um nucleotídeo contendo citosina. Como ficaria a sequência de aminoácidos codificada pelo novo trecho de RNAm? Explique o resultado.

Se você se interessar por conhecer a história e os experimentos que levaram à descoberta dos resultados aqui apresentados, consulte os capítulos 18, 19 e 20 (aprofundamento) e faça as atividades ali propostas.

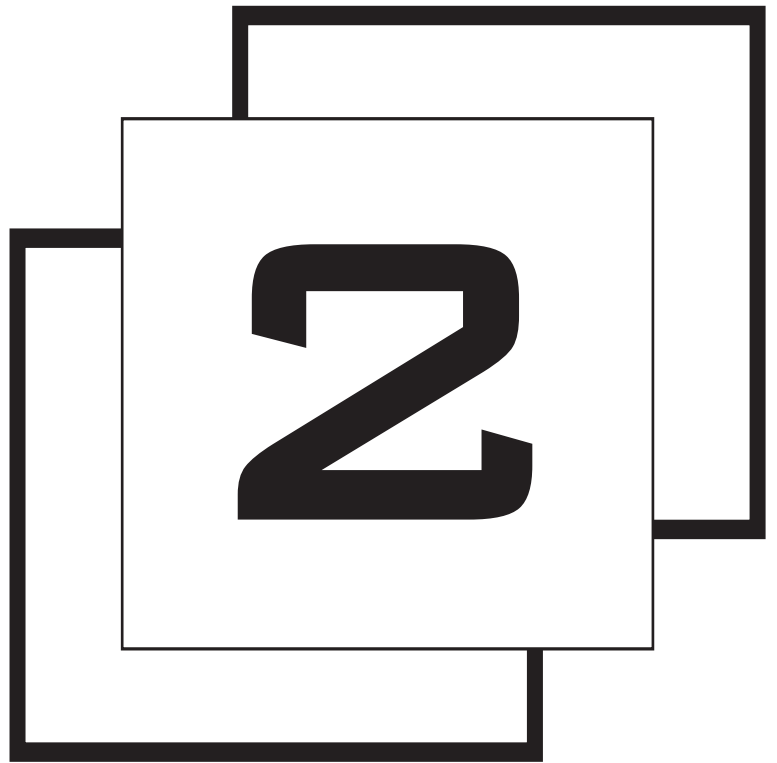
## EXERCÍCIOS

**1)** (CEDERJ / 2005 - 2) Existem muitos tipos de RNA mensageiro (RNAm) que se diferenciam pela sequência de nucleotídeos. Em cada um deles existem sequências de 3 nucleotídeos que formam os códon. No RNA de transporte (RNAt) existe uma sequência de três nucleotídeos que pode se ligar ao códon do RNAm e é chamada de anticódon. Quantos tipos diferentes de RNA de transporte existem nas células dos eucariotos?

- (A) existe um único tipo de RNAt;
- (B) existem 5 tipos diferentes de RNAt;
- (C) existem 10 tipos diferentes de RNAt;
- (D) existem 12 tipos diferentes de RNAt;
- (E) existem dezenas de tipos diferentes de RNAt.

**2)** (UERJ / 2000 - Fase 1) A síntese das proteínas, de acordo com a informação contida nos genes, ocorre por intermédio de:

- (A) polirribossomas com moléculas de RNA mensageiro
- (B) enzimas presentes nas membranas do complexo de Golgi
- (C) ribossomas isolados ligados à membrana do envoltório nuclear
- (D) mensagens nas enzimas da membrana do retículo endoplasmático granular



## A SÍNTESE DE PROTEÍNA

*:: Objetivo ::*

- *Compreender a sequência de eventos que controlam a síntese de proteínas no citoplasma, bem como as estruturas envolvidas.*

## INTRODUÇÃO

Como vimos nas aulas anteriores a substância que determina as características genéticas (herdadas) dos seres vivos é DNA. O DNA codifica RNAs e os RNAs determinam a sequência de aminoácidos das proteínas usando um código baseado em “palavras” de três letras, os códons.

Só nos falta agora entender como se dá esse controle e como essas moléculas todas interagem. Esse será o tema do presente capítulo.

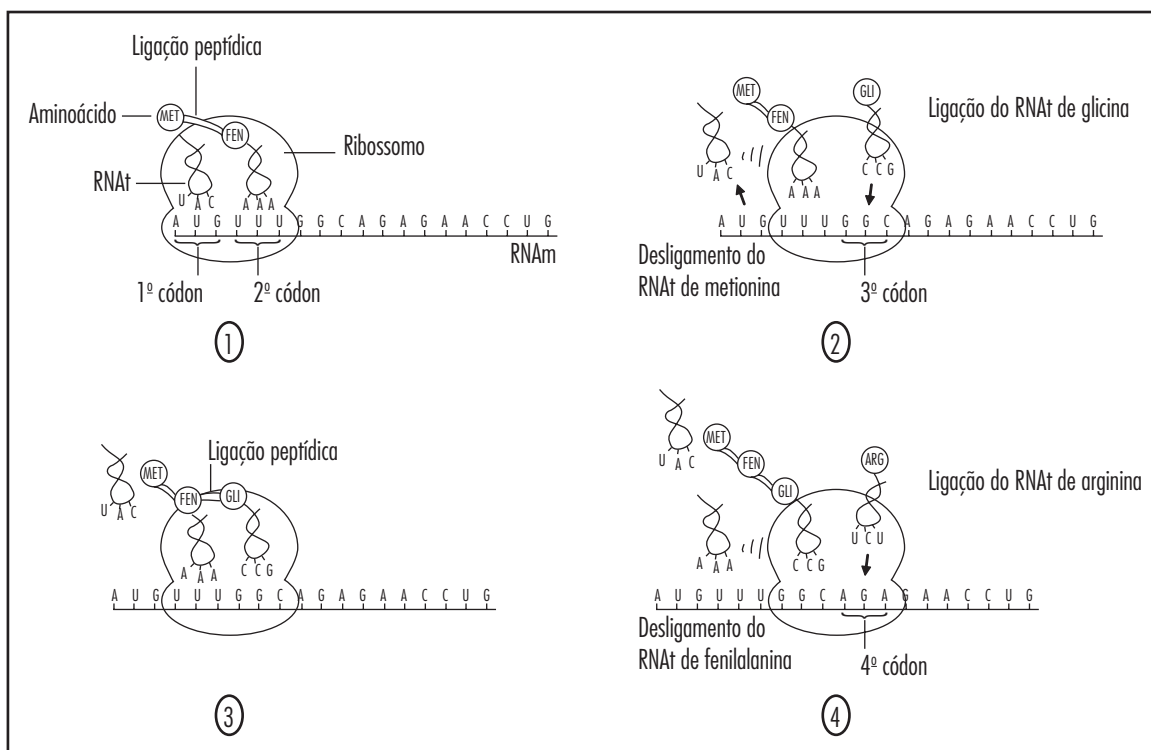
## SÍNTESE DE PROTEÍNAS: PRIMEIRAS ETAPAS

Uma vez desvendado o código que permitia traduzir a sequência de nucleotídeos do RNA<sub>m</sub> em sequências de aminoácidos (proteínas), outras investigações levaram à descoberta do mecanismo pelo qual os aminoácidos eram colocados em ordem segundo a sequência do RNA mensageiro. Outros tipos de

RNA foram identificados, como o RNA transportador (RNA<sub>t</sub>), e o RNA ribossômico (RNA<sub>r</sub>), assim como o seu papel na síntese de proteínas.

A sequência de trinca no RNA mensageiro determina a sequência de aminoácidos na proteína a ser formada, porém os aminoácidos não se dirigem sozinhos às posições correspondentes no RNA<sub>m</sub>. O transporte dos aminoácidos é realizado pelo RNA<sub>t</sub>. Esse RNA<sub>t</sub> apresenta em determinada região de sua cadeia uma trinca de nucleotídeos que se destaca, chamada anticódon. É através desse anticódon que o RNA<sub>t</sub> reconhece o local do RNA mensageiro onde deve ser colocado o aminoácido por ele carregado. Cada RNA<sub>t</sub> transporta um aminoácido específico, de acordo com o anticódon que apresenta.

O acoplamento entre o RNA<sub>m</sub> e o RNA<sub>t</sub> é dirigido pelo RNA ribossômico. O RNA<sub>r</sub> forma uma estrutura relativamente grande que viaja ao longo da cadeia do RNA<sub>m</sub>, “lendo” suas trinca uma após a outra e permitindo que os aminoácidos transportados pelos RNA<sub>t</sub> sejam colocados em suas posições corretas. Enzimas específicas catalizam a ligação entre um aminoácido e outro. Para ligar um aminoácido a outro e para que o RNA ribossômico se desloque ao longo do RNA<sub>m</sub> a célula consome energia. Esses eventos podem ser acompanhados na sequência de quadros da figura 2.1.



**Figura 2.1:** Esquema mostrando a sequência de passos da síntese de proteína (1, 2, 3, 4).

À medida que um ribossomo se desloca sobre o RNA<sub>m</sub>, traduzindo a mensagem em proteína, outro ribossomo pode se posicionar sobre esse mesmo RNA<sub>m</sub>, começando a síntese de outra molécula de proteína. Desse modo um único RNA<sub>m</sub> pode ser lido por vários ribossomos que deslizam enfileirados sobre ele, cada um sintetizando uma nova molécula da mesma proteína.

Podemos resumir o que vimos até agora:

- O DNA contém a informação para a síntese de proteínas codificada na sua sequência de nucleotídeos.
- O RNA<sub>m</sub> é transcrito a partir de uma das fitas do DNA.

• O código para cada aminoácido é chamado de códon e é constituído pelas 3 bases nitrogenadas de nucleotídeos consecutivos do RNA<sub>m</sub>.

• Cada códon especifica um único aminoácido.

• Nem todos os códons codificam aminoácidos: há 4 códons que significam PARE. (Identifique-os na tabela da página 8)

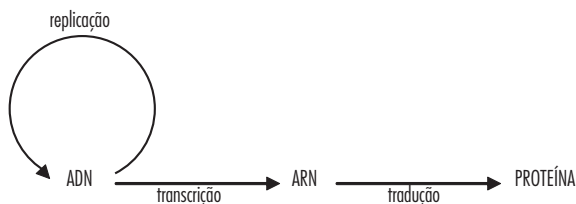
• Como existem 64 possibilidades de trinca e apenas 20 aminoácidos, cada aminoácido pode ser codificado por mais de um códon. (Identifique pelo menos 3 deles na tabela)

• Existe um códon no RNA<sub>m</sub> que sinaliza o ponto de partida para a

construção da proteína: AUG que codifica o aminoácido metionina.

• A cadeia de RNA<sub>m</sub> é lida, pelo ribossomo, sempre numa mesma direção, da extremidade 5' para 3'.

Veja a ilustração a seguir para um resumo:



## EXERCÍCIOS

**1)** Qualquer mudança ocorrida na sequência de nucleotídeos, seja do DNA seja do RNA, produzirá uma proteína modificada.

a. Essa afirmativa é verdadeira ou falsa? Justifique sua resposta. (Dica: tabela 1.2)

b. Qual alteração deverá ser mais prejudicial para uma espécie de ser vivo: uma alteração no seu DNA ou no seu RNA<sub>m</sub>? Justifique. (Dica: não pense só em uma célula, mas em uma espécie de ser vivo unicelular)

**2)** “As alterações na sequência de nucleotídeos do DNA são sempre prejudiciais à uma espécie de seres vivos.” Essa afirmativa é verdadeira ou falsa? Justifique sua resposta.

**3)** Sabe-se que uma substância tóxica “W” é capaz de causar mudanças na sequência de nucleotídeos do DNA. Essas mudanças podem ser dos seguintes tipos:

I. Deleção — retirada de um nucleotídeo da molécula de DNA, sendo a cadeia “emendada” com a falta desse nucleotídeo (a cadeia fica um nucleotídeo mais curta)

II. Inserção — inclusão de um nucleotídeo da molécula de DNA, sendo a cadeia “emendada” com esse nucleotídeo adicional (a cadeia fica um nucleotídeo mais longa)

III. Substituição — troca de um único nucleotídeo na molécula de DNA.

IV. Bactérias normalmente produzem uma proteína “X”, composta de 150 aminoácidos. Em uma experiência, bactérias foram tratadas com a substância W. Em seguida analisou-se a sequência das proteínas “X” produzidas por diferentes bactérias.

Procure propor explicações para as seguintes observações feitas pelos pesquisadores após o tratamento com a substância “W”:

a. Algumas bactérias produzem proteínas com um único aminoácido modificado em suas sequências.

b. Algumas bactérias, embora tivessem apenas um dos nucleotídeos de seu DNA trocado, produzem proteínas X iguais normais.

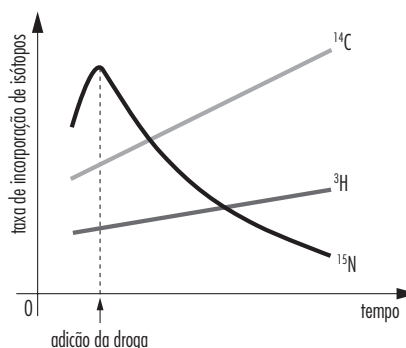
c. Algumas bactérias produzem proteínas X com 15 aminoácidos a mais (excedentes) no final de suas moléculas.

d. Algumas bactérias produzem proteínas X com 10 aminoácidos a menos (faltando) no final de suas moléculas.

**4)** (UFRJ / 1999) Com o auxílio da tabela do código genético representada na tabela 1.2, é sempre possível deduzir-se a sequência de aminoácidos de uma proteína a partir da sequência de nucleotídeos do seu gene, ou do RNA<sub>m</sub> correspondente. Entretanto, o oposto não é verdadeiro, isto é, a partir da sequência de aminoácidos de uma proteína, não se pode deduzir a sequência de nucleotídeos do gene. Explique por quê.

**5)** (UERJ / 2006 - ED) Para investigar possíveis efeitos de uma determinada droga, utilizou-se uma cultura de células, à qual foram adicionadas quantidades adequadas das seguintes substâncias, marcadas com isótopos: uridina  $^{14}\text{C}$ , timidina  $^3\text{H}$  e leucina  $^{15}\text{N}$ . Após algum tempo, a droga foi também introduzida no meio de cultura. Ao longo do experimento, amostras das células foram coletadas a intervalos regulares. A incorporação dos isótopos foi medida em uma preparação que contém os ácidos nucleicos e as proteínas da célula. Os resultados do experimento estão mostrados no gráfico a seguir.

Considere as etapas de replicação, transcrição e tradução nas células analisadas. Indique se a droga interfere em cada uma dessas etapas e justifique suas respostas.



**6)** (UFRJ-2006 - P1) A anemia falciforme é uma doença que resulta da substituição de um aminoácido ácido glutâmico pela valina, na hemoglobina. Examinando a tabela do código genético a seguir, é possível identificar as alterações no RNA que formam o códon da valina na hemoglobina da anemia falciforme.

Códon	Aminoácido
GUU	valina
GUC	valina
GUA	valina
GUG	valina
GAA	ácido glutâmico
GAG	ácido glutâmico

Identifique as duas alterações nos códons do RNA que mais provavelmente explicariam a transformação de ácido glutâmico em valina. Justifique a sua resposta.

7) (UFRJ / 2007 - P2) As sequências de RNA mensageiro a seguir codificam peptídeos com atividades biológicas específicas. Suponha que mutações no DNA tenham causado as seguintes mudanças nas duas moléculas de mRNA (1 e 2).

Molécula 1:

UCU GUU AUU UAU UCU → UCU GU $\underline{C}$  AUU UAU UCU

Molécula 2:

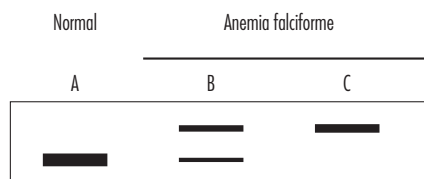
GCU CAU AG $\underline{A}$  GAU GGU → GCU CAU AG $\underline{C}$  GAU GGU

A tabela resumida do código genético mostra alguns códons e seus aminoácidos correspondentes.

Códon	Aminoácido
GUU	valina
GUC	valina
GUA	valina
GUG	valina
AGU	serina
AGC	serina
AGA	arginina
AGG	arginina

Em qual das mudanças (1 ou 2) há risco de perda ou de diminuição da atividade biológica? Justifique sua resposta.

8) (UFRJ / 2005 - P1) A anemia falciforme é causada por uma mutação que produz uma alteração na sequência de aminoácidos da hemoglobina. Essa alteração pode ser detectada pela técnica da eletroforese. O diagrama abaixo mostra o resultado do fracionamento por eletroforese da hemoglobina extraída de três indivíduos: A, normal, e B e C com anemia falciforme. Cada banda representa uma hemoglobina, alterada ou não. Explique por que o indivíduo B apresenta os dois tipos de hemoglobina.



9) (ENEM /2009 – Q-16) A figura seguinte representa um modelo de transmissão da informação genética nos sistemas biológicos. No fim do processo, que inclui a replicação, a transcrição e a tradução, há três formas proteicas diferentes denominadas a, b e c.

Depreende-se do modelo que:

- (A) a única molécula que participa da produção de proteínas é o DNA.
- (B) o fluxo de informação genética, nos sistemas biológicos, é unidirecional.
- (C) as fontes de informação ativas durante o processo de transcrição são as proteínas.
- (D) é possível obter diferentes variantes proteicas a partir de um mesmo produto de transcrição.
- (E) a molécula de DNA possui forma circular e as demais moléculas possuem forma de fita simples linearizadas.



## CÉLULAS-TRONCO

*:: Objetivo ::*

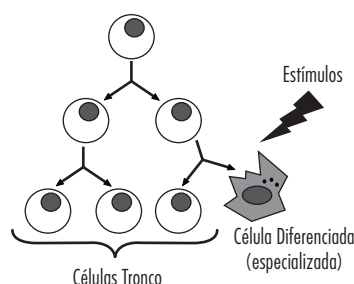
- *Compreender o que são células-tronco e seu potencial terapêutico atual e futuro.*

## INTRODUÇÃO

Os seres pluricelulares são compostos por milhões ou até mesmo bilhões de células. Essas células são de muitos tipos diferentes. A forma de cada tipo celular está diretamente relacionada à sua função no organismo. Além disso, as células de um organismo, como já vimos, estão organizadas em tecidos (conjuntos de células de um mesmo tipo especializadas em uma função) e órgãos (formados por diferentes tecidos e, em geral, dotados de uma ou mais funções exercidas pelo conjunto). Essa diversidade de tipos e de organização celular em um organismo é, em geral, construída ao longo de seu desenvolvimento embrionário e de seu crescimento até a idade adulta. No entanto, ao longo de toda a sua vida um organismo perde células, que precisam ser substituídas por outras do mesmo tipo, para que exerçam as mesmas funções. Essas novas células especializadas em geral são originadas de células não especializadas capazes de, diante de estímulos adequados, se multiplicar e se transformar em tipos celulares especializados. Dentre essas células não especializadas, destacam-se as células-tronco, cujas utilidades clínicas começaram a ser entendidas e aprimoradas em meados do século XX. As terapias celulares baseadas na associação de células-tronco e engenharia genética são, talvez, aquelas sobre as quais há maiores expectativas para o século XXI.

## O QUE SÃO CÉLULAS-TRONCO?

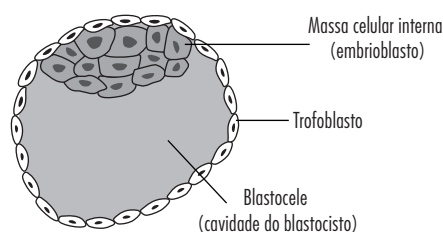
Uma célula tronco, em resumo, é aquela que tem capacidade de se duplicar por períodos indefinidos. Muitas vezes por toda a vida do organismo. Portanto, sob condições específicas, as células-tronco podem dar origem a muitos tipos celulares diferentes. Esse processo, no qual uma célula se multiplica e dá origem a outros tipos de célula é denominado de diferenciação celular. Uma célula tronco, portanto, é capaz tanto de se multiplicar quanto de se diferenciar em outros tipos celulares. A capacidade de multiplicação garante que a população de células-tronco se mantenha estável e indiferenciada, mesmo que ao longo do tempo algumas delas tenham se diferenciado e dado origem a novos tecidos. Isso, por sua vez, assegura que haverá novas células-tronco disponíveis no futuro, se for necessário que elas se diferenciem novamente.



**Figura 3.1:** As duas principais características de células-tronco são: capacidade de multiplicação sem se diferenciar e de diferenciação em muitos outros tipos celulares, desde que submetidas aos estímulos apropriados.

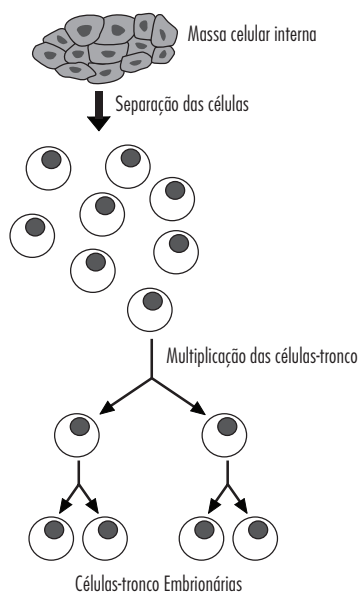
## CÉLULAS-TRONCO EMBRIONÁRIAS

Esse processo é, de fato, o que acontece durante o desenvolvimento embrionário, no qual a partir de multiplicação e diferenciação uma única célula formada pela fusão de um espermatozoide com um óvulo dá origem ao embrião completo, com os tecidos e órgãos que o caracterizam. Por isso mesmo, as células-tronco embrionárias têm sido amplamente estudadas. Essas células são obtidas a partir de embriões produzidos em laboratórios de reprodução assistida. Nesses laboratórios os espermatozoides são colocados em contato com óvulos, gerando embriões. Uma parte desses embriões é introduzida no útero da mulher que está tentando engravidar, enquanto outros são congelados. Os embriões congelados em estados iniciais do desenvolvimento que normalmente seriam descartados podem ser doados para a pesquisa.



**Figura 3.2:** Embriões produzidos em laboratório e em estágio inicial de desenvolvimento são ricos em células indiferenciadas capazes de dar origem a todos os tipos celulares, com exceção da placenta e anexos embrionários: são as células-tronco pluripotentes.

Para obter as células-tronco, esses agrupamentos de células são desmanchados e as células que os compõem são cultivadas. Como o embrião está em um estágio muito inicial do desenvolvimento (sem tecidos ou órgãos de qualquer tipo), as células que o compõem têm a capacidade de se diferenciar em qualquer tipo celular existente no organismo. Por esse motivo as células-tronco embrionárias são denominadas pluripotentes (do latim *pluri*, que significa muitos).



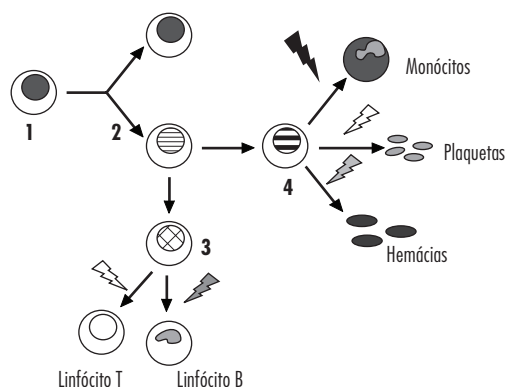
**Figura 3.3:** As células derivadas de embriões produzidos em laboratório e em estágio inicial de desenvolvimento podem se multiplicar em cultura, dando origem às células-tronco embrionárias que, a princípio podem dar origem a todos os tipos de células presentes no organismo.



As células-tronco embrionárias têm o maior potencial de diferenciação dentre todas as células-tronco conhecidas. No entanto, elas também são as mais difíceis de obter rotineiramente no caso de humanos. Além disso, células-tronco obtidas de um embrião, se utilizadas em outro ser humano, podem vir a ser reconhecidas como estranhas ao organismo e atacadas pelo sistema imunológico. Finalmente, resultados experimentais indicam que as células-tronco embrionárias injetadas em animais têm um razoável potencial de gerar tumores. No entanto, mais recentemente outros tipos de células-tronco têm sido descobertas em animais e seres humanos adultos. É sobre elas que grande parte das pesquisas sobre terapias celulares têm sido feitas na atualidade.

## TRANSPLANTES DE MEDULA ÓSSEA: UM TRATAMENTO BASEADO NO USO DE CÉLULAS-TRONCO ADULTAS

O transplante de medula é um tratamento relativamente comum e bastante eficiente usado em casos de doenças relacionadas às células sanguíneas, como as leucemias. Como as células do sangue, inclusive as do câncer, são produzidas na medula óssea, o tratamento consiste em eliminar completamente as células da medula óssea do paciente (usando drogas ou radiação). Posteriormente ele recebe o transplante de medula óssea extraída de um indivíduo saudável e geneticamente compatível. Essa pequena porção de medula óssea recebida é capaz de originar novamente as células sanguíneas do paciente após um breve período. Isso só é possível porque a medula óssea é relativamente rica em células-tronco, capazes de, sob estímulos apropriados, se diferenciar em todos os tipos celulares característicos do sangue, além de gerar uma nova população de células-tronco (Figura 3.4). O transplante de medula óssea é, portanto, o mais antigo tratamento baseado em células-tronco conhecido.



**Figura 3.4:** As células-tronco presentes na medula óssea (1) podem tanto se multiplicar mantendo sua população, como se diferenciar nos demais componentes do sangue. Ao longo do processo de diferenciação na medula óssea, as células-tronco vão tendo seu potencial de diferenciação diminuído, gerando populações de células capazes de dar origem a alguns tipos celulares do sangue, mas não a todos (células 2, 3 e 4 na figura).

Sabe-se hoje que vários tipos de células-tronco ou pelo menos células progenitoras existem em muitos tecidos do corpo, contribuindo para a sua renovação periódica ou regeneração no caso de lesões. Além disso, inúmeros

estudos, inclusive de pesquisadores brasileiros, têm demonstrado que as células-tronco presentes na medula óssea podem, sob condições apropriadas, ser induzidas a se diferenciar em outros tipos celulares que não os do sangue. Os exemplos conhecidos incluem neurônios e células capazes de secretar insulina (normalmente produzidas somente pelas células beta do pâncreas).

Existe uma grande expectativa de que serão desenvolvidas técnicas capazes de identificar, separar e fazer com que essas células dos tecidos adultos sejam induzidas a se multiplicar quando mantidas em cultura. Posteriormente essa população de células-tronco poderia ser induzida a se diferenciar (em cultura ou após ser injetada) criando o tecido lesado ou com problemas e curando uma lesão ou doença.

No caso de doenças determinadas por genes defeituosos, porém, a situação seria mais complexa. Uma alternativa seria isolar as células-tronco do paciente, inserir nela uma ou mais cópias do gene funcional ("saudável") e posteriormente injetar essas células-tronco no paciente, para que se diferenciasssem no tecido com problemas, curando ou amenizando uma doença pré-existente.

Em todos esses casos será preciso desenvolver técnicas precisas, para lidar com dificuldades atuais, tais como:

- Identificar os estímulos que induzem as células-tronco de cada tipo a proliferar, sem se diferenciar. Isso permitiria isolar uma pequena quantidade de células-tronco de um órgão, multiplicá-las em cultura e somente depois usá-las em terapias nas quais seriam induzidas a se diferenciar.
- Determinar os fatores químicos (hormônios, por exemplo) ou de outro tipo (contato com outros tipos celulares) que induzem cada tipo de célula tronco a se diferenciar. Com isso seria possível literalmente dirigir a diferenciação das células-tronco para formar o tecido de que se necessita para curar uma doença ou lesão.
- Como introduzir as células-tronco nos pacientes fazendo com que se dirijam ao tecido ou órgão desejado e lá se diferenciem da maneira apropriada? Será preciso identificar os fatores que fazem com que uma célula-tronco escolha o local onde irá se instalar após ser introduzida no paciente.
- Como reduzir o risco, ou mesmo impedir que as células-tronco se transformem em tumores depois de introduzidas no corpo dos pacientes? Para isso será preciso entender e controlar os processos que levam uma célula-tronco a se desviar de seu caminho de diferenciação normal, gerando os tumores.

Em resumo, há ainda um grande número de perguntas a serem respondidas e problemas a resolver. Mas os resultados obtidos a todo momento com pesquisas são estimulantes e parecem justificar os investimentos e as esperanças depositadas nas terapias com células-tronco, tanto adultas quanto embrionárias.

## EXERCÍCIOS

- 1) A utilização terapêutica das células-tronco pode representar uma esperança no tratamento de inúmeras doenças ou para pacientes que sofreram lesões incapacitantes da medula espinal. Assinale a alternativa INCORRETA.
  - (A) As células-tronco são células capazes de se diferenciar nos mais variados tecidos.
  - (B) Embora existam células-tronco em vários tecidos humanos, as pluripotentes estão basicamente no cordão umbilical e em células embrionárias.
  - (C) A retirada de células-tronco de embriões humanos pode danificar os referidos embriões.

(D) A aplicação de células-tronco em tecidos lesados poderia permitir a reconstituição desses tecidos devido à alta capacidade de diferenciação dessas células.

(E) As pesquisas com células-tronco não encontram barreiras éticas e preconceitos culturais tendo em vista os avanços que representam na medicina contemporânea.

**2)** (UERJ / 2010 – 1º exame de qualificação) Células adultas removidas de tecidos normais de uma pessoa podem ser infectadas com certos tipos de retrovírus ou com adenovírus geneticamente modificados, a fim de produzir as denominadas células-tronco induzidas. Essa manipulação é feita com a introdução, no genoma viral, de cerca de quatro genes retirados de células embrionárias humanas, tornando a célula adulta indiferenciada. O uso terapêutico de células-tronco induzidas, no entanto, ainda sofre restrições.

Observe a tabela a seguir:

Consequências do uso de células-tronco em geral	
1) regeneração de qualquer tecido	2) regeneração de poucos tecidos
3) indução impossível de outras doenças	4) indução possível de tumores
5) compatibilidade imunológica	6) rejeição imunológica

Células-tronco induzidas originárias de um paciente, se usadas nele próprio, apresentariam as consequências identificadas pelos números:

- (A) 1, 3 e 6
- (B) 1, 4 e 5
- (C) 2, 3 e 5
- (D) 2, 4 e 6

**3)** (UFF / 2002 – adaptada)

*As células-tronco humanas podem ser obtidas e colocadas em meios de cultura adequados para se diferenciarem em células formadoras de tecidos especializados. Cientistas acreditam que dentro de alguns anos poderão produzir células suficientes para tratar pacientes com doenças graves no coração, no fígado ou nos pulmões.*

Adaptado de Ciência e Vida, "O Globo", 10/07/01.

Qual a fase, durante a formação do embrião, em que se pode obter o maior número de células-tronco? Justifique sua resposta.

**4)** (Unicamp / 2009 – 2ª fase – adaptada) Recentemente pesquisadores brasileiros conseguiram produzir a primeira linhagem de células-tronco a partir de embrião humano. As células-tronco foram obtidas de um embrião em fase de blástula, de onde foram obtidas as células que posteriormente foram colocadas em meio de cultura para se multiplicarem.

As células-tronco embrionárias podem solucionar problemas de saúde atualmente incuráveis.

Quais características dessas células-tronco permitem que os pesquisadores possam utilizá-las no futuro para este fim?



# 4

## O SISTEMA IMUNOLÓGICO

*:: Objetivo ::*

*Compreender os mecanismos de defesa do organismo, diferenciando os específicos dos inespecíficos.*

## BREVE HISTÓRIA DAS VACINAS

Quando falamos em sistema imunológico imediatamente pensamos em vacinas. Como todos sabemos, as vacinas são substâncias capazes de estimular o sistema imunológico a produzir defesas contra um determinado agente causador de doença. A história das vacinas começou na Ásia, em um período indefinido, mas certamente anterior ao século XV. Naquela época a varíola era uma doença grave, que causava epidemias e matava entre 10% e 40% dos doentes. Por razões desconhecidas atualmente, os chineses e indianos, em especial, adotaram a prática do que viria a ser conhecido como variação. Nesse procedimento, as secreções ou feridas de um paciente com uma forma branda de varíola eram secas de modo a produzir um pó. Esse pó era inalado ou inoculado por aspiração em indivíduos saudáveis que posteriormente se mostravam resistentes à varíola. A prática da variação espalhou-se pela Ásia, sendo conhecida na região correspondente ao Oriente Médio por volta de 1700. Ela aparentemente foi introduzida na Inglaterra por Mary Montagu, esposa do embaixador Inglês em Constantinopla. Ao contrário do orientais, os ingleses adotaram a prática de variação pela inoculação em um pequeno corte na pele. Além disso, conforme prática da época, a variação foi testada inicialmente em órfãos e prisioneiros e só depois de ter sua grande segurança constatada, foi aplicada em outras pessoas, incluindo a família real inglesa.

No entanto, a variação apresentava alguns riscos importantes. Cerca de 1% a 2% dos indivíduos inoculados morria (uma taxa bem inferior à mortalidade da doença propriamente dita) e os indivíduos com a forma branda podiam originar epidemias em suas regiões.

Apenas no século XVIII, também por meio da observação de conhecimentos populares, o inglês Edward Jenner desenvolveu uma forma de prevenção da varíola mais segura e eficaz do que a variação. Jenner observou que jovens que ordenhavam vacas e contraíam a varíola bovina (*cowpox*) sofriam com uma versão branda da doença, caracterizada por feridas nas mãos. Em compensação não contraíam posteriormente a varíola humana. Jenner imaginou que o contato com a varíola bovina de algum modo protegia as ordenhadoras contra a varíola humana. Para testar sua hipótese, Jenner inoculou o fluido retirado de lesões de uma das mulheres com varíola bovina em um menino de oito anos. Após uma reação leve de febre e de algumas lesões também leves, o garoto se recuperou rapidamente. Jenner então inoculou-o com fluido das lesões de um homem com varíola humana, e ele não desenvolveu a doença. Jenner testou então a sua técnica em várias outras pessoas, incluindo seu filho, com grande sucesso.

A vacinação contra a varíola, com fluido de lesões da doença bovina intensificou-se e espalhou-se pela Europa e América. Cerca de um século depois, em 1880, Pasteur desenvolveu com sucesso uma vacina contra a raiva. Porém o mecanismo de ação das vacinas ainda era desconhecido. Em 1890, Emil von Behring e Shibasaburo Kitasato demonstraram que a proteção conferida pelos processos de vacinação estava relacionada ao surgimento no soro dos indivíduos vacinados de substâncias que foram denominadas de anticorpos. Em 1901, o primeiro prêmio Nobel em medicina foi concedido a Emil von Behring pelo seu trabalho sobre a produção de anticorpos.

A alta transmissibilidade e letalidade da varíola fez com que a vacinação se tornasse obrigatória em muitos países. O sucesso da vacinação contra a varíola

levou a uma iniciativa da Organização Mundial da Saúde para erradicá-la, iniciada em 1967. Contrariando as expectativas negativas de grande parte da comunidade médica e científica, a iniciativa foi um sucesso e a varíola foi declarada oficialmente erradicada em 1980, ou seja, apenas treze anos após o início da campanha.

## A INFLAMAÇÃO COMO PRIMEIRA RESPOSTA A AGENTES INFECCIOSOS

Todos os animais possuem alguma forma de se defender da invasão constante de microrganismos ou substâncias estranhas ao seu organismo. O sistema imunológico representa a principal barreira contra as infecções. Ele tem a capacidade de realizar uma rápida resposta contra os patógenos graças à atividade de células presentes no sangue: os glóbulos brancos ou leucócitos.

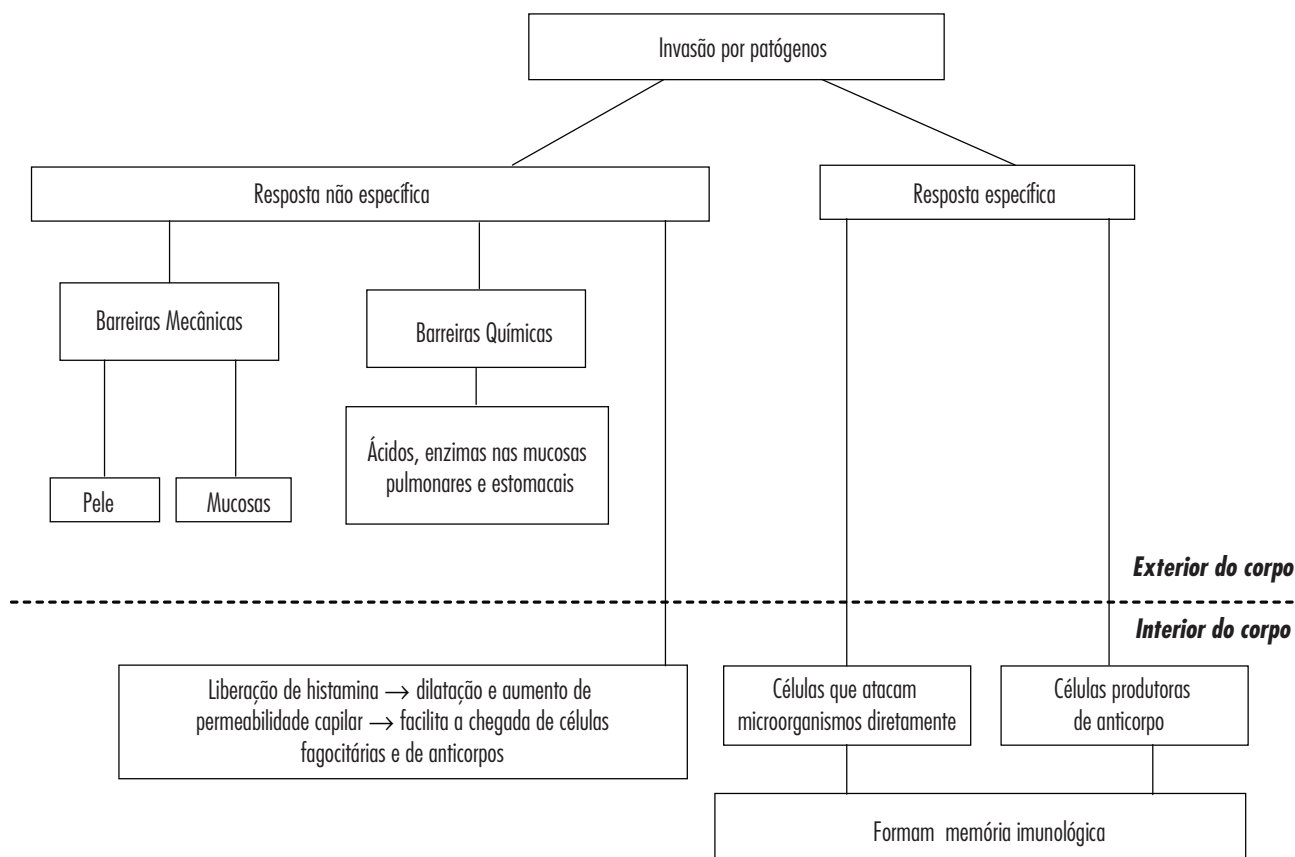
Esse sistema de defesa se baseia na capacidade dessas células discriminarem as próprias células do organismo das que lhe são estranhas. Células “estrangeiras” são reconhecidas como tal por apresentarem na sua superfície substâncias (antígenos, em geral proteicos) diferentes daquelas com as quais os leucócitos conviveram desde a formação do indivíduo.

A Figura 4.1 resume os mecanismos específicos e não específicos de resposta do sistema imunológico. A resposta inespecífica começa no exterior do corpo, por meio de barreiras mecânicas e químicas e continua no interior do corpo por meio da resposta inflamatória. A resposta específica envolve a ação de células denominadas linfócitos, que são capazes de reconhecer antígenos específicos e de formar uma memória imunológica. É importante ter em mente que todos os leucócitos reconhecem antígenos presentes em sua própria membrana plasmática e nas células do organismo do qual fazem parte, enquanto atacam antígenos diferentes presentes em células invasoras.

O processo de resposta inespecífica é também conhecido como resposta inflamatória, ou simplesmente inflamação. Quando dizemos que um machucado ou órgão está inflamado, isso nem sempre é um fato negativo, já que pode significar que o organismo detectou e está resolvendo a invasão por um agente infeccioso. Os sinais de inflamação são muito conhecidos de todos nós e foram descritos há mais de dois mil anos.

Rubor (ou vermelhidão), inchaço (edema), dor e calor. Esses sinais estão em grande parte relacionados ao aumento da quantidade de sangue no tecido inflamado. Uma inflamação mais intensa em geral é caracterizada por um quinto sinal: a perda de função (quando uma articulação incha e não podemos dobrá-la, por exemplo).

De modo resumido, pode-se dizer que a inflamação se caracteriza pelo aumento da permeabilidade dos vasos sanguíneos. Isso faz com que leucócitos e moléculas presentes no sangue literalmente vazem para o local infectado. Nesses casos, leucócitos como os neutrófilos, eosinófilos e basófilos chegam aos tecidos, assim como proteínas do Sistema Complemento, que perfuram as membranas de muitos organismos. Os leucócitos podem tanto fagocitar (endocitar) os agentes invasores ou seus fragmentos, quanto liberar substâncias tóxicas que os afetam. Embora os leucócitos envolvidos na inflamação reconheçam agentes estranhos ao corpo, eles reagem de modo semelhante a muitos deles. Na verdade, dependendo do tipo de patógeno, um componente da resposta pode ser mais intenso do que outro, mas no geral, as respostas são semelhantes. Por isso, a resposta inflamatória não tem memória, ou seja, se um mesmo agente infeccioso atingir um organismo pela segunda vez, a resposta será semelhante, nem mais intensa, nem mais fraca.



**Figura 4.1:** Mecanismos de defesa específicos e não específicos (adaptado de Filipe Porto - CAP-UFRJ).

As células do próprio organismo também são afetadas pelas substâncias tóxicas produzidas na reação inflamatória. De fato, muitas células do tecido infectado e os próprios leucócitos morrem durante a inflamação. Porém, a resposta inflamatória cessa rapidamente quando o agente infeccioso desaparece. Com isso, os danos causados ao tecido são compensados pela eliminação de um agente potencialmente danoso ou mortal para o conjunto do organismo. As doenças inflamatórias são, em geral, aquelas nos quais a resposta inflamatória não resolve o problema e acaba se tornando crônica. Com isso, a inflamação acaba lesionando tecidos e órgãos, gerando problemas de saúde.

Em muitos casos, enquanto a resposta inflamatória está ocorrendo, o organismo pode estar montando também uma resposta imunológica específica para aquele agente infeccioso. Assim, ainda que a resposta inflamatória não resolva a infecção, ela é muitas vezes fundamental para que o organismo tenha tempo de montar uma resposta imunológica específica, cujo desenvolvimento é mais demorado.

## RESPOSTA IMUNOLÓGICA ESPECÍFICA

O sistema imunológico é complexo, pois é composto por um conjunto de células e moléculas que desempenham diferentes funções no organismo. Essas células e moléculas interagem de muitas maneiras, de tal forma que muitas de suas funções são pouco conhecidas, embora sejam muito estudadas.

A seguir descrevemos de forma resumida a ação dos tipos principais de células e moléculas:

### Células

a. **Linfócitos B:** Estas células são sensibilizadas por antígenos presos a linfócitos T ou macrófagos. Uma vez reconhecido o antígeno, aquele tipo de linfócito B se multiplica, gerando milhares de clones seus, os quais, por sua vez produzem anticorpos do mesmo tipo e por interleucinas liberadas por estes. Multiplicam-se formando um clone de células que produzem anticorpos (Figura 4.4) (proteínas específicas que se ligam aos antígenos na superfície do microorganismo) em grande quantidade por algum tempo (Figura 4.2). Após a infecção ser resolvida, parte dos linfócitos B morre enquanto outros passam a compor a memória imunológica para aquele antígeno.

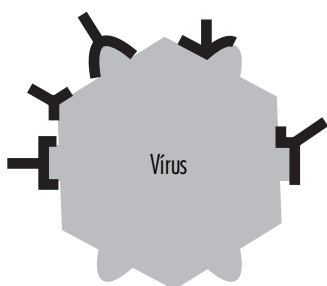
b. **Linfócitos T:** Reconhecem substâncias típicas de microorganismos invasores que ficam expostas na superfície de células por eles infectadas. Alguns linfócitos T atacam estas células infectadas e as destroem (imunidade celular). A multiplicação dos linfócitos T sensíveis a certo tipo de antígeno só ocorre se esse antígeno for apresentado por um macrófago (que é uma célula que ataca microorganismos de forma inespecífica). Uma parte dos linfócitos T específicos endocita e destrói para certo antígeno permanecer na corrente sanguínea compondo a memória imunológica do indivíduo para esse antígeno. Linfócitos T também secretam linfocinas (p. ex. interferon), que atraem macrófagos para o local da infecção, e

interleucinas que ajudam outros linfócitos T e B a ficarem receptivos ao antígeno. Após a infecção ser resolvida, parte dos linfócitos T também morre enquanto outros passam a compor a memória imunológica para aquele antígeno.

c. **Macrófagos:** Atuam na resposta inespecífica fagocitando microrganismos invasores. Os macrófagos secretam enzimas que destroem os agentes invasores e outras que estimulam a ativação dos demais linfócitos. Além disso, fagocitam células ou estruturas estranhas nas quais estejam ligados os anticorpos produzidos pelos linfócitos B (ver adiante).

## Moléculas

a. **Anticorpos:** São proteínas produzidas pelos Linfócitos B, quando estes são estimulados por um antígeno. Normalmente se diz que cada anticorpo reconhece (se liga) um antígeno específico. No entanto, um mesmo antígeno, como por exemplo, um vírus, é composto por muitas moléculas diferentes. Cada uma dessas moléculas pode ser reconhecida por um ou mais anticorpos. Assim, não existe apenas um anticorpo contra o vírus da raiva, por exemplo, mas centenas ou milhares de tipos diferentes.



**Figura 4.2:** Um mesmo microrganismo, vírus ou mesmo uma molécula pode ser reconhecido por muitos tipos de anticorpos diferentes. Cada um desses anticorpos é produzido por um clone de linfócito B diferente. Na figura um vírus é reconhecido por cinco tipos de anticorpos diferentes, cada um dos quais se liga a uma região do antígeno. Essa variedade de anticorpos contribui para a eficiência do sistema imune.

b. **Interleucinas:** São hormônios produzidos pelos diversos tipos de leucócitos (daí seu nome) e que permitem a comunicação entre eles. As interleucinas ajudam o organismo a produzir respostas imunológicas sincronizadas, intensificar a respostas aos antígenos em locais infectados e controlar a resposta ao longo do tempo.

c. **Sistema complemento:** Conjunto de proteínas que circula no sangue e que, em conjunto, são capazes de se ligar à parede celular ou membranas de microrganismos, criando canais que levam à sua destruição.

