

CAPA REVISTA DE EDUCAÇÃO
BIOLOGIA
A SER ELABORADA PELA
SECRETARIA DE FORMAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A presente edição da Revista de Educação da APEOESP contém subsídios para os professores da rede pública estadual, associados do nosso sindicato, que se inscreverão nos próximos concursos públicos promovidos pela Secretaria de Estado da Educação e que participarão das provas instituídas pelo governo.

Organizada pela Secretaria de Formação, esta publicação contém as resenhas dos livros que compõem a bibliografia dos concursos, realizadas por profissionais altamente qualificados, de forma a contribuir para os professores possam obter o melhor desempenho nas provas.

Ao mesmo tempo, não podemos deixar de registrar nossa posição contrária às avaliações excludentes que vem sendo promovidas pela Secretaria Estadual da Educação que, além de tudo, desrespeita os professores ao divulgar extensa bibliografia a poucos dias da prova, inclusive contendo vários títulos esgotados.

Esperamos, no entanto, que todos os professores possam extrair desta edição da Revista de Educação o máximo proveito, obtendo alto rendimento nas provas dos concursos e avaliações.

Nossa luta é por mais concursos prossegue, com a periodicidade necessária a uma drástica redução no número de professores temporários, agregando mais qualidade ao ensino e profissionalizando, cada vez mais, o magistério estadual. A periodicidade dos concursos a cada quatro anos – com ritmo mais acelerado nos próximos dois anos – foi uma conquista nossa e vamos exigir que seja efetivada.

A diretoria

ÍNDICE DE BIOLOGIA

1. ALBERTS, B.; et al. **Fundamentos da biologia celular**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. cap. 1, 4, 6, 7, 8, 10 a 19.
2. BOUER, J. **Sexo & Cia: as dúvidas mais comuns (e as mais estranhas) que rolam na adolescência**. 2 ed. São Paulo: Publifolha, 2002.
3. CARVALHO F.H; PIMENTEL S. M. R. **A célula**. Barueri: Manole, 2007.
4. CARVALHO, Isabel C. M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2008. cap. 1, 3 e 5.
5. DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
6. GRIFFITHS, A.J. F. et al. **Introdução à Genética**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. cap. 1 a 17, 19.
7. HICKMAN JR., Cleveland P.; ROBERTS, L. S.; LARSON, Allan. **Princípios Integrados de Zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
8. KORMONDY, E. J.; BROWN, D. E. **Ecologia humana**. São Paulo: Atheneu, 2002.
9. KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.
10. MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. **Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
11. RAVEN, P. H.; EVERT R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. seções 4, 5, 6 e 7.
12. RIDLEY, M. **Evolução**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
13. SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal. Adaptação e meio ambiente**. 5. ed. São Paulo: Livraria Santos, 2002.
14. SENE, F. M. **Cada caso, um caso... puro acaso – Os Processos de evolução biológica dos seres vivos**. Ribeirão Preto: SBG, 2009.
15. TORTORA, G. J. **Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

1. ALBERTS, B.; et al. **Fundamentos da biologia celular**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. cap. 1, 4, 6, 7, 8, 10 a 19.

As células, unidades básicas de todos os seres vivos, são envolvidas por membranas e preenchidas por uma solução aquosa de agentes químicos (citosol); são dotadas de extraordinária capacidade de criar cópias de si mesmas pelo crescimento e posterior divisão.

A possessão de um núcleo por uma célula eucariótica durante o processo evolutivo significa possuir também uma variedade de outras organelas. O núcleo é normalmente a organela mais proeminente. Está incluso em duas membranas concêntricas que formam o envelope nuclear, e que contêm moléculas de DNA, polímeros extremamente longos que codificam a especialização genética do organismo. Essas moléculas gigantes tornam-se individualmente visíveis no microscópio óptico como cromossomos.

O citoplasma de células vegetais e animais contém uma variedade de organelas delimitadas por membranas com funções químicas especializadas. As *mitocôndrias* realizam a oxidação de moléculas, liberando energia. Os *cloroplastos*, em células vegetais, realizam a fotossíntese.

A maioria das organelas está envolvida com a necessidade de importar material bruto e exportar substâncias manufaturadas e resíduos.

Retículo endoplasmático: montagem, estocagem e exportação de moléculas.
Aparelho de Golgi: recebe, podendo modificar moléculas provenientes do retículo, armazenando-as e exportando-as para a própria célula ou para o exterior.

Lisossomos: digestão intracelular.

Peroxisomos: degradação do peróxido de hidrogênio (água oxigenada).
Filamento protéico, o *citoesqueleto* estende-se por todo o citosol, dando forma e movimento à célula.

Quase todas as células realizam processos básicos: duplicação do DNA, síntese proteicas, produção de energia etc.