## A montagem de uma resposta imunológica

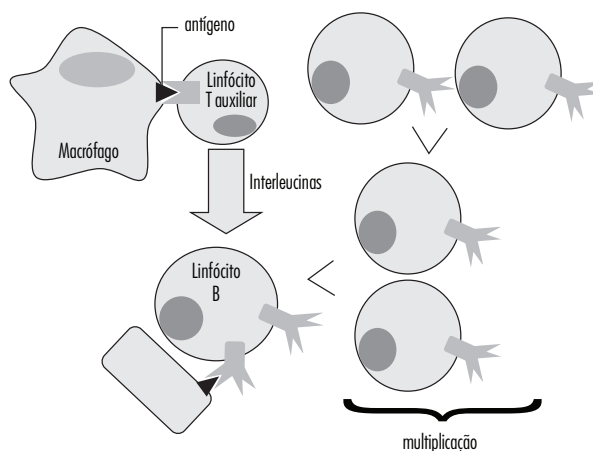
A resposta imunológica específica é complexa e vários fenômenos acontecem simultaneamente. Sua intensidade e velocidade dependem de muitos fatores, como o tipo e a quantidade de agentes infecciosos, o local da infecção e o estado de saúde do indivíduo infectado.

De modo geral porém, podemos dizer que os seguintes eventos acontecem em todas as respostas imunológicas específicas.

1. O agente infeccioso em um tecido ou na circulação precisa entrar em

contato com células especializadas em fagocitose. Uma vez encontrado, o antígeno é fagocitado por macrófagos, decomposto e vários dos antígenos que o compõem são “apresentados” na superfície da célula fagocítica.

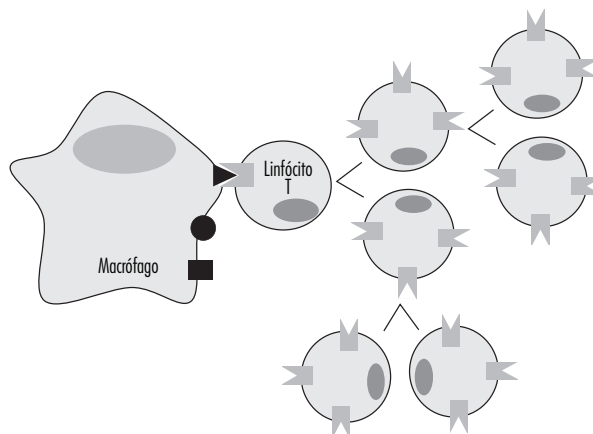
2. Os antígenos apresentados na superfície da célula fagocítica entram em contato com os vários dos milhões de “clones” de linfócitos T existentes no organismo. Cada clone reconhece apenas uma parte de um antígeno (denominada epitopo). Quando o antígeno apresentado é reconhecido (encaixa) por receptores específicos na membrana de Linfócitos T, essa ligação ativa os linfócitos T.



**Figura 4.3:** Ativação de Linfócitos T durante a montagem de uma resposta imunológica específica e seus efeitos sobre os linfócitos B.

3. Os antígenos na superfície do macrófago também são reconhecidos por um tipo especial de Linfócito T (auxiliares ou “helpers”). Também no caso dos linfócitos auxiliares existem milhões de clones diferentes e é preciso que a célula apresentadora encontre o clone específico para o antígeno.

4. Os anticorpos presentes na membrana de alguns tipos de linfócitos B se ligam aos seus antígenos, sejam eles componentes de vírus, bactérias ou mesmo corpos estranhos não vivos (por exemplo, substâncias tóxicas como a peçonha de muitos animais). Como existem também milhões de clones de linfócitos B diferentes, a ativação dos clones específicos dependerá do seu encontro com os antígenos que eles reconhecem. Esses linfócitos são ativados com ajuda de substâncias produzidas por Linfócitos T auxiliares.



**Figura 4.4:** Ativação de Linfócitos B durante a montagem de uma resposta imunológica específica. Lembre-se da participação dos linfócitos T nesse processo, conforme mostrado na Figura 4.3.

5. Tanto linfócitos B quanto T ativados pelos antígenos se multiplicam.  
6. Os linfócitos T auxiliares produzem interleucinas que aumentam a ativação dos linfócitos B.

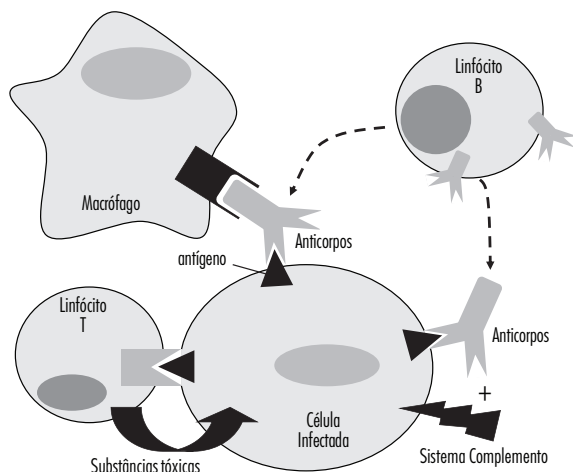
7. Os Linfócitos B ativados produzem grandes quantidades de anticorpos, que são secretados e passam a circular pelo organismo (no sangue, na linfa e nos fluidos intersticiais).

8. Os linfócitos T ativados são atraídos para o local da infecção, onde reconhecem o agente infeccioso portador do seu antígeno específico, atacando-o com diversas substâncias tóxicas e eventualmente destruindo-o.

9. Os anticorpos específicos se ligam aos antígenos na superfície de agentes infecciosos que encontram. A ligação dos anticorpos pode levar à fagocitose por macrófagos ou à ação das proteínas do Sistema Complemento. Em ambos os casos o agente pode ser destruído.

10. Se a infecção é resolvida, grande parte dos Linfócitos T e B ativados morre. No entanto, restam células de ambos os tipos denominadas Células de Memória imunológica. Essas células permanecem com baixa atividade, mas são capazes de se multiplicar quando estimuladas e de produzir anticorpos (no caso do linfócito B) ou atacar diretamente (linfócitos T) seus antígenos.

Um resumo simplificado desse processo está mostrado na figura 4.5. Note que alguns componentes e etapas não são mostrados, por uma questão de simplicidade.



**Figura 4.5:** Resumo dos efeitos das diferentes respostas imunológicas específicas para um mesmo microorganismo.

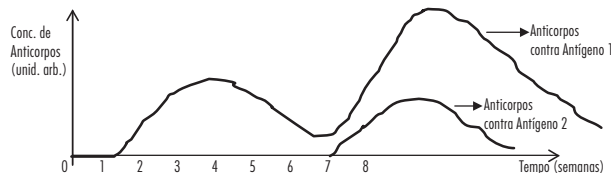
## A MEMÓRIA IMUNOLÓGICA: O SEGREDO POR TRÁS DAS VACINAS

### Atividade 1

Iniciaremos a discussão desse tema propondo que você responda a uma pergunta. Tente explicar porque a vacina de Jenner e a variação protegiam as pessoas tratadas contra a varíola? Para responder você deverá usar as características da resposta imunológica que acaba de estudar.

### Atividade 2

Mediu-se no sangue de uma cobaia a concentração de anticorpos em relação a dois antígenos diferentes (1 e 2). O antígeno 1 foi injetado nas mesmas cobaias em dois momentos diferentes (0 e 5ª semana). O antígeno 2 foi aplicado apenas na 5ª semana. Como podemos explicar os resultados mostrados no gráfico?



(Filipe Porto - CAP-UFRJ)

### Atividade 3

Os soros são compostos da parte líquida, sem células, do sangue de animais nos quais foi previamente injetado o antígeno de interesse (uma peçonha de serpentes, por exemplo). Os soros, ao contrário das vacinas, oferecem proteção imediata contra o antígeno, mas essa proteção é de curta duração e não forma memória.

Com base nas informações apresentadas até agora elabore hipóteses sobre a produção de uma vacina (ação preventiva e prolongada) e a produção de um soro (ação imediata) a partir da utilização de antígenos ou de anticorpos, explicando as diferenças entre seus efeitos protetores.

## EXERCÍCIOS

**1)** Nos transplantes de órgãos e nas transfusões de sangue há sempre um risco de rejeição. A rejeição é um ataque do sistema imune do paciente receptor sobre o órgão doado. No caso das transfusões esse risco é muito reduzido com a utilização de doadores do mesmo tipo sanguíneo do receptor. O mesmo procedimento reduz, mas não elimina a rejeição de órgãos mais complexos, como rins e coração. Sabe-se que órgãos transplantados entre gêmeos univitelinos não são rejeitados pelo receptor.

Explique por que não ocorre rejeição entre gêmeos univitelinos.

**2)** (UFRJ/1999 - P2) Uma pessoa só contrai o coléra se ingerir água contendo, no mínimo, 108 vibriões, o microorganismo causador dessa doença. No entanto, se uma pessoa beber água contendo bicarbonato de sódio - um antiácido - são necessários apenas 104 vibriões para iniciar a doença. Por que ocorre essa diferença?

**3)** Esponjas são animais cujo corpo possui um padrão de organização apenas ao nível celular. Suas células formam tecidos rudimentares, pois cada uma retém a capacidade de agir isoladamente e nunca formam tecidos diferentes nem



constituem órgãos como coração e fígado, presentes em outros animais. Ao passarmos uma esponja por uma peneira suas células são capazes de retomar sua organização corporal anterior. Se inoculamos células de uma espécie de esponja (A) no corpo de outra espécie (B), estas células são englobadas por amebócitos da espécie B e expulsas do corpo da esponja receptora. Se tornamos a injetar células da espécie A na espécie B, a resposta se repete, mas na mesma velocidade. A velocidade de expulsão de células da espécie estranha pela esponja receptora é sempre a mesma.

Se fizemos um tratamento semelhante no corpo de um sapo (injeção de células de uma espécie X no corpo de outro de uma espécie Y veremos que a velocidade de destruição das células estranhas aumentará na segunda vez que as células estranhas da espécie X forem injetadas.

a. Qual a explicação para a diferença entre os resultados da rejeição de sapo e rejeição por parte das esponjas?

b. Qual seria o provável resultado da rejeição por parte do sapo, se a cada inoculação, usássemos diferentes tipos de células exógenas? Justifique.

4) Leia o texto abaixo e responda às questões:

*Sobre a imunidade à praga de Atenas*

*Toda especulação sobre suas origens e suas causas, se causas possam ser encontradas adequadas a produzir tão grande distúrbio, deixo para outros escritores...*

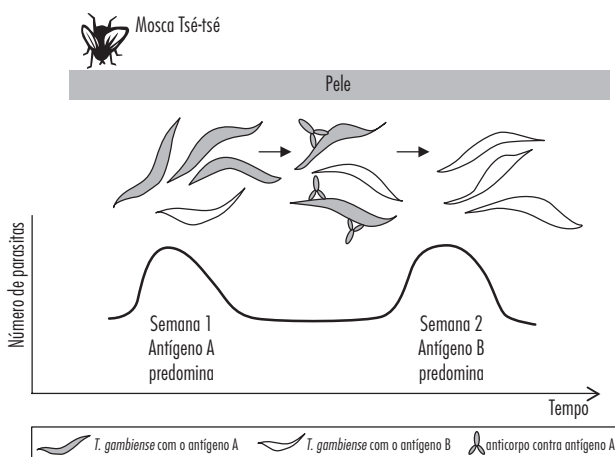
*Contudo, foi nos que haviam se recuperado da doença que os enfermos e moribundos encontraram o máximo de compaixão. Aqueles sabiam o que era por experiência, e agora nada tinham a temer por si mesmos; pois o mesmo homem nunca foi atacado duas vezes (1) — nunca, pelo menos fatalmente. E tais pessoas não só recebiam as congratulações dos outros, mas elas mesmas, com o júbilo do momento, mantinham um pouco a vã esperança de que estivessem, para o futuro, a salvo de toda e qualquer doença (2).*

Thucydides (460-400 a.C.). *A História da Guerra do Peloponeso*.

a. Que característica do sistema imunológico está relacionada à observação contida no trecho sublinhado (1)? Explique.

b. Que característica do sistema imunológico explica a “vã esperança” referida no trecho (2)? Explique.

5) Um protozoário conhecido como *Trypanosoma gambiense* provoca no homem a chamada “doença do sono”, que é transmitida pela picada da mosca tsé-tsé. O estudo da reação imunitária do organismo humano aos antígenos da superfície dos parasitas está demonstrado no esquema abaixo.



a. Explique por que os parasitas com antígeno A desapareceram na semana 2 e cite o principal tipo celular participante da reação responsável por esse desaparecimento.

b. Justifique o aumento do número de parasitas com antígeno B na semana 2.

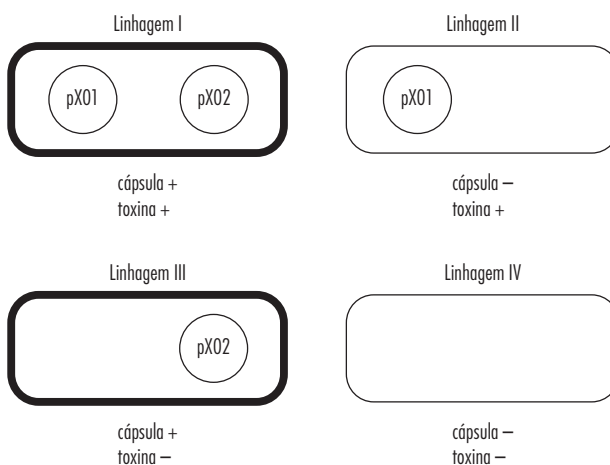
6) Sabe-se que a infecção bacteriana é uma das causas de óbito nos indivíduos que sofreram queimaduras em grandes extensões do corpo.

a. Cite uma substância das células superficiais do epitélio e uma característica do tecido conjuntivo que auxiliam na proteção contra infecções bacterianas.

b. Explique a vantagem de se utilizar a pele do próprio indivíduo para recobrir as áreas destruídas, em vez de serem utilizados enxertos de pele de outras pessoas.

7) (UERJ) A virulência do *Bacillus anthracis*, causador do antraz, está diretamente associada à presença conjunta dos componentes toxina e cápsula bacteriana, e é atenuada quando um deles está ausente. Os constituintes da toxina são codificados por genes existentes no plasmídeo pX01, e os da cápsula por genes existentes no plasmídeo pX02.

O esquema abaixo representa quatro diferentes linhagens de *Bacillus anthracis*.





A cápsula do *Bacillus anthracis*, ao contrário da toxina, não possui antígenos capazes de provocar reação imunológica protetora em mamíferos. Dentre as linhagens apresentadas, indique a que pode ser utilizada na elaboração de uma vacina composta por bactérias vivas com virulência atenuada. Justifique sua indicação.

**8)** O Vírus HIV destrói principalmente os Linfócitos T, afetando pouco as demais células do sistema imunológico. No entanto, os indivíduos infectados e não tratados também perdem grande parte de sua capacidade de produzir anticorpos. Explique por que acontece a deficiência na produção de anticorpos.





## □ ARQUIVO DA HEREDITARIEDADE E OS CROMOSSOMOS

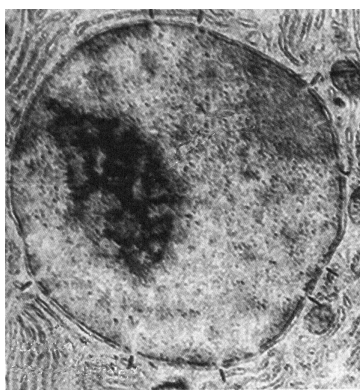
*:: Objetivo ::*

- *Compreender a importância e a estrutura dos cromossomos.*

## INTRODUÇÃO

As demonstrações de que o núcleo era essencial para que a célula sobrevivesse, se regenerasse e, principalmente, se reproduzisse, fizeram com que o estudo dessa organela despertasse ainda mais interesse entre os pesquisadores. Da mesma maneira como muitos se voltaram para o interior das células, mais do que para a célula como um todo, muitos se voltaram então para o estudo do que havia no interior do núcleo. Afinal, aparentemente a chave para compreender a maneira como as informações eram transmitidas de uma geração para a outra e de como uma única célula poderia dar origem a um novo organismo pareciam estar localizadas nele. Mais uma vez, o pontapé inicial foi dado, em parte, graças às técnicas histológicas.

O uso de diferentes corantes permitiu demonstrar que o interior do núcleo era preenchido por uma substância que se espalhava em todo seu interior. Esta substância, cuja composição química não havia sido determinada em detalhes, foi denominada de cromatina (este prefixo “cromo” ou “croma” aparecerá frequentemente e significa que se refere a algo que se “colore”, “cora” ou seja, que tem cor). Conforme podemos ver na figura 5.1, algumas regiões do núcleo se coram mais fortemente do que outras, quando um mesmo corante é usado, ainda que, em termos da cor propriamente dita, os dois tipos de regiões sejam semelhantes. Estas semelhanças de cor levaram à ideia de que a composição química dos dois tipos de cromatina seria semelhante, mas que uma se corava uniformemente (eucromatina) enquanto outra se corava de maneira diferente do resto (heterocromatina) (hetero=diferente) do resto. O fato da heterocromatina se corar mais fortemente do que a eucromatina, porém do mesmo modo com um mesmo tipo de corante, sugeria que a substância que compunha ambos os tipos de cromatina estava presente em maior quantidade na heterocromatina. Outra pista importante vinda da histologia foi o fato de que o núcleo se corava especialmente bem com corantes que tinham afinidade por substâncias ácidas.

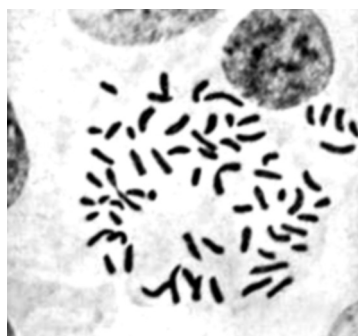


**Figura 5.1:** Núcleo corado mostrando regiões mais e menos coradas

Em resumo, esses dados mostravam que a cromatina era composta por uma ou mais moléculas ácidas distribuídas de maneira heterogênea (diferente) no interior do núcleo. Em algumas regiões haveria muita cromatina e em outras haveria menos. Além disso, a cromatina estaria virtualmente ausente fora do núcleo.

## MUDANÇAS NA ORGANIZAÇÃO DA CROMATINA: OS CROMOSSOMOS

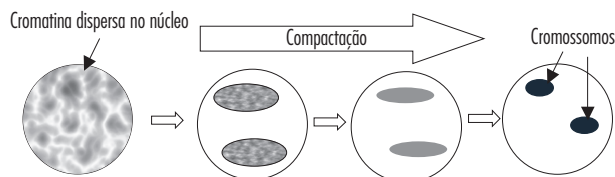
À medida que o estudo da cromatina foi realizado em diversas células diferentes, percebeu-se que, em algumas situações, o núcleo apresentava somente alguns poucos pontos de heterocromatina que se coravam muito fortemente (figura 5.2). Esta heterocromatina parecia estar localizada apenas em alguns poucos “corpos” muito pequenos dentro do núcleo. Aqui é importante destacar que, em Biologia usa-se muito a palavra “corpo” para descrever objetos de formas irregulares e de função desconhecida. No caso de objetos muito pequenos era frequente o uso do termo “corpúsculo” (pequenos corpos). Como aqueles corpúsculos que apareciam no interior do núcleo se coravam fortemente, receberam o nome de cromossomos (“soma” ou “somo” significa corpo em grego).



**Figura 5.2:** Núcleo corado mostrando cromossomos

Os cientistas de então verificaram que os núcleos contendo cromossomos eram muito mais comuns em tecidos em crescimento, ou seja, cujas células estavam se multiplicando constantemente, do que em tecidos em que a reprodução celular não estava ocorrendo (ou ocorria pouco), nas quais os núcleos apresentavam apenas cromatina.

Uma ideia inicial que surgiu da observação das mudanças ocorridas no núcleo em processo de divisão foi a de que os cromossomos provavelmente eram a mesma coisa que a cromatina, porém compactada em corpúsculos densos, que por isto mesmo se coravam fortemente (figura 5.3). E, afinal, se a cromatina difusa desaparecia quando os cromossomos apareciam, era razoável supor que uma coisa se transformasse na outra.



**Figura 5.3:** Representação esquemática da transformação da cromatina em cromossomos. A ideia dos cientistas era que a cromatina iria sendo compactada em uns poucos corpúsculos (os cromossomos). Como se um fio de linha fosse sendo enrolado em um carretel. Como a cromatina estava concentrada nos cromossomos, estes se coravam fortemente.

Aqui vale a pena lembrar que a coloração histológica exige que as células estejam fixadas (mortas) e por isso não era possível observar o que ocorria com a cromatina de um mesmo núcleo à medida que a célula se duplicava. Afinal, a

célula morria quando era corada e seu núcleo ficava fixado do jeito que estava naquele momento. Por isso mesmo, para compreender a sequência de eventos que ocorria no núcleo durante a duplicação, era preciso observar um grande número de células para encontrar aquelas cujo núcleo estava aparentemente se duplicando.

Supondo que a ideia da transformação da cromatina em cromossomos estava correta, havia duas hipóteses (ou ideias) principais a respeito da formação dos cromossomos:

I. os cromossomos se formavam ao acaso, ou seja, conforme a cromatina se reorganizava, eram formadas quantidades diferentes de cromossomos a cada divisão celular,

ou

II. eles se formavam sempre do mesmo jeito, em um processo controlado e organizado, sempre no mesmo número em todas as células, através de mecanismos de controle que, na época, eram absolutamente inexplicáveis.

### Atividade 1

Imagine que você seja um cientista, e que disponha de um bom microscópio no qual possa observar detalhes dos núcleos de células de um tecido em crescimento. Tente agora imaginar uma maneira de testar qual das duas hipóteses estava correta, eventualmente mostrando que uma delas não era válida.

Uma das abordagens adequadas para eliminar uma das duas possibilidades foi realizada e era bastante direta: bastava corar o núcleo de diferentes células de um mesmo organismo e simplesmente contar os cromossomos em todas elas. Além disso, para estudar a ideia mais a fundo, isso foi feito com células de diversas espécies de animais. Os resultados obtidos em algumas dessas observações estão resumidos nas tabelas 5.1 e 5.2.

Nº de cromossomos	Indivíduo 1	Indivíduo 2	Indivíduo 3
<b>Chimpanzé</b>	48	48	48
<b>Homem</b>	46	46	46
<b>Percevejo</b>	12	12	12

**Tabela 5.1:** Nº de cromossomos nas células de indivíduos diferentes de uma mesma espécie.

Nº de Cromossomos	Tipo de célula			
	Pele	Músculo	Fígado	Leucócitos
<b>Mosca da banana</b>	8	8	-	-
<b>Homem</b>	46	46	46	46
<b>Chimpanzé</b>	48	48	48	48
<b>Pato</b>	80	80	80	80
<b>Percevejo</b>	12	12	-	-
<b>Gafanhoto</b>	8	8	-	-
Observação: o “-” indica que a contagem não foi feita, porque o organismo não tem aquele tipo de célula				

**Tabela 5.2:** Nº de cromossomos em células de diferentes tecidos de uma mesma espécie.

### Atividade 2

Observe com atenção os dados referentes ao número de cromossomos em células de várias espécies de organismos, reflita e responda:

a. Existe alguma coisa comum a todos os indivíduos de uma mesma espécie? (tabela 5.1)

b. Existe alguma coisa comum a todas as células de um mesmo organismo? Justifique. (tabela 5.2).

c. Existe alguma coisa comum às células de todas as espécies estudadas? Justifique sua resposta. (tabela 5.2).

## A ESTRUTURA DOS CROMOSSOMOS

Não era apenas o número de cromossomos que despertava a atenção dos pesquisadores, mas também a sua estrutura. Se o número de cromossomos parecia seguir o padrão que você descreveu, então era provável que sua organização não se desse ao acaso. Era preciso saber ainda o quanto o processo era organizado.

Como você deve se lembrar, as informações para a formação das células e dos organismos, estavam contidas no núcleo. Como o núcleo continha cromossomos, ficou claro que as informações genéticas (hereditárias) deveriam estar nos cromossomos. Isso despertou um enorme interesse por pesquisas sobre os cromossomos. Muitos estudos foram feitos, então, visando caracterizar a forma e a organização da cromatina nos cromossomos. Para isso foram utilizados microscópios ópticos de excelente qualidade.

Além disso, naquela época haviam sido desenvolvidos corantes capazes de revelar detalhes sobre a organização da “cromatina” nos cromossomos. Quando os cromossomos eram corados com esses corantes, e observados em microscópios potentes, era possível notar que a substância que compunha os cromossomos estava distribuída de forma heterogênea ao longo dos “braços” de cada um deles. Por isso os cromossomos parecem listrados ao serem vistos ao microscópio ótico, alternando faixas claras (pouco coradas) e faixas escuras (muito coradas). Um detalhe: você pode sentir a tentação de chamar os braços compridos de pernas e os braços curtos de braços mesmo, mas a nomenclatura adotada pelos geneticistas é “braços longos” e “braços curtos” e nós vamos ter de segui-la.

Para facilitar o estudo, a figura 5.4 contém esquemas representando, em tamanho muito ampliado, apenas três dos cromossomos retirados de células humanas.



**Figura 5.4:** Tipos de cromossomos

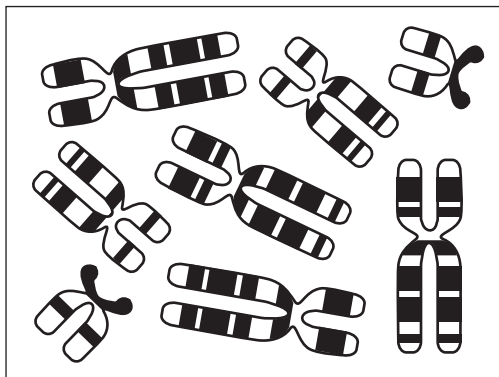
### Atividade 3

Analise com cuidado a figura 5.4 e responda às questões.

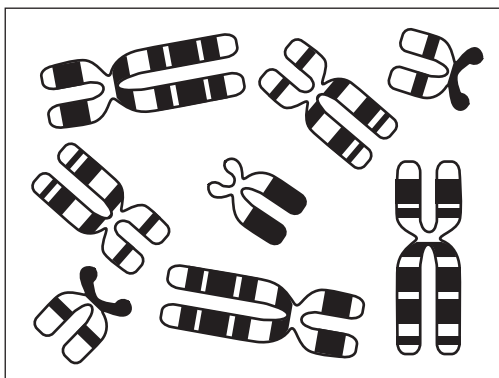
a. Existe(m) característica(s) comum(ns) a todos os cromossomos? Quais são elas?

b. O que torna os cromossomos diferentes uns dos outros?

Agora vamos analisar um conjunto completo de cromossomos presentes em uma célula. Para facilitar vamos usar uma espécie com menos cromossomos do que a nossa. A figura 5.5 abaixo representa os cromossomos presentes no núcleo de uma célula de dois indivíduos (**A** e **B**) da mesma espécie de inseto.



**A:** cariótipo nº 1



**B:** cariótipo nº 2

**Figura 5.5**

### Atividade 4

Observe a célula do indivíduo **A** e responda:

a. Quantos cromossomos existem nessa célula?

b. Quantos tipos diferentes de cromossomos existem nessa célula?

Como você deve ter percebido, é possível identificar \_\_\_\_\_ tipos diferentes de cromossomos, havendo \_\_\_\_\_ cromossomos de cada tipo. Os diferentes tipos de cromossomos puderam ser identificados pela combinação de três características: pelo \_\_\_\_\_, pelo \_\_\_\_\_ e pelas \_\_\_\_\_ ao longo dos braços. Os cromossomos de um mesmo tipo são chamados de **homólogos**.

### Atividade 5

Observe agora **B** que também representa todos os cromossomos presentes no núcleo de uma célula de outro indivíduo da mesma espécie de inseto e responda:

a. Quantos cromossomos existem nessa célula?

b. Quantos tipos diferentes de cromossomos existem nessa célula?

### Atividade 6

Compare, agora, **A** e **B**, sabendo que ambas representam indivíduos normais dessa espécie. Proponha explicações para a diferença entre os cromossomos das duas células, sabendo que os dois indivíduos são normais.

Agora vamos refletir sobre algumas questões importantes. Pense nas perguntas que vamos colocar, levando em conta as conclusões a que chegou até aqui.

Todas as células de um mesmo indivíduo são formadas a partir de uma só, a célula-ovo. Essa única célula-ovo foi formada a partir da junção de duas células (o óvulo e o espermatozoide) de dois indivíduos de sexos opostos, mas de uma mesma espécie. Qual deveria ser o número de cromossomos de uma célula-ovo de um pato, já que ela foi formada a partir de duas células que se juntaram? Com base em sua resposta, o que deveria acontecer com o número de cromossomos dos indivíduos de uma mesma espécie ao longo de milhares de gerações?

Vamos agora a uma outra questão. Uma vez formada, a célula-ovo gera duas, e destas duas se formam quatro (duas a partir de cada uma) e assim por diante, até formar o organismo inteiro. O que deveria acontecer, então, com o número de cromossomos formados a partir de uma célula-ovo de pato a cada vez que ela se dividisse em duas?

Agora compare suas duas respostas com suas conclusões anteriores, em especial com os valores mostrados nas tabelas 5.1 e 5.2. As respostas lhe parecem coerentes? Por quê?

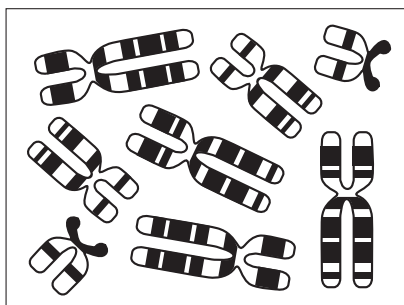
## RESUMO

- O núcleo da célula é preenchido por uma substância que se cora com corantes que têm afinidade por substâncias ácidas (cromatina).
- Essa substância se distribui de forma desigual pelo núcleo e não existe fora do núcleo.

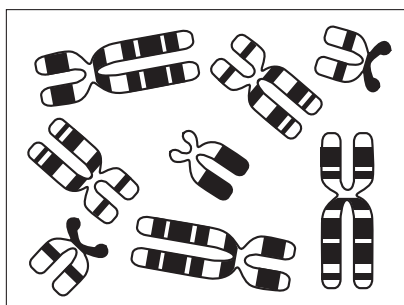
- Nas células que estão se dividindo a cromatina se compacta em corpúsculos densos chamados cromossomos.
- Os cromossomos contêm as informações sobre as características hereditárias. Essas informações são, na verdade, os genes.
- Os cromossomos podem ser de vários tipos, identificados de acordo com a forma, o tamanho e o padrão de listras que apresentam.
- Cromossomos do mesmo tipo, que formam um par, recebem o nome de homólogos.
- O número de cromossomos de todos os indivíduos de uma mesma espécie é sempre o mesmo.
- O número de cromossomos é constante nas células de diferentes tecidos de um mesmo organismo.
- As espécies que se reproduzem por reprodução sexuada apresentam um número par de cromossomos.
- Na espécie humana existe um par de cromossomos que pode ser formado de dois homólogos (XX) ou de dois não homólogos (heterólogos — XY). Em outras espécies existem outros pares de cromossomos heterólogos diferentes.
- Esse par de cromossomos determina o sexo do indivíduo. O par homólogo (XX) determina o sexo feminino. Quando o par é não homólogo (XY), a presença do cromossomo Y determina o sexo masculino.
- A existência de pares de cromossomos heterólogos, está relacionada à determinação do sexo dos indivíduos.

## EXERCÍCIOS

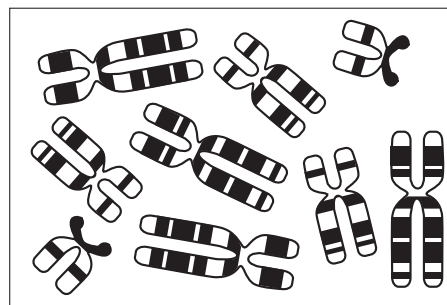
**1)** As três células representadas abaixo pertencem a indivíduos da mesma espécie, porém o indivíduo **C**, apresenta uma série de problemas físicos. Observe os cromossomos do indivíduo **C** e compare-os com os de **A** e de **B**. Responda:



**Indivíduo A:** fêmea normal



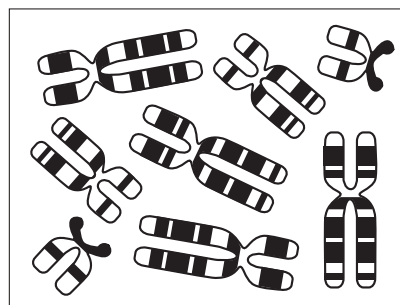
**Indivíduo B:** macho normal



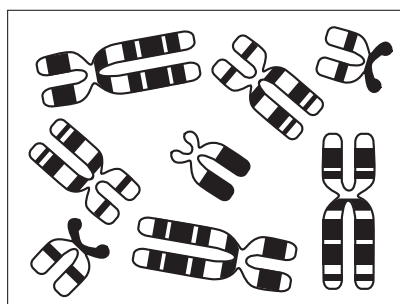
**Indivíduo C**

- Quantos cromossomos há nas células do indivíduo **C**? O número de cromossomos de **C** é igual ao de **A** e de **B**?
- Quantos tipos de cromossomos há em cada uma das células do indivíduo **C**? O número de tipos de cromossomos é o mesmo dos indivíduos **A** e **B**? Explique.
- Quantos pares de cromossomos homólogos há nas células do indivíduo **C**?
- Você percebeu algum problema quanto ao número de cromossomos deste indivíduo? Qual?

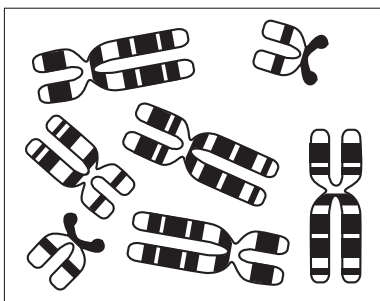
**2)** Observe os cromossomos dos indivíduos **A**, **B** e **D** representados abaixo e compare-os. As três figuras representam indivíduos da mesma espécie, porém o indivíduo **D** apresenta uma série de problemas físicos. Responda:



**Indivíduo A:** fêmea normal



**Indivíduo B:** macho normal

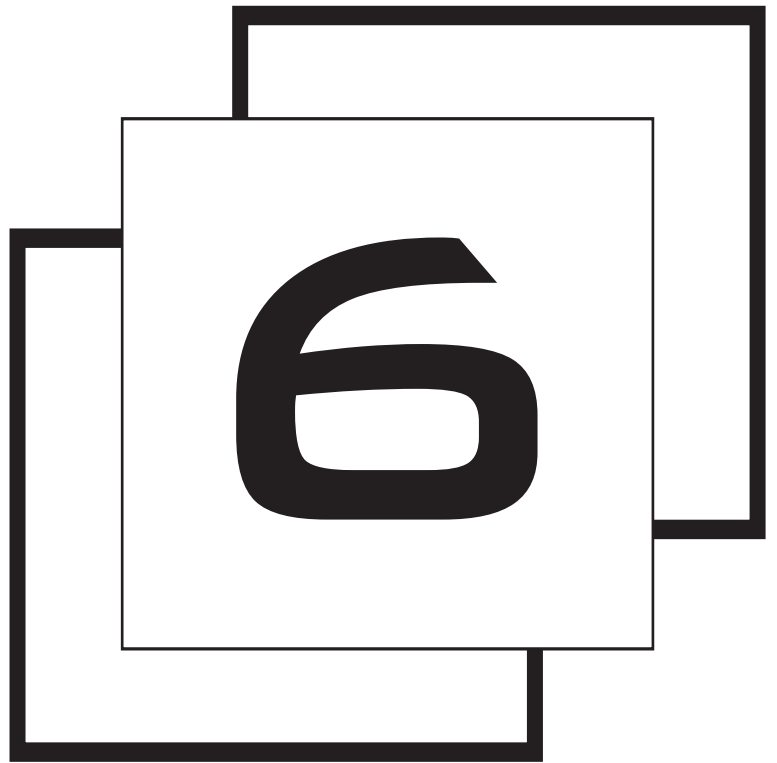


**Indivíduo D**

- a. Quantos cromossomos há nas células do indivíduo **D**? O número de cromossomos de **D** é igual ao de **A** e de **B**?
- b. Quantos tipos de cromossomos há em cada uma das células do indivíduo **D**? O número de tipos de cromossomos é igual ao de **A** e de **B**? Explique.
- c. Quantos pares de cromossomos homólogos há nas células do indivíduo **D**?
- d. Você percebeu algum problema quanto ao número de cromossomos deste indivíduo? Qual?

**3)** Qual o sexo dos indivíduos **C** e **D**? Explique.





## □ NÚCLEO E A DIVISÃO CELULAR

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular.*

## INTRODUÇÃO

Encerramos nosso último capítulo com a seguinte contradição: uma vez formada, a célula-ovo se divide e gera duas, e destas duas se formam quatro (duas a partir de cada uma) e assim por diante, até formar o organismo inteiro. O que deveria acontecer, então, com o número de cromossomos formados a partir de uma célula-ovo a cada vez que ela se dividisse em duas? Como você pode perceber existe um problema, pois o número de cromossomos se mantém o mesmo em todas as células de um organismo (capítulo 5).

## OS CROMOSSOMOS E A DIVISÃO CELULAR

Vamos começar o capítulo propondo uma atividade utilizando representações de cromossomos semelhantes àsquelas que usamos no capítulo anterior. Essa atividade o ajudará a entender a solução para o dilema do qual tratamos há pouco.

### Atividade 1

Para resolver o problema que acabamos de mencionar, o que precisaria acontecer com o número de cromossomos da célula-ovo antes de sua divisão? Explique sua resposta.

Levando em conta sua resposta à pergunta acima, vamos agora reexaminar os cromossomos mostrados na figura 5.4 de nosso capítulo anterior e reproduzidos abaixo.



**Figura 6.1:** Tipos de cromossomos mostrados na figura 5.4

### Atividade 2

Análise com atenção **cada um** dos cromossomos mostrados na figura 6.1 e procure responder:

a. É possível dividir cada um desses cromossomos em pelo menos dois pedaços exatamente iguais? Se for, como isso poderia ser feito?

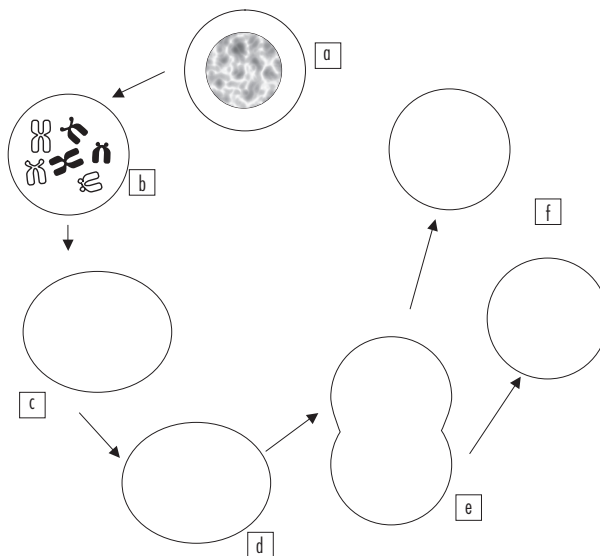
b. É possível dividi-los em mais do que dois pedaços, sendo todos eles exatamente iguais? Por que?

Se os cromossomos de uma célula vão ser divididos igualmente entre as células filhas, mantendo a quantidade inicial, é razoável supor que eles precisam dobrar em número em algum estágio do ciclo celular.

Observou-se que, quando os cromossomos se tornam visíveis no início da divisão celular, eles já estão duplicados. Cada metade de um cromossomo visto

ao microscópio óptico durante a divisão celular, portanto, corresponde a um cromossomo que existe nas células quando elas não estão se dividindo. Assim, em algum momento entre seu desaparecimento ao final de uma divisão celular e seu reaparecimento no início da próxima divisão, cada cromossomo é duplicado. Isso explica a forma característica dos cromossomos vistos ao microscópio, com duas metades exatamente iguais e a distribuição idêntica das faixas nas duas metades (capítulo 5). Cada metade de um cromossomo duplicado é denominado cromátide. Lembre-se: cada cromátide de um cromossomo duplicado equivale a um cromossomo “normal” existente nas células que não estão se dividindo.

Podemos, então, esquematizar o ciclo celular da seguinte maneira:



**Figura 6.2:** Ciclo Celar: sequência esquemática dos eventos da divisão celular.

### Atividade 3


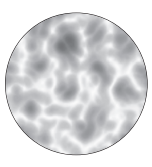

Preencha a tabela abaixo com a descrição do comportamento dos cromossomos mostrado no esquema da figura 6.2.

Eventos	Descrição	Situação dos cromossomos
a		
b		
c		
d		
e		
f		

**Tabela 6.1:** Principais eventos do Ciclo Celular

O período em que a célula não está se dividindo recebe o nome de Intérfase. O nome significa que a célula está numa fase entre (inter) duas divisões. Durante

esse período, em que os cromossomos não são visíveis, as células crescem e o seu material genético (que forma os cromossomos) se duplica. Desse modo o ciclo celular pode ser esquematizado como segue:

Divisão	Intérfase	Divisão
		
Cromossomo duplicado = 2 Cromátides	Cromatina = Cromossomo não visível = 1 Cromátide	Cromossomo duplicado = 2 Cromátides

#### Atividade 4

Complete o quadro abaixo com as letras dos esquemas da figura 6.2 que correspondem a cada fase do ciclo celular.

Intérfase	Divisão	Intérfase

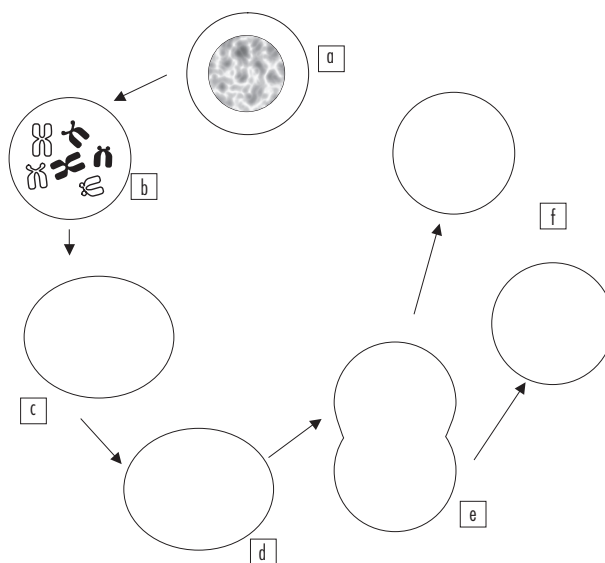
Como pudemos observar, o fato mais importante desse processo de divisão celular, do ponto de vista da hereditariedade, é que o número de cromossomos permanece constante através das sucessivas divisões celulares. Na verdade seria mais correto afirmar que as células se duplicam e não que elas se dividem. Para ser ainda mais preciso, pode-se dizer que primeiro a célula se duplica e depois ela se divide. Ou seja, há uma duplicação dos cromossomos seguida de uma divisão celular, na qual as cromátides dos cromossomos são divididas entre as duas células filhas. Portanto, cada célula filha recebe uma cromátide de cada cromossomo de cada par de homólogos. Por isso mesmo, as células filhas continuam tendo pares de homólogos. Este ciclo prossegue de divisão após divisão, sem modificar o número de cromossomos por célula ao longo do crescimento. Esse tipo de divisão celular, em que o número de cromossomos se mantém o mesmo e que gera duas células filhas, é denominado de **mitose**.

Muitos seres vivos unicelulares se reproduzem assexuadamente por mitose. Do mesmo modo, todas as células de um mesmo indivíduo são formadas a partir de uma só, a “célula-ovo”, que se reproduz por mitose muitas e muitas vezes, mantendo constante o número de cromossomos da espécie.

Como vimos, um dos problemas relativos ao número de cromossomos que levantamos no capítulo anterior é resolvido com a existência da mitose.

#### Atividade 5

Para fixar os conceitos vistos até aqui, propomos que você esquematize em casa o ciclo celular de uma célula com 3 pares de cromossomos homólogos, completando os desenhos abaixo:



#### RESUMO

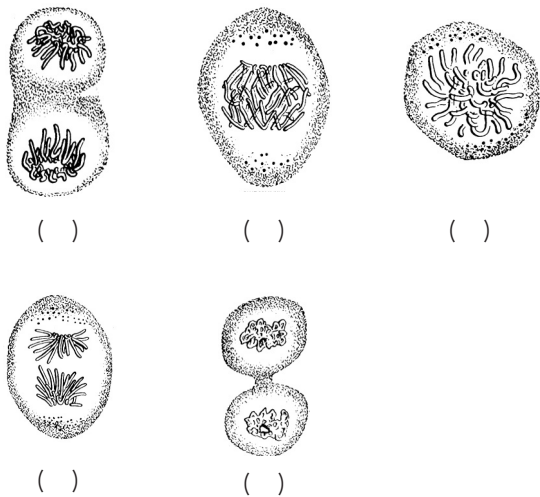
- Na intérfase os cromossomos são invisíveis, formando a cromatina.
- No início da divisão celular os cromossomos encontram-se duplicados.
- Os cromossomos são duplicados durante a Intérfase (perto do seu final, que é na verdade, o início de divisão celular).
- Cada metade de um cromossomo duplicado, e portanto, visível, recebe o nome de cromátide.
- Uma cromátide corresponde a um cromossomo existente na célula antes da divisão celular.
- As cromátides se tornam visíveis no início da divisão celular quando os cromossomos já estão duplicados.
- Na mitose são produzidas duas células filhas, cada uma com o mesmo número de cromossomos da célula mãe.
- Todos os tecidos de um organismo são produzidos a partir da célula-ovo, por mitoses sucessivas.

#### EXERCÍCIOS

**1)** Como vimos anteriormente, as células precisavam ser mortas, fixadas e coradas para que seus cromossomos pudessem ser observados. Por isso mesmo, para compreender a sequência de eventos que ocorria no núcleo durante a duplicação celular, os pesquisadores observavam um grande número de células em divisão ao microscópio e registravam (por meio de desenhos cuidadosos) a aparência dos cromossomos nos núcleos. Desse modo tentavam determinar a possível sequência dos eventos observados no núcleo.

Estamos propondo agora, que você faça o mesmo tipo de trabalho que os cientistas do passado faziam. As figuras a seguir representam núcleos de células em diferentes momentos de divisão celular. Esses desenhos foram publicados em 1882, pelo citologista Walther Flemming, descobridor da mitose.

a. Numere os esquemas da figura abaixo, na ordem em que você imagina que os eventos acontecem.

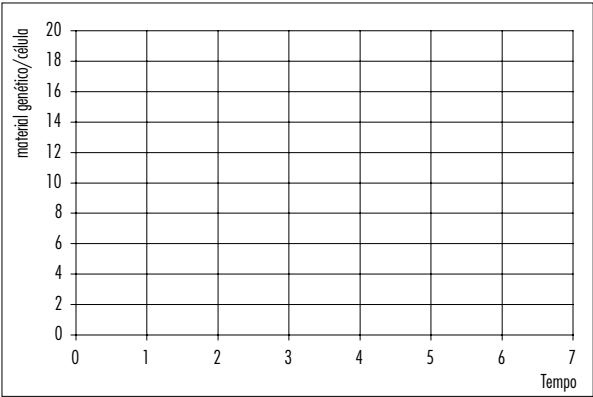


b. Preencha agora a tabela 6.2 com as principais características de cada esquema da figura acima, de acordo com a numeração que você propôs. Indique a situação dos cromossomos em cada figura.

Nº da figura	Características	Nº de cromátides por cromossomo	Cromossomo duplicado (sim ou não)
1			
2			
3			
4			
5			

Tabela 6.2: Divisão celular

2) Utilize os eixos abaixo para traçar o gráfico da concentração de material genético por célula (material genético/célula) em função do tempo em uma cultura de células onde está ocorrendo mitose. Considere que no início a célula contém uma quantidade de material genético igual a 8 e que as células levem três horas para completar o ciclo celular, tendo a divisão celular a duração de uma hora. Justifique resumidamente sua resposta.



3) Analise as afirmativas a seguir.

- I. No fim da meiose, as células-filhas são idênticas à célula-mãe, pois possuem o mesmo número cromossômico.
- II. Na intérfase, ocorre a duplicação do material genético.
- III. A mitose é o processo pelo qual células diploides originam células haploides para a formação de gametas.

Está(ão) correta(s)

- (A) apenas I.
- (B) apenas II.
- (C) apenas I e II.
- (D) apenas I e III.
- (E) apenas II e III.



## OS CROMOSSOMOS E A REPRODUÇÃO SEXUADA

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o processo da reprodução sexuada e a sua importância para os seres vivos.*

## INTRODUÇÃO

Vimos que quando as células se dividem por mitose o número de cromossomos permanece constante ao longo das gerações. Por outro lado, sabemos que nos organismos em que ocorre reprodução sexuada, uma célula-ovo é formada a partir da união de duas células (óvulo e espermatozoide no caso dos animais) de dois indivíduos de sexos opostos. Vamos então retomar à outra questão proposta ao final do capítulo 5: o que deveria acontecer com o número de cromossomos de uma célula-ovo uma vez que ela é formada a partir da fusão de duas células (espermatozoide e óvulo) de indivíduos de uma mesma espécie?

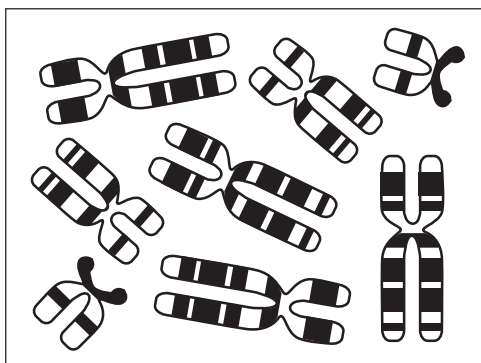
Com base em sua resposta, o que deveria acontecer com o número de cromossomos dos indivíduos de uma mesma espécie ao longo de milhares de gerações, já que eles seriam sempre formados pela união de duas células?

Mais uma vez, temos um problema, já que, como vimos, o número de cromossomos de uma espécie se mantém constante ao longo das gerações.

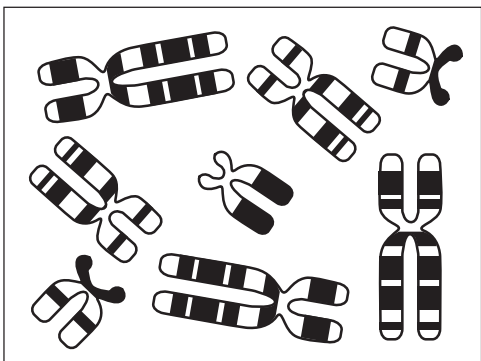
Vamos então ver qual é a solução para esse problema. Comecemos com uma atividade.

## REVENDO A ESTRUTURA DOS CROMOSSOMOS

Ao analisar as figuras 5.5 do capítulo 5, você identificou semelhanças e diferenças entre as células. Observou, por exemplo, que as células apresentam pares de cromossomos homólogos, exceto o par sexual do macho (B).



**A:** fêmea normal



**B:** macho normal

**Figura 7.1:** Células da figura 5.5 do capítulo 5.

### Atividade 1

Sabendo que a existência de pares de homólogos é característica de seres vivos que se reproduzem sexuadamente, é possível propor alguma explicação para a existência de pares de cromossomos homólogos nas células desses organismos? Qual?

### Atividade 2

Com base em sua resposta anterior, quantos cromossomos deveriam estar presentes nos gametas (espermatozoide e óvulo) que formaram o indivíduo A, mostrado na figura 7.1? Por quê?

### Atividade 3

Observe novamente o núcleo da célula do indivíduo A da figura 7.1. Imagine, agora, que essa célula vai produzir gametas e responda:

a. Faça um círculo em torno dos cromossomos que irão para um gameta e um quadrado em torno dos que irão para o outro gameta.

b. Observe o número de cromátides de cada cromossomo presente nessa célula. A quantidade de cromossomos presentes nesta célula equivale a quantos cromossomos interfásicos ("normais")? Explique.

c. Na verdade, então, a quantidade de cromossomos presentes nessa célula é suficiente para formar quantos gametas? Justifique.

O mesmo raciocínio pode ser repetido para o núcleo B da figura 7.1.

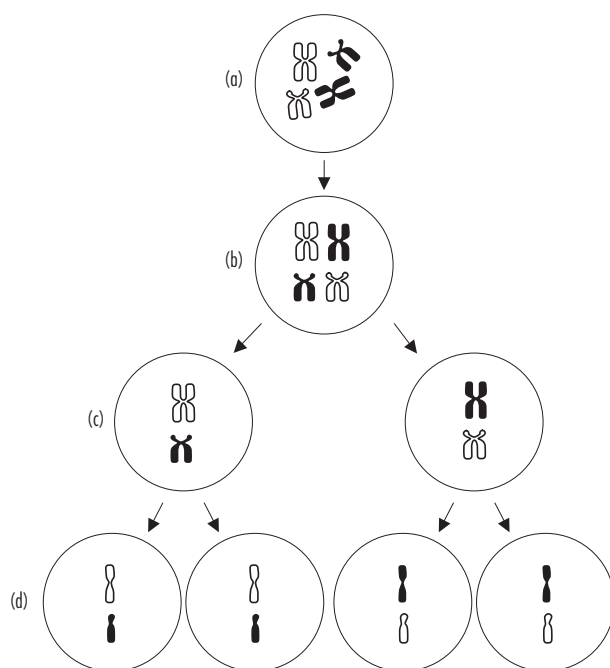
### Atividade 4

Considerando suas respostas anteriores, o que falta acontecer, então, com os cromossomos mostrados nas células A e B da figura 7.1 para que essas células formem o número de gametas previsto por você?

De acordo com o que vimos até agora, podemos concluir que deve existir, então, um tipo de divisão celular que separa os pares de cromossomos (homólogos e heterólogos) de uma célula, fazendo com que cada gameta só tenha um cromossomo de cada par, ou seja a metade do número total da espécie. Como cada cromossomo do par encontra-se duplicado (com duas cromátides), e os gametas devem ter apenas a metade dos cromossomos da célula-mãe, as cromátides de cada cromossomo também precisam ser separadas. A divisão na qual esses eventos acontecem, recebe o nome de Meiose.

Antes do início da meiose, os cromossomos presentes no núcleo da célula são duplicados (adquirindo aquele aspecto típico com duas cromátides). Em seguida essa célula sofre duas divisões consecutivas de modo a formar 4 células, cada uma com a metade do número inicial de cromossomos.

Para compreender melhor o processo vamos acompanhar no esquema abaixo (figura 7.2) a meiose de uma célula contendo dois pares de cromossomos. Observe que cada cromossomo do par é representado em uma cor diferente para indicar que um veio do pai e o outro da mãe.



**Figura 7.2:** Meiose

Quando a meiose se inicia temos os 4 cromossomos duplicados, que se tornam visíveis ao microscópio óptico (a).

Em (b) os cromossomos de um mesmo par (homólogos) se pareiam, cromátide com cromátide.

O próximo passo é a separação dos cromossomos homólogos de modo a ir cada cromossomo do par para uma célula diferente (c). Neste estágio formam-se duas células, cada uma com um único cromossomo de cada tipo. Porém, esses cromossomos estão duplicados.

Cada uma dessas duas células se dividirá em duas novamente de modo que as duas cromátides de um mesmo cromossomo duplicado (cromátides irmãs) se separem e vão uma para cada célula-filha (d).

### Atividade 5

Compare agora a célula que iniciou a meiose (a) com as células formadas ao final da meiose (d) e responda:

a. Quantos tipos de cromossomos há na célula inicial (a)?

b. Quantos cromossomos de cada tipo há nessa célula inicial (a)?

c. Quantos tipos de cromossomos há em cada célula-filha no final da meiose (d)?

d. Quantos cromossomos de cada tipo há em cada uma dessas células-filhas (d)?

e. Qual a diferença, em termos de estrutura, entre os cromossomos mostrados em (a) e em (d)?

Ao final da meiose temos, portanto, 4 células-filhas com um único cromossomo de cada par. Desse modo uma célula-mãe com pares de cromossomos homólogos formou 4 células-filhas com apenas um cromossomo de cada tipo (ou seja, um de cada par).

Esse número simples de cromossomos, presente nos gametas, e que contém todas as informações que um indivíduo pode passar à geração seguinte é chamado de  $n$ . Como cada indivíduo é formado pela união de dois gametas, cada um com  $n$  cromossomos, as células que formam o corpo desse indivíduo contêm  $2n$  cromossomos ( $n+n$ ).

A célula representada em (a), com  $2n$  cromossomos (dois de cada tipo), é chamada diploide.

As células representadas em (d), com  $n$  cromossomos (um de cada tipo), é chamada haploide.

### Atividade 6

Observe novamente as quatro células resultantes da meiose na figura 7.2. Qual a origem dos cromossomos brancos e pretos aí presentes?

### Atividade 7

Será que estes são os únicos tipos de gametas que podem ser produzidos por esse indivíduo? Por quê?

### Atividade 8

Observe novamente (b), na qual está representado o pareamento dos cromossomos homólogos. Há alguma outra maneira desses cromossomos se parearem, lembrando que os cromossomos de um tipo devem se parear com o seu homólogo? Nesse caso, os homólogos vão se separar do mesmo modo que (c)?

## RESUMO

- Nas células dos indivíduos que se reproduzem sexualmente os cromossomos se apresentam aos pares.
- Esses pares podem ser formados por cromossomos homólogos ou por cromossomos diferentes (heterólogos).
- Na espécie humana, e em muitas outras espécies, todos os pares de cromossomos das fêmeas são formados por homólogos, inclusive o par sexual (XX). Já os machos possuem o par sexual não homólogo (XY).
- Cada par de cromossomos é formado por um cromossomo recebido do pai e outro recebido da mãe.
- Cada membro de um par (de homólogos ou heterólogos), portanto, veio de um progenitor (pai ou mãe).
- A meiose produz quatro células com a metade do número de cromossomos da célula original.
- A meiose divide os cromossomos homólogos entre os gametas, de tal modo que cada gameta tenha a metade do número normal da espécie.
- O número de cromossomos presente nos gametas, e que contém todas as informações que um indivíduo pode passar à geração seguinte, é chamado de  $n$ .
- Células com  $n$  cromossomos (um cromossomo de cada tipo) são chamadas de haploides.
- Nos gametas de um indivíduo há tanto cromossomos do seu pai quanto de sua mãe.
- Na meiose cromossomos vindos do pai e da mãe (pares de homólogos) podem ser distribuídos de várias maneiras diferentes entre os gametas.
- Na fecundação, quando os gametas masculino (espermatozoide) e feminino (óvulo) se unem, o número de cromossomos da espécie ( $2n$ ) é restaurado.
- O pareamento e a separação dos cromossomos homólogos na meiose permite uma maior diversidade entre os indivíduos de uma espécie.
- Células com  $2n$  cromossomos (2 cromossomos de cada tipo) são chamadas de diploides.
- Alterações no número de cromossomos de um indivíduo sempre levam a algum tipo de anormalidade, causando alterações nas características físicas e no funcionamento do organismo. Esse é o caso da Síndrome de Down humana, na qual existem três cromossomos do tipo 21. Tanto o excesso quanto a falta de cromossomos geram problemas.

## EXERCÍCIOS

1) Represente na sequência abaixo uma outra maneira de dividir os cromossomos dessa célula, diferente daquela mostrada na figura 7.2.

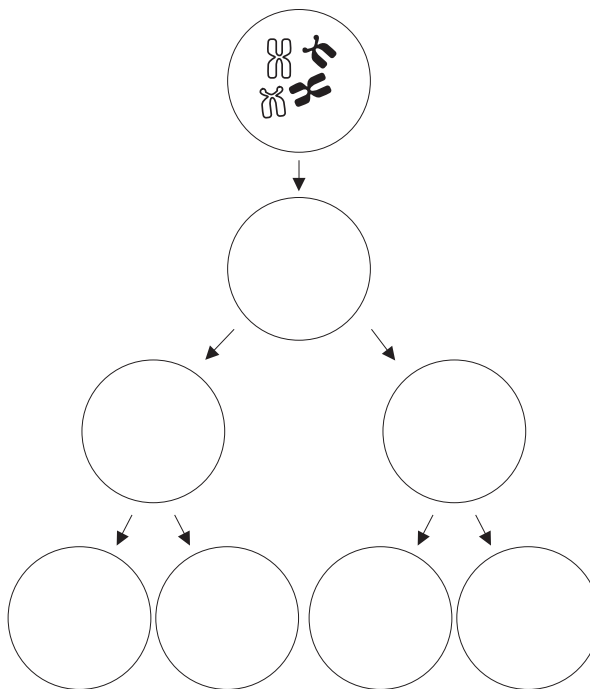
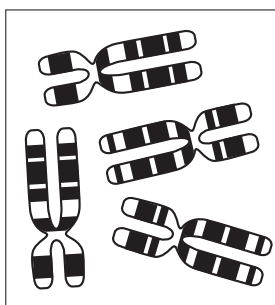


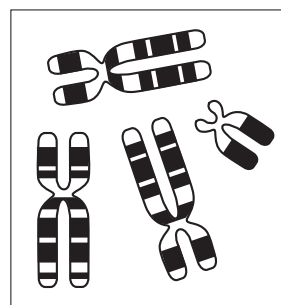
Figura 7.3: Outra possibilidade de dividir os cromossomos na meiose

2) Compare os gametas obtidos na figura 7.3, acima, com aqueles obtidos na figura 7.2. Com base no que acabamos de ver, você saberia explicar por que os filhos de um mesmo casal não são sempre iguais?

3) As figuras abaixo mostram os cromossomos de dois indivíduos normais, de uma mesma espécie.



Cariótipo E: Indivíduo normal



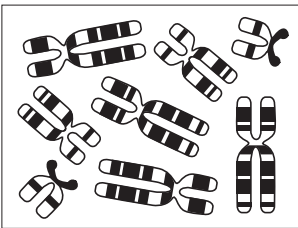
Cariótipo F: Indivíduo normal

a. Os indivíduos **E** e **F** produzirão os mesmos tipos de gametas? Explique.

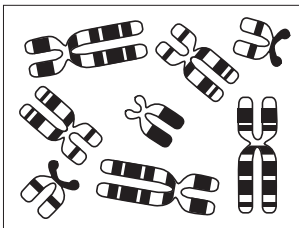


- b. Quantos dos gametas produzidos pela fêmea apresentam o cromossomo X?
- c. Quantos dos gametas produzidos pela fêmea apresentam o cromossomo Y?
- d. Quantos dos gametas produzidos pelo macho apresentam o cromossomo X?
- e. Quantos dos gametas produzidos pelo macho apresentam o cromossomo Y?

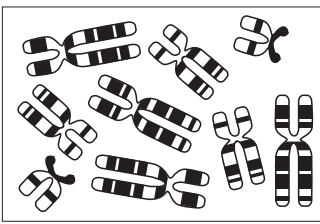
4) As quatro células representadas abaixo pertencem a indivíduos da mesma espécie, porém os indivíduos **C** e **D**, apresentam uma série de problemas físicos. Observe os cromossomos do indivíduo **C** e **D** e compare-os com os de **A** e de **B**. Responda:



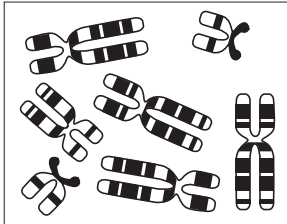
Indivíduo A: fêmea normal



Indivíduo B: macho normal



Indivíduo C



Indivíduo D

- a. Você percebeu algum problema quanto ao número de cromossomos dos indivíduos **C** e **D**? Qual?
- b. Qual o sexo dos indivíduos **C** e **D**? Explique.
- c. O que pode ter acontecido durante a meiose para resultar no aparecimento de indivíduos com o padrão de cromossomos de **C** e **D**?

5) A tabela abaixo é uma forma de representar os descendentes de um cruzamento a partir da união de seus gametas. Preencha essa tabela com os cromossomos sexuais do macho na linha horizontal cinza e os da fêmea na coluna vertical cinza.

XX x XY		Gametas Masculinos			
		X			
Gametas Femininos	X	XX			

a. Preencha os quadrados em branco da tabela com o resultado da união dos cromossomos sexuais do macho e da fêmea. Para facilitar fizemos isso no primeiro quadrado.

b. Quantos machos e quantas fêmeas foram produzidos nesse cruzamento?

Número de machos	
Número de fêmeas	

6) Com base em suas respostas, em um cruzamento existem mais chances de nascerem mais machos do que fêmeas? E o contrário? Explique.

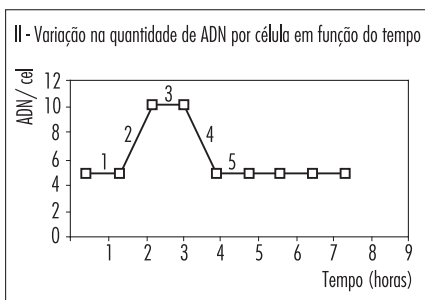
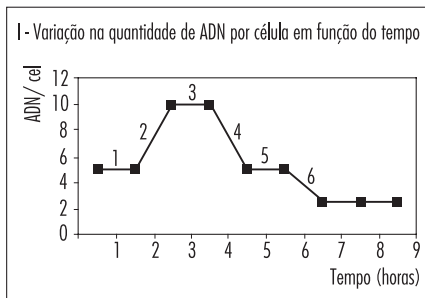
7) Consulte os capítulos anteriores e responda: quantos cromossomos devem existir em um gameta humano? Explique.

8) (UFRI / 2003) Certos tipos de câncer, em especial aqueles ligados às células do sangue, são tratados com transplantes de medula óssea. Nesses transplantes, uma parte da medula óssea de um doador sadio é introduzida em um paciente cujas células da medula óssea foram previamente eliminadas com auxílio de drogas ou de radiação. Após um transplante de medula foram retiradas amostras de células de diversos órgãos e tecidos de um certo paciente e identificados os cromossomos presentes nessas células. A tabela abaixo mostra os resultados da classificação dos cromossomos de 4 tecidos do paciente submetido ao transplante de medula.

Tipo Celular	Cariótipo
Epitélio Intestinal	46, X, Y
Linfócitos B	46, X,X
Músculo liso	46, X, Y
Macrófagos	46, X, X

Com base nesses resultados, identifique o sexo do paciente e o sexo do doador. Justifique sua resposta.

9) (UFRJ / 2004) Um pesquisador determinou as variações nas concentrações de material genético (ADN) ao longo do tempo, em células do testículo e da pele de um animal. As variações na quantidade de ADN em cada tipo de célula, nos dois casos, estão registradas nos gráficos I e II, abaixo. Analise os gráficos e responda as questões abaixo:



a. Qual dos gráficos corresponde às células da pele e qual corresponde às células do testículo do animal? Justifique.

b. A que se deve o aumento da quantidade de material genético (ADN) na etapa 2, em cada um dos gráficos?

c. A diminuição da quantidade de ADN na etapa 4 dos dois gráficos se deve aos mesmos acontecimentos? Explique.

d. A que se deve a diminuição na quantidade de ADN na etapa 6 do gráfico I?

10) (UFRJ / 2006-P2) Ao analisar o cariótipo de células obtidas de uma criança com síndrome de Down, observou-se que 70% das células apresentavam 47 cromossomos, por exibirem a trissomia do cromossomo 21, e que 30% das células apresentavam um cariótipo normal, ou seja, 46 cromossomos, sem trissomia do 21. Responda se o fenômeno da não disjunção do par de cromossomos 21 ocorreu antes ou depois da formação do zigoto. Justifique sua resposta.

11) Uma célula com 16 cromossomos, ao sofrer meiose, produz:

- (A) 4 células com 16 cromossomos;  
 (B) 2 células com 8 cromossomos;  
 (C) 2 células com 16 cromossomos;

- (D) 4 células com 8 cromossomos;  
 (E) 8 células com 16 cromossomos.

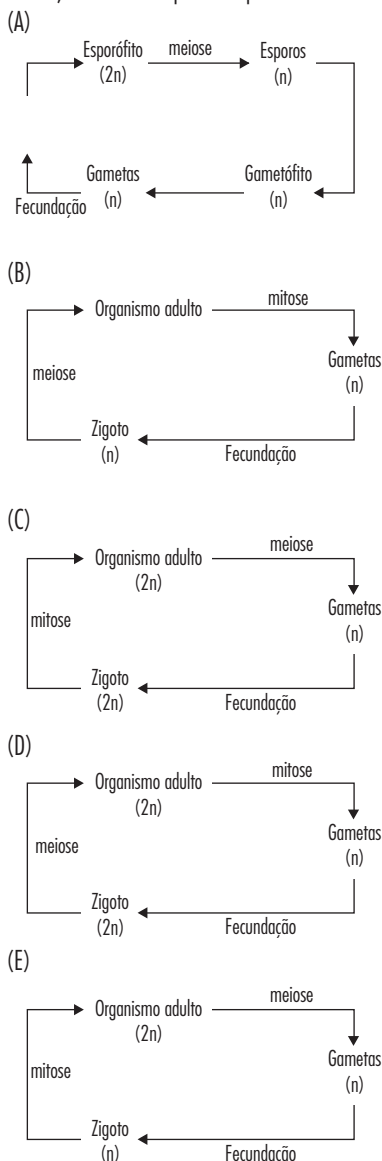
12) Criadores e sitiantes sabem que a mula (exemplar fêmea) e o burro (exemplar macho) são híbridos estéreis que apresentam grande força e resistência. São o produto do acasalamento do jumento ('Equus asinus',  $2n = 62$  cromossomos) com a égua ('Equus caballus',  $2n = 64$  cromossomos).

a. Quantos cromossomos tem o burro ou a mula? Justifique sua resposta.

b. Considerando os eventos da meiose I para a produção de gametas, explique por que o burro e a mula são estéreis.

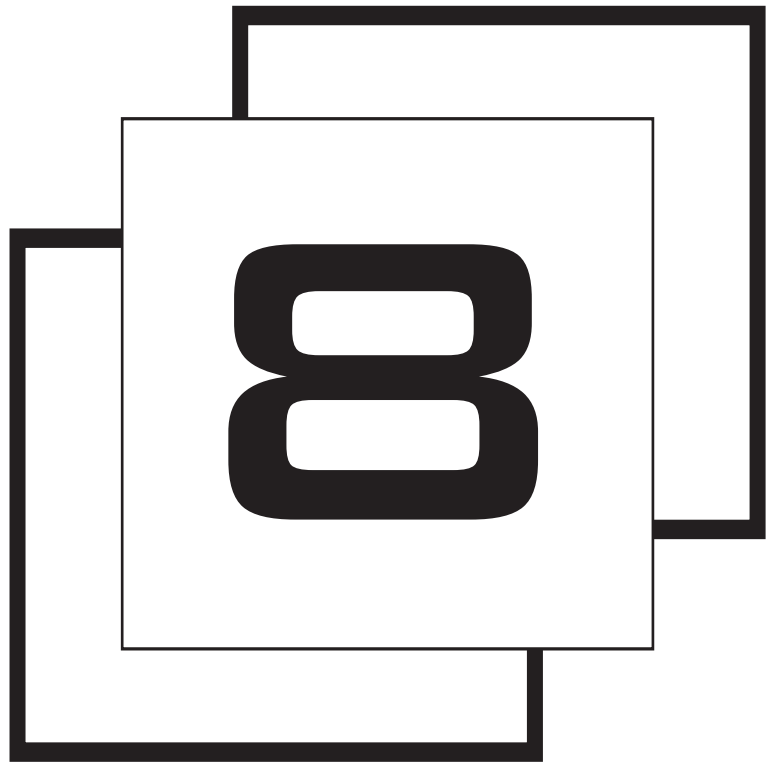
12) (ENEM/2009 – Q-21) Os seres vivos apresentam diferentes ciclos de vida, caracterizados pelas fases nas quais gametas são produzidos e pelos processos reprodutivos que resultam na geração de novos indivíduos.

Considerando-se um modelo simplificado padrão para geração de indivíduos viáveis, a alternativa que corresponde ao observado em seres humanos é:









## AS LEIS DA HEREDITARIEDADE II

*:: Objetivo ::*

*Compreender o mecanismo de transmissão de duas características hereditárias localizadas num mesmo par de cromossomos homólogos.*

## INTRODUÇÃO

Você, com certeza, está familiarizado com a ideia de que os membros de uma mesma família compartilham características comuns. Ou, dito de outra maneira, as pessoas de uma mesma família, especialmente os parentes próximos (irmãos, por exemplo), costumam ser mais parecidas umas com as outras, do que com pessoas de outras famílias.

Durante muito tempo a questão de como as características dos indivíduos são transmitidas aos seus descendentes intrigou os homens e em particular os cientistas. Você também já deve ter ouvido algumas explicações sobre o porquê dessas semelhanças ocorrerem.

Desde os tempos mais remotos, o fato de que os descendentes se parecem com seus antepassados era conhecido e utilizado por agricultores e criadores de gado. A humanidade vinha praticando a seleção de variedades de plantas e animais por meio de cruzamentos entre indivíduos com as características desejáveis quando escolhia as sementes para plantio ou os melhores animais para utilizar como reprodutores. Assim, eram plantadas apenas as sementes das árvores que produziam mais ou melhores frutos, por exemplo. Já se sabia, portanto, que as características dos seres vivos eram herdadas por seus descendentes — ou seja, eram hereditárias. No entanto, somente há cerca de trezentos anos os naturalistas e cientistas começaram a entender os mecanismos que explicavam a hereditariedade.

A descoberta dos óvulos e espermatozoides por volta de 1850 e de sua importância para a reprodução foi fundamental para estabelecer o veículo de transporte das características hereditárias de uma geração para outra. Mas essas descobertas deixavam em aberto muitas perguntas novas: o que seriam essas características hereditárias? O que os espermatozoides e óvulos transportavam que determinava as características dos descendentes? Como a informação sobre a cor dos olhos ou dos cabelos, por exemplo, poderia estar contida nos gametas? Como as informações contidas em cada uma dessas células se combinavam no ovo?

Uma das primeiras explicações para a hereditariedade dizia respeito à nossa última pergunta. Os primeiros naturalistas a se preocuparem com a questão propunham que as características dos machos e das fêmeas se misturavam nos filhotes. Pensava-se que o material hereditário era semelhante a um fluido. De acordo com essa ideia, o cruzamento de animais pretos com animais brancos deveria produzir filhotes cinzas. Os cruzamentos desses filhotes cinzas entre si produziriam somente descendentes cinzas. Embora essa ideia parecesse se aplicar bem a algumas características humanas como a cor da pele e a estatura dos indivíduos, ela não era verdadeira para muitas outras características dos seres vivos — como a cor dos olhos, por exemplo.

Muitas outras observações importantes tampouco se encaixavam bem na explicação da herança por mistura. Era sabido, por exemplo, que algumas características surgiam e desapareciam ao longo das gerações em uma mesma família. Muitas vezes os avós tinham uma determinada cor de olhos, os filhos tinham outra, mas os netos apresentavam novamente a cor dos olhos de seus avós. Esse era o caso, por exemplo, do aparecimento de olhos azuis em filhos de pais com olhos castanhos. Ou seja, certas características podiam surgir nos filhos embora estivessem ausentes em seus pais. Curiosamente, porém, a maioria dessas características que “apareciam inesperadamente” podiam ser encontradas

também em membros de gerações anteriores da família, como os avós da criança.

No século XVIII, alguns pesquisadores analisaram a incidência de albinismo (ausência de pigmentação na pele) em diversas famílias da Europa. Eles constataram que o albinismo aparecia e desaparecia ao longo das gerações de uma família, mas raramente surgia em famílias onde nenhum parente jamais o tivesse apresentado. Muitas alternativas foram propostas para explicar a transmissão dessas características “saltadoras”.

Você poderia arriscar um palpite, propondo mecanismos para a transmissão dessas características que saltavam gerações? Qual seria ele?

As obtenções de respostas para as perguntas que surgiram ao longo desse texto dependeram de conhecimentos produzidos em diversas áreas da Biologia. No início do século XX, após muitas observações sobre o comportamento do núcleo durante as divisões celulares, muitos pesquisadores já acreditavam na hipótese de que os cromossomos deveriam ser os portadores das informações sobre as características hereditárias.

Neste capítulo, vamos nos concentrar em experiências realizadas bem antes da descoberta dos cromossomos, para depois mostrar como as duas histórias se unem.

## MENDEL E A HEREDITARIEDADE

Mesmo antes da descoberta dos cromossomos, estudos sobre a transmissão das características hereditárias vinham sendo realizados. Em 1866 Gregor Mendel publicou uma série de conferências na qual descrevia os resultados obtidos do cruzamento de variedades de ervilhas e estabelecia as regras que ele acreditava que determinavam a transmissão das características hereditárias de uma geração para outra.

Em seu trabalho, Mendel analisou diferentes variedades de ervilhas e observou que muitas características podiam se apresentar em dois estados diferentes e opostos: algumas plantas apresentavam sementes amarelas e outras verdes, a textura da semente podia ser lisa ou rugosa, algumas plantas eram altas e outras eram baixas. As plantas de uma mesma espécie que apresentam aparência semelhante para uma dada característica formam uma variedade.

Ao cultivar separadamente exemplares de cada uma dessas variedades ele verificou que suas características particulares se mantinham de uma geração para outra. Ou seja, plantas produzidas a partir de sementes lisas, geravam plantas que também produziam sementes lisas. Naturalmente, essas sementes, quando plantadas, geravam novas plantas cujas sementes eram também lisas. Da mesma forma, plantas com sementes verdes, sempre originavam descendentes que produziam sementes verdes. Já as plantas com sementes amarelas sempre produziam descendentes com sementes amarelas. Mendel chamou essas variedades de plantas que sempre geravam descendentes do mesmo tipo que os ancestrais, de linhagens “puras”. Porém, cruzar indivíduos de uma mesma linhagem entre si não esclarecia muito sobre como essas características eram herdadas.

Mendel resolveu, então cruzar plantas de linhagens puras, mas com características diferentes: por exemplo, em uma experiência ele cruzou plantas puras de sementes amarelas com plantas puras de sementes verdes.

### Atividade 1

De acordo com a teoria da herança por mistura qual deveria ser a cor das sementes produzidas pelas plantas formadas nesse tipo de cruzamento (Plantas puras verdes x Plantas puras amarelas)? Por quê?

### Atividade 2

Em outras experiências, Mendel cruzou plantas puras de linhagens altas com plantas puras de linhagens baixas. De acordo com a teoria da herança por mistura qual deveria ser a altura das plantas formadas nesse tipo de cruzamento (plantas puras altas x plantas puras baixas)? Por quê?

Os resultados desses cruzamentos, curiosamente, geravam sempre resultados do mesmo tipo:

- Plantas puras produtoras de sementes verdes cruzadas com plantas puras produtoras de sementes amarelas produziam apenas descendentes com sementes amarelas.

- Plantas puras de caule alto cruzadas com plantas puras de caule baixo produziam sempre plantas com caule alto.

Mendel chamou os descendentes desses cruzamentos de híbridos, pois, embora fossem todos aparentemente iguais, haviam sido formados a partir de cruzamentos de indivíduos diferentes.

### Atividade 3

Os resultados obtidos na produção de híbridos estão de acordo com a ideia da herança por mistura? Por quê?

### Atividade 4

O que aconteceu com a característica cor verde da semente presente num dos pais? E com a característica caule baixo?

Em seguida, Mendel aprofundou seus estudos realizando cruzamentos entre os híbridos de um mesmo tipo e observando a geração seguinte. A tabela 8.1 mostra os resultados obtidos por ele para a característica cor da semente:

Cruzamento 1	sementes verdes puras	X	sementes amarelas puras
Descendentes 1	sementes amarelas (híbridos)		
Cruzamento 2	sementes amarelas híbridas	X	sementes amarelas híbridas
Descendentes 2	sementes verdes e sementes amarelas		

Tabela 8.1: Cruzamentos entre híbridos

Como podemos observar, a característica “sementes verdes” desaparece nos filhos do primeiro cruzamento (híbridos), mas reaparece no segundo (os “netos” do primeiro casal). Sabemos que as características dos filhos são determinadas pelos gametas produzidos por seus pais. Ou seja, as características são transmitidas dos pais para os filhos por meio dos gametas. Ora, se um neto expressou a característica de “sementes verdes”, é porque necessariamente ele a recebeu de um de seus pais. No entanto, como vimos, nenhum dos dois pais produzia sementes verdes. Como um indivíduo pode transmitir características que não possui?

A explicação proposta por Mendel foi que os híbridos possuíam as informações necessárias para expressar as duas características de seus pais. Ou seja, híbridos amarelos possuíam tanto as informações para produzir sementes amarelas, quanto para produzir sementes verdes. No entanto, como só produziam sementes amarelas, a informação para sementes verdes por algum motivo não “conseguiu” ser expressa. Por algum motivo, a característica “sementes amarelas” dominava a característica “semente verde”. Por esse motivo Mendel a chamou de característica dominante. A característica dominada, por sua vez, foi chamada de recessiva por Mendel, já que permanecia em recesso (escondida, oculta) na presença da característica dominante. A ideia de características recessivas explicava como um indivíduo podia transmitir aos seus filhos características que não manifestava.

### Atividade 5

De acordo com a ideia de características dominantes e recessivas, e com as informações dadas no texto, complete a tabela 8.2 com a(s) característica(s) esperadas dos filhos e netos do cruzamento entre ervilhas altas e baixas.

Cruzamento 1	Plantas altas puras	X	Plantas baixas puras
Descendentes 1			
Cruzamento 2	Plantas altas híbridas	X	Plantas altas híbridas
Descendentes 2			

Tabela 8.2: Cruzamentos entre ervilhas altas e baixas

Como já dissemos anteriormente, as características hereditárias dos indivíduos são transmitidas aos descendentes pelos seus gametas. Vamos ver agora como os resultados de Mendel podem ser relacionados ao processo de produção de gametas.

Na atividade a seguir vamos supor que a informação que determina a característica altura do caule da ervilha esteja localizada em um dos pares de cromossomos homólogos das células da ervilha.

Na figura 8.1 está representado o cruzamento entre uma planta de caule curto (linhagem pura) com uma planta de caule alto (linhagem pura). Cada quadrado representa um par de cromossomos homólogos em uma célula da planta de ervilha, pronta para produzir gametas.

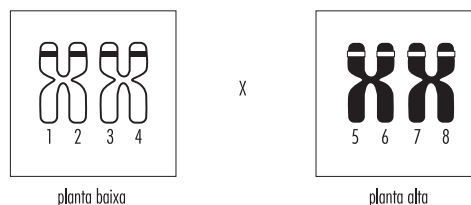


Figura 8.1: Cruzamento entre plantas de caule curto e longo

**Atividade 6**

Por que os cromossomos da figura 8.1 têm essa aparência (com duas cromátides)?

Os cromossomos desenhados em branco carregam a informação sobre a característica caule baixo e os cromossomos em preto carregam a informação sobre caule alto. O traço nas cromátides indica o local onde se encontra a informação sobre a altura do caule em cada uma delas.

No tempo de Mendel os cromossomos ainda não tinham sido descobertos, porém hoje sabemos que eles contêm as informações sobre as características hereditárias. Essas informações arquivadas nos cromossomos são chamadas de genes.

**Atividade 7**

a) Sabendo que as cromátides 1 e 3 têm informação para caule baixo, qual deve ser o tipo de gene presente nas cromátides 2 e 4?

b) Sabendo que as cromátides 5 e 7 têm informação para caule alto, qual deve ser o tipo de gene presente nas cromátides 6 e 8?

Os tipos de informação a respeito de uma determinada característica, presentes num cromossomo, são chamados de alelos. Os alelos são variantes de um gene. No caso das ervilhas o gene estatura da planta possui dois alelos (duas variantes): um alelo que corresponde à característica estatura baixa e outro alelo para a característica estatura alta.

Vamos acompanhar, então, o que acontece com os dois tipos de informação (alelos) quando as duas plantas da figura 8.1 são cruzadas, produzindo descendentes. Inicialmente cada planta deverá produzir gametas.

**Atividade 8**

Lembrando que os cromossomos representados encontram-se duplicados dentro da célula, represente nos quadros abaixo os gametas produzidos por cada planta. Identifique abaixo de cada quadro o alelo presente no gameta:

_____	_____
_____	_____

gametas da planta baixa

_____	_____
_____	_____

gametas da planta alta

**Atividade 9**

Quantos tipos diferentes de gametas cada planta produziu?

**Atividade 10**

Quantos tipos diferentes de descendentes esse casal de plantas pode produzir? Por quê?

Na atividade a seguir você deverá representar os descendentes produzidos pelo cruzamento da planta baixa pura (cromossomos brancos) com a planta alta pura (cromossomos pretos), fazendo a união dos gametas por eles produzidos.

**Atividade 11**

Represente o tipo de célula produzida por essa união no espaço abaixo e responda:

--

cromossomos na célula da nova planta

a. Existe informação para caule alto na nova planta? E para caule baixo? Explique.

b. Qual será a altura do caule da nova planta?



### Atividade 12

Compare sua resposta com os resultados do cruzamento 1 realizado por Mendel, mostrados na tabela 8.2.

Se você seguiu todos os passos até aqui deve ter observado que a união dos gametas da planta alta com os da planta baixa produziu células de um único tipo: todas têm um par de cromossomos dos quais um carrega informação para caule \_\_\_\_\_ e o outro carrega informação para caule \_\_\_\_\_. De acordo com os resultados de Mendel essas plantas filhas têm caule \_\_\_\_\_, pois esta característica \_\_\_\_\_ é dominante sobre a característica \_\_\_\_\_.

Como os cromossomos existem aos pares nas células, as informações sobre uma característica também existem aos pares nas células. A aparência da planta, quanto a essa característica, dependerá do par de alelos presente em seus cromossomos. É costume representar os genes que carregam informação sobre uma dada característica por uma letra que possa ser facilmente associada à característica: no caso de ervilhas de Mendel podemos chamar de **E** ou **e** os alelos para a estatura da planta. Assim **E** (maiúsculo) representará o alelo para estatura alta e **e** (minúsculo) o alelo para estatura baixa.

O próximo passo de Mendel foi cruzar os filhos desse primeiro cruzamento entre si (cruzamento 2 na tabela 8.2). Na figura 8.2, abaixo, estão representados os pares de homólogos presente nas células das plantas filhas do cruzamento, que você acabou de fazer na atividade 11 (cada cromossomo já está duplicado).

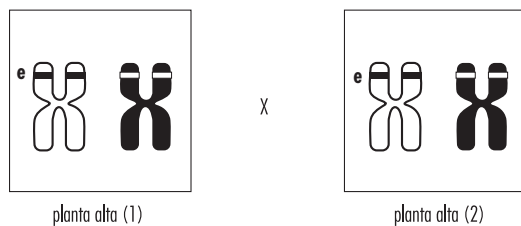


Figura 8.2: Cruzamento entre duas plantas altas híbridas

### Atividade 13

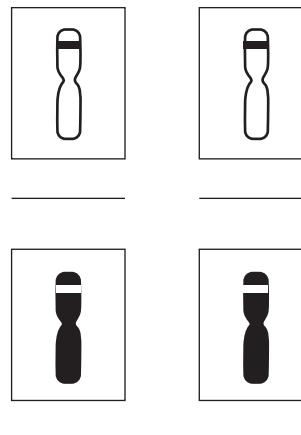
No cromossomo branco da planta 1 o alelo para altura foi identificado pela letra **e** (minúscula) numa das cromátides. Essa letra representa a informação para caule de estatura baixa. Que informação deve existir na outra cromátide desse cromossomo? Represente pela letra correspondente a informação presente em cada cromátide do cromossomo branco das duas plantas, na figura 8.2.

### Atividade 14

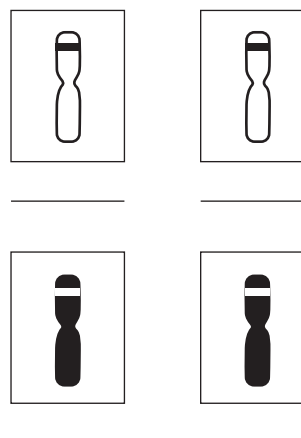
Que informação deve existir em cada cromátide do cromossomo preto? Represente pela letra correspondente a informações presente em cada cromátide do cromossomo preto das duas plantas, na figura 8.2.

### Atividade 15

Para descobrir como serão os descendentes do cruzamento entre as duas plantas altas iguais (figura 8.2), primeiro precisamos saber como são os gametas produzidos por elas. Para facilitar representamos nos quadros abaixo os gametas produzidos pelas plantas híbridas. Escreva nas linhas em branco da figura a informação que cada gameta carrega.



gametas da planta alta 1



gametas da planta alta 2

### Atividade 16

Quantos tipos de gametas cada planta produziu?

**Atividade 17**

Considerando os tipos de gametas produzidos, represente os cromossomos de todos os possíveis tipos de descendentes do cruzamento das plantas 1 e 2, nos quadrados abaixo. (Não deixe de escrever as letras que identificam os alelos de cada cromossomo.)

**Figura 8.3:** Descendentes do cruzamento de plantas altas híbridas entre si

**Atividade 18**

De acordo com o que você aprendeu sobre dominância, determine a altura de cada tipo de planta produzida e escreva-a na linha abaixo de cada quadrado da figura.

**Atividade 19**

Como você explica o reaparecimento de plantas baixas?

Como você deve ter observado, a aparência da planta depende do par de alelos presente em seus cromossomos. Essa aparência é chamada de fenótipo.

O par de alelos que determina uma dada característica, presente nos cromossomos homólogos, é chamado de genótipo. Por exemplo: indivíduos com genótipo Ee têm fenótipo (aparência) alto.

**Atividade 20**

Escreva na linha contínua presente abaixo de cada tipo de descendente mostrado na figura 8.3 o genótipo (par de genes) que o representa. Quantos tipos de genótipos você obteve? Quais são eles?

**Atividade 21**

Como podemos observar, há \_\_\_\_\_ tipos de genótipos possíveis para a altura da planta: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

Os indivíduos **EE** e **Ee**, embora tenham genótipos diferentes, apresentam a mesma aparência (fenótipo). O indivíduo **EE** é chamado de homozigoto dominante (homo = igual), pois tem os dois alelos iguais, enquanto o indivíduo **Ee** é chamado de heterozigoto (hêtero = diferente) pois possui dois alelos diferentes. O indivíduo **ee** é chamado homozigoto recessivo.

Outro aspecto importante do trabalho de Mendel é que, além de explicar como as características eram herdadas, ele também mostrou que é possível prever a proporção em que cada característica aparecerá nos descendentes de um determinado cruzamento. Para compreender isso, observe novamente os gametas produzidos pelas plantas híbridas da figura 8.2 e responda:

**Atividade 22**

A chance de uma planta alta híbrida produzir gametas carregando o alelo **E** é maior, menor ou igual à chance de ela produzir gametas com o alelo **e**? Por quê?

**Atividade 23**

Vamos agora representar esses gametas, usando as letras apropriadas, numa tabela semelhante àquela usada no capítulo 7.

a. Complete a linha horizontal, em cinza, com todos os gametas da planta 1 e a coluna vertical, em cinza, com todos os gametas da planta 2 do cruzamento indicado. Em cada quadrado em branco represente a união dos dois gametas correspondentes. Para facilitar já preenchemos o primeiro quadrado:

Ee x Ee		Gametas da planta alta 1			
		E			
Gametas da planta alta 2	E	EE			

b. Complete a tabela a seguir com os tipos de filhos (genótipos) esperados no cruzamento, o número de filhos de cada tipo e sua aparência (fenótipo).

Tipos de genótipos	Número de filhos	Aparência dos filhos

**Atividade 24**

Agora registre o número de descendentes altos e o número de descendentes baixos esperados. Quantos você obteve de cada fenótipo?

a. plantas altas: \_\_\_\_\_

b. plantas baixas: \_\_\_\_\_

### Atividade 25

Considerando os resultados acima, a chance de o casal de híbridos produzir filhos altos é maior, menor ou igual à chance de produzir filhos baixos? Por quê?

Nos exercícios 5 e 6 do capítulo 7, quando discutimos a chance de nascerem machos ou fêmeas em um cruzamento, verificamos que elas eram iguais, isto é, a chance de nascer uma fêmea é igual à chance de nascer um macho, do mesmo modo que se jogarmos uma moeda para cima a chance de sair cara é igual à chance de sair coroa. Representamos isso dizendo que a proporção esperada de machos e fêmeas em um cruzamento é de 1 para 1 (1:1). Mas, como você acabou de ver no cruzamento acima, nem sempre as chances de obtermos cada tipo de descendente são iguais. Ao observar as quantidades esperadas de cada tipo de descendente na atividade 24, você encontrou mais descendentes altos do que baixos. Essas duas quantidades também podem ser representadas na forma de uma proporção.

### Atividade 26

Represente a proporção que existe entre as quantidades de descendentes altos e baixos encontradas na atividade 24.

### Atividade 27

Se o cruzamento fosse repetido muitas outras vezes, as chances mudariam? Por quê?

### Atividade 28

Se você realizasse vários desses cruzamentos e obtivesse 1200 plantas filhas, quantas você esperaria serem altas e quantas baixas? Justifique.

O padrão de características dominantes e recessivas que acabamos de estudar é comum a muitas características hereditárias (mas não a todas) de muitas espécies, inclusive da espécie humana.

## RESUMO

- Algumas características dos seres vivos são hereditárias, ou seja, são passadas dos antepassados para os descendentes ao longo das gerações.
- Óvulos e espermatozoides são os elos de ligação entre as gerações.
- Os gametas transportam cromossomos de uma geração para a seguinte.
- As características dos indivíduos não são misturas das características de seus antepassados. Lembre-se da cor dos olhos.

• É mais correto afirmar que as características dos antepassados se combinam nos descendentes. Cada indivíduo tem algumas características do pai e algumas da mãe.

• Características hereditárias podem saltar gerações (existir nos avós, desaparecer nos pais e reaparecer nos netos).

• As características que saltavam as gerações permaneciam, de algum modo, guardadas nos indivíduos e podiam (ou não) ser transmitidas por seus gametas às gerações posteriores.

• Cada indivíduo recebe um cromossomo de cada tipo do pai e outro da mãe.

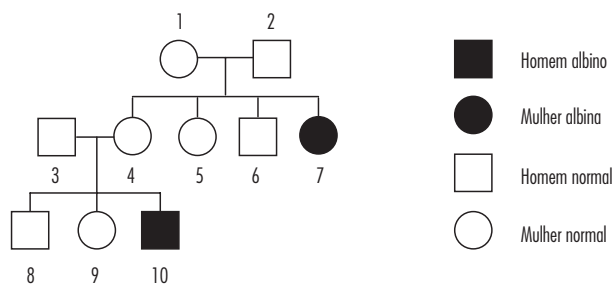
• A meiose divide as informações recebidas do pai e da mãe entre os gametas, de tal modo que cada gameta tenha apenas um tipo de informação sobre determinada característica.

• Após a fecundação o novo indivíduo tem duas informações sobre a mesma característica. Se as informações recebidas forem diferentes, uma delas pode se manifestar (dominante) enquanto a outra pode ficar oculta (recessiva).

## EXERCÍCIOS

Nos exercícios a seguir você aplicará o que aprendeu a algumas características humanas.

**1)** Como foi dito no início do capítulo, estudos realizados no século XVIII mostravam que o albinismo (ausência de pigmentação na pele) aparecia e desaparecia ao longo das gerações de uma mesma família. O esquema (genealogia ou heredograma) abaixo representa uma família na qual aparece o albinismo. Os círculos representam mulheres e os quadrados representam homens. Círculos e quadrados pretos representam indivíduos albinos. Círculos e quadrados brancos representam indivíduos normais. Utilize as letras **A** e **a** para representar os genótipos pedidos nas questões abaixo.



a. Observe apenas os indivíduos 1, 2 e 7. De acordo com o que você aprendeu sobre as características hereditárias, o albinismo é uma característica recessiva ou dominante?

b. Qual o genótipo da mulher número 7?

c. Qual o genótipo dos pais (1 e 2) da mulher número 7?

d. É possível determinar os genótipos dos indivíduos 5 e 6? Explique.

e. e) Considerando os filhos do casal 3 e 4 é possível determinar o genótipo do indivíduo 4? Explique.

f. Determine, se possível os genótipos de 3, 8, 9 e 10. Justifique.

**2)** Um homem albino se casa com uma mulher normal heterozigota para albinismo. Preencha a tabela abaixo com os gametas masculinos e femininos nos quadros em cinza e os descendentes nos quadros em branco e responda às questões.

		Gametas Masculinos	
Gametas Femininos			

**Tabela 8.4:** Cruzamento entre uma mulher normal e um homem albino.

a. Esse casal poderá ter filhos normais? E filhos albinos? Justifique.

b. Com base nos resultados obtidos na tabela, a chance do casal ter um filho normal é maior, menor ou igual à chance de ter um filho albino? Justifique.

c. Qual a proporção esperada de filhos normais e albinos nesse cruzamento?

**3)** Uma mulher de olhos castanhos casa-se com um homem de olhos castanhos e o casal tem um filho de olhos castanhos e outro de olhos azuis. Responda:

a. Qual característica é dominante e qual é recessiva?

b. Qual é o genótipo da mulher? E do homem?

c. Construa a genealogia (heredograma) dessa família.

**4)** A característica cabelos crespos é dominante sobre a característica cabelos lisos. Um homem heterozigoto casa-se com uma mulher heterozigota.

a. Quais os fenótipos do homem e da mulher? Explique.

b. Qual o genótipo do homem? E da mulher?

c. Que gametas o homem produz? E a mulher? (Lembre-se que os gametas só contêm um alelo de cada par).

d. Preencha o quadro abaixo com o cruzamento indicado.

		Gametas Masculinos	
Gametas Femininos			

e. A chance do casal ter filhos de cabelos crespos é maior, menor ou igual à chance de ter filhos de cabelos lisos?

f. Qual a proporção esperada de filhos com cabelos crespos? E com cabelos lisos? Explique.

**5)** Uma planta A e outra B, com ervilhas amarelas e de genótipos desconhecidos, foram cruzadas com plantas C que produzem ervilhas verdes. O cruzamento  $A \times C$  originou 100% de plantas com ervilhas amarelas e o cruzamento  $B \times C$  originou 50% de plantas com ervilhas amarelas e 50% verdes. Os genótipos das plantas A, B e C são, respectivamente,

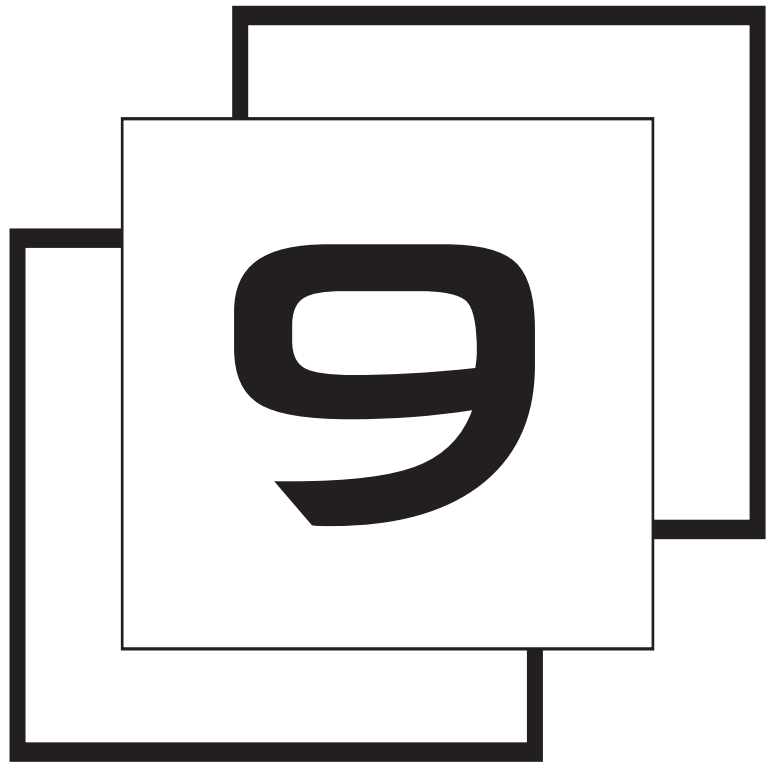
(A) Vv, vv, VV.

(B) VV, vv, Vv.

(C) VV, Vv, vv.

(D) vv, VV, Vv.

(E) vv, Vv, VV.



## AS LEIS DA HEREDITARIEDADE II

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o mecanismo de transmissão de duas características hereditárias localizadas num mesmo par de cromossomos homólogos.*

## INTRODUÇÃO

Até agora estudamos a herança de algumas características isoladas como a cor dos olhos, o tipo de cabelo e o albinismo em humanos, a cor das sementes e a altura de pés de ervilhas. Essas características são determinadas por genes que, como vimos, se localizam em cromossomos. Anteriormente acompanhamos o que acontecia com um par de alelos localizados em um par de cromossomos homólogos durante a meiose (formação dos gametas) e durante um cruzamento. Por outro lado sabemos que um cromossomo não carrega apenas um gene. Um cromossomo contém uma grande quantidade de genes para diferentes características do indivíduo. Neste capítulo vamos estudar o que acontece com a transmissão de características diferentes que se encontram num mesmo par de cromossomos.

Um dos organismos mais utilizados para o estudo da herança de diferentes caracteres é a mosca de banana (*Drosófila*) que apresenta apenas 3 pares de cromossomos homólogos e um par heterólogo (sexual) em suas células. Esses quatro pares de cromossomos carregam todos os genes para as características da mosca, tais como para a cor do corpo, o tamanho das asas, a cor dos olhos entre outras.

Nessas moscas a característica corpo cinza, por exemplo, é dominante sobre a característica corpo preto; a asa longa é dominante sobre asa vestigial (asa muito reduzida). Imagine, agora, que cruzamos um macho de corpo preto e asa vestigial com uma fêmea de corpo cinza e asa longa.

### Atividade 1

É possível prever os tipos de descendentes desse cruzamento somente com essas informações?

### Atividade 2

Suponha agora que o casal seja homozigoto para as duas características.

a. Considerando apenas a cor do corpo, de que cor serão os descendentes desse casal?

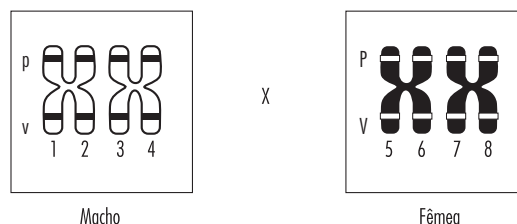
b. Considerando apenas o tipo de asas, como serão os descendentes do casal?

### Atividade 3

Considerando as duas características juntas, cor do corpo e tipo de asas, que aparência você espera que terão os descendentes desse casal?

Essas duas características das moscas de banana, cor do corpo e tamanho das asas, são determinadas por genes que se localizam no mesmo par de cromossomos, o par número II. (A mosca de banana tem 3 pares de homólogos). Na figura 9.1, a

seguir, estão representados os pares de cromossomos número II de cada membro do casal, com os genes para as características cor do corpo e tamanho das asas.



**Figura 9.1:** Pares de cromossomos nº II da mosca de corpo preto e asas vestigiais (macho) e mosca de corpo cinza e asas longas (fêmea), ambos homozigotos para as duas características.

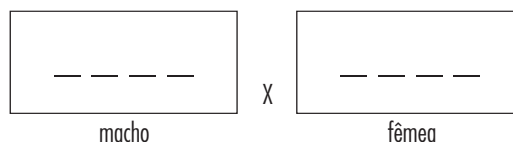
### Atividade 4

a. Sabendo que a cromátide 1 contém os alelos para corpo preto (p) — linha superior — e asa vestigial (v) — linha inferior, complete, com letras apropriadas, os alelos presentes nas cromátides 2, 3 e 4.

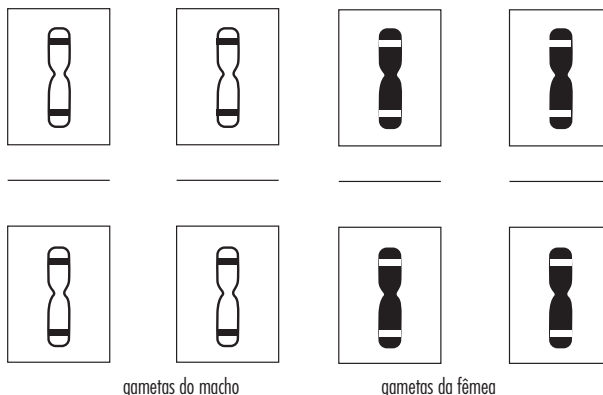
b. Sabendo que a cromátide 5 contém os alelos para corpo cinza (P) e asa longa (V), complete, com letras apropriadas, os alelos presentes nas cromátides 6, 7 e 8.

### Atividade 5

Represente o genótipo de cada membro do casal de acordo com os alelos presentes no par de cromossomos de cada um, mostrado na figura 9.1.



Repetindo os passos do capítulo anterior, vamos acompanhar, então, o que deve acontecer com os cromossomos e os dois pares de alelos quando as moscas da figura 9.1 são cruzadas, produzindo descendentes. Inicialmente cada mosca deverá produzir gametas. Lembrando que os cromossomos representados na figura 9.1 encontram-se duplicados dentro da célula, podemos representar os possíveis gametas produzidos por cada mosca nos quadros abaixo:



**Atividade 6**

a. Preencha as linhas em branco na figura anterior, identificando que alelos estão sendo levados por cada gameta.

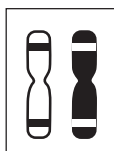
b. Quantos tipos diferentes de gametas cada mosca produziu?

**Atividade 7**

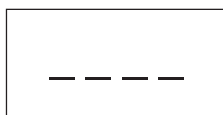
Quantos tipos diferentes de descendentes esse casal pode produzir? Por quê?

**Atividade 8**

No quadro abaixo está representado o par de cromossomos nº II dos filhos desse casal. Identifique os alelos presentes em cada cromossomo e represente no espaço indicado o genótipo dessas moscas:



Par de cromossomos homólogos nº II nas células das moscas filhas



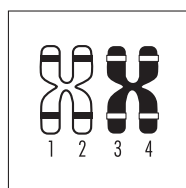
Genótipo das moscas filhas

**Atividade 9**

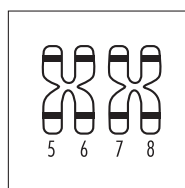
Como você pode observar a união dos gametas do casal de moscas da figura 9.1 produziu células de um único tipo: o par de cromossomos homólogos nessas células é formado por um cromossomo contendo informação para corpo \_\_\_\_\_ e asa \_\_\_\_\_ e outro cromossomo com informação para corpo \_\_\_\_\_ e asa \_\_\_\_\_.

De acordo com o que aprendemos sobre características dominantes e recessivas essas moscas filhas terão corpo \_\_\_\_\_ e asas \_\_\_\_\_.

Vamos analisar, agora, o que acontece quando cruzamos uma fêmea descendente desse casal com um macho de corpo preto e asas vestigiais. A figura 9.2 representa o par de homólogos presente nas células desse novo casal.



(a) Fêmea cinza de asa longa



(b) Macho preto de asa vestigial

**Figura 9.2:** (a) Fêmea heterozigótica para as duas características e (b) macho duplamente recessivo.

**Atividade 10**

Compare os cromossomos desenhados na atividade 8 e os mesmos cromossomos desenhados na figura 9.2 (a). Explique a diferença existente entre eles.

**Atividade 11**

No cromossomo branco da fêmea os alelos foram identificados pelas letras **p** e **v** (minúsculas) numa das cromátides. Essas letras representam as informações para corpo preto e asa vestigial, respectivamente.

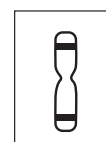
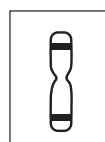
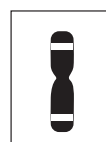
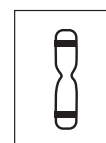
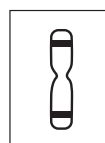
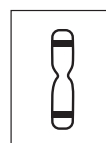
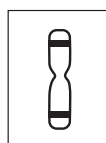
a. Que informações devem existir na outra cromátide desse cromossomo?

b. Represente pelas letras correspondentes as informações presentes em cada cromátide de todos os cromossomos das duas moscas.

**Atividade 12**

Para descobrir como serão os descendentes do cruzamento entre as duas moscas da figura 9.2, primeiro precisamos saber como serão os \_\_\_\_\_ produzidos por elas.

Nos quadros abaixo estão representados os cromossomos presentes nos gametas produzidos pela fêmea e pelo macho da figura 9.2. Escreva nas linhas em branco da figura a informação que cada gameta carrega.



gametas da fêmea

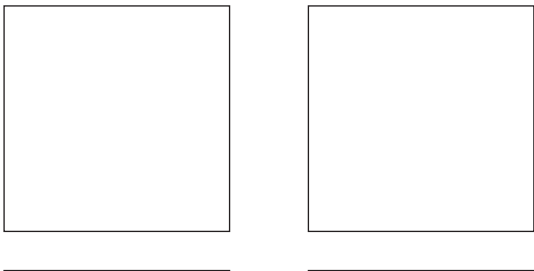
gametas do macho

**Atividade 13**

Quantos tipos de gametas cada mosca deverá produzir?

**Atividade 14**

Observando os tipos de gametas previstos, represente os cromossomos de todos os possíveis tipos de descendentes do cruzamento nos quadros abaixo. (Não deixe de escrever as letras que identificam os alelos de cada cromossomo). Escreva nas linhas abaixo de cada quadro a aparência (fenótipo) de cada descendente quanto à cor do corpo e tamanho das asas.



**Figura 9.3:** Previsão dos tipos de descendentes do cruzamento de fêmea híbrida de corpo cinza e asas longas e macho preto de asas vestigiais.

Atividade 15

Complete o quadro abaixo com os resultados previstos por você para os dois cruzamentos realizados, mostrados nas figuras 9.1 (cruzamento 1) e 9.2 (cruzamento 2):

Cruzamento 1	Fêmea de corpo cinza e asas longas	X	Macho de corpo preto e asas vestigiais
Aparência dos descendentes 1			
Cruzamento 2	Fêmea de corpo cinza e asas longas (híbrida)	X	Macho de corpo preto e asas vestigiais
Aparência dos descendentes 2			

**Tabela 9.1:** Resultados esperados dos cruzamentos para 2 genes localizados no mesmo par de homólogos.

De acordo com o que aprendemos sobre meiose estes são os resultados que esperamos encontrar quando analisarmos a herança de duas características presentes no mesmo cromossomo de um casal de moscas.

Entre os anos de 1910 e 1916, um pesquisador chamado Morgan realizou uma série de cruzamentos desse tipo entre diferentes tipos de moscas de banana (*Drosófilas*) e estudou a forma como duas ou mais características eram transmitidas aos descendentes. Num cruzamento como aquele mostrado na tabela acima, Morgan encontrou os resultados resumidos abaixo:

Cruzamento 1	Fêmea de corpo cinza e asas longas	X	Macho de corpo preto e asas vestigiais
Descendentes 1	Moscas de corpo cinza e asas longas		
Cruzamento 2	Fêmea de corpo cinza e asas longas (híbrida)	X	Macho de corpo preto e asas vestigiais
Descendentes 2	moscas de corpo cinza e asas longas (a)	moscas de corpo cinza e asas vestigiais (b)	moscas de corpo preto e asas longas (c)
			moscas de corpo preto e asas vestigiais (d)

**Tabela 9.2:** Resultados obtidos por Morgan para os descendentes dos cruzamentos das figuras 2.1 e 2.2 para dois genes localizados no mesmo par de cromossomos homólogos.

Atividade 16

Compare os resultados de Morgan com aqueles obtidos na tabela 9.1 da atividade 15. Você observa alguma diferença entre eles? Quais?


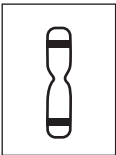
Atividade 17

Segundo a sua previsão, quando uma mosca heterozigótica cinza com asas longas for cruzada com um macho do tipo preto com asas vestigiais a descendência esperada será constituída por apenas dois tipos de fenótipos:

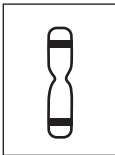
\_\_\_\_\_.  
Explique por que você previu esse resultado?

Entretanto, não foi isso que foi observado por Morgan e seus colaboradores. A tabela 9.2 mostra que ele obteve 4 tipos de fenótipos.

Vamos analisar novamente os gametas previstos na atividade 12 para as moscas híbridas. Como visto no esquema, eles deviam ser de dois tipos para as fêmeas e de um tipo para os machos:



e



Tipos de gametas da fêmea

Tipos de gametas do macho

Atividade 18

Estes gametas poderiam dar origem aos 4 tipos de descendentes obtidos por Morgan? Explique.

Atividade 19

Como devem ser os gametas que poderiam dar origem aos indivíduos (b) e (c) da tabela 9.2?

Atividade 20

Qual das moscas possui os alelos necessários para produzir gametas desse tipo, a fêmea ou o macho? Explique.



### Atividade 21

Proponha uma maneira graças à qual a mosca híbrida poderia produzir gametas do tipo que você sugeriu.

Para explicar a produção de gametas do tipo sugerido por você podia-se imaginar muitos modos pelos quais partes de cromossomos pudessem ser trocadas. De fato, na época (1909), havia sido descrito um fenômeno cromossômico que ocorria durante a meiose. Como foi visto anteriormente, durante a meiose os cromossomos homólogos duplicados se aproximam, emparelhando-se ao longo de todo seu comprimento, formando uma tetrade de quatro cromátides, que podem ser observadas ao microscópio. Logo depois do pareamento os cromossomos homólogos começam a se separar e são vistos como na figura 9.3.



Figura 9.4: Fenômeno da permutação observado na Meiose

### Atividade 22

Depois de analisar a figura, você diria que ela reforça ou não sua proposta na atividade anterior? Explique.

A descrição desse fenômeno forneceu a Morgan uma base para a explicação do aparecimento do tipo de gametas que poderia dar origem aos descendentes (b) e (c) do cruzamento 2. Morgan propôs que durante o pareamento dos cromossomos homólogos na meiose ocorre a quebra e a troca de pedaços entre cromátides homólogas, de modo que ao se separarem os cromossomos resultantes apresentam uma recombinação de cromátides. Essa recombinação é hoje chamada de permutação.

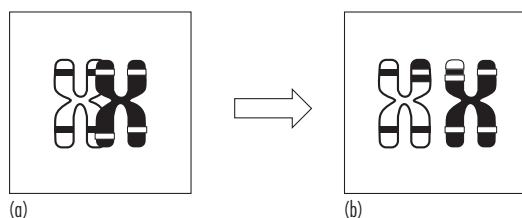


Figura 9.5: Representação da permutação entre cromátides homólogas durante a meiose. Observe a troca de pedaços entre os braços superiores dos cromossomos branco e preto.

### Atividade 23

Com base nessa nova informação, a existência de permutação entre cromátides homólogas, refaça os gametas da fêmea da figura 9.2. Represente nos quadros abaixo a cromátide presente em cada um dos gametas produzidos pela mosca fêmea representada na figura 9.4 (b), considerando a existência de permutação entre cromátides homólogas. (Não deixe de escrever as letras que identificam os alelos de cada cromossomo.) Os gametas do macho serão alterados? Represente-os também.


gametas da fêmea                      gametas do macho

### Atividade 24

A partir dos tipos de gametas obtidos, desenhe o par de cromossomos presentes em todos os possíveis tipos de descendentes do cruzamento nos quadrados abaixo (não deixe de escrever as letras que identificam os alelos de cada cromossomo). Escreva, abaixo de cada quadro, o fenótipo de cada descendente quanto à cor do corpo e o tamanho das asas. Os resultados coincidem com os da tabela 9.2?


### Atividade 25

Se não houvesse permutação entre cromátides de cromossomos homólogos todos os alelos presentes em um mesmo cromossomo seriam herdados juntos. Se isso acontecesse, não seria possível obter descendentes com os fenótipos \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ no cruzamento acima.

### Atividade 26

Qual é a importância da existência da permutação entre cromátides homólogas durante a meiose para a diversidade dos indivíduos de uma espécie?

Quando os genes estão bastante afastados num mesmo cromossomo, sua transmissão para a prole se dá como se estivessem em cromossomos separados. Isso porque a permutação é tão frequente, que, nesses casos, pode-se dizer que ela sempre ocorre. Por outro lado, se os genes forem vizinhos muito próximos teremos resultados iguais aos obtidos por você na tabela 9.1.

Nos próximos exercícios vamos considerar que os genes estão ou muito distantes num mesmo par de homólogos ou em pares diferentes. Desse modo eles serão transmitidos para a descendência independentemente. Esse modo de transmissão dos genes, independentemente entre si, é conhecido como a Segunda Lei de Mendel. Essa lei diz que os alelos de cada par de genes se separam independentemente uns dos outros para formar os gametas. Por exemplo, os alelos do par Pp, que determina uma certa característica, e os alelos do par Vv que determina outra característica, se separam independentemente para formar os gametas do indivíduo PpVv.

### Atividade 27

Uma vez que os gametas têm apenas um alelo de cada par os gametas desse indivíduo PpVv serão:

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

Do mesmo modo, um indivíduo AaBbCc produzirá os seguintes gametas:

\_\_\_\_\_  
(Lembre-se que um gameta tem apenas um alelo de cada par.)

### RESUMO

- Durante a meiose os cromossomos homólogos sofrem permutação, isto é, trocam pedaços entre cromátides homólogas.
- A permutação permite que genes localizados em um mesmo cromossomo sejam transmitidos à descendência independentemente uns dos outros.
- A permutação permite uma recombinação das características localizadas nos cromossomos homólogos herdados do pai e da mãe.
- A permutação aumenta a diversidade entre os indivíduos de uma espécie.
- A Segunda Lei de Mendel diz que os genes são transmitidos à descendência independentemente entre si.

### EXERCÍCIOS

**1)** No homem o albinismo (ausência de pigmentação) é uma característica recessiva em relação à pigmentação normal, e cabelos crespos é uma característica dominante sobre cabelos lisos. Uma mulher albina, de cabelos lisos casa-se com um homem de pigmentação normal e cabelos lisos, heterozigoto para o albinismo.

a. Escreva o genótipo do casal, utilizando as letras A e a para a pigmentação e L e l para o tipo de cabelo.

	Homem	Mulher
Fenótipo	Pigmentação normal; Cabelos lisos	Albina; Cabelos lisos
Genótipo	_____	_____

b. Que tipos de gametas o homem deverá produzir? Lembre-se: um gameta só pode ter um alelo de cada par.

c. Que tipos de gametas a mulher deverá produzir?

d. Complete a tabela abaixo com os possíveis gametas da mulher na coluna vertical em cinza e os gametas do homem na linha horizontal em cinza. Nos quadros em branco represente a união dos respectivos gametas.

		Gametas do homem	
Gametas da mulher			

e. Que tipos de descendentes podemos esperar nesse cruzamento?

f. A chance do casal ter um filho albino é maior, menor ou igual à chance de ter um filho com pigmentação normal?

g. Esse casal poderá ter um filho de cabelos crespos? Justifique.

**2)** No homem o gene para visão normal é dominante sobre o gene para miopia. O gene para olho castanho é dominante sobre o azul. Uma mulher heterozigótica para as duas características se casa com um homem também heterozigoto para as duas características.

a. Escreva o genótipo do casal utilizando as letras M e m para tipo de visão e A e a para cor dos olhos.

b. Complete os quadros em cinza com os gametas do casal e os quadros em branco com o genótipo esperado dos descendentes do casal heterozigoto.

		Gametas do homem			
Gametas da mulher					

c. Que fenótipos são esperados para os filhos que esse casal venha a ter?

d. Qual é a proporção esperada de filhos com cada tipo de fenótipo na prole desse casal?

fenótipos	genótipos	proporção esperada

e. Que tipo de filho o casal tem maior chance de gerar?

f. Supondo que fossem produzidos 160 filhos desse casal, apenas para efeito de raciocínio, já que é um número absurdo para seres humanos, quantos deles deveriam possuir cada genótipo? E qual seria a proporção entre os diversos fenótipos?

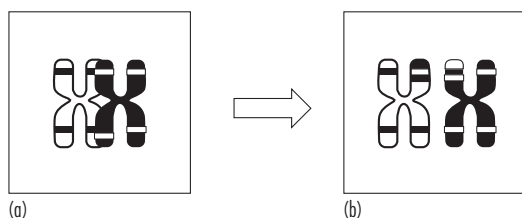
**3)** (UENF / 2000) Suponha o casamento entre dois membros de uma mesma família que apresentem, igualmente, os genótipos **Aa**, no qual o gene recessivo **a** determina uma doença genética.

a. Explique por que o casamento entre pessoas da mesma família aumenta a chance de aparecimento de alguma doença genética nos filhos.

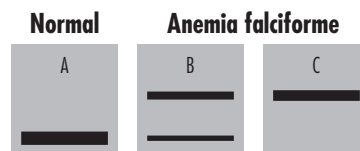
b. Demonstre, por meio de um esquema, a probabilidade do nascimento de filhos com a doença genética, a partir desse casamento.

**4)** (UFRJ / 2007-P1) Sabendo que a maioria das mutações é deletéria (prejudicial ao organismo), o evolucionista John Maynard-Smith escreveu sobre a meiose, durante a produção de gametas:

“A meiose é o equivalente a ter dois carros, um com a transmissão quebrada, outro com o motor quebrado e, com eles, produzir um único carro que funcione.” A figura a seguir ilustra um par de cromossomos homólogos duplicados (A e B), bem como as localizações dos alelos deletérios “M” (presente somente no cromossomo A) e “N” (presente somente no cromossomo B). Um indivíduo que possui os cromossomos A e B poderá formar gametas que não sejam portadores dos alelos M e N? Justifique sua resposta.



**5)** (UFRJ / 2005-P1) A anemia falciforme é causada por uma mutação que produz uma alteração na sequência de aminoácidos da hemoglobina. Essa alteração pode ser detectada pela técnica da eletroforese. O diagrama abaixo mostra o resultado do fracionamento por eletroforese da hemoglobina extraída de três indivíduos: A, normal, e B e C com anemia falciforme. Cada banda representa uma hemoglobina, alterada ou não. Explique por que o indivíduo B apresenta os dois tipos de hemoglobina.



**6)** (UFRJ / 2002-P2) Considere a existência de dois locos em um indivíduo. Cada loco tem dois alelos “A” e “a” e “B” e “b”, sendo que “A” e “B” são dominantes. Um pesquisador cruzou um indivíduo “AaBb” com um indivíduo “aabb”. A prole resultante foi: 40% AaBb; 40% aabb; 10% Aabb; 10% aaBb. O pesquisador ficou surpreso, pois esperava obter os quatro genótipos na mesma proporção, 25% para cada um deles. Esses resultados contrariam a segunda lei de Mendel ou lei da segregação independente? Justifique sua resposta.

**7)** Na espécie humana existem várias características cuja herança provém de um par de alelos com relação de dominância completa. Na forma do lobo da orelha o alelo dominante é responsável pelo lobo solto e o alelo recessivo pelo lobo preso. A capacidade de enrolar a língua também é determinada por um par de alelos situados em outros cromossomos autossômicos, onde o alelo dominante determina essa capacidade. A probabilidade de nascer um descendente com o lobo da orelha preso e a capacidade de enrolar a língua de um casal onde ambos são heterozigotos para as duas características é:

- (A) 12/16
- (B) 9/16
- (C) 4/16
- (D) 3/16
- (E) 1/16

**8)** Em tomateiros, a cor do hipocótilo púrpura é condicionada por um alelo dominante e a cor verde, pelo alelo recessivo; a folha recortada é determinada por um alelo dominante e a lisa, pelo alelo recessivo. Esses genes estão localizados em cromossomos que se segregam independentemente. Através do intercrossamento de plantas duplo-heterozigóticas, foram obtidos 480 descendentes. Dentre esses, o número esperado de indivíduos com hipocótilo púrpura e folhas lisas é

- (A) 30
- (B) 90
- (C) 160
- (D) 240
- (E) 270

**9)** Assinale a alternativa que indica os genótipos dos pais que têm ou poderão ter filhos nas seguintes proporções ou percentuais:

- 25% de filhos canhotos, podendo ter olhos castanhos ou azuis.
- 75% de filhos destros, podendo ter olhos castanhos ou azuis.
- 25% de filhos com olhos azuis, podendo ser destros ou canhotos.

- 75% de filhos com olhos castanhos, podendo ser destros ou canhotos.

Dados: gen para olhos castanhos - C      gen para olhos azuis - c  
gen para mão destra - D      gen para mão canhota - d

(A) CCDD e CCDD

(B) ccdd e ccdd

(C) CCdd e ccDD

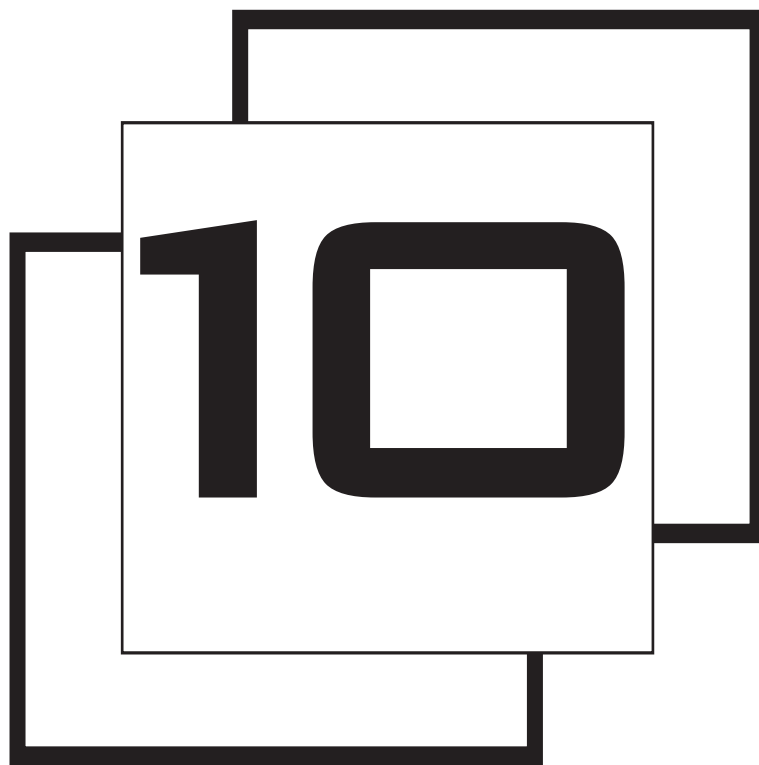
(D) CcDd e CcDd

(E) CcDd e ccdd

**10)** Suponha uma planta superior originada de um zigoto no qual dois dos pares de cromossomos, A e B, têm a constituição A—A,B—B,.

a. Qual será a constituição cromossômica da planta adulta originada desse zigoto? Justifique.

b. Se essa planta se reproduzir por autofecundação, a constituição cromossômica de seus descendentes será igual à da planta mãe? Justifique.



## OS ALIMENTOS E AS CÉLULAS I

*:: Objetivo ::*

- *Compreender a relação entre alimento e ATP.*

## INTRODUÇÃO

Como vimos no capítulo 17 do Módulo 1, a excreção envolve intenso bombeamento de íons e moléculas do filtrado renal de volta para o sangue. Esse bombeamento, também chamado de transporte ativo, consome energia, que é obtida de uma substância chamada ATP. O ATP (trifosfato de adenosina) é uma molécula que apresenta três grupos fosfato ligados a uma molécula complexa chamada adenosina (figura 10.1) e funciona como uma espécie de moeda de energia.

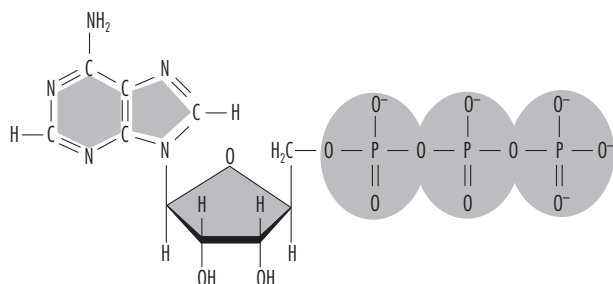


Figura 10.1: A molécula de ATP

Atividade	Gasto Calórico (Kcal/ hora)
Andar de Bicicleta	490
Andar Devagar	200
Assistir aulas	150
Assistir TV	105
Balé	500
Comer	90
Correr	900
Datilografar	110
Descansar deitado	77
Descansar sentado	100
Dormir	65
Jogar Basquete	600
Jogar Futebol	660
Jogar Tênis	500
Jogar Volei	600

Tabela 10.1: Gasto calórico em atividades físicas.

A maioria das atividades celulares utiliza ATP: o transporte ativo de substâncias através da membrana que consome energia; a contração muscular; a síntese de proteínas etc.

A energia utilizada para realizar o transporte ativo de íons de um lado para outro da membrana celular, por exemplo, vem da quebra de uma ligação entre um grupo fosfato e o restante da molécula de ATP, formando um ADP (difosfato de adenosina), que contém dois grupos fosfato ligados, e um fosfato inorgânico (Pi) livre, que permanecem na célula. O transporte ativo é fundamental, por exemplo, na reabsorção de glicose nos glomérulos e no funcionamento dos neurônios, entre outras atividades celulares.

Para a realização de qualquer atividade celular, inclusive durante o repouso, moléculas de ATP são consumidas dessa maneira. Por exemplo, um ser humano em repouso consome cerca de 40 kg de ATP em 24 horas, isto é, 40 kg de ATP se transformam em ADP e Pi diariamente nas células de um indivíduo em repouso. Durante exercício estafante, a velocidade de utilização do ATP pode ser de até 0,5 Kg por minuto.

Considerando que 1 mol de ATP (~500g) fornecem 7,3 kcal, para obter 1 Kcal a célula precisa degradar aproximadamente  $8 \times 10^{20}$  moléculas de ATP.

A tabela anterior ilustra o consumo de energia envolvido em algumas atividades. A partir dela você pode ter uma estimativa da quantidade de moléculas de ATP consumidas para realizar atividades do dia a dias.

O esquema a seguir representa de forma simplificada o que acontece com o ATP ao ser utilizado pelas células:



Figura 10.2: A utilização de ATP pelas células.

## A PRODUÇÃO DE ATP PELA CÉLULA

Uma vez utilizado, o ATP pode ser renovado? Ou é necessário que se produza mais ATP a cada vez que se necessita de energia para um processo celular? O que será que acontece com os ADPs e Pi produzidos quando o ATP é consumido? Observe novamente a figura 10.1. O ATP é uma molécula complexa, formada por muitos átomos. Sua construção requer a utilização de muitos nutrientes e muita energia. Do mesmo modo, o ADP, produzido após o uso do ATP, também é uma molécula complexa, muito parecida com o ATP.

### Atividade 1

O que é necessário para que os ADP e Pi possam ser reagrupados e formar ATP novamente?

### Atividade 2

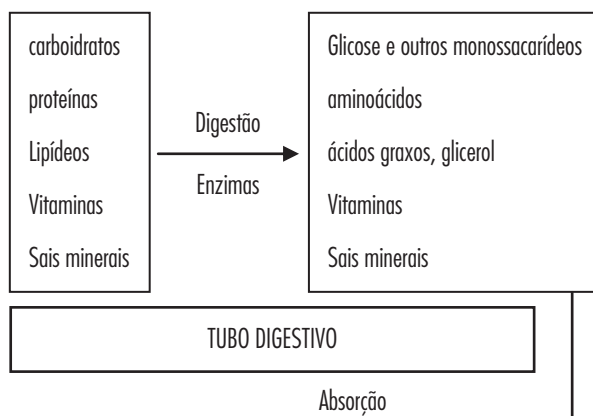
Você saberia responder a partir de que fonte(s) a célula poderia obter energia para recompor todo este ATP? Caso tenha dificuldades com essa questão, reveja o capítulo 2 do Módulo 1.

Para compreender a relação entre um alimento e ATP, vamos começar fazendo um breve resumo dos acontecimentos que ocorrem após uma refeição: ao passar pelo tubo digestivo (boca, estômago e intestino) as grandes moléculas de proteínas, lipídeos e carboidratos presentes nos alimentos são quebradas por enzimas em moléculas menores: aminoácidos, ácidos graxos e glicose.

### Atividade 3

O que acontece com os aminoácidos, ácidos graxos e glicose, presentes no intestino, após a digestão dos alimentos?

O esquema abaixo mostra um resumo das ideias discutidas até agora:

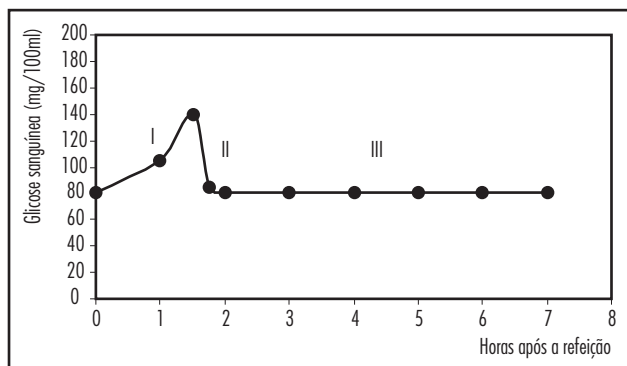


**Figura 10.3:** O caminho percorrido pelos alimentos

Esses conceitos foram apresentados em detalhes nos capítulos 15 e 16 do módulo 1.

É possível compreender melhor o que acontece com os componentes dos alimentos após serem absorvidos, observando a sua concentração no sangue após uma refeição. Vamos começar analisando o que acontece com um dos componentes dos alimentos que ingerimos.

O gráfico a seguir mostra a concentração de glicose (curva glicêmica) no sangue de um indivíduo após aquele almoço composto de arroz, feijão, bife, batatas fritas e salada de alface. Observe-o atentamente e responda às questões:



**Figura 10.4:** Curva glicêmica

### Atividade 4

Descreva o que acontece com a concentração de glicose ao longo das 7 horas de medida.

### Atividade 5

Como podemos explicar a variação ocorrida na etapa I do gráfico?

### Atividade 6

Como podemos explicar a variação ocorrida na etapa II do gráfico?

Ao explicar a etapa II do gráfico, você certamente se lembrou de que o sangue transporta os nutrientes até as células.

### Atividade 7

Mas o que acontece quando a glicose chega às células? Você saberia dizer para que a célula está utilizando a glicose proveniente dos alimentos?

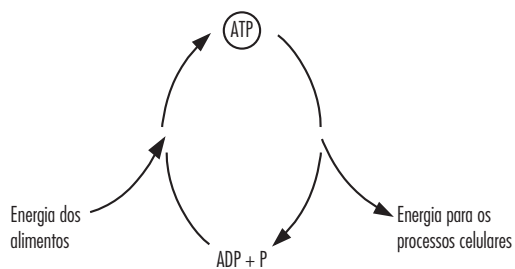
Se você respondeu que a glicose está sendo utilizada para produção de energia, acertou! Uma parte da energia armazenada nas moléculas de alimentos que entram na célula é utilizada para reconstruir o ATP a partir do ADP e do fosfato inorgânico (Pi) presentes na célula (figura 10.5).



**Figura 10.5:** A formação de ATP

Desse modo, a energia dos alimentos fica retida no ATP, que então pode ser utilizado liberando energia para as atividades celulares.

Portanto, a utilização e a produção de ATP na célula obedecem a um ciclo: cada ATP utilizado se transforma em ADP e Pi, fornecendo energia para as atividades celulares, e estes poderão ser utilizados novamente pela célula para reconstruir um ATP, consumindo energia proveniente dos alimentos. Esse ciclo está esquematizado na figura 10.6, a seguir.



**Figura 10.6:** O ciclo do ATP

O estoque de ATP em uma única célula é da ordem de um bilhão de moléculas, sendo usado e reposto a cada dois ou três minutos, ininterruptamente. Estima-se que um ser humano adulto, em repouso, consome diariamente 40Kg de ATP o que implica em que cada molécula de ADP é fosforilada a ATP e posteriormente desfosforilada cerca de 1.000 vezes por dia.

Para ter uma ideia da quantidade de ATP que uma célula necessita, faça as atividades do capítulo 20.





## OS ALIMENTOS E AS CÉLULAS II

*:: Objetivo ::*

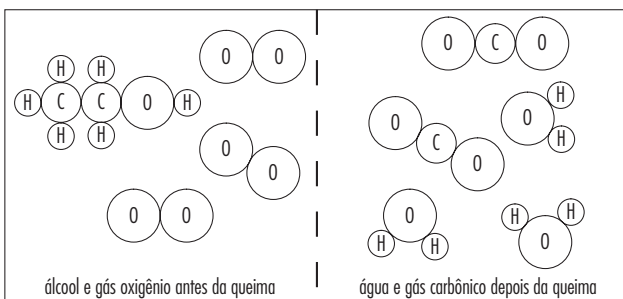
- *Compreender o processo de produção de ATP pelas células.*

## INTRODUÇÃO

Agora que já conhecemos um dos usos que as células fazem dos alimentos, podemos perguntar como ela faz isso, ou seja, como a célula faz para produzir ATP.

A energia dos alimentos está armazenada nas ligações entre os átomos das moléculas que os compõem. Como vimos em nossas primeiras aulas, as substâncias (e, portanto, os alimentos) são formadas por moléculas que, por sua vez, são formadas por átomos ligados entre si.

Quando uma substância é transformada em outras isto significa que os átomos que formavam as moléculas originais foram rearranjados de uma maneira diferente da maneira inicial, formando novas moléculas. Por exemplo: quando o álcool é queimado, ele se combina com o oxigênio do ar e se transforma em gás carbônico e água. Isto quer dizer que os átomos que formavam as moléculas do álcool ( $C_2H_6O$ ) e os átomos que formavam as moléculas do gás oxigênio ( $O_2$ ) se separam e se organizam de outra maneira formando as moléculas de água ( $H_2O$ ) e de gás carbônico ( $CO_2$ ). Observe a figura 11.1 abaixo:



**Figura 11.1:** Um exemplo de transformação química: a queima do álcool.

Verifique se o total de átomos mudou após a queima. Para isso, responda:

### Atividade 1

Os átomos presentes antes da queima são os mesmos presentes depois da queima? Quais são eles?

### Atividade 2

As moléculas presentes antes da queima são as mesmas moléculas presentes depois da queima? O que mudou, então, durante a queima?

Como dissemos anteriormente, as ligações entre os átomos de uma molécula contêm energia. O que acontece com essa energia quando as substâncias se transformam? No caso da queima do álcool, representada na figura acima, a quantidade de energia presente nas moléculas (álcool e oxigênio) antes da queima é maior do que a quantidade de energia necessária para manter os átomos ligados nas moléculas (gás carbônico e água) depois da queima. Quando a queima ocorre, parte da energia é liberada no ambiente na forma de calor, essa liberação se deve ao fato das quantidades de energia presentes nas moléculas

iniciais ser maior do que aquela presente nas moléculas finais. É por isso que podemos aproveitar esse calor para, por exemplo, fazer funcionar o motor de um carro a álcool.

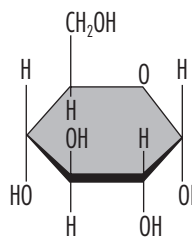
É importante notar, porém, que nem todas as substâncias liberam energia ao se transformarem em outras. Tudo depende da diferença entre a quantidade de energia que havia nas moléculas antes da transformação e a quantidade de energia que existe nas novas moléculas formadas.

No caso dos alimentos, eles podem ser queimados num forno, por exemplo. Nessa queima as moléculas do alimento se combinam com o oxigênio formando gás carbônico e água. Como a quantidade de energia existente nas moléculas iniciais do alimento é maior do que a quantidade que existe nos produtos da queima ( $CO_2$  e  $H_2O$ ) ocorre liberação de energia na forma de calor. É assim que se determina a quantidade de calorias presente num determinado alimento, e que vem registrada nos rótulos, como vimos no capítulo 2 do Módulo 1.

## COMO A ENERGIA DOS ALIMENTOS É TRANSFERIDA PARA O ATP

Mas, e dentro da célula, o que deve acontecer com o alimento? Se ele fosse queimado, a energia seria liberada na forma de calor e não poderia ser utilizada para realização de trabalho celular. Assim a energia das ligações das moléculas de alimento deve, de algum modo, ser utilizada para ligar fosfato (Pi) ao ADP, formando ATP.

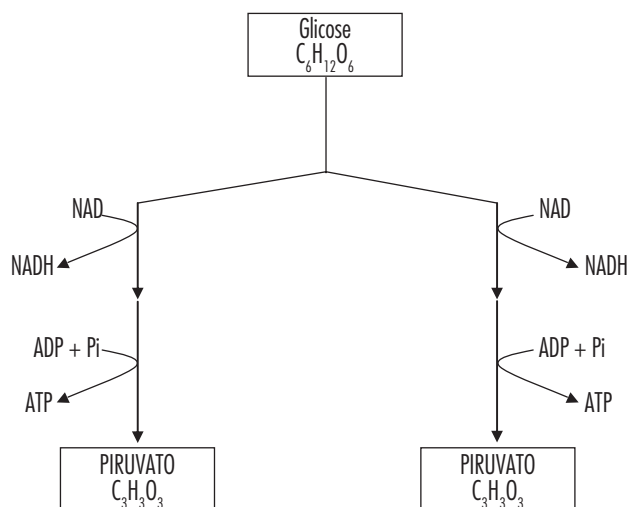
Para entender como a célula transfere a energia dessas ligações para o ATP vamos acompanhar como um alimento, como a glicose (figura 11.2), é utilizado no interior da célula.



**Figura 11.2:** A molécula de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ).

A primeira parte desse processo é conhecida como Glicólise e ocorre no meio citoplasmático (citossol). Na Glicólise uma molécula de glicose (figura 11.3), que tem 6 átomos de carbono, 12 de hidrogênio e 6 de oxigênio, ( $C_6H_{12}O_6$ ), sofre a ação de várias enzimas que, em passos sucessivos, quebram algumas das ligações entre os seus átomos, até transformá-la em duas moléculas menores, cada uma com 3 átomos de carbono, 3 de hidrogênio e 3 de oxigênio ( $C_3H_3O_3$ ), chamada piruvato. Cada passo desse processo é controlado por uma enzima diferente. Durante essas transformações, átomos de hidrogênio da molécula de glicose são transferidos para moléculas complexas, conhecidas pela abreviação de seu nome: NAD. Assim como o ATP, o NAD é uma molécula extremamente complexa, composta de muitos átomos de hidrogênio, oxigênio, carbono, nitrogênio e fósforo. Sua construção pela célula é feita a partir de uma vitamina do complexo B e consome muitos nutrientes e muita energia (ATP).

O esquema a seguir é uma simplificação dos passos envolvidos na Glicólise.



**Figura 11.3:** Esquema simplificado da Glicólise.

As duas moléculas de piruvato produzidas ao final do processo contêm menos energia do que a molécula inicial de glicose. Durante o processo de quebra da glicose em piruvato apenas uma pequena quantidade de calor é liberada.

Observe que durante a glicólise, parte da energia da glicose é utilizada para ligar fosfato (Pi) ao ADP, formando ATP.

### Atividade 3

Quantos ATPs são produzidos na glicólise para cada molécula de glicose quebrada?

### Atividade 4

Com base no esquema, identifique as moléculas que são consumidas ao longo da glicólise.

### Atividade 5

O que aconteceria com o processo de glicólise se não houvesse mais NAD disponível na célula?

### Atividade 6

A síntese (construção) de uma única molécula NAD a partir de aminoácidos ou de vitamina B consome 3 ATP. Quantos ATP seriam necessários para produzir os NAD consumidos na Glicólise?

### Atividade 7

Compare sua resposta anterior com aquela da pergunta 5 e reflita: a Glicólise seria eficiente se todo o NAD consumido tivesse de ser construído “de novo”?

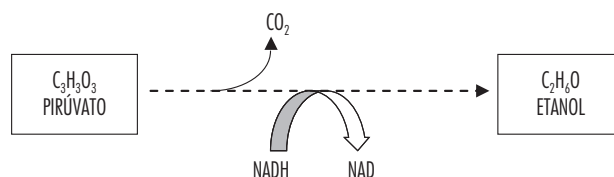
### Atividade 8

Proponha uma solução para a questão anterior. Dica: pense no caso do ATP e do Pi.

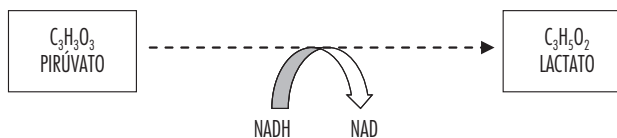
A célula dispõe de várias maneiras (vias metabólicas) para sanar o problema identificado por você nas questões 5 e 6.

Duas dessas vias metabólicas, conhecidas como fermentação alcoólica e fermentação láctica, têm grande importância econômica, além de biológica.

Na primeira dessas vias, a fermentação alcoólica (figura 11.4), o piruvato é transformado em etanol (álcool) e gás carbônico. Na fermentação láctica (figura 11.5) o piruvato é transformado em lactato (ácido láctico). Essas substâncias são liberadas pelas células no meio.

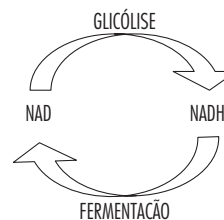


**Figura 11.4:** Fermentação alcoólica.



**Figura 11.5:** Fermentação láctica.

O NAD acaba funcionando, portanto, como um transportador de átomos de hidrogênio (figura 11.6). Para simplificar, podemos pensar nele como sendo um “caminhão” que transporta hidrogênio de uma molécula para outra na célula.



**Figura 11.6:** A reposição de NAD.

Nos dois casos os átomos de hidrogênio transportados pelo NADH são transferidos de volta para o piruvato, que se transforma em álcool ou ácido láctico, e o NAD é reciclado.

Note ainda que não é consumido nenhum oxigênio nesses processos. Eles são chamados de anaeróbios.

Observe novamente os processos esquematizados nas figuras 11.4 e 11.5 e responda:

### Atividade 9

Qual deles deve ser utilizado na produção de cerveja e vinho? Justifique.

### Atividade 10

Qual deles deve ser utilizado na fabricação de pães? Justifique.

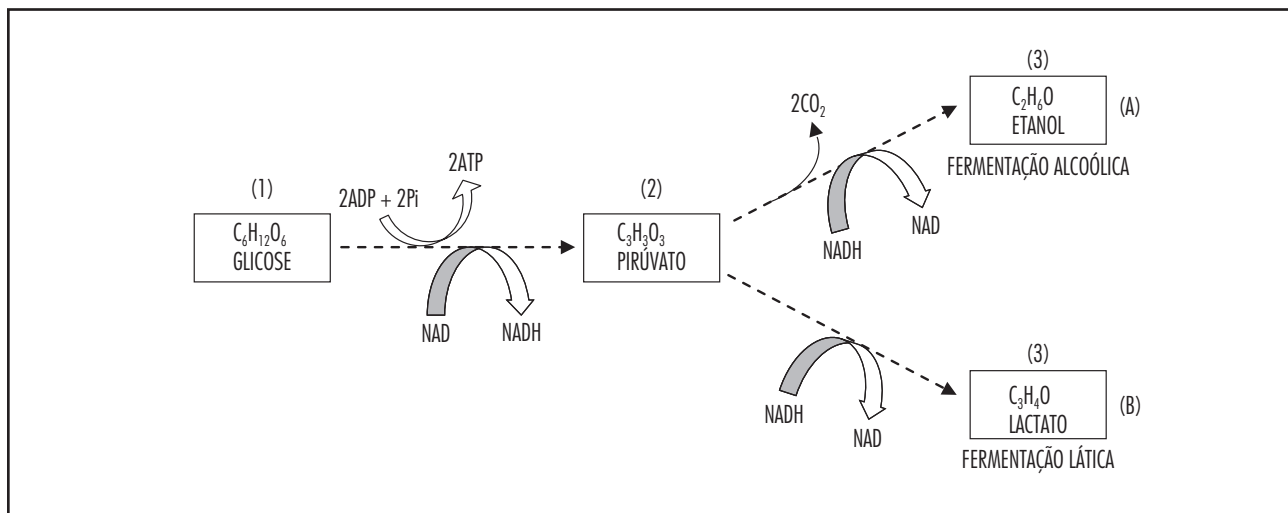
### Atividade 11

Qual deles deve ser utilizado na produção de iogurte? Justifique.

## RESUMO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS

- O ATP é a molécula fornecedora de energia para as atividades da célula.
- O ATP é consumido durante as atividades de movimento, transporte ativo de substâncias através da membrana e síntese de grandes biomoléculas.
- O consumo de ATP produz ADP e fosfato inorgânico (Pi).
- A célula renova o ATP a partir do ADP e Pi, utilizando para isso energia proveniente dos alimentos.
- O ATP, portanto, é continuamente formado e consumido nas células.
- A quebra das substâncias menos complexas provenientes do alimento ocorre pela ação de enzimas presentes na célula.
- A fermentação é um dos processos de renovação do ATP que ocorre no interior das células.
- A glicose é transformada em ácido láctico durante a fermentação láctica, e em etanol e gás carbônico durante a fermentação alcoólica.
- A fermentação gera 2 ATPs para cada molécula de glicose que entra na célula.
- Durante a glicólise há consumo de NAD que são recuperados na fermentação.

O esquema a seguir mostra de forma muito simplificada os passos principais da fermentação alcoólica e da fermentação láctica.



**Figura 11.7:** Fermentação alcoólica (A) e Fermentação láctica (B).



## OS ALIMENTOS E AS CÉLULAS III

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o papel do oxigênio na produção de ATP pelas células.*

No capítulo anterior, vimos como alguns organismos são capazes de transferir a energia da molécula de glicose para o ATP, produzindo álcool e lactato ao final do processo. As moléculas de álcool (etanol) e lactato produzidas na fermentação, porém, ainda possuem bastante energia armazenada em suas ligações de Carbono e Hidrogênio. No caso do álcool, isso é muito fácil de perceber, já que ele é um combustível.

Entretanto, existem outros organismos que, em lugar de produzir etanol ou lactato, conseguem aproveitar a energia do piruvato produzido por eles mesmos na glicólise. Como veremos a seguir, isso só é possível devido à capacidade de suas células utilizarem o gás oxigênio atmosférico ou dissolvido na água.

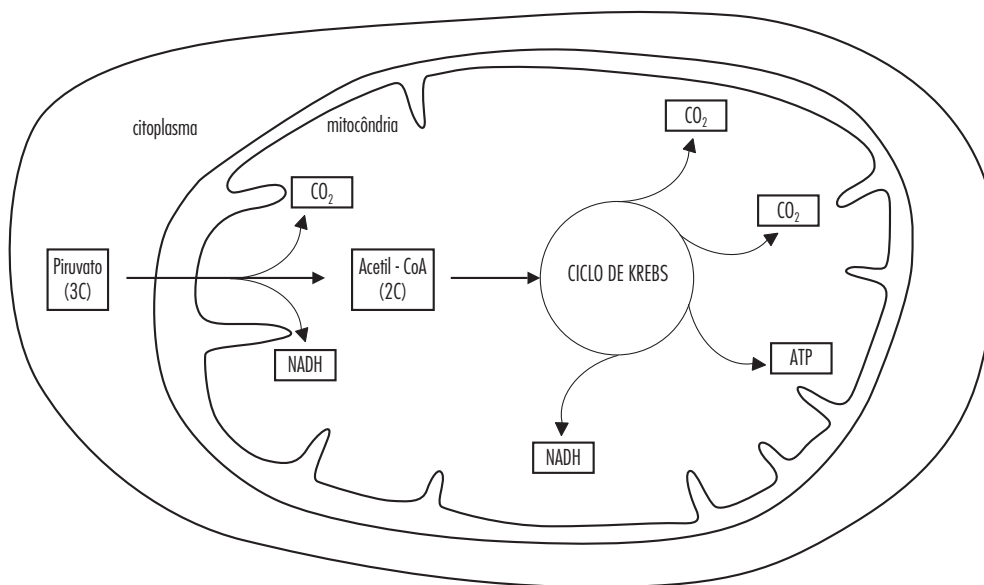
## USANDO O OXIGÊNIO PARA REFAZER O NAD

O oxigênio é uma substância altamente reativa. Com certeza você já observou como uma maçã cortada ao meio escurece quando guardada de um dia para o

outro. O mesmo acontece com uma batata. O escurecimento da maçã e da batata em contato com o ar ocorre por causa da combinação do gás oxigênio com as substâncias orgânicas presentes nesses vegetais. Esse escurecimento é chamado de oxidação. O oxigênio, portanto, oxida a maior parte das moléculas orgânicas. Os seres vivos capazes de utilizar o oxigênio de forma controlada para reciclar os NAD a partir de  $\text{NADH}_2$ , possuem em suas células uma organela chamada mitocôndria. No interior das mitocôndrias existem enzimas (sempre elas!) capazes de quebrar o piruvato em moléculas ainda menores. A figura a seguir mostra de forma muito simplificada a quebra do piruvato no interior da mitocôndria.

Observe que durante a quebra do piruvato átomos de hidrogênio são transferidos para moléculas de NAD, formando mais NADH, e acetil-coenzima A.

A molécula de acetil-coA, por sua vez, passa por outra série de transformações, num processo chamado Ciclo de Krebs, dando origem a gás carbônico (e mais H são transferidos para moléculas de NADH).



**Figura 12.1:** Quebra do piruvato no interior da mitocôndria — Ciclo de Krebs.

### Atividade 1

Observe a figura 12.1 e complete:

A molécula de piruvato contém \_\_\_\_\_ átomos de carbono.

Enzimas presentes na mitocôndria transformam o piruvato em acetil-coenzima A (acetil-CoA), que contém \_\_\_\_\_ átomos de carbono, e em \_\_\_\_\_ que contém \_\_\_\_\_ átomo de carbono.

Em seguida uma molécula de acetil-coA é quebrada no ciclo de Krebs, gerando, ao final do processo, \_\_\_\_\_ moléculas de gás carbônico.

Desse modo o piruvato ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3$ ), que se encontrava no citoplasma da célula, foi quebrado completamente (por enzimas) após entrar na mitocôndria. No final deste processo todos os átomos que formavam a molécula de piruvato estão reagrupados de outra maneira, formando outras moléculas: os átomos de C e de O, agora, formam  $\text{CO}_2$ , e os átomos H foram transferidos para NADH. Isto é, ao

final do processo a molécula de piruvato foi completamente desmontada pelas enzimas presentes na mitocôndria. Parte da energia foi transferida para moléculas de ATP e parte transferida para as moléculas de NADH.

É importante notar que neste ponto todos os carbonos (C) provenientes da molécula de glicose já foram consumidos formando  $\text{CO}_2$  que é eliminado das células. Mas o gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ) ainda não entrou no jogo.

### Atividade 2

É muito comum ouvirmos a expressão “os alimentos são queimados na célula para a produção de energia”. Esta afirmação é correta? Compare a transformação de glicose em  $\text{CO}_2$  e NADH na célula (figura 12.1) com a queima mostrada na figura 11.1.

Como vimos, ao aproveitar a energia do piruvato na produção de ATP, as mitocôndrias produziram mais NADH.

### Atividade 3

Se uma célula realiza o Ciclo de Krebs, além da glicólise, o que ocorre com os NADH produzidos nesses dois processos? Isso é um problema? Por quê?

Esse problema (identificado na questão 3) pode ser solucionado na própria mitocôndria, em um outro processo conhecido como Cadeia Respiratória (figura 12.2). Nesse processo, os hidrogênios (H) são retirados dos NADH e transferidos para o oxigênio ( $O_2$ ) vindo da respiração, formando água ( $H_2O$ ). Os NADH voltam a ser NAD. Parte da energia contida nas ligações dos hidrogênios (H) ao NADH (lembre-se de que esses H vieram da glicose) é utilizada na síntese de ATP a partir de ADP e  $P_i$ . Para cada molécula de piruvato que entrou na mitocôndria são produzidos, ao todo, 15 ATP. No entanto, também os NADH provenientes da glicólise são levados para a mitocôndria e participam da Cadeia Respiratória, levando à síntese de 6 ATP por molécula de glicose.

Na mitocôndria, portanto, ocorre a quebra completa das moléculas de piruvato em moléculas de gás carbônico ( $CO_2$ ) e a recuperação de todos os NAD (consumidos na produção de NADH das etapas anteriores). A recuperação dos NAD se dá pela combinação do  $O_2$  com os Hidrogênios provenientes do NADH, sob a ação de enzimas da cadeia respiratória.

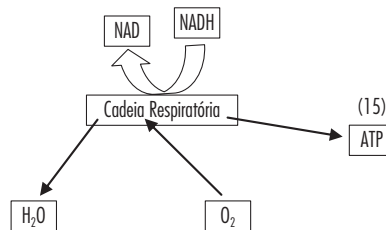


Figura 12.2: A cadeia respiratória.

### Atividade 4

Quantos ATPs são produzidos na célula a partir de cada molécula de glicose?

Como vimos, os organismos aeróbicos são capazes de transferir energia das moléculas de glicose para moléculas de ATP utilizando o oxigênio presente na atmosfera. Esse processo, que ocorre através da glicólise, do Ciclo de Krebs e da Cadeia Respiratória, é denominado de Respiração Aeróbica. Esse processo depende da ação de numerosas enzimas presentes tanto no citoplasma das células quanto nas mitocôndrias.

### Atividade 5

Compare fermentação e respiração aeróbica quanto à produção de energia. Qual delas lhe parece mais eficiente? Por quê?

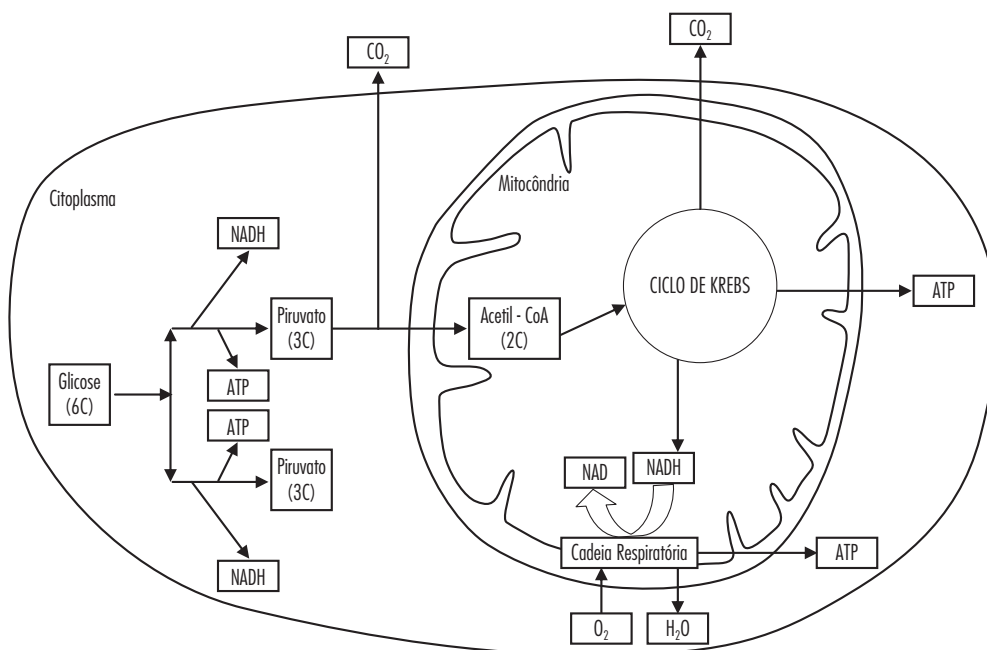


Figura 12.3: Uma visão geral da Respiração Aeróbica a partir da glicose.

## RESUMO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS

- Organismos aeróbicos conseguem extrair mais energia das moléculas de alimento graças à presença de enzimas capazes de utilizar o oxigênio.
- Na respiração celular a molécula de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) é completamente quebrada em gás carbônico ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ).
- Parte da energia extraída da glicose é utilizada para refazer ATP a partir de ADP e  $P_i$ .
- Na fermentação as células produzem ATP sem consumo de oxigênio.
- Na respiração aeróbica as células produzem ATP consumindo oxigênio.
- A respiração aeróbica é realizada apenas pelas células que possuem mitocôndrias.
- A produção de ATP a partir de uma molécula de glicose é maior na respiração aeróbica (38 ATP) do que na fermentação (2ATP).

## EXERCÍCIOS (CAPÍTULOS 11 E 12)

**1)** Em um experimento foram cultivados três diferentes seres vivos microscópicos (L, M e N) para o estudo de seus mecanismos bioquímicos de obtenção de energia. Todos foram colocados em soluções com glicose, e mediu-se posteriormente a liberação de lactato e o consumo da glicose na presença e ausência de ar, obtendo-se os seguintes resultados:

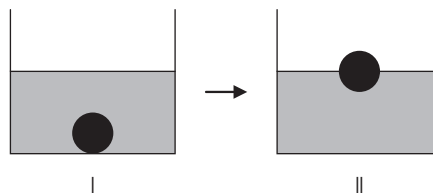
Seres cultivados com glicose	Anaerobiose (sem ar)		Aerobiose (com ar)	
	Produção de Lactato (mg/l)	Consumo de Glicose (mg/l)	Produção de Lactato (mg/l)	Consumo de Glicose (mg/l)
L	24	12	0	3
M	24	12	0	0
N	0	0	0	3

a. Discuta qual (quais) devem ser os mecanismos de obtenção de energia usados por cada organismo.

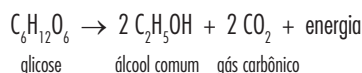
b. Proponha explicações para a diferença na quantidade de glicose consumida pelos organismos nas diferentes situações.

**2)** Uma das maneiras utilizadas no combate à poluição é a utilização de microrganismos capazes de decompor os poluentes. Em um laboratório alguns pesquisadores estavam estudando um mutante de levedura (fungo) capaz de converter poluentes em substâncias inofensivas ao meio ambiente. Entretanto, este organismo, por ser mutante, não é capaz de fazer fermentação. Um estagiário sugeriu usar estas leveduras para despoluir as águas da Baía da Guanabara, que em determinados pontos são extremamente pobres em oxigênio, argumentando que a levedura poderia obter energia através da glicólise. Você concorda com o estagiário? Justifique sua resposta com base nos seus conhecimentos do metabolismo energético.

3) No processo de fabricação de pão, os padeiros, após prepararem a massa utilizando fermento biológico, separam uma porção de massa em forma de “bola” e a mergulham num recipiente com água, aguardando que ela suba, como pode ser observado, respectivamente, em I e II do esquema abaixo. Quando isso acontece, a massa está pronta para ir ao forno.



Um professor de Química explicou esse procedimento da seguinte maneira: “A bola de massa torna-se menos densa que o líquido e sobe. A alteração da densidade deve-se à fermentação, processo que pode ser resumido pela equação:



Considere as afirmações abaixo:

- A fermentação dos carboidratos da massa de pão ocorre de maneira espontânea e não depende da existência de qualquer organismo vivo.
- Durante a fermentação, ocorre produção de gás carbônico, que se vai acumulando em cavidades no interior da massa, o que faz a bola subir.
- A fermentação transforma a glicose em álcool. Como o álcool tem maior densidade do que a água, a bola de massa sobe.

Dentre as afirmativas, apenas:

- I está correta.
- II está correta.
- I e II estão corretas.
- II e III estão corretas.
- III está correta.

**4)** No processo de fabricação do pão, um ingrediente indispensável é o fermento, constituído por organismos anaeróbicos facultativos.

a. Qual a diferença entre o metabolismo energético das células que ficam na superfície da massa e o metabolismo energético das células que ficam em seu interior?

b. Por que o fermento faz o pão crescer?

**5)** Sabe-se que o fermento, um organismo unicelular, utilizado na fabricação de pão, produz álcool como resultado do seu processo de obtenção de ATP. Por que o pão não tem gosto de álcool?



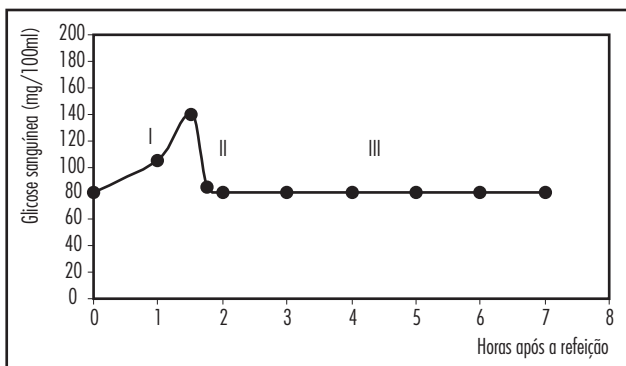
# 13

## OS ALIMENTOS E AS CÉLULAS IV

*:: Objetivo ::*

- *Compreender a utilização de diferentes nutrientes para a produção de ATP pelas células.*
- *Compreender outras vias de produção de ATP pelas células.*

No capítulo anterior vimos um dos usos que as células fazem da glicose proveniente dos alimentos. Neste capítulo vamos retornar ao gráfico da concentração de glicose no sangue, a curva glicêmica, mostrada abaixo novamente. A utilização da glicose na produção de ATP, vista nos capítulos anteriores, pode explicar o comportamento da etapa II da curva, isto é, à medida que a glicose vai sendo consumida pela célula para produzir ATP, sua concentração no sangue diminui.



**Figura 13.1:** Curva glicêmica

Continuando nossa análise, observe a etapa III do gráfico. Como você pode observar, nessa etapa, a concentração de glicose no sangue do indivíduo se mantém constante, embora ele não esteja se alimentando há horas. No entanto, seu coração continua batendo, ele continua se movendo, pensando etc.

### Atividade 1

É possível que as células desse indivíduo tenham parado de produzir ATP (energia)? É possível que tenham parado de consumir energia? Justifique sua resposta.

### Atividade 2

Como explicar, então, a manutenção do nível de glicose, se nenhum alimento está sendo ingerido?

É possível que você e seus colegas tenham proposto diferentes explicações para o fenômeno. Registre-as em seu caderno.

Para compreender o que acontece no organismo quando nenhuma glicose está sendo ingerida, vamos considerar a Dieta do Dr. Atkins. Essa dieta sugere que o paciente se alimente com refeições pobres em carboidratos e ricas em lipídeos e proteínas. Nos trechos abaixo, retirados dos livros “A super dieta do Dr. Atkins” e “A dieta revolucionária do Dr. Atkins”, o próprio autor fornece uma breve descrição da sua proposta.

*“É claro que você não está restrito somente à carne. Você pode comer qualquer tipo de carne, peixe ou ave, inclusive aquelas coisas geralmente proibidas,*

*como presunto, costeletas, bacon, carne de porco assada, carne em conserva, patinho assado, lagosta com molho de manteiga (...). Não coma nenhum tipo de alimento que contenha açúcar. Por exemplo: frutas, suco de frutas, doces, massas, e legumes do tipo: beterraba, batata, abóbora, milho etc...”*

### Atividade 3

Qual é o principal componente dos alimentos proibidos na dieta do Dr. Atkins?

### Atividade 4

Que tipo de nutriente esse componente produz quando quebrado por enzimas no tubo digestivo?

### Atividade 5

Quais são componentes mais abundantes presentes nos alimentos permitidos na dieta do Dr. Atkins?

### Atividade 6

Que tipo de nutrientes esses alimentos fornecem às células? (Consulte a figura 10.3, se necessário).

Será que esta dieta sugerida pelo Dr. Atkins leva realmente à perda de peso? A tabela abaixo mostra os resultados da dieta de um homem de 40 anos que realizou a dieta por vários meses. Durante esta dieta, o nutricionista mediu, a intervalos regulares, o peso total do paciente, bem como o peso de gordura (somente de lipídeos) e o peso magro (que inclui água e proteínas, entre outros).

### Atividade 7

Análise a tabela apresentada abaixo e responda às questões a seguir:

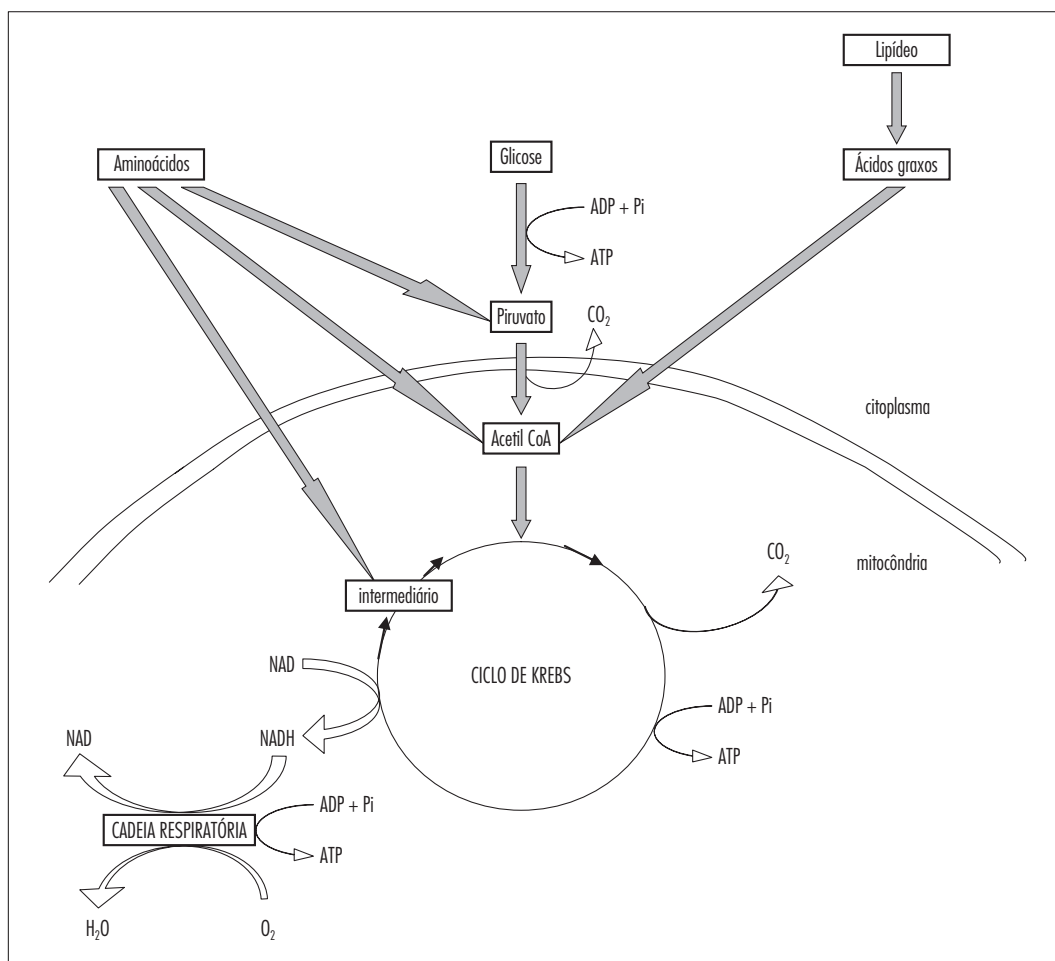
Dias de Dieta	Peso Total (Kg)	Gordura Total (Kg)	Peso Magro (Kg)
0	124	32	92
20	117	27	90
30	111	24	87
47	108	20	88
82	106	19	87
133	107	20	87
153	104	17	87

- Qual foi a perda de peso total do paciente?
- Quanto dessa perda corresponde a gorduras? Quanto corresponde a peso magro?
- Que percentagem da perda de peso corresponde às gorduras? E ao peso magro?
- A que molécula(s) corresponde o peso que o paciente perdeu?
- Qual o uso que o organismo estaria fazendo de cada uma dessas moléculas?
- Esses resultados corroboram alguma das hipóteses propostas para explicar a região III da curva glicêmica da figura 13.1? Qual(is)? Justifique.

Para facilitar seu estudo, elaboramos o esquema a seguir, que mostra como os diferentes alimentos podem entrar nas vias de produção de energia estudadas.

Note que as vias de produção de ATP se encontram todas no Ciclo de Krebs, dentro da matriz mitocondrial. Por isso esse ciclo é considerado central para a compreensão do metabolismo energético. Ao contrário do que muitos livros ensinam, ele não serve apenas para produzir uns poucos ATP a partir de glicose e vários NADH que irão gerar ATPs posteriormente. Na verdade, é neste ciclo que outros nutrientes que não os açúcares podem ser utilizados na produção de energia. Além disso, você deve ter notado também que a mitocôndria permite as células obter muito mais energia a partir de uma molécula de glicose, além de permitir que o ATP seja produzido a partir de lipídeos e aminoácidos. Por isso as mitocôndrias são tratadas como usinas de energia das células.

Procure se concentrar, e rever, as vias de produção de ATP pelas células, as interseções entre elas, os ganhos energéticos que cada uma oferece e, sobretudo, as condições que fazem com que uma determinada via ocorra. Por exemplo, quando uma célula recorre à fermentação? Como você pode observar, isso ocorre quando há falta de oxigênio ou quando ela não tem mitocôndrias. Esse tipo de visão geral do metabolismo é muito importante.



**Figura 13.2:** A utilização dos diferentes nutrientes para a produção de ATP.

## RESUMO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS

- Lipídeos, aminoácidos e monossacarídeos (glicose e outros) podem ser utilizados pelas células para produzir ATP (energia).
- A utilização dos lipídeos para produzir ATP ocorre somente nas mitocôndrias.
- Alimentos que não forem utilizados para a produção de ATP são transformados em lipídeos e armazenados nos tecidos.

Aprenda mais resolvendo as atividades dos capítulos 21, 22, 23 e 24.

## EXERCÍCIOS

**1)** (CEDERJ / 2005-2) Nos seres vivos ocorre a liberação da energia contida nas moléculas de glicose por processos como a respiração celular aeróbia e a fermentação. A respiração celular aeróbia se caracteriza por:

- (A) quebra total da glicose, consumo de  $O_2$ , liberação de muita energia, produção de água, produção de gás carbônico.
- (B) quebra parcial da glicose, consumo de  $O_2$ , liberação de muita energia, produção de água, produção de álcool etílico.
- (C) quebra total da glicose, não há consumo de  $O_2$ , pequena liberação de energia, produção de água, produção de gás carbônico.
- (D) quebra parcial da glicose, consumo de  $O_2$ , liberação de muita energia, produção de água, produção de gás carbônico.
- (E) quebra parcial da glicose, não há consumo de  $O_2$ , pequena liberação de energia, produção de água, produção de álcool etílico.

**2)** (UFRJ / 2002) Em 1949, enquanto estudavam o metabolismo energético, Eugene Kennedy e Albert Lehninger, realizaram uma experiência na qual separaram, por centrifugação, os diferentes componentes celulares. Em seguida, os pesquisadores colocaram cada uma das frações contendo os diferentes componentes em soluções compostas dos nutrientes adequados e mediram o consumo de Oxigênio ( $O_2$ ) em cada uma das frações. Em outro conjunto de frascos, testou-se a produção de trifosfato de adenosina (ATP) pelas diferentes frações. A tabela abaixo mostra alguns dos resultados possíveis em uma experiência deste tipo.

Fração	Produção de ATP (unidades arbitrárias)	Consumo de $O_2$ (unidades arbitrárias)
A	38	7
B	4	0
C	0	1

Com base nos resultados da tabela, identifique qual das frações deve corresponder às mitocôndrias. Justifique sua resposta.

**3)** (UFRJ / 2004) Os lipídeos são os nutrientes de maior teor calórico, seguidos por carboidratos e proteínas. A elevação dos níveis sanguíneos de insulina é um dos principais sinais responsáveis pela mobilização dos excedentes nutricionais sob a forma de lipídeos pelo tecido adiposo. Com o intuito de evitar esse efeito da insulina, muitas pessoas recorrem a uma dieta baseada na ingestão exclusiva de lipídeos e proteínas. Apesar de seus efeitos sobre a saúde serem discutíveis, esse tipo de dieta pode conduzir efetivamente a uma perda de massa corporal (peso). Explique por que uma dieta baseada na exclusão total dos carboidratos, apesar do seu alto valor calórico, não leva ao acúmulo de lipídeos no tecido adiposo.



# 14

## FOTOSSÍNTESE

*:: Objetivo ::*

- *Compreender o processo de síntese de compostos orgânicos por seres clorofilados, utilizando a luz solar como fonte de energia.*

## INTRODUÇÃO

Desde as séries iniciais você aprendeu sobre a fotossíntese. Em resumo, sabe-se que é o processo pelo qual as plantas (além de algumas bactérias e protistas) produzem seu próprio alimento. Neste processo, a luz é utilizada como fonte de energia. As plantas usam a água e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) para produzir glicose. Este alimento, na verdade, é um carboidrato simples e pequeno, a partir do qual as plantas podem produzir outros mais complexos.

Neste capítulo iremos além dos conhecimentos básicos da fotossíntese, procurando tratar de alguns detalhes desse processo. Discutiremos como a energia luminosa é transformada em energia química e como esta energia química é utilizada na produção de moléculas mais complexas.

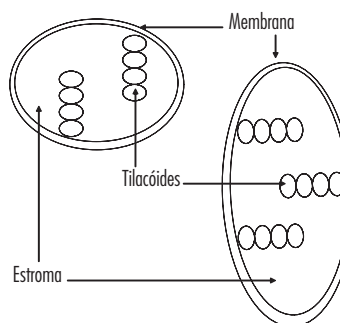
O processo geral da fotossíntese está resumido na figura 14.7 deste capítulo. Examine a figura com atenção. Você irá notar que conhece algumas das informações mostradas (como a produção de gás oxigênio, por exemplo). Provavelmente outras serão novas para você. Isto porque a fotossíntese, como processo bioquímico, é bastante complexa. Por isso mesmo, iremos tratar dela por partes, procurando mostrar também como algumas de suas etapas foram descobertas. Temos certeza de que, ao final, ao rever esta figura, as informações estarão claras para você. A elucidação do processo de fotossíntese no nível em que o entendemos hoje demorou mais de duzentos anos. Muitas experiências e observações foram necessárias ao longo de todo este tempo. Algumas das conclusões dessas experiências permanecem válidas até hoje. Outras se mostraram imprecisas ou incorretas, mas serviram de base para outras experiências que vieram depois. Apesar destes trabalhos de tantas pessoas e de tanto tempo decorrido, algumas características da fotossíntese ainda não são conhecidas. Outras precisam ter seus detalhes determinados com mais precisão.

Naturalmente não é possível rever, em uma única aula, ou mesmo em algumas aulas, todo o processo de elaboração de um conhecimento tão complexo.

A ideia geral é que, entendendo como algumas etapas foram deduzidas, você poderá compreender melhor o conjunto do processo. Isso exigirá tanto raciocínio quanto memorização. Por isso, procure acompanhar cada explicação e refletir sobre as conclusões apresentadas.

## A IMPORTÂNCIA DA LUZ

Antes de tudo, é preciso que você se recorde de que a fotossíntese só ocorre nos seres clorofilados, ou seja, naqueles organismos que possuem em suas células uma substância denominada de clorofila. Em geral quando tratamos de fotossíntese nos referimos às plantas, mas, como já dissemos, além delas há outros organismos unicelulares capazes de realizar fotossíntese. Todas as plantas e organismos eucariontes que fazem fotossíntese possuem estruturas intracelulares denominadas cloroplasto, no interior das quais está localizada a clorofila (veja a figura 14.1). No caso das bactérias fotossintetizantes, a clorofila está localizada na membrana plasmática.

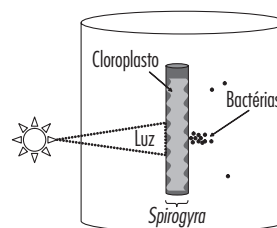


**Figura 14.1:** Os cloroplastos podem ter diferentes formas, mas suas estruturas básicas são as mesmas: uma membrana composta de bicamada de lipídeos com proteínas inseridas, pequenas bolsas envolvidas em membranas (tilacóides) e matriz que preenche o cloroplasto (estroma) rica em enzimas e outras substâncias importantes para a fotossíntese.

Experiências feitas com a alga *Spirogyra*, contribuíram de modo marcante para a elucidação do processo de fotossíntese pelos pesquisadores. Esta alga unicelular é formada por uma célula relativamente grande e que possui cloroplastos compridos, em forma de espiral. Observou-se que estas algas só liberavam gás oxigênio em presença de luz. Isso foi feito utilizando bactérias (que não faziam fotossíntese) no mesmo meio de cultura das algas. Como estas bactérias dependiam de oxigênio para viver e eram capazes de perceber sua presença no meio. Elas se deslocavam para os locais onde havia maiores quantidades desse gás. Os pesquisadores verificaram que:

1. As bactérias só se reuniam em torno das algas quando estas eram iluminadas.
2. Se apenas uma parte da alga era iluminada, as bactérias se reuniam perto daquela parte, mas não das partes que ficavam no escuro.
3. As bactérias se concentravam especialmente próximas de estruturas intracelulares verdes, chamadas de cloroplastos.

Esse conjunto de experiências está resumido na figura 14.2.



**Figura 14.2:** Resumo das experiências com a alga *Spirogyra*.

A utilização de isótopos radioativos também foi muito útil. Isso porque embora se soubesse que a fotossíntese liberava oxigênio ( $\text{O}_2$ ), não se sabia se ele era derivado da quebra do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) ou da água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), uma vez que ambos eram consumidos na fotossíntese e continham oxigênio.

Pesquisadores utilizaram diversos isótopos do Oxigênio para resolver esta questão. Aqui trataremos de experiências nas quais foram utilizados átomos de Oxigênio mais pesados do que os normais para estudar a fotossíntese. Existem equipamentos capazes de identificar se as moléculas contêm isótopos pesados ou leves. A técnica funciona de modo parecido com a detecção de moléculas radioativas.

Cultivando algas em presença de água ou de gás carbônico “pesado”, era possível determinar em que substâncias este oxigênio “pesado” iria parar depois do processo de fotossíntese. Se representarmos o Oxigênio “pesado” em negrito, veremos que as experiências tinham dois resultados possíveis:

I. Se o gás carbônico fosse quebrado dando origem ao gás oxigênio, então, ao usar gás carbônico “pesado” teríamos:  $\text{C}\mathbf{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ALGAS} \rightarrow \mathbf{O}_2 + \text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$

II. Se a água fosse quebrada, dando origem ao gás oxigênio, então ao utilizar água “pesada”, teríamos:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\mathbf{O} \rightarrow \text{ALGAS} \rightarrow \mathbf{O}_2 + \text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$

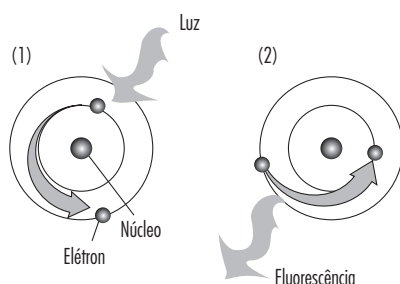
Os pesquisadores observaram que o gás oxigênio formado só era do tipo “pesado” quando se usava água “pesada”.

III. Com estes resultados podemos construir um dos mais importantes conceitos da fotossíntese: as moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  são quebradas com utilização da luz, na presença de clorofila, gerando gás oxigênio. Essa quebra da água com ajuda de luz foi denominada de fotólise da água (foto = luz e lise = quebra).

## A TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA LUMINOSA EM ENERGIA QUÍMICA

Para entender esse processo de fotólise com um pouco mais de detalhes, iremos analisar uma questão do vestibular da UFRJ em 2003. Assim mostraremos que é possível aprender coisas mesmo com uma questão que não sabemos resolver. Isso depende de raciocinar e não apenas tentar lembrar informações que acreditamos que nos foram ensinadas. E veremos também que é possível responder a uma pequena parte dessa questão usando apenas o raciocínio.

*Moléculas de clorofila isoladas são capazes de absorver luz, resultando na passagem de elétrons para níveis com maior energia potencial (figura 14.3 (1) abaixo). Com o retorno dos elétrons excitados para seus níveis energéticos de origem, a clorofila emite fluorescência vermelha (figura 14.3 (2) abaixo). No entanto, quando a clorofila está em cloroplastos íntegros, ela absorve luz, mas praticamente não emite fluorescência. Explique por que a clorofila em cloroplastos íntegros praticamente não emite fluorescência quando é iluminada.*



**Figura 14.3**

Se você não conhecia o processo de fluorescência, agora compreende minimamente como ele ocorre. Mas e sobre a fotossíntese, podemos aprender algo com este enunciado?

Como você deve ter notado, para que ocorra a fluorescência, é preciso que os elétrons excitados pela luz retornem à molécula de clorofila. É somente ao fazerem isso que eles liberam (mais uma vez sob a forma de luz) a energia luminosa que absorveram antes. A luz liberada é diferente da luz absorvida, mas isso não é importante agora.

O que o enunciado da questão nos informa, portanto é que, nos cloroplastos, os elétrons não retornam à clorofila. Por quê? Porque ela não emite fluorescência! Esses elétrons devem ir para alguma outra molécula. E ao fazerem isso, levam consigo a energia absorvida (que seria liberada sob a forma de luz se eles retornassem à clorofila). Essa ideia de que os elétrons da clorofila absorvem energia luminosa e seguem com ela para alguma outra molécula, gera duas questões fundamentais.

1. Para onde vão os elétrons excitados?
2. O que ocorre com a energia que eles absorveram da luz?

As experiências por meio das quais foram encontradas as respostas para essas perguntas não são simples e demandam conhecimentos de Física e Química relativamente avançados. Por isso daremos agora algumas informações básicas sobre o que se sabe hoje, resumindo o processo de transformação de energia luminosa em química.

É importante que você se recorde de que existem prótons ( $\text{H}^+$ ) no meio intracelular e também dentro dos cloroplastos. Afinal, mesmo em água pura existem  $\text{H}^+$  livres. Caso tenha dúvida neste ponto, reveja o capítulo sobre pH no módulo 1.

Tendo isso em mente, o que acontece, em resumo, é:

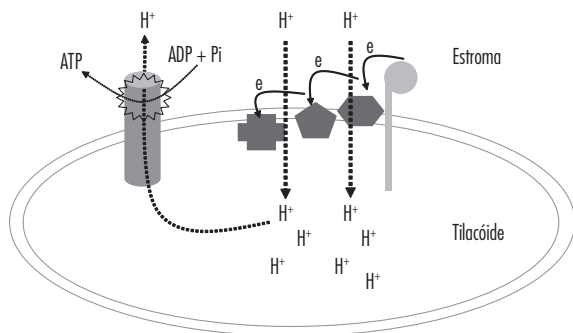
1. Os elétrons excitados pela luz são transferidos da clorofila para moléculas que ficam nas membranas de pequenas bolsas existentes no interior dos cloroplastos e denominadas tilacoides (você não precisa se preocupar com esse nome agora). Na verdade, a clorofila também fica nas membranas dos tilacóides.
2. As moléculas que recebem os elétrons excitados da clorofila são chamadas de aceptores. Existem muitos tipos delas nos cloroplastos, mas seus nomes tampouco são importantes.
3. À medida que os elétrons vão sendo passados de um aceptor para outro, a energia que absorveram vai sendo usada para transportar prótons (íons  $\text{H}^+$ ) para dentro dos tilacoides.

4. Esses  $\text{H}^+$  acumulados dentro dos tilacoides funcionam como a água de uma represa. Ou seja, retornam (“escorrem”) por dentro de um canal (proteína) existente nas membranas que, por sua vez, literalmente gira, permitindo que a energia seja utilizada para produzir moléculas de ATP a partir de ADP e  $\text{P}_i$ , como vimos no caso da respiração. Na verdade, a produção final de ATP nos dois processos se dá de modos muito semelhantes.

5. Os elétrons são finalmente entregues a uma molécula complexa cuja abreviação é NADP. Esse NADP “agarra” os elétrons e junto com eles vêm os prótons.

VI. Como um átomo de Hidrogênio é composto de um próton e um elétron, podemos dizer que o NADP passa a ser chamado de  $\text{NADPH}_2$ .

Como você deve ter notado, este processo envolve muitos transportes (de elétrons e prótons) e muitas moléculas diferentes. Mas você não precisa saber o nome dos diferentes transportadores, apenas ter uma visão geral do papel de cada uma das diferentes moléculas ou íons que participa do processo (para isto veja a figura 14.4).



**Figura 14.4:** Resumo da produção de ATP no interior dos tilacóides (o NADPH<sub>2</sub> foi omitido para facilitar a visualização de outros detalhes).

O NADP é uma molécula especialmente importante. Por isso é preciso compreender bem seu papel, mesmo sem conhecer detalhes sobre sua estrutura ou composição química. Dito de maneira simplificada, o NADP atua como um transportador de átomos de hidrogênio. No final de todo o transporte de elétrons é ele que recebe esses elétrons (e também prótons). Ou, mais simplesmente, o NADP recebe átomos de Hidrogênio, como é mostrado na figura 14.5, se transformando em NADPH<sub>2</sub>.

Uma segunda questão, menos óbvia, mas igualmente importante é: se os elétrons da clorofila foram parar no NADPH<sub>2</sub>, como essa clorofila poderá ser usada de novo para captar luz, se não tem mais elétrons capazes de absorvê-los?

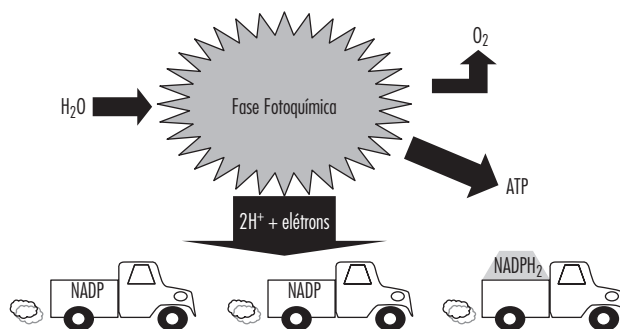
Sem eles, ela não poderá dar início ao processo de síntese de ATP na “represa” dos tilacóides. Todo processo só será possível se os elétrons da clorofila forem repostos. Se a planta depende da clorofila para fazer fotossíntese, e a clorofila depende de elétrons para poder absorver energia luminosa, ela não poderá perdê-los definitivamente, ou deixará de funcionar. Para entender como os elétrons da clorofila são repostos, devemos retomar o assunto da fotólise da água.

De um modo bem simples, podemos pensar o seguinte:

- A molécula de água é quebrada na fotólise, com ajuda da clorofila.
- O átomo de Oxigênio da água é liberado sob forma de gás (para cada duas moléculas de H<sub>2</sub>O quebradas, uma molécula de O<sub>2</sub> é formada).
- Restam ainda os átomos de Hidrogênio (ou simplesmente, 2 elétrons e 2 prótons).
- Os 2 elétrons que eram dos átomos de Hidrogênio da água são passados para a clorofila.
- Se a clorofila for iluminada novamente, os elétrons serão passados para os aceptores e acabarão também no NADPH<sub>2</sub>.
- Somente se outra molécula de água for quebrada, a clorofila receberá novos elétrons e poderá captar energia luminosa.

Mais uma vez, de um modo simplificado, a molécula de água é quebrada e seus elétrons são passados para a clorofila. Desta forma, a molécula de clorofila fica de novo pronta para absorver luz e dar início ao processo de produção de energia.

O conjunto de reações que vimos até o momento é denominado de fase fotoquímica ou fase clara (porque transforma energia luminosa em química). Esta fase está resumida na figura 14.5.



**Figura 14.5:** A fase fotoquímica e as moléculas de NADP como transportadores de átomos de Hidrogênio.

## OS CARBOIDRATOS E FASE QUÍMICA

Vimos até agora que a fotólise da água e o transporte de elétrons e prótons contribuem, graças à clorofila, para que a energia luminosa seja transformada em ATP. Ao final do processo, forma-se também NADPH<sub>2</sub>.

Se retomarmos nossas primeiras aulas, nos lembraremos de que os carboidratos contêm cerca de 4 Kcal por grama. Ou seja, são relativamente ricos em energia. E são compostos essencialmente de Carbono, Hidrogênio e Oxigênio. As etapas da fotossíntese que vimos até agora geraram dois desses componentes dos carboidratos — energia (ATP) e Hidrogênio (no NADPH<sub>2</sub>).

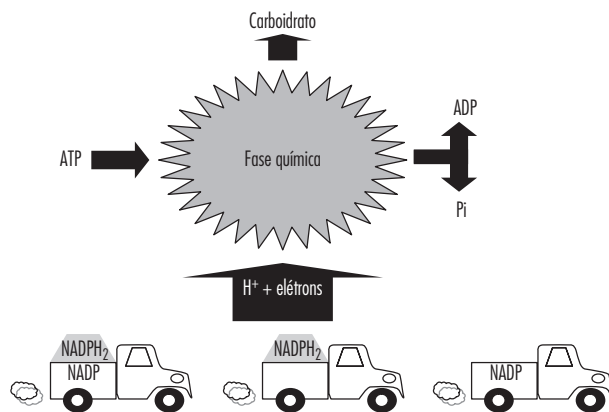
O Gás Carbônico contribui com o que falta: Carbono e Oxigênio. A fase seguinte da fotossíntese nada mais é do que um conjunto de muitas reações químicas catalisadas por enzimas, nas quais o CO<sub>2</sub> é capturado e combinado com átomos de Hidrogênio, que estão nos caminhões (NADPH<sub>2</sub>) e usando para isto a energia de moléculas de ATP. Esta segunda é denominada de Fase Química.

As reações que compõem a Fase Química são muitas. Não é necessário conhecê-las, nem as enzimas que catalisam cada uma delas. Basta que você saiba que, ao final de um longo ciclo de combinações, quebras e sínteses, é produzida uma molécula de carboidrato. Costuma-se dizer, para simplificar, que a fotossíntese produz glicose.

É essencial ter em mente, no entanto, que os seres clorofilados, ao contrário dos outros, geralmente não consomem outros alimentos (exceto sais minerais). No entanto, eles também são compostos de proteínas, lipídeos, vitaminas e muitas outras moléculas orgânicas, como todas as células. O fantástico é que esses seres vivos sintetizam todas as outras moléculas que os compõem (inclusive outros carboidratos como o amido e a celulose) a partir daquele conjunto de reações da Fase Química. Isso ocorre tanto utilizando a própria glicose, como “desviando” algumas moléculas formadas ao longo da Fase Química e usando-as como base para construção de outras. As plantas, portanto, são capazes de sintetizar todos os lipídeos, aminoácidos e vitaminas existentes em suas células. Depois de produzirem aminoácidos, estes são utilizados na síntese de proteínas. Na verdade, as plantas sintetizam quase todas, ou pelo menos muitas, das moléculas orgânicas conhecidas. Por isso tudo, e não apenas porque produzem glicose por meio da fotossíntese, faz sentido chamá-las de seres autotróficos (que produzem o próprio alimento).



Em resumo, tudo que é produzido na Fase Fotoquímica é consumido na fase seguinte. O ATP consumido na Fase Química gera ADP e  $P_i$  novamente, e a energia química que ele continha fica nos carboidratos. De modo análogo, os átomos de Hidrogênio do  $NADPH_2$  também ficam nos carboidratos, liberando caminhões vazios, que podem recolher mais átomos de Hidrogênio da Fase Fotoquímica (veja a figura 14.6).



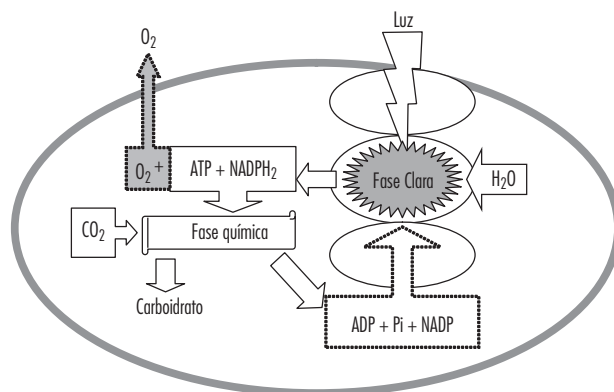
**Figura 14.6:** Os produtos da fase fotoquímica são consumidos na fase química.

## ALGUNS PROBLEMAS COMUNS NO ESTUDO DA FOTOSSÍNTESE PARA O VESTIBULAR

Agora que vimos a fotossíntese com mais detalhes, é importante destacar alguns erros cometidos comumente pelos alunos depois de estudarem esse assunto. Faremos isso para evitar que você os cometa ao resolver as questões que apresentaremos no final do capítulo ou quando for realizar exames de vestibular. Inicialmente, reveja o resumo geral do processo nas figuras 14.7 e 14.8.

A fotossíntese não é o inverso da respiração. Embora os produtos finais da fotossíntese ( $O_2$  e Glicose) sejam as moléculas consumidas na respiração aeróbica, e aquelas consumidas na fotossíntese ( $CO_2$  e  $H_2O$ ) sejam os produtos finais da respiração aeróbica, os dois processos têm poucas semelhanças. Nem as reações químicas, nem as enzimas, nem as organelas envolvidas em cada uma delas são as mesmas. Tanto em plantas quanto em animais a respiração aeróbica ocorre nas mitocôndrias. Nas plantas e demais autotróficos clorofilados eucariontes a fotossíntese é realizada nos cloroplastos. Nas bactérias, tanto a respiração quanto a fotossíntese podem ocorrer em uma única célula, mas as demais diferenças permanecem.

Não é verdade que animais só respiram e as plantas só fazem fotossíntese. As plantas efetivamente fazem fotossíntese, mas, na maioria dos casos, suas células também realizam respiração celular. Assim como há células de tecidos animais que não possuem mitocôndrias, o mesmo ocorre com certos tipos de células de plantas. Mas a regra geral é que as plantas produzem glicose nos cloroplastos e esta glicose é utilizada na produção de ATP nas mitocôndrias da própria célula ou de outras células da própria planta (veja a figura 14.7). O oxigênio produzido na fotossíntese pode ser consumido pela própria planta ou liberado para o meio ambiente.



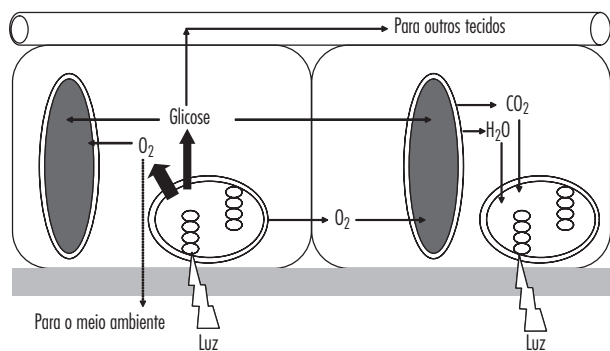
**Figura 14.7:** Resumo da fotossíntese no interior dos cloroplastos.

Não é verdade que as plantas produzem todo o ATP de que necessitam por meio da fotossíntese. Como dissemos acima, o ATP produzido na Fase Fotoquímica é consumido na Fase Química. A energia luminosa transformada em energia química é retida nos carboidratos. Para utilizar essa energia em seu metabolismo, a planta consome carboidratos ou moléculas produzidas a partir deles (como lipídeos, por exemplo) e produz ATP.

Não é verdade que as plantas respiram somente durante a noite. Nos parágrafos anteriores mostramos que isso não é verdade. Afinal, a planta necessita de ATP a todo o momento. Esse ATP é produzido graças à quebra de moléculas orgânicas, na maior parte das vezes por meio da respiração aeróbica, ao longo do dia e da noite. Durante a noite as plantas somente respiram. Neste sentido, os seres autotróficos consomem boa parte do oxigênio que liberam para o meio ambiente. Ainda assim, o oxigênio existente na atmosfera e nos meios aquáticos é realmente proveniente da fotossíntese. Os seres unicelulares aquáticos (em especial os marinhos) contribuem para produzir esse excesso de oxigênio disponível para os outros seres auto e heterotróficos.

Não é verdade que a Fase Clara ocorre durante o dia e a Fase Escura durante a noite. Evitamos usar os nomes de fase clara e escura para combater este erro. Ambas as fases ocorrem somente enquanto há luz. Isso porque o ATP e o  $NADPH_2$  necessários à produção de carboidratos na Fase Química são produzidos na Fase Fotoquímica. Quando a produção daquelas moléculas cessa, a interrupção da Fase Química ocorre em seguida. Claro que ela ainda ocorre por um pouco mais de tempo, até que o ATP e o  $NADPH_2$  disponíveis sejam consumidos.

Não é verdade que quando acaba a iluminação, a Fase Clara é interrompida, mas a Fase Escura pode continuar ocorrendo. Como vimos acima, isso não é possível. Você tem de conhecer os termos Fase Clara e Fase Escura, porque eles ainda são usados. Mas tome cuidado com as confusões que eles podem gerar. Entender as relações entre as duas fases ajudará você a não cometer tais erros.



**Figura 14.8:** Algumas possibilidades de utilização de produtos da fotossíntese: os produtos da fotossíntese de uma célula podem ser consumidos por ela própria, transportados para outras células ou liberados para o meio ambiente. As moléculas de glicose e oxigênio produzidas podem ser consumidas nas mitocôndrias da própria célula.

## EXERCÍCIOS

**1)** Moléculas de clorofila isoladas são capazes de absorver luz, resultando na passagem de elétrons para níveis com maior energia potencial. Com o retorno dos elétrons excitados para seus níveis energéticos de origem, a clorofila emite fluorescência vermelha. No entanto, quando a clorofila está em cloroplastos íntegros, ela absorve luz, mas praticamente não emite fluorescência.

A menor fluorescência da clorofila nos cloroplastos íntegros, se deve a:

- (A) Transferência de outros elétrons excitados do  $NADPH_2$  para a clorofila
- (B) Transferência dos elétrons excitados da clorofila para o gás carbônico.
- (C) Transferência dos elétrons excitados para aceptores existentes nos cloroplastos.
- (D) Transferência dos elétrons excitados dos aceptores para a clorofila.
- (E) Presença de pigmentos acessórios, como o caroteno.

**2)** (ENEM / 2006) As florestas tropicais úmidas contribuem muito para a manutenção da vida no planeta, por meio do chamado sequestro de carbono atmosférico. Resultados de observações sucessivas, nas últimas décadas, indicam que a floresta amazônica é capaz de absorver até 300 milhões de toneladas de carbono por ano. Conclui-se, portanto, que as florestas exercem importante papel no controle:

- (A) das chuvas ácidas, que decorrem da liberação, na atmosfera, do dióxido de carbono resultante dos desmatamentos por queimadas.
- (B) das inversões térmicas, causadas pelo acúmulo de dióxido de carbono resultante da não dispersão dos poluentes para as regiões mais altas da atmosfera.
- (C) da destruição da camada de ozônio, causada pela liberação, na atmosfera, do dióxido de carbono contido nos gases do grupo dos clorofluorcarbonos.
- (D) do efeito estufa provocado pelo acúmulo de carbono na atmosfera, resultante da queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral e petróleo.
- (E) da eutrofização das águas, decorrente da dissolução, nos rios, do excesso de dióxido de carbono presente.

## Agora dedicaremos especial atenção a algumas questões discursivas do vestibular da UFRJ.

**1)** (UFRJ / 2002) Estudos recentes sugerem que o reflorestamento e o plantio de árvores em áreas sem vegetação podem contribuir para minimizar o aquecimento global. A redução do aquecimento global ocorreria em função da diminuição do efeito estufa.

Explique por que o aumento das áreas florestadas pode contribuir para reduzir efetivamente o efeito estufa.

**2)** (UFRJ / 2005) A figura A a seguir mostra uma balança de dois pratos: o prato 1 contém pesos padronizados e o prato 2 sustenta um vaso com terra que contém um broto de uma planta. No decorrer de algumas semanas, a planta cresceu e passou a apresentar um peso maior que o inicial, como indicado na figura B.

Nesse período, a planta foi regada, mas a quantidade de terra permaneceu a mesma e não foram acrescentados fertilizantes. No momento indicado na figura B, as condições de umidade da terra eram as mesmas que as da figura A. Identifique as substâncias que foram utilizadas pela planta na produção da massa adicional por ela adquirida. Justifique sua resposta.

figura A

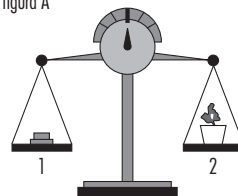
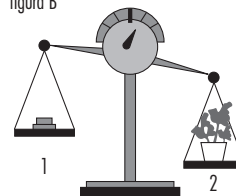


figura B



O capítulo 24 traz interessantes informações a respeito da síntese de energia por mitocôndrias e cloroplastos. Não deixe de consultá-lo para aprofundar seus conhecimentos.



# 15

## MEMBRANA PLASMÁTICA I

*:: Objetivo ::*

- *Compreender as propriedades de permeabilidade da membrana plasmática.*

## INTRODUÇÃO

A ideia de que as células são envoltas por algum tipo de barreira existe praticamente desde a sua descoberta. É intuitivo que se imagine que existe um limite entre o interior e o exterior de qualquer coisa. E que esse limite seja demarcado por algum tipo de barreira. Até porque, no fim das contas, se não existir uma barreira, até mesmo os termos interior e exterior perdem o sentido. Mas, por mais lógica e sensata que seja uma ideia, em Biologia é preciso testar se ela reflete algo que realmente existe ou é apenas uma boa ideia.

## CONSTRUINDO MODELOS SOBRE COISAS INVISÍVEIS

Mesmo sabendo que uma barreira deveria existir, e apesar da evolução constante do microscópio óptico, não era possível, até o surgimento do microscópio eletrônico, ver qualquer limite preciso ao redor das células. O estudo da barreira, portanto, fez-se sobre um conjunto variado de observações, todas elas baseadas na ideia de que, ainda que imperceptível, tal barreira deveria existir.

### Atividade 1

Refleta sobre a seguinte questão: a barreira que separava o interior da célula do exterior poderia ser intransponível (ou seja, impedir a passagem de moléculas de qualquer tipo)? Por quê?

### Atividade 2

Vamos agora recolocar a questão anterior, para que você reflita: a barreira poderia ser igualmente permeável a todos tipos de moléculas? Por quê?

### Atividade 3

Caso você tenha respondido não à pergunta anterior, quais deveriam ser os “critérios de seleção” para as moléculas que poderiam atravessar a barreira? Justifique sua resposta.

Foi ao longo do século XIX e do início do XX que surgiram inúmeras evidências que davam maior suporte a ideia intuitiva de que as células são separadas do exterior por algum tipo de barreira.

Entre os dados importantes que se acumulavam na época (e que ainda são válidos) destacaremos alguns a seguir.

Em cortes de tecidos corados, os corantes coloriam o interior das células de maneira diferente do modo que coravam o exterior, indicando que a composição dos dois ambientes era diferente. Assim, era coerente imaginar que alguma barreira separava e selecionava o que entrava e saía da célula, permitindo que os dois meios se mantivessem diferentes.

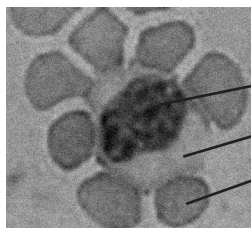


Figura 15.1: Leucócito - Macrófago

Núcleo fortemente corado  
Citoplasma fracamente corado  
Hemácia (cor escura devido à hemoglobina)

Portanto, a barreira deveria ser não apenas permeável, mas seletivamente permeável (já que o que entrava e saía deveria ser diferente, pois os meios eram diferentes). Não era difícil demonstrar que a barreira era permeável, pois quando colocadas em água pura, as células inchavam e se rompiam rapidamente, indicando que a água entrava. Além disto, microrganismos unicelulares vivos consumiam substâncias do meio, como os nutrientes, que, portanto, tinham de entrar nas células; bem como produziam outras, como  $\text{CO}_2$  e álcool, de algum modo deveriam ter saído da célula. Estes mesmos microrganismos possuíam maneiras de controlar seu volume em soluções (inchando ou murchando), sugerindo que algo envolvia a célula e que seus limites eram controláveis.

## MEDINDO O QUE ENTRA E O QUE SAI DAS CÉLULAS

Para tentar estudar o funcionamento da barreira, e assim poder propor hipóteses a respeito de sua composição química e de sua estrutura, muitos pesquisadores compararam a composição química do meio intracelular com o extracelular e mostraram que elas eram diferentes. Para isso era preciso, no caso do sangue, por exemplo, separar as células de todos os líquidos e depois rompê-las. Naturalmente, tudo o que surgisse em solução, depois de rompida a célula, deveria estar em seu interior. Além disto, era possível testar se uma molécula atravessava ou não a barreira, fazendo experiências relativamente simples. Nessas experiências, um número conhecido de células vivas (digamos um milhão) era deixado por algum tempo em uma solução de composição química conhecida. Suponha por exemplo que esta solução tivesse 1g/l de glicose. Algum tempo depois, a solução era separada das células por centrifugação. A concentração de glicose era determinada novamente. Digamos que então ela fosse de 0,5 g/l. Tendo-se a diferença entre a concentração inicial e a final (0,5g/l), o tempo decorrido e a quantidade de células, era possível determinar se a molécula tinha desaparecido e com que velocidade. As hemácias eram muito usadas nestas experiências porque eram (e ainda são) células muito simples e fáceis de obter em grande número.

### Atividade 4

Qual deverá ser o tipo de unidade utilizado para expressar a velocidade medida na experiência que acabamos de descrever? (dica: a velocidade de um carro é expressa em quilômetros/hora)

### Atividade 5

Sugira uma maneira através da qual se pode determinar a velocidade com que uma molécula saí de uma célula.

### Atividade 6

Em todas as experiências que discutimos acima, seria necessário o uso de um controle experimental. Esse controle foi omitido. Qual seria ele?

Tendo em mãos os recursos necessários para determinar a velocidade com que as moléculas entram e saíam da célula, era possível comparar moléculas com diferentes características químicas e avaliar se alguma destas características influenciava a capacidade destas moléculas de atravessar a barreira. Inúmeros trabalhos foram feitos com este objetivo, usando as mais variadas moléculas e diversos tipos de células.

### Atividade 7

Discuta a importância do mesmo tipo de molécula ser testado com vários tipos de células.

O conjunto dos trabalhos que mencionamos acima permitiu que os pesquisadores da época chegassem a algumas conclusões importantes. A proposta agora é que vocês analisem os dados disponíveis na época e procurem tirar suas próprias conclusões.

### Atividade 8

Na tabela 15.1 estão resumidos alguns dados a respeito das velocidades com que diversas moléculas atravessavam a “barreira” envolvendo as hemácias (a unidade de velocidade foi omitida para não responder à questão 1). Ela descreve também algumas características de cada molécula. Com base nos resultados discuta: existe relação entre alguma das características listadas na tabela e a velocidade com que elas atravessam a “barreira”? Identifique essas relações, justificando sua resposta.

Molécula	Polaridade	Peso/tamanho	Velocidade
A	apolar	10	4.5
B	apolar	7	7.9
C	apolar	3	9.8
D	polar	10	2.5
E	polar	6	5.2
F	polar	2	7.6

Tabela 15.1

Vamos agora propor um exercício de reflexão relacionado ao que acabamos de discutir sobre as propriedades da barreira que separa a célula de seu exterior. Leia com atenção as informações a seguir.

A figura 15.2 representa um recipiente cheio de líquido e dividido em dois por uma barreira composta de moléculas apolares (representadas pelos pontinhos que a compõem). Os círculos cinza representam moléculas polares e os pretos, moléculas apolares. Ambos os tipos de moléculas têm o mesmo peso (tamanho) e estão se movendo em direção à barreira, que é polar. Para atravessá-la, naturalmente precisarão passar entre (se misturar com) seus componentes.

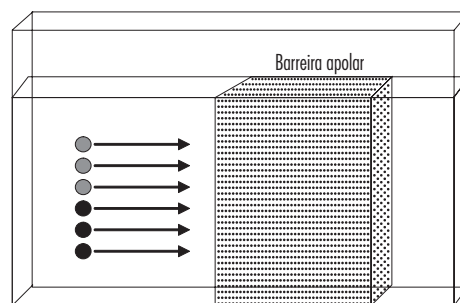


Figura 15.2

### Atividade 9

Após um breve período de tempo, você esperaria encontrar mais moléculas polares ou apolares do outro lado da barreira? Por quê?

### Atividade 10

Refleta agora sobre suas respostas às questões 8 e 9 e responda: a barreira que separa o interior da célula do exterior deve ser composta de moléculas polares ou apolares? Justifique sua resposta.

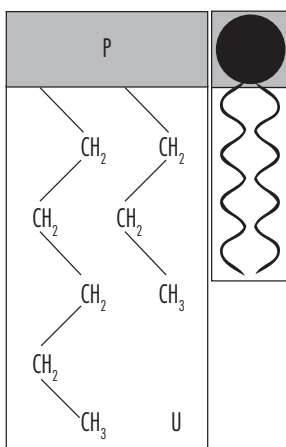
Os resultados obtidos com experiências semelhantes às que acabamos de discutir serviram de base para que, na década de 1930, dois pesquisadores, cujos sobrenomes eram Gorter e Grendel propusessem que a suposta barreira deveria ser composta, ao menos em parte, de lipídeos.

### Atividade 11

Procure identificar nas atividades 8, 9 e 10, as evidências que apoiavam a ideia de que os lipídeos faziam parte da barreira.

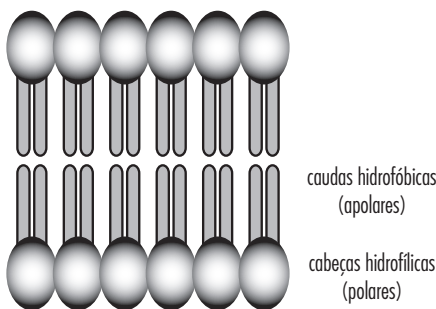
## A ORGANIZAÇÃO DOS LIPÍDEOS NA MEMBRANA

Embora as evidências sugerissem que a barreira continha lipídeos, pouco se sabia a respeito de como essas moléculas poderiam ser organizadas na barreira, ou seja, sobre como seria a organização destas moléculas ao redor da célula. Sabia-se, no entanto, que os lipídeos mais abundantes nas células eram os fosfolipídeos. A estrutura e a composição química desses lipídeos é bastante complexa, por isso vamos apresentá-la de forma esquemática, identificando suas principais características na figura 15.3. Os ácidos graxos são cadeias longas (grades) e rígidas (não se dobram), de carbonos ligados entre si e a átomos de hidrogênio e oxigênio. Essas duas moléculas de ácido graxo estão ligadas a uma outra bem menor, polar. Diz-se que os fosfolipídeos são compostos por uma pequena cabeça polar e duas longas caudas apolares (ácidos graxos).



**Figura 15.3:** Esquema de molécula de fosfolipídeo, um dos lipídeos mais abundantes nas células.

Considerando as características dos fosfolipídeos, não é de surpreender que muitos pesquisadores tenham proposto uma arrumação como a da figura 15.5.



**Figura 15.4:** Modelo de bicamada lipídica proposto por Gorter e Grendel.

### Atividade 12

Procure agora relacionar esse modelo com os resultados apresentados, verificando se todos os resultados são compatíveis, ou seja, se o modelo proposto permite que as velocidades com que as diferentes moléculas atravessam a barreira sejam aquelas apresentadas na tabela 15.1.

## CONSTRUINDO MODELOS SOBRE COISAS INVISÍVEIS II

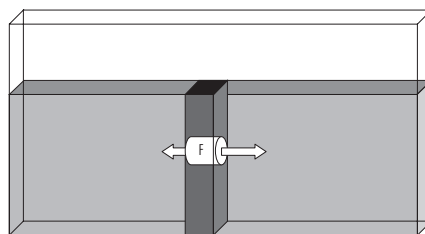
Embora muitas experiências tenham sugerido que a membrana plasmática era composta por uma bicamada lipídica, nenhum pesquisador da época acreditava que aquele modelo fosse definitivo. As funções das células eram complexas demais para que uma estrutura com tão poucas restrições ao transporte pudesse dar conta de todas elas. É importante destacar, portanto, que, embora a bicamada de lipídeos fosse um modelo eficiente para começar a explicar a estrutura da membrana, estava claro que ela era apenas um começo: um modelo simples, que precisaria ser reformulado.

Algumas evidências que se opunham ao modelo da bicamada eram conhecidos desde antes de sua proposição por Gorter e Grendel. Um exemplo era o fato de que moléculas relativamente grandes e polares são utilizadas no metabolismo das células, e, portanto, necessariamente atravessavam a membrana plasmática.

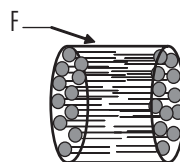
Além das evidências indiretas mencionadas acima, foram desenvolvidas abordagens experimentais que testavam diretamente o modelo da bicamada lipídica. Entre essas abordagens estava a utilização de bicamadas artificiais. Afinal, havia muito interesse em comparar as propriedades de uma bicamada pura de lipídeos com as da membrana plasmática.

As experiências com bicamadas artificiais eram relativamente simples. Criar uma pequena bicamada artificial não é difícil (embora seja bem mais fácil falar do que fazer), pois em solução aquosa ela é uma das maneiras mais estáveis nas quais os fosfolipídeos se organizam. Nas experiências que discutiremos eram utilizados recipiente semelhantes a mini aquários, com uma divisória no meio (figura 15.6), que o separava em dois compartimentos. Esses compartimentos se comunicavam somente através de um furo na divisória (F), que permitia o livre fluxo de substâncias de um lado para o outro.

Com uma pipeta (tubo de vidro) bem fina, cheia de fosfolipídeos era possível levar essas moléculas até o furo (com o recipiente cheio de água). Quando se soltavam os lipídeos precisamente dentro do furo, em alguns casos eles se “organizavam” espontaneamente formando uma bicamada que passava a separar os dois compartimentos, conforme está detalhado na figura 15.2.



**Figura 15.5:** O recipiente dividido em dois, apenas o furo na divisória permitia a passagem de substâncias de um lado para o outro (setas).



**Figura 15.6:** A bicamada artificial isolava os dois compartimentos. O fluxo de substâncias só era possível através da bicamada.



De posse desta barreira especial, era possível estudar a passagem de moléculas de um lado para o outro, como se um lado fosse o meio externo e outro o citoplasma, e a bicamada separando os dois fosse a membrana. Os resultados obtidos com uma experiência desse tipo estão resumidas na tabela a seguir.

### Atividade 13

Analise com atenção os resultados mostrados na tabela abaixo e discuta se eles corroboram ou não o modelo da bicamada lipídica para a membrana plasmática.

Molécula ou íon	Polaridade ou carga	Peso	Velocidade de travessia	
			Bicamada Artificial	Membrana Plasmática
Progesterona*	Apolar	284	18	18
Colesterol**	Apolar	355	11	11
Glicose	Polar	180	3	22
Glicina***	Polar	73	5	25
Sódio	Positiva	22	2	35
Cloro	Negativa	35	3	33

\* Hormônio \*\* Lípido \*\*\* Aminoácido

## O MODELO ATUAL

De algum modo a membrana plasmática era capaz de acelerar a passagem de moléculas do interior para o exterior da célula, e vice-versa. Porém, essa propriedade não poderia ser explicada com base no modelo da bicamada lipídica. Portanto, para explicar as diferenças observadas entre a membrana plasmática e as outras bicamadas propôs-se que deveriam existir também proteínas ao redor da célula. Como elas estavam organizadas era outra questão que, aliás, foi debatida por muitos anos. E, em parte, ainda é. As proteínas eram, portanto, candidatas não só a participar da estrutura, como também de possíveis explicações para as diferenças observadas entre as bicamadas e a membrana plasmática. Isso é o mesmo que dizer que as proteínas deveriam ser responsáveis por algumas das propriedades da membrana plasmática, como a entrada e saída da célula de moléculas polares e íons.

A figura 15.8 mostra o modelo de membrana plasmática aceito hoje, chamado de mosaico fluido. De acordo com esse modelo a membrana apresenta proteínas incorporadas à bicamada lipídica.

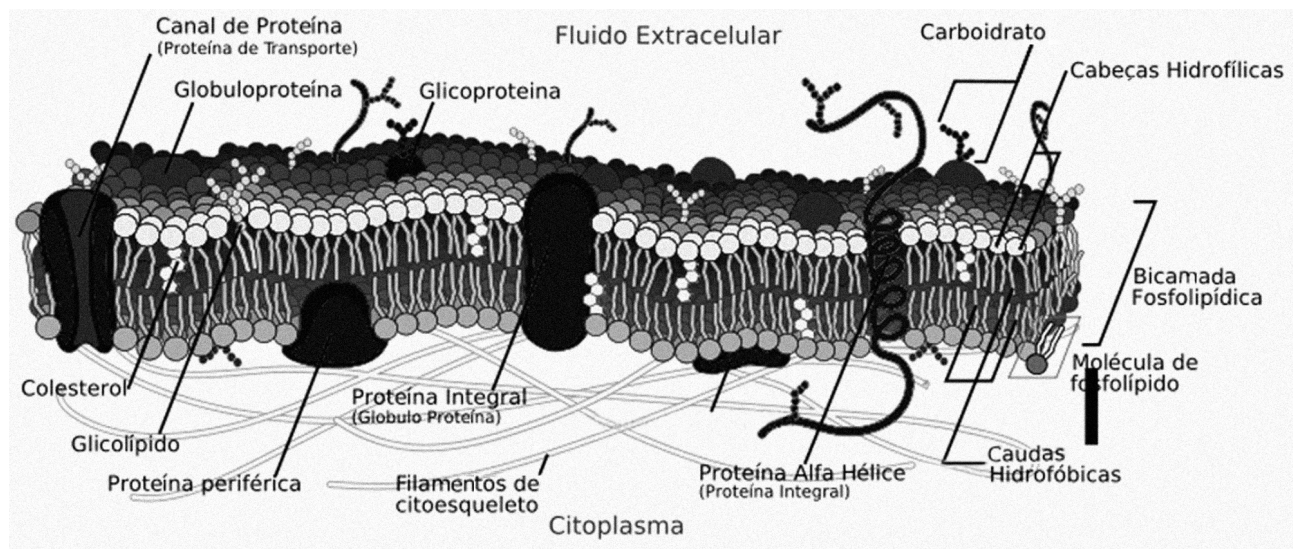


Figura 15.7: Modelo do Mosaico Fluido.

### Atividade 14

Nas atividades 4 a 7 aprendemos como se pode estimar a velocidade com que uma molécula atravessa a membrana plasmática.

Você viu, no primeiro capítulo sobre membrana, uma descrição de como se pode estimar a velocidade com que uma molécula atravessa a membrana plasmática. Imagine agora que você dispõe dos mesmos recursos utilizados naquelas experiências e reflita com atenção: se você desejasse saber se a passagem acelerada de uma molécula (a molécula "X") através da membrana plasmática depende ou não da atividade de uma proteína, que testes deveria realizar? Ou, dizendo de outro modo, que condições experimentais deveria alterar, para avaliar a participação de uma proteína na passagem da molécula X. Para responder a essa pergunta talvez seja interessante rever os capítulos 14 e 15 do módulo 1.

As proteínas presentes na membrana plasmática podem facilitar a passagem de moléculas polares ou grandes, bem como de íons (átomos com carga) que, de outra forma, teriam dificuldade de atravessar a bicamada lipídica. Essas proteínas que participam do processo de difusão são denominadas permeases, porque tornam a membrana permeável àquilo que transportam. Essa terminação, "ase", é normalmente utilizada para enzimas. Como vimos também, as enzimas aceleram reações químicas. Além de acelerarem processos, as permeases e enzimas compartilham muitas características, já que ambas são proteínas e possuem regiões (sítios ativos) onde seus substratos se ligam. Como ocorre com as enzimas, também as permeases possuem uma velocidade máxima (no caso, de transporte), após a qual o transporte se estabiliza.

### Atividade 15

Explique porque a passagem de substratos através de permeases possui uma velocidade máxima.

Dica: pense em um estádio de futebol que possui cinco entradas, cada uma com uma roleta. Imagine que o número de pessoas que deseja entrar vá aumentando com o tempo, à medida que a hora do começo do jogo se aproxima.

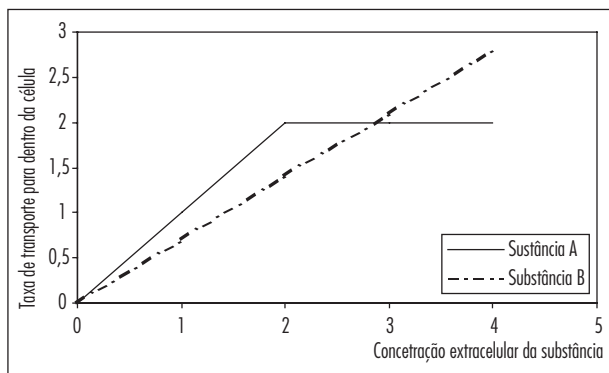
Como dito anteriormente, as proteínas são responsáveis por algumas das propriedades da membrana plasmática, como transporte de substâncias, recepção de sinais extra e intracelular e a adesão a células vizinhas. A maior parte das proteínas atravessa a membrana de um lado a outro — são as proteínas integrais ou transmembranas — e a principal função desse grupo de proteínas é o transporte de substâncias através da membrana plasmática. As proteínas periféricas não estão mergulhadas na dupla camada de lipídeos, mas aderidas à extremidade de proteínas integrais e normalmente participam na transmissão de mensagens celulares.

Vimos neste capítulo que o transporte de moléculas através da membrana plasmática pode ocorrer espontaneamente através da difusão. Moléculas apolares e de baixo peso molecular (pequenas) atravessam a membrana através dos fosfolipídeos que a compõem, independentemente das proteínas transmembrana. A esse transporte passivo damos o nome de difusão simples.

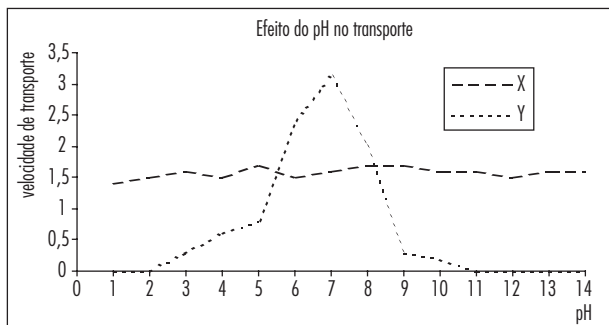
Entretanto moléculas polares e até mesmo os diminutos íons, só atravessam a membrana através de proteínas transmembrana devido ao fato de não interagirem com os fosfolipídeos, que são apolares. O transporte passivo que ocorre através dessas proteínas é chamado difusão facilitada.

### EXERCÍCIO

1) Para investigar a passagem de substâncias para o interior de uma célula, pesquisadores realizaram experimentos nos quais colocaram as células em soluções contendo duas substâncias diferentes A e B. Em seguida mediram a taxa de transporte dessas substâncias para o interior das células, em função da sua concentração no meio externo. O resultado é mostrado no gráfico abaixo.



O gráfico a seguir mostra o resultado das medidas do transporte dessas duas substâncias (A e B) em diferentes pH. Identifique qual das linhas corresponde à substância A e qual corresponde à substância B. Justifique.







# 16

## MEMBRANA PLASMÁTICA II

*:: Objetivo ::*

- *Compreender a difusão através da membrana plasmática como um processo espontâneo e probabilístico.*

## INTRODUÇÃO

Se analisarmos um sistema vital qualquer, digamos o sistema respiratório de um mamífero, nos depararemos com uma estreita relação entre forma e função, além é claro, de uma impressionante eficiência na realização dessa função. Os músculos estão ligados aos ossos de modo a nos permitir inspirar e expirar, a respiração pode ocorrer de modo involuntário, mas pode também ser controlada conscientemente (quando respiramos fundo, por exemplo). Se formos além desse ponto, e analisarmos apenas um órgão desse sistema, um pulmão, nos depararemos com uma igual relação entre forma e função, bem como uma incrível eficiência. A superfície de contato é ampliada pelas ramificações dos brônquios e bronquíolos, a superfície do epitélio respiratório é bastante fina, permitindo a passagem de gases. Se prosseguirmos na nossa análise dos detalhes, e analisarmos uma única célula da mucosa pulmonar, o fenômeno se repetirá (secreção de muco que umidifica a superfície).

Poderíamos ir um pouco mais além e perceber o quanto esse fenômeno é válido também, ou mesmo para uma única enzima, cuja forma está intimamente associada à sua “função”.

No entanto, sabemos que não houve um projetista consciente responsável pela elaboração de qualquer uma dessas estruturas (sistemas, órgãos, células e enzimas) que acabamos de mencionar. Elas obviamente não foram produzidas com uma finalidade. Ou seja, apesar de serem tremendamente funcionais e adaptadas, essas estruturas não foram elaboradas por alguém para exercer as funções que exercem. E, no entanto, o fazem, e o fazem muito bem. Não usamos o termo “adaptadas” à toa. O fizemos para lembrar você da Evolução Biológica (doravante denominada simplesmente Evolução).

Os seres vivos e seus componentes têm passado por longos e ininterruptos processos de evolução desde seu surgimento. Esses processos resultaram na formação da enorme biodiversidade que povoa nosso planeta, bem como por aquela que conhecemos apenas através dos registros fósseis. Os seres vivos encontrados hoje, bem como aqueles já extintos, refletem em suas morfologias, fisiologias e comportamentos esse longo processo de adaptação e seleção.

No entanto, a Evolução não tem um projetista, muito menos um objetivo. Embora os seres vivos possam nos parecer projetados para um determinado modo de vida, os resultados do processo evolutivo não podem ser confundidos com um objetivo pré-definido. Da mesma forma, também os órgãos, tecidos, células e biomoléculas que compõem os seres vivos refletem esse processo, e não uma intenção projetiva. Trata-se de um fenômeno evolutivo natural bem estabelecido.

## AS FUNÇÕES “INTELIGENTES” QUE ATRIBUÍMOS ÀS CÉLULAS E À MEMBRANA PLASMÁTICA

Vamos transcrever uma afirmativa sobre as trocas gasosas em seres vivos, para que você faça um exercício de comparação entre elas.

“Ao passar perto da superfície do pulmão, o sangue dos vasos capilares absorve o gás oxigênio e libera gás carbônico. Ao passar pelos diversos órgãos e tecidos internos, libera gás oxigênio para as células e recolhe gás carbônico.”

Sabemos, porém, que o ar atmosférico, ou seja, o ar que é respirado pelos

seres vivos, é composto principalmente de Nitrogênio ( $N_2$ ), Oxigênio ( $O_2$ ) e Gás Carbônico ( $CO_2$ ), embora contenha inúmeros outros gases em menor quantidade. Imaginemos agora que a barreira que separa o sangue que corre no interior dos capilares do ar atmosférico seja permeável a todos os gases atmosféricos. Vamos agora imaginar o sangue passando pelos capilares pulmonares, perto do ar inspirado. Do lado de fora da barreira estaria o ar, e do lado de dentro o sangue.

### Atividade 1

Será que somente o  $O_2$  é absorvido pelo sangue nos pulmões, se a atmosfera também contém  $CO_2$ ?

### Atividade 2

Da mesma forma, será que somente o  $CO_2$  é expelido nos pulmões, se o sangue também contém  $O_2$ ?

As respostas a ambas as perguntas é: não. Os dois gases ( $CO_2$  e  $O_2$ ) passam nos dois sentidos: do sangue para o ar e do ar para o sangue. Agora pode ter lhe parecido que a respiração deixou de fazer sentido, ou pior, que desse jeito ela nem mesmo “funcionaria” e os seres vivos morreriam todos. O problema é que, ela não apenas ocorre dessa forma, como realmente funciona. Vamos tentar entender o porquê.

## UMA OUTRA VISÃO DOS FENÔMENOS BIOLÓGICOS: LEVANDO EM CONTA AS PROBABILIDADES

Passemos a uma pequena atividade prática. Começemos, por exemplo, pensando no caso de uma gota de café pingada delicadamente em um copo transparente cheio de água. Talvez seja uma boa você pegar um copo (transparente) com água e colocá-lo sobre uma mesa que não balance. Tenha um relógio de pulso à mão. Pingue umas cinco gotas de café (frio e forte) no copo.

### Atividade 3

Observe o que acontece. O café se espalhou por todo o copo? O café “virou” logo um café fraco?

Olhe através das paredes do copo e veja se consegue responder melhor às questões. Veja as horas. Sente-se próximo à mesa para que ninguém mexa no seu copo. Aguarde uns cinco minutos.

### Atividade 4

Olhe de novo o copo, responda às mesmas perguntas da questão 3.

### Atividade 5

Repita o procedimento até que o café lhe pareça uniforme.

Tudo vai depender do seu café, do tamanho do copo e de algumas outras coisas, mas o café não deve ter se misturado imediatamente à água. Ele deve primeiro ter se acumulado próximo do lugar onde pingou, às vezes do fundo. Depois ele se espalhou lentamente, formando figuras parecidas com as da fumaça de um cigarro. Ao final de algum tempo porém, o café fraco estava bastante homogêneo (e “fraco”, já que pingamos pouco café). Por que ele ficou homogêneo?

O bom-senso nos impede de admitir que o café tenha qualquer coisa parecida com uma consciência. Portanto ele não “queria” nem “teve” de ir a lugar algum para fazer coisa alguma. Ele simplesmente foi. Como o café não tem consciência de que ao se mexer iria para onde havia menos café, ele não se moveu para se misturar com a água, deixando a mistura homogênea. Este “para” é que esconde a raiz do problema.

### Atividade 6

Pense rapidamente na seguinte questão: se você quisesse que o café e a água se misturassem mais rapidamente, o que você faria?

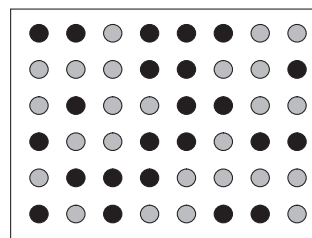
Você deve ter proposto mexer o copo com uma colher, por exemplo, ou seja, você pensou em movimentar a água e o café para que eles se misturassem mais rapidamente. Movimento. Essa palavra é a chave para entendermos a respiração e passagem de moléculas pela membrana sem recorrer a necessidade, finalidades ou consciência. Temos de admitir que todas as moléculas que compõem um líquido estão se movendo. E que esse movimento pode aumentar ou diminuir. Para visualizar melhor esse movimento, procure se recordar da água em dois de seus estados físicos: sólido (gelo) e líquido. Em um deles as moléculas devem estar se movendo mais. Para ir um pouco mais além, procure se recordar de uma panela contendo água fria e outra colocada sobre o fogo aceso (fervendo): em qual delas a água lhe parece mais agitada. Em uma delas as moléculas devem estar se movimentando mais? As moléculas de todas as substâncias estão, portanto, em constante movimento.

Se as moléculas estão se movendo, o que controla esse movimento? Que direção deve seguir cada molécula? O quão rápido cada uma deve se mover? Não há dúvida de que moléculas de água, ou de qualquer outro tipo (como  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , por exemplo), não têm consciência, necessidades ou finalidades. Não há, portanto, qualquer motivo para que se movam em uma direção determinada. E

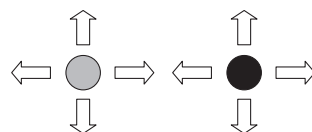
é exatamente isso que acontece: as moléculas se movem ao acaso, sem controle algum, em todas as direções. Mas, se elas se movem ao acaso, por que o café, no fim das contas, ficou homogêneo? E mais, por que a respiração funciona (absorvemos  $\text{O}_2$  que precisamos e expelimos o  $\text{CO}_2$  que nos é inútil ou prejudicial)?

Por mais óbvio que isto possa parecer, é importante lembrar que existem muito mais moléculas das substâncias que compõem o café dentro da gota de café do que na água que a circunda. E que todas essas moléculas estão se movendo — tanto as da água, quanto as do café. Muitos dos componentes do café se moverão “dentro” da própria gota. Isto nós não perceberemos, é claro. Mas uma parte das moléculas se moverá, por acaso, para “fora” da gota, misturando-se à água. Pode parecer absurdo, mas sempre existe uma probabilidade mínima de que a gota de café se recomponha, uma fração de segundo depois de começar a se desmanchar na água. Basta que, por um acaso incrível e improvável, todas as moléculas que se deslocaram para fora no primeiro instante, se desloquem de volta exatamente para os lugares de onde tinham saído. Essa possibilidade é absurdamente pequena, e por mera probabilidade, a cada instante mais moléculas “saem da gota para a água circundante”. Aliás, as moléculas que compõem a água passam por um processo análogo: elas entram na gota e se colocam entre as moléculas de café. A questão é que, embora todas as moléculas que compõem a água e o café estejam se movendo, nós não podemos vê-las, e, assim, só percebemos quando muitas delas estão se misturando com o outro líquido.

A figura 16.1 representa um tanque contendo tinta de duas cores, representadas por bolinhas de cores diferentes. O tanque encontra-se dividido ao meio. Para simplificar, já que estamos trabalhando em duas dimensões apenas (no papel) vamos limitar os movimentos das bolinhas a quatro direções, conforme mostrado na figura 16.2.



**Figura 16.1:** Um tanque contendo duas tintas de duas cores diferentes, separadas por uma barreira impermeável.



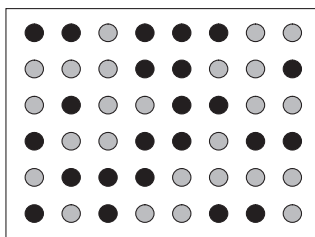
**Figura 16.2:** Os movimentos possíveis das moléculas.

De cada lado do tanque, as moléculas estão se movendo, ou seja, trocando de lugar com outras iguais. Isso, é claro, não muda em nada a aparência do tanque. Vamos agora supor que a barreira tenha sido retirada.

### Atividade 7

Se as bolinhas se movem ao acaso, em qualquer uma das quatro direções, o que deve acontecer com as concentrações das duas tintas no tanque após algum tempo? Procure exercitar sua capacidade de reflexão, imaginando o que aconteceria à medida que você fosse deslocando as bolinhas no desenho.

O movimento aleatório das moléculas poderia levar a uma situação como aquela mostrada na figura 16.3. Nesse caso, a concentração de moléculas das duas cores seria igual nos dois lados do tanque (mesmo se as arrumações delas em cada um dos lados do desenho não sejam iguais).



**Figura 16.3:** O tanque após algumas horas.

A mistura de substâncias, portanto, é resultado de um jogo de probabilidades: há mais chances de irem mais moléculas de onde há mais delas para onde há menos, do que no sentido contrário. O que significa dizer que o movimento no sentido contrário certamente também ocorre, porém em menores proporções. Trata-se, portanto, de uma questão de saldo (diferença entre o que vai em um sentido e o que volta). Ou seja, se o número de moléculas que vai de um lado para o outro é maior do que aquele que faz o movimento inverso, o resultado final é que a concentração do outro lado aumenta. Mas as moléculas se moveram nos dois sentidos o tempo todo.

Voltemos agora ao caso das trocas gasosas. Por que, afinal, absorvemos e expelimos todos os gases e mesmo assim sobrevivemos? A resposta para essa pergunta poderá ficar mais clara, se nos propusermos a responder algumas outras questões relacionadas ao que ocorre com cada um desses gases no interior dos seres vivos. Vamos utilizar como exemplo o transporte de gases pelo sangue no organismo humano. Como todos sabemos, a troca de gases entre o sangue e o ar ocorre nos pulmões. Vamos então responder a algumas perguntas à medida que acompanharmos a circulação do sangue.

### Atividade 8

À medida que a troca de gases acontece nos alvéolos dos pulmões, o que deve acontecer com a concentração de  $O_2$  no sangue?

### Atividade 9

Quando o sangue retorna aos pulmões, sua concentração de  $O_2$  deve ser maior, menor ou igual à concentração de  $O_2$  depois de ter passado pelos tecidos que compõem o corpo, no ar inspirado (que acaba de entrar nos pulmões)? Por quê?

### Atividade 10

Imaginando que o sangue acaba de chegar aos pulmões, e que eles estão cheios de ar recém-inspirado, a passagem de  $O_2$  deve ser maior no sentido sangue  $\Rightarrow$  ar ou no sentido ar  $\Rightarrow$  sangue? Por quê?

### Atividade 11

Repita o raciocínio anterior, recolocando as perguntas 8, 9 e 10 em relação ao  $CO_2$ .

Não está correto, portanto, dizer que “ao passar pelos alvéolos, o sangue dos vasos capilares absorve o gás oxigênio e libera gás carbônico”, porque ambos os gases se difundem em ambos os sentidos. Mas, como as concentrações de gás carbônico no sangue são mais elevadas do que no ar inalado, o fluxo em um dos sentidos (sangue  $\rightarrow$  ar) acaba sendo muito maior do que aquele que ocorre no sentido oposto (ar  $\rightarrow$  sangue). O mesmo vale para o oxigênio. Ou seja, não é correto afirmar que as moléculas (de gás carbônico, por exemplo) só se difundem quando sua concentração é maior em um dos meios do que no outro. A maneira correta de compreender o fenômeno seria admitir que a quantidade de moléculas que passa do meio mais concentrado para o menos concentrado é maior do que a que se move no sentido oposto. Trata-se, mais uma vez, de uma questão de saldo, e não de fluxo numa só direção. Veja a figura 16.4 para um resumo desse processo.

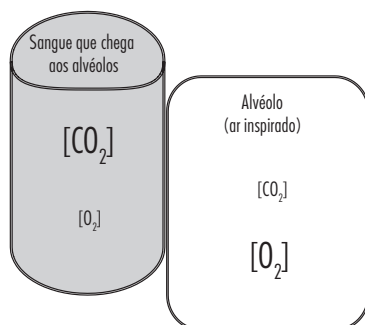
## AS TROCAS (PASSAGEM DE MOLÉCULAS) ATRAVÉS DA MEMBRANA PLASMÁTICA

Voltemos agora ao estudo da membrana plasmática. Sabemos que ela é permeável aos dois gases ( $CO_2$  e  $O_2$ ), ainda que as velocidades com que ambos a atravessam sejam diferentes. Além disso, sabemos também que o oxigênio é consumido e o gás carbônico produzido no interior das células. Portanto, a concentração de  $O_2$  no interior, deveria estar sempre diminuindo, e a de  $CO_2$ , sempre aumentando. Por outro lado, a célula está sempre sendo banhada pelo sangue que circula, ou seja, por sangue que passou pelos pulmões, e que, portanto, tem concentrações relativamente elevadas de  $O_2$  e baixas de  $CO_2$ . Isso é suficiente para “garantir” que o excesso de  $CO_2$  saia e o  $O_2$  necessário entre, embora ambos estejam sempre entrando e saindo.

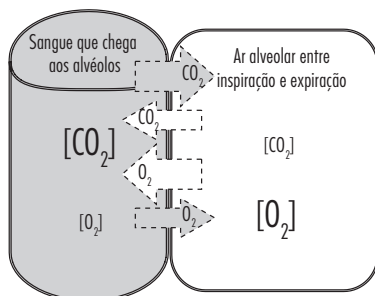
Essas duas ideias simples, a de que a membrana plasmática é permeável aos dois gases, e o fato de que as concentrações intra e extracelulares desse gás

são diferentes, bastaram para entendermos porque a quantidade de gás carbônico que deixa a célula em um dado instante é maior do que aquela que entra em seu citoplasma através da membrana. E porque o contrário é verdadeiro para o oxigênio. Ou não bastaram?

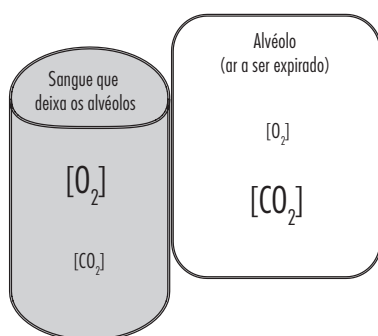
Esse fenômeno, de movimento das moléculas (sejam elas em estado líquido ou gasoso), que pode resultar no equilíbrio de concentrações de uma ou mais substâncias em dois ambientes separados por uma barreira permeável é denominado difusão. É o que ocorre com o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{O}_2$  quando ambos atravessam a membrana plasmática. De fato, é o que ocorre com a maioria das moléculas que atravessam a membrana plasmática.



**Figura 16.4a:** No início quando o sangue chega aos alvéolos, a composição do ar inspirado é igual à da atmosfera. Por isso a concentração de  $\text{O}_2$  é maior no ar, enquanto a de  $\text{CO}_2$  é maior no sangue.



**Figura 16.4b:** As trocas de gases ocorrem nos dois sentidos, como indicado pelas setas. Ambos os gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) se deslocam nos dois sentidos, mas com intensidades diferentes.



**Figura 16.4c:** Quando o sangue deixa os alvéolos, as trocas com o ar cessam. As concentrações de  $\text{O}_2$  se tornaram elevadas no sangue, enquanto as concentrações de  $\text{CO}_2$  aumentaram no ar que será expirado. Compare com a figura anterior para perceber as diferenças.

## EXERCÍCIOS

**1)** Suponha que uma célula seja mantida em uma solução contendo concentração elevada da molécula X, e que a concentração dessa mesma molécula no interior da célula seja igual a zero. Sabe-se que a molécula X não é consumida nem produzida pela célula em nenhuma circunstância.

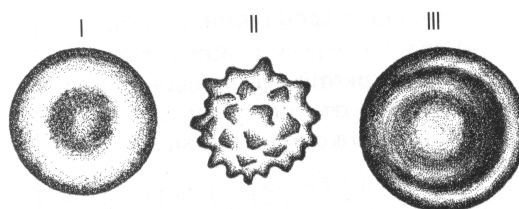
a. Após um longo período de tempo, a concentração de X dentro da célula deverá ser maior, igual ou menor do que no meio exterior (solução). Por quê?

b. Em algum momento deixará de ocorrer passagem de X através da membrana? Por quê?

**2)** (UFRJ / 2005 - P1) A consistência firme (turgor) dos olhos dos vertebrados aquáticos é consequência da pressão do fluido em seu interior. A estabilidade do turgor dos olhos dos tubarões, por exemplo, se deve à elevada concentração de sais de ureia no sangue e no interior dos olhos. Explique de que maneira essa alta concentração de sais contribui para o turgor dos olhos dos tubarões.

**3)** Desde a antiguidade o homem vem desenvolvendo processos para conservar alimentos retardando seu apodrecimento. Alguns desses processos são o salgamento (bacalhau, carne seca) e a confecção de geleias. Sabendo que a putrefação é causada pela ação de microrganismos como bactérias e fungos, explique como cada um desses processos funciona.

**4)** (UFMS-RS adaptada) A figura abaixo mostra 3 hemácias que foram colocadas em tubos de ensaio contendo diferentes soluções. Um dos tubos contém plasma sanguíneo, outro contém água destilada e outro uma solução concentrada de sal. Pelo formato das células mostradas identifique qual hemácia foi colocada em cada tubo e explique o que está acontecendo em cada um.

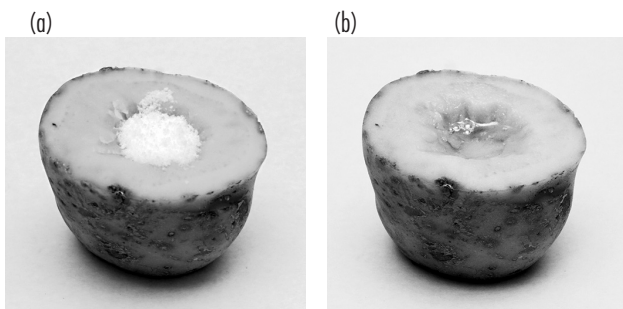


**5)** Um estudante tinha em seu laboratório três soluções que seriam utilizadas para o cultivo de células animais. As concentrações de solutos das soluções e das células estão expressas em porcentagem na tabela abaixo.

células	solução A	solução B	solução C
8,32%	8,28%	7,24%	10,45%

Determine qual das soluções é a mais indicada para o cultivo prolongado das células. Justifique.

**6)** A figura abaixo mostra uma batata inglesa crua cortada pelo meio, com uma escavação no centro na qual foi colocada uma colherinha de sal de cozinha (a). Cerca de 20 minutos após a colocação do sal (b) a escavação encontrava-se preenchida por substância líquida que se misturou ao sal. Explique porque apareceu esse líquido na cavidade em contato com o sal.



**7)** O mesmo experimento foi feito com uma beterraba. No corte, muitas células são dilaceradas, liberando o pigmento roxo contido nos vacúolos de suco celular. A superfície cortada foi lavada em água corrente até que todo o pigmento das células lesadas fosse removido. A água foi escorrida e a superfície enxugada, colocando-se, em seguida, um pouco de açúcar na cavidade. Observou-se que o açúcar foi lentamente ficando molhado e se dissolvendo em um líquido transparente, como na batata. Podemos afirmar que, no caso da beterraba, o líquido que dissolve o açúcar é incolor porque:

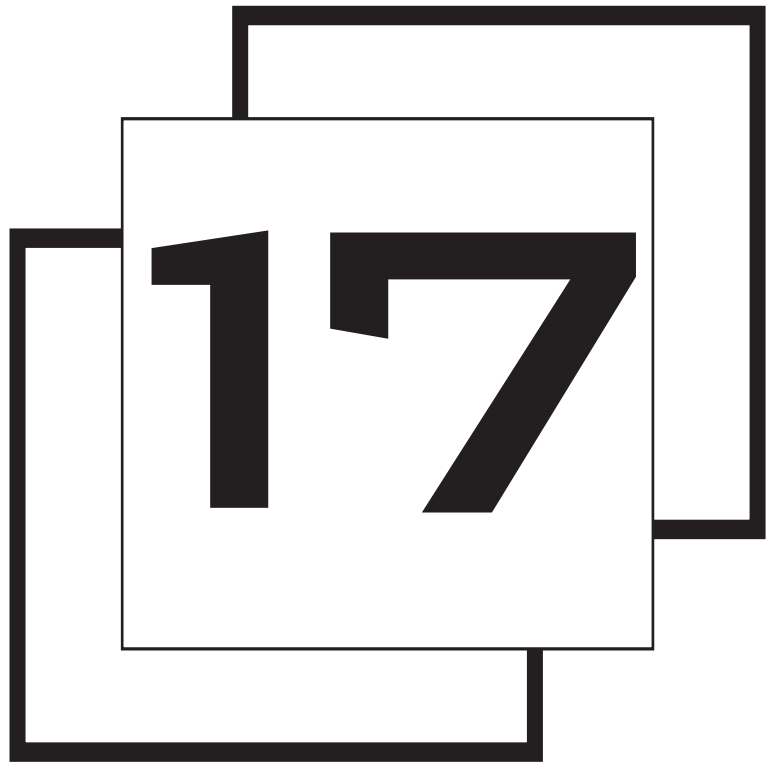
- (A) a membrana celular permite a saída de água, mas impede a saída de pigmento.
- (B) o açúcar impede a saída do pigmento.
- (C) o pigmento está muito concentrado nos vacúolos, o que impede a sua saída.
- (D) a pressão da água na cavidade impede a saída do pigmento.

**8)** As vítimas de choque hemorrágico (caracterizado pela perda de mais de 1.000 ml de sangue, em adultos de 70Kg) sofrem colapso circulatório; a pressão arterial cai tanto que o coração não bombeia mais sangue para os tecidos do corpo, causando falência dos órgãos. Se não houver o restabelecimento da pressão arterial, a morte será inevitável. Nos últimos anos, o uso de pequenos volumes de solução hipertônica — denominada informalmente de “salgadão” — tornou-se uma alternativa ao uso de soro fisiológico (solução isotônica) na reanimação de vítimas de choque hemorrágico. A tabela a seguir mostra as concentrações de NaCl no soro fisiológico e no “salgadão”.

Solução	NaCl por litro de água
soro fisiológico	900 mg
“salgadão”	7.500 mg

Explique como a administração de pequenos volumes de solução hipertônica (“salgadão”) vai atuar para o restabelecimento da pressão arterial das vítimas de choque hemorrágico.

O capítulo 25 contém aprofundamentos a respeito do tema abordado aqui. Não deixe de consultá-lo!



## MEMBRANA PLASMÁTICA III

*:: Objetivo ::*

- *Entender os mecanismos de transporte que permitem a manutenção de diferenças de concentração entre o interior da célula e o meio externo apesar da ocorrência constante da difusão.*

## INTRODUÇÃO

Como vimos nos capítulos anteriores, a passagem de moléculas através da membrana pode ocorrer espontaneamente, ou seja, independentemente das necessidades das células. Com isso, essas necessidades são, muitas vezes atendidas. Isso pode nos levar a pensar que a difusão (simples ou facilitada) seria suficiente para dar conta de todo o transporte de substâncias através da membrana. Essa é uma boa hipótese, ou melhor dizendo, um bom modelo. De acordo com esse modelo, as concentrações das substâncias dentro e fora da célula deveriam se igualar, a menos que essas substâncias estivessem sendo consumidas ou produzidas no interior da célula. Mesmo nesses casos, a passagem através da membrana deveria ocorrer mais intensamente sempre no sentido do meio mais concentrado para o menos concentrado, ainda que ela sempre ocorra nos dois sentidos, como vimos no capítulo anterior.

## MANTENDO AS DIFERENÇAS DE CONCENTRAÇÃO DE SOLUTOS

Essa questão da diferença de concentração de solutos é especialmente importante no caso de seres vivos aquáticos. Isso porque eles estão submersos em soluções cujas concentrações diferem grandemente daquelas encontradas nos seus fluidos internos (sangue, por exemplo). Esses mesmos seres vivos, no entanto, só podem sobreviver se dispuserem de superfícies permeáveis para troca de gases e excretas com o meio (como vimos nas aulas 1, 17 e 18 do módulo 1). Isso não significa que toda a superfície do corpo seja igualmente permeável. No caso de seres humanos, por exemplo, a mucosa pulmonar e a intestinal são especialmente permeáveis, enquanto a epiderme que reveste a maior parte do resto do corpo é bastante impermeável. De modo semelhante, os animais aquáticos podem ter regiões mais permeáveis e menos permeáveis recobrimdo o corpo.

### Atividade 1

Refleta e responda: qual a importância dos dois tipos de permeabilidade descritas para os animais terrestres.

No caso dos animais aquáticos, no entanto, as partes permeáveis do corpo, onde as trocas gasosas ocorrem por difusão, os colocam diante de um problema sério. Esse é o caso, por exemplo, das brânquias dos peixes e girinos. Nessas regiões ocorre a troca não apenas dos gases relacionados à respiração, mas sim de todos os tipos de soluto. Afinal, como vimos, a difusão é um fenômeno espontâneo, consequente apenas das diferenças de concentração, não das necessidades das células ou dos organismos. No caso dos seres vivos de água doce, por exemplo, o meio exterior tem concentrações bastante baixas de diversos sais (íons) importantes, tais como o Sódio ( $\text{Na}^+$ ), o Potássio ( $\text{K}^+$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Cloro ( $\text{Cl}^-$ ).

### Atividade 2

O que deveria ocorrer com as concentrações de íons no sangue de animais de água doce quando esse sangue passasse pelas superfícies de troca (brânquias ou pele)?

### Atividade 3

O mesmo deveria ocorrer no caso de animais marinhos? Por quê?

Apesar do que acabamos de discutir, no entanto, as concentrações de sais, bem como de outras moléculas no sangue dos animais aquáticos, tanto marinhos quanto dulcícolas, se mantêm diferentes daquelas encontradas no meio que os circunda (água do mar ou doce).

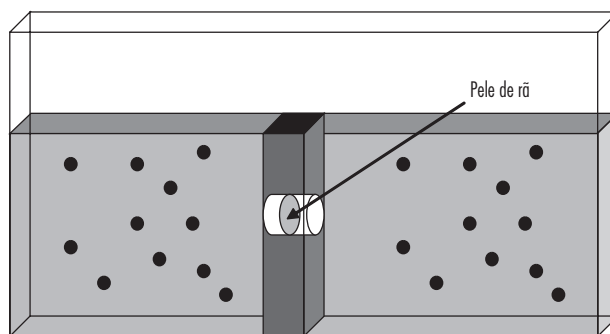
### Atividade 4

As diferenças entre as concentrações internas e externas de sais no caso de animais aquáticos pode ser explicada através da difusão? Por quê?

## ABORDAGENS EXPERIMENTAIS

A capacidade de manter as concentrações internas e externas diferentes, apesar da ocorrência ininterrupta e inevitável da difusão, foi estudada por diversos pesquisadores, especialmente por aqueles interessados na membrana plasmática, através da qual processos semelhantes ocorrem. Uma abordagem experimental interessante utilizada no estudo desse fenômeno era muito semelhante àquela mostrada na figura 7.1.

Dessa vez, no entanto, os pesquisadores não estavam interessados na comparação entre bicamadas artificiais e membranas plasmáticas, mas sim nas propriedades específicas dessa última. Por isso, a junção (furo) que permitia a comunicação entre os dois lados do reservatório foi bloqueada por um fragmento de pele de rã (um animal aquático, portanto sujeito aos problemas que discutimos há pouco). As células presentes nesse fragmento eram mantidas vivas, e submersas em uma solução contendo iguais concentrações íons dos dois lados do reservatório. Um esquema do equipamento está mostrado na figura 17.1.



**Figura 17.1:** Reservatório dividido em dois compartimentos, separados por um fragmento de pele viva de rã, contendo soluções de mesma concentração de  $\text{Na}^+$  dos dois lados.

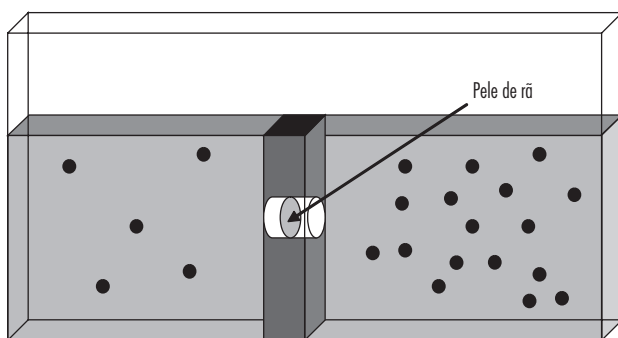


### Atividade 5

Se apenas a difusão estivesse ocorrendo, o que deveria acontecer com a concentração de  $\text{Na}^+$  dos dois lados? Por quê?

### Atividade 6

De modo simplificado, os resultados obtidos após algum tempo estão mostrados na figura 17.2. Como você deve ter notado, o  $\text{Na}^+$  não estava sendo consumido ou produzido em nenhum dos dois lados do compartimento. Afinal, a quantidade de  $\text{Na}^+$  total no tanque se manteve a mesma. Observe o resultado com atenção e responda: A difusão simples ou a difusão facilitada podem explicar esses resultados? Por quê?



**Figura 17.2:** O resultado da experiência.

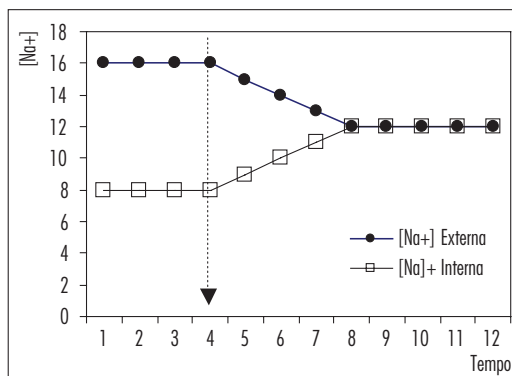
Algumas observações adicionais ajudaram os pesquisadores a compreender o fenômeno. Entre essas observações podemos destacar o fato de que era essencial que as células estivessem vivas para que o fenômeno ocorresse. Não se tratava, portanto, de um fenômeno físico espontâneo, como no caso da difusão. Nem tampouco de um processo espontâneo, mas facilitado pela presença de proteínas, como no caso das permeases. Na verdade, o fenômeno observado se opunha aos processos espontâneos.

Vamos agora fazer uma pausa, apenas para destacar algumas características importantes do processo que acabamos de mencionar. Primeiro ele depende das células vivas, de modo que se trata de algo característico, senão exclusivo, dos seres vivos. Segundo, ele se opõe a um processo espontâneo (difusão) de acordo com o qual as concentrações deveriam se manter iguais (mas elas se tornam diferentes). Terceiro, ele ocorre independentemente de necessidade, consciência ou de vontade, já que é realizado por um fragmento de pele de rã. Assim, embora seja um processo específico dos seres vivos e se oponha a um fenômeno espontâneo, ele precisa ser explicado dentro dos limites impostos pelas próprias características dos seres vivos.

Uma das características mais importantes dos seres vivos é exatamente sua capacidade de realizar processos que à primeira vista se opõem aos fenômenos que costumamos chamar de naturais. Podemos ver alguns exemplos triviais disso no nosso dia a dia. Por exemplo, um objeto qualquer, como uma cadeira, não se ergue espontaneamente. Para erguê-la, é preciso fazer esforço, do contrário ele permanecerá onde está. O mesmo vale, por exemplo, para o ato de mover

um membro. Mesmo ações involuntárias, como o pulsar de um coração, o ato de inspirar ou expirar, ou mesmo uma contração do intestino ao movimentar o alimento ao longo do trato digestório, exigem esforço de nosso organismo. Podemos agora aprimorar nosso vocabulário, trocando a palavra esforço, por gasto de energia. Para realizar todas essas ações que acabamos de mencionar, e que não ocorrem espontaneamente, os seres vivos devem consumir energia.

O fato de que o processo observado na pele de rãs e nas células se opor a um processo espontâneo, ou seja, à difusão, sugeria que também ele dependia de energia. Assim, alguns pesquisadores realizaram experiências utilizando uma abordagem semelhante àquela usada na experiência anterior. Eles mediram as concentrações de  $\text{Na}^+$  no interior e no exterior de uma célula. Após algum tempo, adicionaram ao meio onde essa célula se encontrava, uma substância que inibia a respiração celular, e, portanto, a produção de energia pelas células. Após a adição dessa substância, eles continuaram medindo as concentrações intra e extracelulares de  $\text{Na}^+$ . Os resultados de uma experiência desse tipo obtidos estão mostrados na figura 17.3. A seta pontilhada representa o momento em que a substância inibidora da produção de energia foi adicionada ao meio.



**Figura 17.3:** Efeito do acréscimo de inibidor da respiração celular no funcionamento da membrana plasmática.

Observe com atenção os resultados e responda:

### Atividade 7

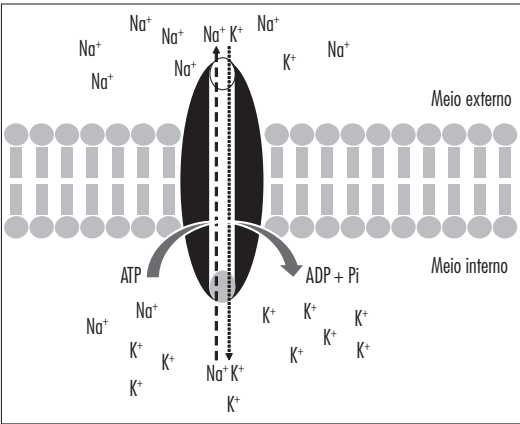
Após a adição da substância inibidora, o que ocorre com as concentrações  $\text{Na}^+$  interna e externas? Por que isso ocorre?

### Atividade 8

Levando em conta a composição da membrana plasmática, qual deve ser o tipo de molécula envolvido nesse mecanismo de transporte?

Resultados semelhantes aos que acabamos de discutir foram obtidos para inúmeros outros íons (e algumas moléculas) encontrados nos seres vivos. Em alguns casos as concentrações internas eram mantidas mais elevadas do que as externas, enquanto em outros ocorria o contrário. Essas moléculas capazes

de transportar solutos através da membrana plasmática, mantendo diferenças de concentração entre os meios intra e extra celular foram denominadas de bombas. Elas funcionam como as bombas d’água que literalmente empurram a água de um lugar mais baixo para outro mais alto e as bombas de gasolina que empurram gasolina do tanque para os motores, ambas consumindo energia. Por isso existe o verbo bombear. Podemos então dizer que as bombas existentes na membrana plasmática bombeiam (transportam) moléculas de um lado para o outro, consumindo energia. No caso das bombas da membrana, cada uma transporta, em geral, dois íons diferentes, uma para o exterior e outro para o interior. Ao contrário da difusão, que ocorre passivamente (espontaneamente), ainda que, por vezes, através de proteínas específicas, o mecanismo de transporte que descrevemos há pouco ocorre de modo ativo — ou seja, com gasto de energia. Podemos dizer, por isso mesmo, que a célula bombeia ativamente solutos de um meio para o outro. Por esse motivo, esse mecanismo de transporte tornou-se conhecido como transporte ativo. Em resumo, portanto, uma mesma bomba é capaz de transportar dois solutos diferentes, em sentido oposto, cada um deles sendo deslocado do meio onde se encontra menos concentrado para aquele onde sua concentração é maior, e sempre com consumo de energia.



**Figura 17.4:** Esquema resumido do transporte ativo através da Bomba de Sódio-Potássio.

EXERCÍCIO

**1)** Nos rins ocorre a formação da urina, graças à passagem de água e solutos do sangue para os tubos coletores e vice-versa. Na tabela a seguir estão mostradas as concentrações de alguns compostos no sangue e na urina em formação ao longo de quatro segundos de filtração pelos rins.

Tempo (s)	Concentração de solutos (unidades arbitrárias)				Proporção de água	
	Íons (Na+)		Glicose			
	urina	Sangue	urina	Sangue	urina	Sangue
1s	3	20	4	15	34	7
2s	1	24	4	15	27	14
3s	1	24	1	18	27	14
4s	1	24	1	18	21	20

- Com base nos dados da tabela:
- Identifique que tipo(s) de transporte(s) pode estar ocorrendo com a glicose e o sódio (Na<sup>+</sup>). Justifique.
  - Explique por que as proporções de água se igualam no sangue e nos tubos ao final do processo.

**2)** (CEDERJ / 2002) Em certa experiência considerou-se o mecanismo de transporte de três substâncias distintas — I, II e III — através da membrana celular. As concentrações intracelular e extracelular dos solutos, observadas no início da experiência (t<sub>0</sub>) e no seu final (t<sub>1</sub>), estão representadas abaixo.

	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>
I	<p>Maior concentração fora da célula</p> <p>Núcleo</p>	<p>Concentração equilibrada</p>
II	<p>Concentração equilibrada</p>	<p>Maior concentração no interior da célula</p>
III	<p>Solução mais concentrada no interior da célula</p>	<p>A água entrou na célula, equilibrando a concentração</p>

- Conclui-se que nessa experiência, em relação às substâncias I, II e III, ocorreram, respectivamente, os fenômenos:
- difusão / osmose / transporte ativo
  - osmose / transporte ativo / difusão
  - difusão / transporte ativo / osmose
  - transporte ativo / osmose / difusão
  - transporte ativo / difusão / osmose



# 18

## **APROFUNDAMENTO I: TESTANDO A TEORIA DA EVOLUÇÃO EXPERIMENTALMENTE**

**:: Objetivo ::**

- *Compreender que a Seleção Natural atua sobre a variabilidade pré-existente nas populações, por meio da realização de um exercício de raciocínio.*

É importante destacar que não é simples, devido às próprias características do processo evolutivo, testar experimentalmente qual das duas hipóteses (Lamarckista ou darwinista) é válida. Isto por vários motivos, entre os quais podemos destacar:

I. a modificação de uma espécie pode demorar várias gerações (de centenas a milhares delas).

II. É preciso que o pesquisador possa perceber e medir as modificações que ocorrem ao longo das gerações.

III. Não basta constatar a mudança, é preciso que os resultados permitam determinar se as mudanças ocorreram em consequência da seleção natural.

IV. É preciso ainda que se possa diferenciar claramente na experiência entre os resultados esperados por um mecanismo Lamarckista ou de evolução por seleção natural.

### Atividade 1

Considerando as dificuldades acima, se você fosse um pesquisador e tivesse que escolher espécies de seres vivos para realizar experiências sobre Evolução, quais seriam suas escolhas? Justifique.

No entanto, o século XX trouxe algumas descobertas e novos fenômenos importantes para o estudo da Evolução. Dois deles eram de natureza bastante semelhante. A descoberta dos antibióticos (penicilina, depois vários outros) significou um grande avanço no controle e na cura de muitas doenças. Novos inseticidas sintetizados em laboratório, em especial o DDT, se mostraram muito eficazes contra a maioria dos insetos, permitindo o combate eficaz das ditas “pragas”, aumentando a produtividade e contribuindo para tornar produtos alimentares mais baratos e abundantes.

Porém, à medida que os antibióticos e o DDT foram sendo usados, um fenômeno semelhante começou a ocorrer com bactérias e insetos: uma grande parte das populações de microrganismos passou a apresentar resistência à penicilina. Os insetos, por sua vez, pareciam cada vez mais resistentes ao DDT. Parecia, portanto, que bactérias e insetos estavam evoluindo rapidamente, e com isso se tornando resistentes à penicilina e ao DDT, respectivamente.

Neste capítulo, nos concentraremos apenas no estudo da evolução da resistência ao DDT, deixando os antibióticos para outra ocasião.

Vamos destacar as informações principais para nosso estudo.

O DDT, ao ser descoberto, era extremamente eficaz, eliminando maciçamente os insetos contra os quais era utilizado. Esta eficiência, no entanto, foi diminuindo ao longo de tempo; ou seja, foram aparecendo cada vez mais insetos que sobreviviam e se reproduziam, mesmo quando tratados com altas doses de DDT.

O aparecimento tão rápido de uma população com uma característica tão distinta e que representava uma importante adaptação a uma mudança no ambiente (a presença do DDT) foi logo percebida pelos pesquisadores como uma excelente oportunidade para o estudo da Evolução.

### Atividade 2

Como a teoria “Lamarckista” explicaria o aparecimento da resistência ao DDT entre os insetos?

### Atividade 3

Como a Teoria de Darwin explicaria o aparecimento da resistência ao DDT entre os insetos?

As primeiras experiências a respeito do aparecimento da resistência ao DDT eram bastante simples. Utilizavam-se insetos pequenos e que se reproduzissem rápido e facilmente em laboratórios. Uma das espécies de inseto mais utilizada foi a *Drosophila melanogaster* (mosca-da-banana), até porque esta era conhecida pelos pesquisadores por ser usada em experiências de Genética (não a use para responder à atividade 1).



Fotos: Laboratório de Genética de Populações de Drosófilas, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O objetivo era verificar se a resistência ao DDT aparecia antes do contato das moscas com o inseticida (hipótese de Darwin) ou se era induzida pela presença do inseticida (hipótese de Lamarck).

Alguns casais de mosca-de-banana eram colocados em caixas contendo alimento e uma pequena concentração de DDT. Outros casais de moscas, usados como controle, eram mantidos em caixas contendo apenas alimento, mas sem DDT. Em todas as caixas as drosófilas podiam reproduzir-se livremente e as gerações se sucediam ao longo do tempo (dias, semanas e meses). Cada caixa passava a conter centenas ou milhares de moscas após uns poucos meses. Isso porque as drosófilas se desenvolvem muito rapidamente e põem muitos ovos de cada vez. Periodicamente, algumas moscas de cada caixa eram testadas para medir a resistência ao DDT. O objetivo era saber se a resistência ao DDT estava se mantendo, aumentando ou diminuindo.

Vamos agora entender como este teste relativamente simples era feito. Para entender melhor o protocolo, acompanhe o texto a seguir e observe a figura 18.1.

I. 20 moscas eram retiradas de cada caixa e divididas em grupos de 5.

II. Cada grupo era colocado em um frasco, em contato com uma concentração diferente de DDT cada um por um mesmo período de tempo. Por exemplo, um frasco tinha 1mg DDT/grama de alimento, o outro tinha 2mg DDT/grama de alimento e assim por diante.

III. Decorrido o tempo escolhido, contavam-se quantas moscas morriam, tanto entre os grupos retirados das caixas tratadas inicialmente com DDT, quanto das caixas-controle.

IV. O número de mortes era utilizado para definir o índice de resistência da população da caixa: quanto menos moscas morressem nas concentrações mais altas de DDT, maior era considerado o índice de resistência da população da caixa.

V. As moscas que sobreviviam aos testes eram eliminadas (mortas e jogadas no lixo), mas suas “famílias” continuavam se reproduzindo nas caixas.

VI. Os testes de resistência ao DDT foram repetidos a cada nova geração de moscas durante cerca de um ano, verificando-se se o índice de resistência havia ou não crescido, isto é, se elas haviam se tornado ou não mais resistentes ao DDT.

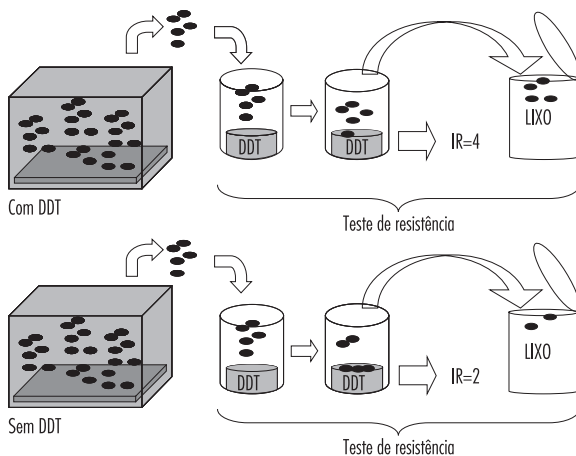


Figura 18.1

Vamos agora fazer algumas previsões sobre os resultados de Bennet.

#### Atividade 4

O que deveria ocorrer com a resistência ao DDT, nas caixas com DDT e controle (sem DDT), de acordo com a hipótese “Lamarckista”.

#### Atividade 5

O que deveria ocorrer com a resistência ao DDT, nas caixas com DDT e controle, de acordo com a hipótese “Darwinista”.

Os resultados obtidos na experiência são mostrados na figura 18.2.

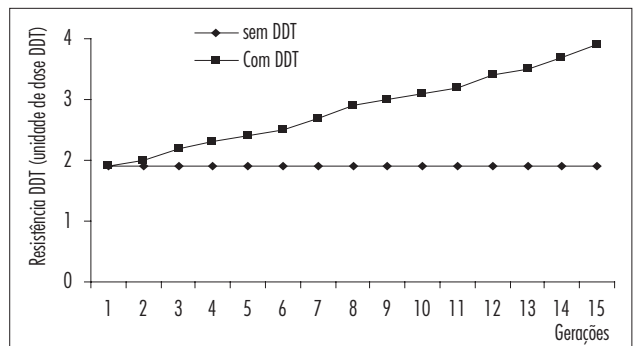


Figura 18.2: resistência das moscas ao DDT ao longo de várias gerações.

#### Atividade 6

Ocorreu variação na resistência em alguma das caixas? Qual? Que variação foi esta? Justifique.

#### Atividade 7

Como explicar o que ocorreu nas caixas-controle?

#### Atividade 8

O experimento corrobora alguma das hipóteses (Darwinista ou Lamarckista)? Justifique.

### Atividade 9

Com base **SOMENTE** nos resultados obtidos, é possível determinar qual das duas explicações (Darwinista ou Lamarckista) era válida? Justifique.

Algumas experiências semelhantes, porém mais elaboradas, foram realizadas por Bennett, em 1959. Ele preparou várias caixas em que populações de drosófilas recolhidas de quitandas e de vários laboratórios eram misturadas, certificando-se com isto de estar começando a experiência com uma população de moscas geneticamente muito heterogêneas.

### Atividade 10

Por que Bennet considerava tão importante o uso de populações heterogêneas de drosófilas?

Vamos agora ver as etapas das diferenças entre as experiências de Bennet e as de seus antecessores.

I. Nas caixas de Bennett era colocado apenas alimento para as moscas, mas nenhum DDT. A cada geração ele retirava 5 moscas de cada uma das caixas.

II. As 5 moscas retiradas de cada caixa eram usadas no teste de resistência ao DDT, do mesmo modo que nas experiências anteriores. Bennet, portanto, também descartava as moscas usadas nos testes.

III. Após determinar a resistência das populações de cada uma das caixas, Bennett as classificava como resistentes (muitas moscas sobreviviam a altas doses de DDT), intermediárias ou sensíveis (a maioria das moscas morria com pequenas doses de DDT). Veja a figura 18.3 para entender esse processo.

IV. Bennett capturava ao acaso 4 casais de moscas de dentro das caixas contendo moscas cujas 5 moscas testadas haviam sido consideradas resistentes nos testes e os colocava em novas caixas, cheias de alimento, para que se reproduzissem.

V. Em seguida fazia o mesmo com casais de moscas retirados das caixas que ele classificava como mais sensíveis.

VI. Na geração seguinte, Bennet novamente retirava amostras de moscas de cada caixa, testava-as para a resistência ao DDT, classificava-as e selecionava casais resistentes e casais mais sensíveis para fazer novas caixas, exatamente como descrevemos nos itens I a VI. Este procedimento foi repetido várias vezes ao longo de cerca de um ano.

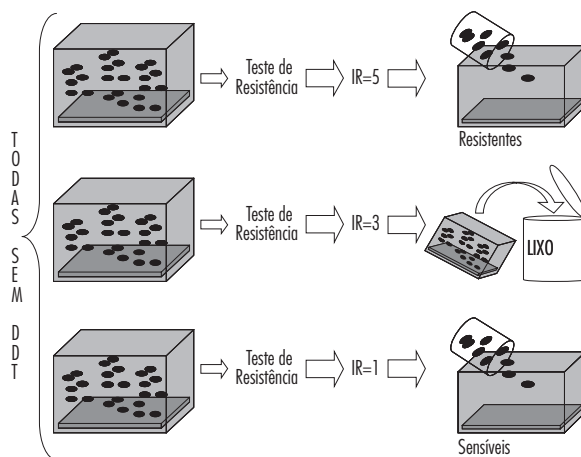


Figura 18.3

Para prosseguir é essencial que você responda às perguntas a seguir:

### Atividade 11

Identifique com clareza as principais diferenças entre as primeiras experiências realizadas e as de Bennett. Qual a importância dessas diferenças?

### Atividade 12

O que deveria ocorrer com a resistência das moscas ao DDT, de acordo com a hipótese de Lamarck?

### Atividade 13

O que deveria ocorrer com a resistência das moscas ao DDT, de acordo com a hipótese "Darwinista"?

A figura 18.4 a seguir mostra os resultados obtidos por Bennett para a resistência das moscas ao DDT ao longo de várias gerações.

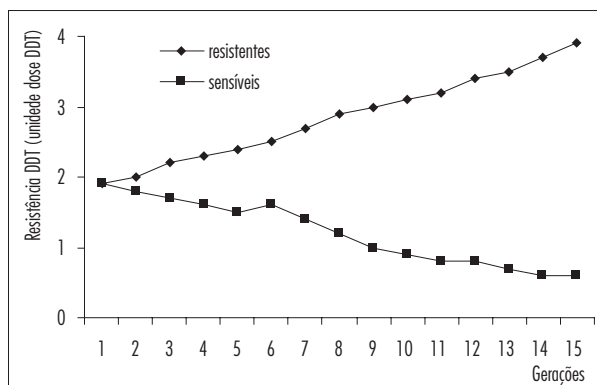


Figura 18.4

### Atividade 14

Ocorreu variação na resistência das populações de alguma das caixas? Que variação foi esta?

### Atividade 15

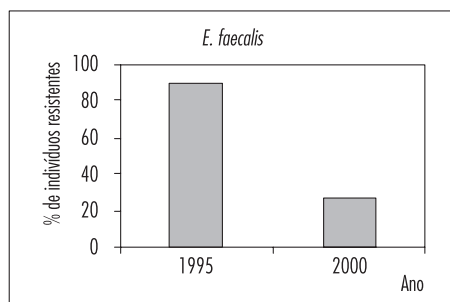
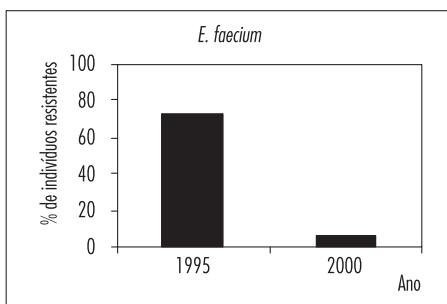
É possível determinar qual das hipóteses é corroborada por esses resultados? Justifique.

## RESUMO

- A resistência ao DDT em moscas existe mesmo nas populações que não tiveram contato com o inseticida.
- Foi possível aumentar a resistência da população de moscas ao DDT, sem expô-las ao inseticida, apenas selecionando representantes das populações mais resistentes para formar novas populações.
- A Seleção Natural atua sobre a diversidade pré-existente nas populações.

## EXERCÍCIOS

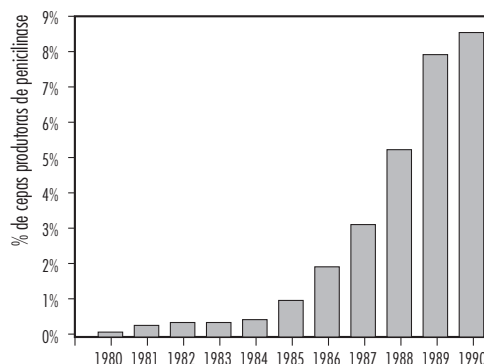
**1)** (Prova 1 — UFRJ/2003) Visando a prevenir infecções, a adição de antibióticos na ração de animais domésticos tornou-se prática comum em muitos países. Ao longo dos anos, observou-se um aumento na porcentagem de bactérias que possuem genes que as tornam resistentes aos antibióticos, em detrimento das bactérias sensíveis. A partir de 1998, o governo da Dinamarca proibiu o uso de antibióticos na ração de animais. Os gráficos a seguir mostram a porcentagem de indivíduos resistentes a antibióticos nas bactérias *Enterococcus faecalis* e *Enterococcus faecium* encontradas no trato digestivo de animais dinamarqueses nos anos de 1995 e 2000.



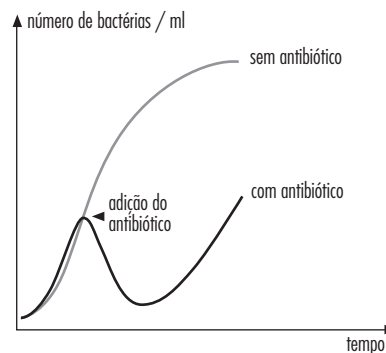
Explique por que ocorre variação na porcentagem de bactérias resistentes a antibióticos entre os anos de 1995 e 2000.

**2)** (UFRJ / 2006) O gráfico a seguir mostra como variou o percentual de cepas produtoras de penicilinase da bactéria *Neisseria gonorrhoeae* obtidas de indivíduos com gonorreia no período de 1980 a 1990. A penicilinase é uma enzima que degrada a penicilina.

Por que aumentou o número de cepas que produzem a penicilinase?



**3)** (UERJ / 2001- ED) Foram introduzidas em dois frascos, que contêm um mesmo meio de cultura, quantidades idênticas de um tipo de bactéria. Após algum tempo de incubação, adicionou-se, a apenas um dos frascos, um antibiótico estável, de uso frequente na clínica e cuja concentração não se modificou durante todo o experimento. O gráfico abaixo representa a variação do número de bactérias vivas no meio de cultura, em função do tempo de crescimento bacteriano em cada frasco.



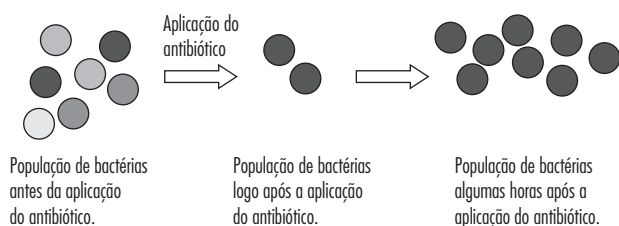
A observação do gráfico permite concluir que, no frasco em que se adicionou o antibiótico, ocorreu uma grande diminuição no número de bactérias. Utilizando a teoria da seleção natural, explique o fato de essa população ter voltado a crescer, após a diminuição observada.

**4)** (UFRJ / 2003-P1) Em 1928, Alexander Fleming isolou a penicilina a partir de culturas de fungos do gênero *Penicilium*. Primeiro antibiótico conhecido, a penicilina foi produzida em larga escala para o combate às infecções bacterianas. Desde então, inúmeros outros antibióticos foram isolados de seres vivos ou sintetizados em laboratório. Cada um destes antibióticos interfere em uma via

do metabolismo das bactérias. Os antibióticos, porém, são inúteis no combate às infecções por vírus. Explique por que os antibióticos não têm efeito contra os vírus.

**5)** (CEDERJ / 2004-1) A mariposa *Biston betularia* apresenta dois fenótipos, o fenótipo claro (mariposas praticamente brancas) e o fenótipo escuro (mariposas pretas). No século XIX, na Inglaterra, a frequência da forma clara na população era 98%, e a da escura, 2%. Com a industrialização, aumentou a poluição, e os troncos das árvores foram recobertos de fuligem escura. Nessas regiões, após alguns anos, a forma clara passou a apresentar frequência de 5%, e a forma escura, de 95%. Qual o agente evolutivo responsável por essa mudança de frequências? Justifique sua resposta.

**6)** A figura abaixo mostra o resultado de uma experiência, onde um grupo de bactérias, mantidas num vidro com água e alimento, recebeu um antibiótico. Após algum tempo, observou-se a existência de muitas bactérias resistentes ao antibiótico dentro desse recipiente.



Com base nos seus conhecimentos e no que foi apresentado na figura, responda: foi o antibiótico que fez aparecer bactérias resistentes? Justifique sua resposta.

**7)** A revolução industrial trouxe a poluição e a fuligem, que mataram os líquens e escureceram os troncos das árvores da região de Birmingham, na Inglaterra. Em consequência, os espécimes escuros da mariposa *Biston betularia* aumentaram em número em relação aos de cor clara. Um pesquisador investigou a questão capturando, marcando e devolvendo ao ambiente espécimes escuros e claros, em áreas poluídas e não poluídas. Passado algum tempo, tentou recapturar os espécimes marcados, de forma que pudesse identificar qual dos dois tipos de mariposas (claras ou escuras) estava presente em maior número naquele ambiente. Na tabela adiante estão mostrados os dados numéricos obtidos:

Região da recaptura	Escuras (% de recapturadas)	Claras (% de recapturadas)
Birmingham (Poluída)	53,2	25,0
Desert (Não poluída)	6,3	12,5

Como você explica o fato de ter havido maior recaptura de mariposas escuras na área poluída de Birmingham?



# 19

## **APROFUNDAMENTO II: O MATERIAL GENÉTICO E A CÉLULA: INTERPRETANDO RESULTADOS**

*:: Objetivo ::*

- *Analisar resultados de experimentos.*
- *Aplicar os conhecimentos sobre ADN e ARN.*

## INTRODUÇÃO

Desde os primeiros tempos do estudo da célula, utilizando técnicas bastante simples de microscopia, foi possível perceber no seu interior a existência de uma estrutura geralmente esférica, que foi denominada de núcleo celular. Esse núcleo aparentemente estava presente em todos os tipos de células, de todos os seres vivos. O simples fato de o núcleo estar presente em todas as células já fazia com que se supusesse que ele era essencial para a sobrevivência.

Algumas experiências bastante diretas foram feitas para testar essa hipótese. Nesses experimentos foi utilizado um tipo de organismo que, mesmo sendo unicelular, era bastante grande, e cujo núcleo era visível sem necessidade de corantes: as amebas. Resumidamente, o que alguns pesquisadores fizeram foi cortar diversas amebas em dois pedaços. Em um desses pedaços encontrava-se o núcleo inteiro, enquanto o segundo era totalmente desprovido dessa organela. Em seguida acompanhavam o que ocorria com esses dois pedaços de células por algum tempo (horas ou dias). A tabela 19.1 mostra os resultados relativos ao número de fragmentos de cada tipo que ainda estavam vivos horas após o corte.

	Início	Horas após o corte				
		01	02	05	12	24
<b>Com núcleo</b>	10	8	8	8	9	10
<b>Anucleado</b>	10	9	5	2	0	0

**Tabela 19.1:** N° de células sobreviventes após serem cortadas em dois pedaços.

### Atividade 1

Com base nos resultados, é possível determinar se o núcleo é essencial para a sobrevivência das células? Explique.

### Atividade 2

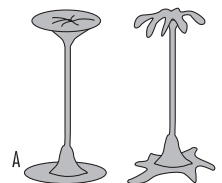
Ainda com base na tabela, é possível identificar uma característica dos seres vivos, e portanto das células, para a qual o núcleo é essencial? Explique.

## DESVENDANDO AS FUNÇÕES DO NÚCLEO

Uma vez que ficou determinado que o núcleo era essencial para a sobrevivência da célula e para sua reprodução, diversos pesquisadores se dedicaram a estudar como ele exercia suas funções.

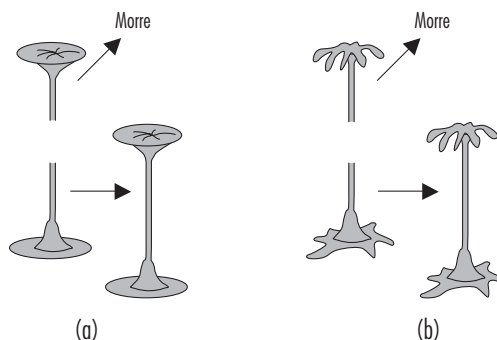
Entre os diversos estudos realizados no final do século XIX e meados do XX, aqueles desenvolvidos por Hammerling merecem especial atenção. Interessado em estudar o ciclo celular, (crescimento, desenvolvimento e reprodução) ele utilizou um tipo de alga verde chamada Acetabulária. Essa alga é um organismo unicelular com um formato característico. A única célula dessa alga tem cerca

de 10 cm de altura e apresenta uma base, sobre a qual se estende uma haste com um chapéu no topo. Na base das células está, sempre, localizado o núcleo. Hammerling trabalhou com duas variedades de Acetabulária, uma que apresenta um chapéu liso (*A. mediterranea*) e a outra que apresenta um chapéu todo recortado (*A. crenulata*),



**Figura 19.1:** As duas espécies de Acetabulária utilizadas por Hammerling: *mediterranea* (a) e *crenulata* (b)

Já era conhecida na época de Hammerling, a capacidade de alguns seres vivos de regenerar partes perdidas do seu corpo. Sabia-se, também, que a reprodução das células e as características hereditárias eram devidas a alguma substância presente na célula, o material genético. Hammerling iniciou seu trabalho tentando descobrir se esse material genético encontrava-se disperso em toda a célula ou concentrado em alguma região. Ele imaginou um jeito simples de descobrir isso, cortando a Acetabulária em duas partes e observando o que acontecia com cada pedaço. O resultado obtido está mostrado na figura 19.2.



**Figura 19.2:** As primeiras experiências de Hammerling — Dividindo uma Acetabulária em duas.

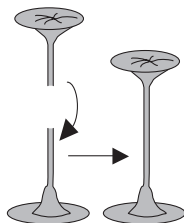
### Atividade 3

Os resultados de Hammerling estão de acordo com aqueles obtidos nas experiências com amebas? Explique.

### Atividade 4

Com base nesse resultado o que podemos afirmar sobre a distribuição do material genético da Acetabulária no interior da célula?

Para confirmar suas conclusões, Hammerling experimentou cortar o chapéu de uma alga e, em seguida, recolocá-lo no lugar. Hammerling observou que o chapéu não murchava. Resultados semelhantes eram obtidos se o chapéu de uma alga era cortado e enxertado no talo de uma outra alga, cujo chapéu também havia sido removido figura 19.3.



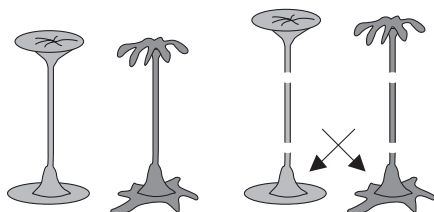
**Figura 19.3:** Reimplantado na haste, o chapéu não murcha.

Hammerling partiu, então, para a realização dos “transplantes”, trocando as metades de cima das algas e observando cuidadosamente seus “pacientes”. Hammerling observou que, após a troca, os chapéus enxertados mantiveram sua aparência inicial, porém, depois de algum tempo, a aparência do chapéu transplantado foi se modificando lentamente até tomar uma forma intermediária, com alguns recortes como no chapéu de *A. crenulata* e partes lisas com no chapéu de *A. mediterranea* e finalmente adquirir a forma equivalente à da base para a qual foi transplantado.

### Atividade 5

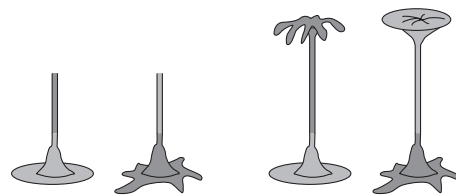
Os resultados dos primeiros transplantes confirmavam a distribuição do material genético observado nas experiências anteriores? Explique.

Com base nos resultados obtidos até então, Hammerling realizou transplantes ainda mais complexos. Ele cortava cada *Acetabulária* em três pedaços (figuras 19.4.1 e 19.4.2): base, talo sem chapéu e chapéu. Hammerling descartou os chapéus e transplantou somente os talos de uma espécie de alga para outra (figura 19.4.3). Essas, portanto, eram algas “mistas”: base de uma espécie e talo de outra. Em seguida, aguardou o crescimento do novo chapéu. Os resultados desse tipo de experiência estão mostrados na figura 19.4.4



**Figura 19.4.1**

**Figura 19.4.2**



**Figura 19.4.3**

**Figura 19.4.4**

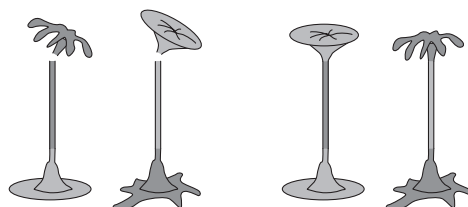
### Atividade 6

Os resultados das experiências com transplantes somente de talos estão de acordo com as conclusões das experiências anteriores a respeito da localização material genético? Explique.

### Atividade 7

Se os chapéus mostrados na figura 19.4.4 fossem cortados, de que tipos deveriam ser novos chapéus produzidos pela alga de base clara (*mediterranea*) e pela de base escura (*crenulata*)? Explique.

Quando Hammerling fez o que acabamos de lhe perguntar, ou seja, cortou os chapéus formados a partir das plantas com talos transplantados, observou que os novos chapéus formados eram do mesmo tipo da base da alga, independentemente do tipo de talo existente (figura 19.5).



**Figura 19.5:** Quando o chapéu formado depois do transplante era cortado, o novo chapéu formado era equivalente à espécie do pé (base).

### Atividade 8

Os resultados relativos ao segundo tipo de chapéus formados pelas algas estão de acordo com sua previsão? Eles corroboram suas conclusões anteriores a respeito da localização material genético? Explique.

### Atividade 9

Reveja com atenção as experiências de Hammerling com *Acetabulária* e proponha uma explicação geral para o conjunto dos resultados, utilizando os conhecimentos atuais sobre o material genético. Procure incluir na sua explicação informações

relativas à localização do material genético e às possíveis relações entre esse material genético e os diferentes tipos de regeneração do chapéu observados nas experiências.

## EXERCÍCIOS

**1)** Um biólogo realizou experimentos com dois tipos de seres unicelulares “aparentados”, M e N, que se diferenciam apenas porque M apresenta um flagelo reto e N o apresenta em forma de zigue-zague. Em todos os experimentos o pesquisador retirava o núcleo das células M. No primeiro experimento ele deixava a célula sem núcleo (Exp.1); no segundo colocava outro núcleo M nas células M sem núcleo (Exp. 2) e nos terceiro e quarto experimentos colocava um núcleo de N nas células M sem núcleo (Exp. 3 e 4). Nos experimentos 1, 2 e 3 o pesquisador cortava o flagelo das células imediatamente após remover ou transplantar o núcleo e no experimento 4 ele aguardava 30 minutos antes de cortar o flagelo. Em seguida aguardava até que os flagelos fossem regenerados. A coluna 4 da tabela abaixo mostra a aparência dos flagelos regenerados. Após a regeneração do flagelo, o pesquisador cortava novamente os flagelos das células e aguardava mais uma regeneração. Os resultados da segunda regeneração são mostrados na coluna 5.

Exp	Espécie	Núcleo Novo	1o Flagelo Formado	2o Flagelo Formado
1	M	sem núcleo	Reto	Nenhum
2	M	M	Reto	Reto
3	M	N	Misto	Zigue-Zague
4	M	N	Zigue-Zague	Zigue-Zague

Com base em seus conhecimentos sobre a célula, explique cada um dos resultados obtidos.

**2)** Em uma experiência de reprodução com uma espécie de mamífero adotou-se o seguinte procedimento: fundiu-se uma célula do indivíduo 1 com um óvulo, previamente anucleado, do indivíduo 2. A célula assim formada foi implantada no útero do indivíduo 3, desenvolveu-se e deu origem a um novo ser. Esse novo ser é geneticamente idêntico ao indivíduo 1, ao 2 ou ao 3? Justifique sua resposta.



20

**APROFUNDAMENTO III:  
O ATP: A IMPORTÂNCIA DA  
ENERGIA PARA AS CÉLULAS**

*:: Objetivo ::*

- *Compreender a importância do ATP para a sobrevivência das células e organismos, relacionando-o à síntese de proteínas.*

Até aqui, o único processo que estudamos e que depende do ATP é o transporte ativo. Isso pode levar você a pensar que o ATP necessário à nossa vida não é muito. Para que mais serve o ATP? Nosso organismo contém muito ou pouco ATP?

Para ajudar você a entender a importância do ATP, vamos agora relacioná-lo a outro processo que você conhece bem: a síntese de proteínas.

## O ATP E HEMOGLOBINA: UMA DUPLA MUITO CONSUMIDA PELAS HEMÁCIAS

Ao longo de nosso estudo sobre a membrana plasmática, tomamos conhecimento da existência do ATP (trifosfato de adenosina) e de sua importância para a ocorrência do transporte ativo. No transporte ativo que estudamos, os íons são transportados de um meio para o outro independentemente de sua concentração. Este transporte forçado (por oposição à difusão, que ocorre espontaneamente) depende do consumo de ATP. A síntese de ATP, por sua vez, requer energia. De certo modo, portanto, podemos dizer que o transporte ativo depende indiretamente de energia (energia da formação do ATP) para ocorrer.

O ATP é uma molécula extremamente importante para as células, pois não é necessário apenas para o transporte ativo. Na verdade, praticamente todas as reações que consomem ou produzem energia nas células, consomem ou produzem ATP. Ao longo do curso passamos por vários processos que exigem gasto de ATP. Vejamos alguns exemplos. Quando estudamos a estrutura do ADN vimos que os nucleotídeos de uma mesma fita (cadeia) estão ligados entre si através de grupamentos fosfatos. Da mesma forma, quando o ARN mensageiro é produzido, seus nucleotídeos também são ligados graças a fosfatos. Se analisarmos estes processos de uma maneira simplificada, podemos admitir que cada fosfato desses foi gerado graças ao consumo de uma molécula de ATP. Na verdade existem algumas moléculas semelhantes ao ATP (GTP, TTP etc.), mas para simplificar utilizaremos somente o ATP como exemplo, já que a energia contida em todas elas é semelhante. A célula, portanto, depende de ATP para muitas coisas.

Mas, e quanto à quantidade de ATP que uma célula necessita, seria muita ou pouca? Qual seria a ordem de grandeza desta quantidade? Para ilustrar esta questão podemos recorrer a algumas contas simples (que você, é claro, terá de fazer). Vamos tentar calcular a quantidade de ATP necessária para produzir uma proteína. Usaremos como exemplo a hemoglobina (que transporta oxigênio). A hemoglobina humana tem uma estrutura complexa, sendo composta por 574 aminoácidos. Vamos às contas, então.

### Atividade 1

Quantos códons deve ter o ARN mensageiro da hemoglobina?

### Atividade 2

Com base na resposta anterior, determine quantos nucleotídeos tem o ARNm da hemoglobina.

### Atividade 3

Sabendo que os nucleotídeos são ligados entre si por fosfatos, e que cada fosfato consumiu um ATP (ou molécula semelhante) quantos ATPs são gastos para sintetizar um ARNm da hemoglobina?

Se você fez as contas corretamente, deve ter chegado ao impressionante valor de \_\_\_\_\_ ATPs. Já é bastante, mas não é tudo, pois este valor corresponde somente ao processo de transcrição. Se retomarmos a tradução do ARNm mensageiro, veremos que o gasto é ainda maior. Para ligar um aminoácido (aa) ao seu ARN transportador (ARNt) gasta-se um ATP. Para colocar cada ARNt+aa dentro do ribossomo, gasta-se também um ATP. E, para concluir, a cada vez que o ribossomo se desloca um códon, durante a tradução, gasta-se outro ATP. Lembrando mais uma vez que a hemoglobina tem 574 aminoácidos e relendo suas respostas para as perguntas anteriores, calcule:

### Atividade 4

Quantos ATPs são gastos para ligar os aminoácidos usados na síntese da hemoglobina aos seus ARNt?

### Atividade 5

Quantos ATP são gastos para colocar os ARNt+aa dentro do ribossomo que está sintetizando a hemoglobina?

### Atividade 6

Quantos ATPs são necessários para fazer o ribossomo “andar” ao longo de toda a síntese da hemoglobina?

Somados os gastos da tradução (\_\_\_\_\_ ATP) com os da transcrição (\_\_\_\_\_ ATP), chegamos ao gasto mínimo total de \_\_\_\_\_ ATPs para sintetizar uma única e mísera molécula de hemoglobina.

### Atividade 7

Calcule agora quantos ATPs são gastos para cada aminoácido incluído na molécula de hemoglobina.

Quando escrevemos gasto mínimo, o fazemos porque várias outras etapas que consomem ATP (como a separação das duas cadeias do ADN para liberar o gene para transcrição, por exemplo) foram omitidas.

Se você achou este valor impressionante, podemos discutir um pouco o ADN. Também os nucleotídeos de cada cadeia de ADN gastaram ATP (ou similares) para serem unidos na formação das ligações entre os grupamentos fosfatos. Cada

ligação consumiu um ATP. Sabendo agora que o genoma humano, ou seja, o ADN presente nos 46 cromossomos presentes em cada célula possui aproximadamente 3 200 000 000 de pares de nucleotídeos, calcule:

### Atividade 8

Quanto ATPs (ou similares) uma célula gasta só para duplicar o seu ADN antes de uma mitose?

No entanto, para duplicar seu ADN a célula precisa, no mínimo, de uma molécula de ADN polimerase, composta, aliás, de 680 aminoácidos.

### Atividade 9

Quanto ATPs aproximadamente são gastos para produzir uma única molécula de ADN polimerase (ADNpol)?

Impressionante? Talvez as contas fiquem ainda mais impressionantes se você souber que cada ADNpol lê (ou sintetiza) aproximadamente uma cadeia com 600 nucleotídeos por minuto. Você será poupado das contas, mas isto significa que uma célula, dispondo de apenas uma ADNpol levaria 5 333 333 minutos, ou 88 889 horas, ou 3704 dias ou, finalmente, 10 anos para duplicar todo o seu ADN.

Você, que tem crescido bastante (às vezes menos, às vezes mais do que queria, mas, enfim, bastante) nos últimos anos sabe que a duplicação de uma célula é bem mais rápida do que isto. Uma célula epitelial, por exemplo, se duplica em oito míseras horas. Para fazer isto, em uma conta extremamente grosseira, ela precisaria ter pelo menos 11 111 moléculas de ADNpol (poupamos você das contas mais uma vez). Para encerrar:

### Atividade 10

Calcule quantos ATP seriam necessários, em teoria, para produzir todas as ADNpol necessárias para que uma célula epitelial pudesse se duplicar em 8 horas (como realmente se duplica).

Impressionante, não?

## EXERCÍCIO

1) A tabela abaixo mostra a quantidade de energia (em Kcal) consumida em meia hora de exercício de diversas atividades realizadas por uma mulher adulta e saudável, de aproximadamente 55 Kg e 1,60 m de altura. Complete coluna 3 da tabela calculando a quantidade de ATP (em mol) consumida em cada uma das atividades listadas, considerando que a hidrólise de 1 mol de ATP forneça 12 Kcal. Em seguida complete a coluna 4 calculando a massa de ATP consumida em 30 minutos na realização de cada atividade sabendo que 1 mol de ATP tem cerca de 500g.

Atividade realizada por 30 min	Calorias Gastas (Kcal)	Quantidade de ATP consumida (mol)	Massa de ATP consumida (1 mol = 500g)
Dormir	53		
Step muito vigoroso	588		
Aeróbico na água	235		
Limpeza vigorosa	176		
Yoga	147		
Andar com cachorro	176		

Gasto energético em diferentes atividades.







21

**APROFUNDAMENTO IV:**  
**A UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES NUTRIENTES**  
**PARA A PRODUÇÃO DE ATP**

**[** :: *Objetivo* :: **]**

- *Compreender as vias de produção de ATP pelas células.*

- *Exercitar a resolução de questões complexas utilizando os passos propostos no módulo 1.*

Neste capítulo aplicaremos os conceitos a respeito do metabolismo energético na solução de problemas.

### Atividade 1

Observando vários tipos de células os pesquisadores descobriram que elas podem diferir entre si quanto ao aproveitamento dos nutrientes. Um pesquisador interessado em saber como as hemácias produzem ATP manteve essas células em diferentes tubos (A a E) contendo soluções com concentrações conhecidas de diferentes nutrientes (veja a Tabela a seguir). Em todos os casos, as soluções continham também as vitaminas e sais minerais essenciais à sobrevivência. Após 10 minutos, ele retirou amostras de cada um dos tubos e mediu novamente as concentrações dos nutrientes. Os resultados obtidos se encontram na tabela abaixo.

Tubos	Soluções	Concentração	
		inicial	final
A	Glicose	6	4
B	Piruvato	5	5
C	Lípídeos	3	3
D	Acetil-CoA	3	3
E	Aminoácido	4	4

a. Em qual dos tubos o nutriente adicionado está sendo consumido? Qual deve estar sendo o uso dado a esse nutriente?

b. Em que via metabólica esse nutriente deve estar sendo utilizado? Que substância deveria ser encontrada no tubo, para que sua resposta acima fosse comprovada? Justifique.

c. O que deve faltar na hemácia que a leva a utilizar a via metabólica identificada por você no item “c”.

### Atividade 2

Muitos experimentos foram realizados para elucidar a maneira como as células utilizam os diferentes nutrientes para a produção de ATP. A seguir são descritas algumas situações que você deve analisar. Um cientista interessado em saber como as células produzem ATP, manteve essas células em quatro tubos diferentes (1 a 4) contendo soluções com um único tipo de nutriente energético em cada um. Em todos os casos, as soluções continham também as vitaminas e sais minerais essenciais à sobrevivência. Após 10 minutos, retirou amostras das soluções e mediu as concentrações do nutriente, de gás carbônico e oxigênio. Os resultados se encontram nas tabelas abaixo.

Tubo 1: Células alimentadas com Glicose		
Moléculas	Concentração Inicial	Concentração Final
Glicose	6	5
CO <sub>2</sub>	2	8
Oxigênio	8	2

Tubo 2: Células alimentadas com Glicose		
Moléculas	Concentração Inicial	Concentração Final
Glicose	6	5
CO <sub>2</sub>	2	4
Oxigênio	0	0

Tubo 3: Células alimentadas com Lipídeos		
Moléculas	Concentração Inicial	Concentração Final
Ácido Graxo	6	4
CO <sub>2</sub>	2	10
Oxigênio	8	2

Tubo 4: Células alimentadas com Aminoácidos		
Molécula	Concentração Inicial	Concentração Final
Aminoácidos	6	4
CO <sub>2</sub>	2	8
Oxigênio	8	2

a. Com base nos resultados, proponha quais devem ser as vias utilizadas pelas células para quebrar as moléculas de glicose, lipídeos e aminoácidos gerando ATP em cada um dos tubos.

b. Por que o organismo não utiliza somente os lipídeos na produção de ATPs?

Neste capítulo você deve ter sido capaz de, por meio da solução de duas questões amplas e complexas, descobrir as principais características das vias metabólicas usadas pelas células para produzir ATP a partir de moléculas que não a glicose (ou outros açúcares que, no fim das contas, são quase sempre transformados em glicose pelas células).







22

## **APROFUNDAMENTO V: O JEJUM PROLONGADO**

**:: Objetivo ::**

- *Avaliar a compreensão da integração do metabolismo por meio da análise de uma situação fisiológica complexa.*

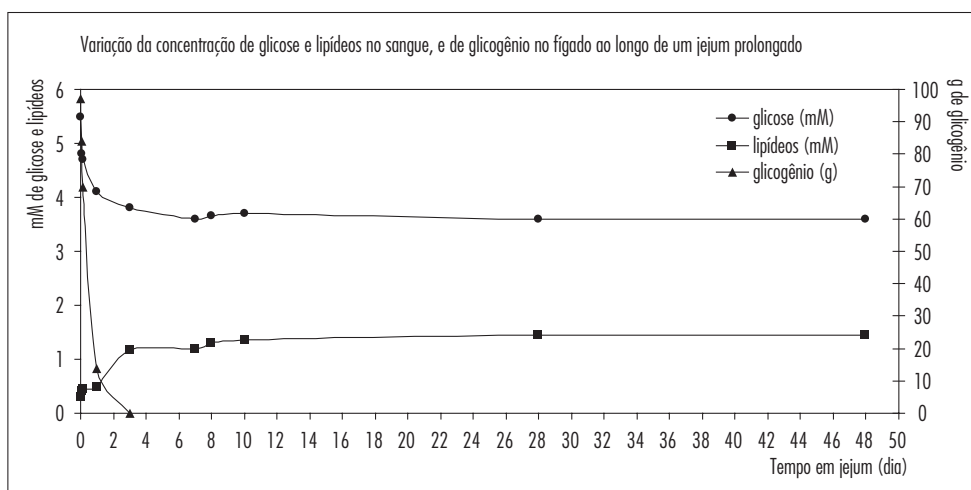
## INTRODUÇÃO

Ao longo dos nossos estudos sobre o metabolismo, analisamos como o organismo se comporta em situações específicas, como o metabolismo das hemácias. O estudo do metabolismo nestas situações, embora leve a conhecimentos específicos para cada uma delas, também é importante para que se possa compreender o funcionamento do organismo em condições normais. O estudo do jejum prolongado, aquele que dura vários dias, traz inúmeras contribuições para entendermos como o nosso corpo funciona. Ao longo desta atividade, tenha em mente as seguintes questões: durante o período em que a pessoa não está ingerindo nenhum tipo de alimento, como será que o metabolismo está funcionando? Por que a pessoa emagrece? A produção de energia (ATP) se modifica? O que está sendo usado pelas células para a produção de energia? A glicemia se modifica? Procure responder a essas perguntas antes de prosseguir.

Um dos primeiros procedimentos usados para se investigar este problema foi analisar, ao longo do tempo, amostras de sangue de pessoas que estavam em

jejum, para medir a concentração de alguns nutrientes importantes na geração de energia. Embora pareça estranho nos dias de hoje, o jejum prolongado chegou a ser utilizado como alternativa de tratamento experimental para pessoas extremamente obesas. Os pacientes submetidos a este “jejum terapêutico” evidentemente permaneciam sob supervisão médica. Experiências semelhantes foram realizadas também com animais de laboratório. Ao longo do jejum, podia-se medir também a quantidade de glicogênio no fígado e as concentrações sanguíneas de glicose e lipídeos. O glicogênio, caso você não se lembre, que é um polímero (uma cadeia) de moléculas de glicose, armazenado principalmente no fígado. Também existe glicogênio nos músculos, mas a glicose produzida a partir dele não é liberada no sangue, serve apenas para o consumo pelas próprias células musculares.

O gráfico abaixo mostra os resultados combinados de algumas experiências como a descrita acima. Analise-o com atenção, em seguida responda às questões que se seguem.



a. Descreva as variações encontradas ao longo do tempo para as concentrações de:

Lipídeos:

Glicogênio:

Glicose:

b. Proponha explicações para a variação na concentração de lipídeos observada do dia 0 até o dia 3 de jejum.

c. Proponha explicações para a variação na concentração de lipídeos observada do dia 3 em diante.

d. Qual deve ser a origem destes lipídeos?

e. Para que estariam sendo utilizados?

f. Proponha explicações para a variação na concentração de glicose observada do dia 3 em diante, levando em consideração os dados relativos ao glicogênio.









23

**APROFUNDAMENTO VI:  
A ORIGEM DA GLICOSE  
PRODUZIDA PELO ORGANISMO**

**:: Objetivo ::**

- *Determinar, a partir da análise de uma experiência simples, a origem da glicose produzida pelo organismo.*

## INTRODUÇÃO

Como vimos no capítulo 22, o nível de glicose no sangue se mantém constante ao longo de mais de 45 dias, mesmo durante o jejum. Isso não pode ser explicado pela interrupção do uso de glicose como fonte de energia. Embora muitas células possam usar lipídeos e aminoácidos como fontes de ATP, esse não é o caso dos neurônios, por exemplo. As células do sistema nervoso central são separadas do resto da circulação sanguínea por uma espécie de filtro, a barreira hematoencefálica, que restringe a passagem de diversas moléculas para a circulação cerebral. Os lipídeos, por exemplo, são incapazes de atravessar essa barreira. E a quantidade de aminoácidos disponível é insuficiente para suprir a demanda de síntese de proteínas pelo tecido nervoso e fornecer ATP ao mesmo tempo. Por isso os neurônios são dependentes de glicose praticamente o tempo todo.

Além disso, como vimos no capítulo 21, também as hemácias são completamente dependentes de glicose para produzir ATP. Isso porque não possuem mitocôndrias.

### Atividade 1

Quais devem ser as vias de produção de ATP usadas pelas hemácias?

### Atividade 2

Quais seriam os produtos lançados pela hemácia na corrente sanguínea, como restos da via metabólica mencionada por você na questão anterior?

Para compreender como a glicose se mantém constante, vamos discutir uma experiência realizada por um casal de pesquisadores no passado.

## O CASAL CORI

Uma vez descoberto que a glicose era produzida pelo próprio organismo, novas experiências foram feitas para elucidar a via que estava envolvida nesse processo. O fígado foi identificado como o órgão responsável pela produção de glicose, e esta via metabólica foi denominada gliconeogênese (*glico* - açúcar, *neo* - novo, *gênese* - criação; “criação de nova glicose”). O casal de cientistas, chamado Gerty e Carl Cori, realizou experiências que acabaram representando um passo fundamental na compreensão da gliconeogênese.

O casal Cori fez um homogeneizado de fígado, colocou-o em um tubo de ensaio e adicionou lactato marcado radiativamente. Após um determinado tempo, eles mediram o “aparecimento” de glicose marcada radiativamente e verificaram que havia sido produzida glicose radioativa no tubo.

### Atividade 3

O que esta experiência mostrou sobre o processo de gliconeogênese? Explique sua resposta.

### Atividade 4

Discuta as possíveis relações entre sua resposta anterior e o metabolismo das hemácias discutido previamente.

### Atividade 5

Mantendo-se os métodos do casal Cori, seria possível utilizar outros compostos além do lactato para observar se há glicose formada. Assim, iriam-se obter resultados semelhantes aos descritos na tabela abaixo. Que conclusões você poderia tirar sobre a gliconeogênese a partir do conjunto dos resultados?

Nome da molécula	Tipo da molécula	Formou glicose radioativa?
Alanina	Aminoácido	Sim
Aspartato	Aminoácido	Sim
Leucina	Aminoácido	Não
Glutamato	Aminoácido	Sim
Glicina	Aminoácido	Sim
Lipídeo	Lipídeo	Não
Colesterol	Lipídeo	Não

Tabela 25.1

### Atividade 6

Discuta as possíveis origens e locais de consumo da glicose logo após as refeições e nos intervalos entre elas.



24

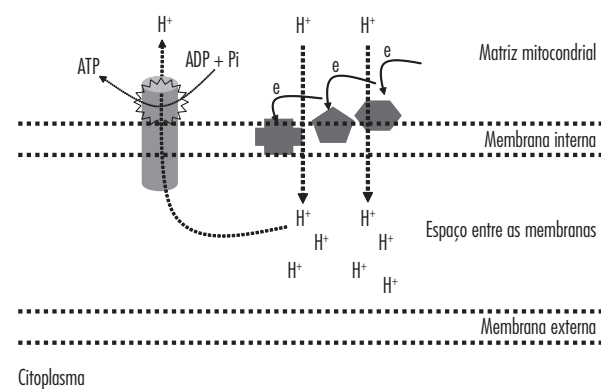
**APROFUNDAMENTO VII:**  
**□ MECANISMO DE PRODUÇÃO DE ATP NAS**  
**MITOCÔNDRIAS E CLOROPLASTOS**

**[** :: *Objetivo* :: **]**

- *Comparar o mecanismo de produção de ATP nas mitocôndrias e nos cloroplastos.*

Nos capítulos sobre respiração aeróbica não mencionamos o mecanismo de síntese de ATP nas mitocôndrias. Optamos por apresentar primeiro o processo nos cloroplastos, no qual acreditamos que ele pode ser mais facilmente entendido. De modo geral os processos são semelhantes, com diferenças importantes.

Nas mitocôndrias os elétrons são obtidos a partir das diferentes vias de oxidação de nutrientes energéticos (carboidratos, lipídeos e aminoácidos). Esses elétrons são transportados desde o citoplasma (caso da glicólise, por exemplo) ou se originam de moléculas oxidadas dentro da própria mitocôndria. O  $\text{NADH}_2$  e o  $\text{FADH}_2$  levam estes elétrons até as membranas internas das mitocôndrias, onde são passados para transportadores. Esse processo também leva ao acúmulo de prótons no espaço entre as duas membranas (cada uma delas formada por uma bicamada lipídica com proteínas inseridas). O fluxo de prótons para a matriz mitocondrial é utilizado na produção de ATP. Para detalhes, veja a figura 24.1



**Figura 24.1:** Resumo da produção de ATP nas mitocôndrias (o  $\text{NADH}_2$  e o  $\text{FADH}_2$  foram omitidos para facilitar a visualização dos outros detalhes).

Resumimos, a seguir, as principais semelhanças e diferenças da síntese de ATP em cloroplastos e mitocôndrias.

	Mitocôndrias	Cloroplastos
Origem dos elétrons	Carboidratos (glicólise e Ciclo de Krebs), Lipídeos (oxidação de ácidos graxos) e aminoácidos.	$\text{H}_2\text{O}$
“Caminhões”	$\text{NADH}_2$ e $\text{FADH}_2$	$\text{NADPH}_2$
Localização das cadeias transportadoras de elétrons	Cristas mitocondriais (membrana mitocondrial interna)	Membranas dos tilacoides
Translocação de prótons?	Sim	Sim

**Tabela 24.1:** Comparação da síntese de ATP em mitocôndrias e cloroplastos.



25

**APROFUNDAMENTO VIII:  
MEMBRANA PLASMÁTICA:  
OS EXPERIMENTOS DE GORTER E GREDEL**

**[** :: *Objetivo* :: **]**

- *Compreender as propriedades de permeabilidade da membrana plasmática relacionando-a à sua composição química.*

## CONSTRUINDO MODELOS SOBRE COISAS INVISÍVEIS II

Os resultados obtidos com experiências semelhantes àsquelas que você discutiu no capítulo 15 serviram de base para uma outra bastante diferente, mas cujos resultados representaram um grande avanço na compreensão da estrutura da barreira que separava o interior da célula do exterior. Essa experiência foi feita na década de 1930 por dois pesquisadores, cujos sobrenomes eram Gorter e Grendel. Como dissemos anteriormente, eles partiram da ideia de que a suposta barreira deveria ser composta, ao menos em parte, de lipídios.

Em seus trabalhos, Gorter e Grendel usaram exclusivamente hemácias humanas, que são células sem núcleo.

### Atividade 1

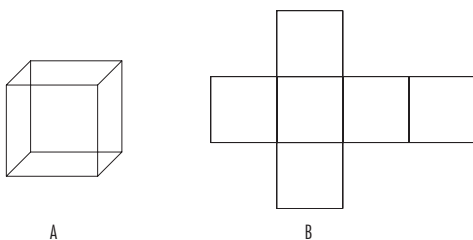
Por que Gorter e Grendel escolheram células sem núcleo para realizar suas medidas?

Centenas destas células foram pacientemente medidas ao microscópio. Com base nas medidas que fizeram, eles determinaram a medida aproximada da área (superfície) das hemácias. O trabalho deles foi muito facilitado pelo fato de as hemácias serem células anucleadas e com uma forma muito peculiar (figura 25.1).



**Figura 25.1:** Hemácia humana.

Por serem achatadas, as hemácias poderiam ser medidas com facilidade, como se fossem círculos (pratos, por exemplo). Depois eles acertaram os cálculos, levando em conta a “espessura das hemácias”. Com base nisto, calcularam a possível área que deveria ter a barreira que as envolvia. Se lhe pareceu estranho quando falamos de superfície de um objeto que tem volume, olhe com atenção a figura 25.2. A superfície que reveste o cubo mostrado na figura 25.3 A pode ser medida: isso fica mais compreensível se o cubo for “desmontado”, como mostrado na figura 25.3 B. De modo semelhante, a superfície de uma bola de futebol pode ser medida de modo aproximado se medirmos os “gomos” de couro que a compõem. O mesmo vale para uma laranja: se medirmos sua casca, saberemos sua superfície. Na verdade, as superfícies de figuras geométricas como círculos, por exemplo, podem ser calculadas medindo-se somente seu raio.

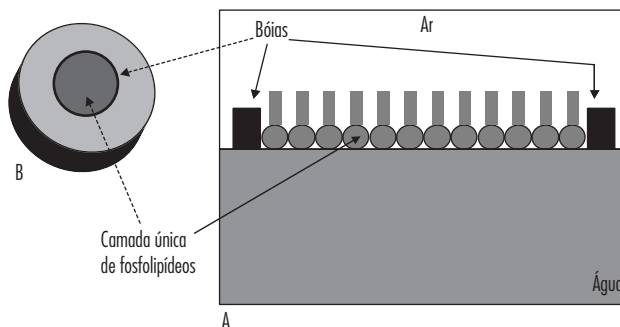


**Figura 25.2:** Um cubo (A) e o mesmo cubo “desmontado” (B) evidenciando sua superfície.

Enfim, Gorter e Grendel determinaram a área da superfície da barreira que revestia uma hemácia. Naturalmente eles mediram diversas hemácias e calcularam um valor médio. Sabendo a superfície de uma hemácia, fica fácil determinar a área de qualquer quantidade de células — basta multiplicar os dois valores. Isto foi fundamental, porque na época não era possível fazer experiências com uma única célula, já que elas são muito pequenas. Eles estimaram, então, a área necessária para revestir, por exemplo, um milhão de hemácias.

Tendo medido as hemácias, Gorter e Grendel separaram uma quantidade conhecida delas (digamos, um milhão) e as trataram com solventes apolares fortes que supostamente arrancavam todos os seus lipídeos. Sendo as hemácias células anucleadas e bastante simples, sabia-se que não continham quantidades significativas de lipídeos em seu interior. Vale lembrar que a maior parte dos lipídeos de uma hemácia é composta de fosfolipídeos. Em seguida os pesquisadores usaram um método bastante original para completar a experiência. Servindo-se do conhecimento de que os lipídeos flutuam em água, colocaram o total dos lipídeos arrancados das hemácias na superfície de um frasco contendo água destilada. Estes lipídeos formaram manchas na superfície da água, como o azeite forma “gotas” na água.

Em seguida Gorter e Grendel utilizaram mini boias (miniaturas semelhantes às que se usam hoje em dia para controlar o espalhamento de petróleo derramado no oceano) para empurrar todas as manchas até que se juntassem e formassem uma única mancha bem fina, composta de uma única camada de moléculas de fosfolipídeos (figura 25.3 A). Vista de cima, a camada única formaria uma única mancha compacta, com os limites bem definidos (figura 25.3 B).



**Figura 25.3:** A - Vista lateral de uma mancha de lipídeos na superfície da água. Note que a mancha é fina e composta de uma única camada de fosfolipídeos.

B - Mesma mancha vista de cima.

Essa mancha teoricamente era formada somente pelos lipídeos arrancados da suposta barreira que envolvia as hemácias. Em seguida a superfície (ou área) da mancha foi medida cuidadosamente. Esse tipo de experiência foi repetida dezenas de vezes. Os valores médios obtidos para as superfícies da hemácia e da mancha foram comparados e discutidos, levando à elaboração de um modelo a respeito da organização destes lipídeos na barreira.

### Atividade 2

Basicamente três tipos de resultados poderiam ter sido obtidos por Gorter e Grendel. Discuta os possíveis significados de cada um dos resultados abaixo, explicando que tipos de informação eles forneceriam a respeito da organização dos fosfolipídeos na barreira.

- a. A superfície da mancha dos lipídeos na água poderia ser igual à das hemácias.
- b. A superfície da mancha dos lipídeos na água poderia ser menor do que a das hemácias.
- c. A superfície da mancha dos lipídeos na água poderia ser maior do que a das hemácias.

### Atividade 3

A tabela abaixo mostra os resultados aproximados obtidos com hemácias de diversas espécies de animais. Os números de hemácias de cada espécie usados nas medidas foram diferentes. Como você interpreta estes resultados?

Espécie	Área das Hemácias	Área da Mancha
Cachorro	31,0	62,0
Ovelha	3,0	6,0
Cabra	0,35	0,70
Coelho	5,5	11,0
Homem	0,5	1,0

### Atividade 4

Sugira (e desenhe) um modelo de arrumação destes lipídeos na “barreira” que se ajuste aos dados descritos na questão anterior. Justifique.

## EXERCÍCIO

1) Ao repetir os experimentos de Gorter e Grendel, no qual se comparava a superfície de uma mancha de lipídeos com a das células, com hemácias de vários répteis, pesquisadores obtiveram os resultados listados na tabela abaixo.

Organismo	Superfície da célula	Superfície da Mancha
Lagartixa de parede	12	24
Cobra cega	11	19
Jacaré de Papo Amarelo	16	32
Crocodilo anão	13	19

Com base nesses resultados e sabendo que toda membrana biológica contém lipídeos e proteínas, determine, se possível:

a. Qual das hemácias tem mais proteínas na membrana? Justifique.

b. Qual(is) das hemácias deve(m) ter núcleo? Justifique.