Apesar de terem o mesmo material genético, cada tipo de célula usa, seletivamente, diferentes informações gênicas de acordo com as funções a que se destina.

Como as células obtêm energia a partir do alimento

Para liberar a energia de que as células necessitam para seu metabolismo, os alimentos energéticos passam por três etapas:

1. **Degradação das macromoléculas** (amido, lipídios e proteínas) em subunidades no tubo digestório;
2. **Degradação das subunidades**, como a glicose, em piruvato, no citosol da célula;
3. **Quebra final da molécula de piruvato** nas mitocôndrias. A quebra da glicose no citosol (glicólise) libera energia para a produção de 2 ATP e moléculas de H, que são captados por um transportador de elétrons, o NAD (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo).

O piruvato entra na mitocôndria, perde carbonos e é convertido na molécula de acetil-CoA. O acetil-CoA passa por uma longa série de reações químicas (ciclo do ácido cítrico ou de Krebs) que vão liberando moléculas de gás carbônico (descarboxilações), descartadas, e hidrogênios. Esses, pelo NAD formam NADH_2 , e por outro carregador, o FAD (Flavina Adenina Dinucleotídeo), formam FADH_2 . Os hidrogênios transportados pelos carregadores (NADH_2 e FADH_2) são levados até as membranas internas das mitocôndrias (cristas) onde vão gradualmente passando por moléculas aceptoras (cadeia respiratória). Nesse trajeto, ocorrem reações de oxi-redução, sendo liberada energia utilizada na conversão do $\text{ADP} + \text{P}$ em ATP. No final desse processo, moléculas de O_2 que entraram na mitocôndria reagem com os hidrogênios, formando moléculas de água. Esta é a respiração celular ou aeróbica: $\text{glicose} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$. Na ausência da glicose, ácidos graxos e aminoácidos são convertidos em acetil-CoA, e o processo respiratório prossegue.

Sendo essencial à vida, os seres vivos armazenam moléculas energéticas que serão utilizadas em situações de compensação de ausência de glicose: gorduras e glicogênio nos animais e amido nos vegetais.

A replicação (duplicação) do DNA

O potencial do DNA para a replicação e codificação de informações deve-se ao fato de ser formado por duas longas cadeias ou fitas de nucleotídeos que se ligam através de pontes de hidrogênio que unem as bases nitrogenadas Adenina com Timina e Citosina com Guanina.

Cada fita da molécula de DNA contém uma sequência de nucleotídeos exatamente complementar à sequência de nucleotídeos da outra fita. Cada lado do DNA atua como um molde para a síntese de uma fita complementar. Para ser duplicada, a dupla hélice, que tem ligação muito estável, deve ser aberta

(modelo de zíper). Proteínas iniciadoras ligam-se ao DNA, forçando a separação das fitas ao quebrar as pontes de hidrogênio. O local onde o DNA é aberto é chamado de origem de replicação. A enzima DNA-polimerase catalisa a ação de nucleotídeos soltos que vão se encaixando em ambos os lados da molécula de DNA. Uma enzima, a helicase, usando energia do ATP, corre ao longo do DNA abrindo a dupla hélice à medida que se move. Cada lado do DNA é usado como molde para a formação da fita complementar. Dessa forma, as fitas originais permanecem intactas ao longo de muitas gerações. A replicação é semiconservativa, porque cada hélice-fita é composta de uma fita conservada e uma recém-sintetizada.

Reparo do DNA: erros podem ocorrer durante a replicação, na união entre as bases A-T/C-G. Quando ocorre um engano (exemplo T-T), a DNA-polimerase retira o nucleotídeo que se encaixou no lugar errado e adiciona o nucleotídeo certo.

A estabilidade do gene depende do reparo do DNA. Se a mudança permanece, é chamada de **mutação**, pois modifica a estrutura do gene. Dessa forma, modifica a forma da proteína. Modificando a forma, altera a função da proteína codificada por esse gene.

Mutações são raras, porque o mecanismo de replicação e reparo do DNA são tão acurados, que mesmo onde nenhuma seleção opera, a mensagem genética é fielmente preservada por milhões de anos.

Do DNA à proteína

A expressão dos genes na célula passa pelos processos de transcrição (DNA ® RNA) e tradução (RNA ® proteínas).

A transcrição é a síntese de RNA, catalisada pela enzima RNA-polimerase, a partir de pequenos segmentos de DNA. Antes de sair do núcleo para ir ao citoplasma, o RNA é ativado com a retirada de trechos que não são codificados durante a síntese proteicas, chamados de **íntrons**. O RNA fica menor, mas ativo, porque os trechos ativos, os **éxons**, se unem, tornando o RNA funcional. Esse processo é conhecido como *splicing* de RNA mensageiro. A transcrição e a síntese de proteínas ocorrem no citoplasma, no nível dos ribossomos. O RNAm acopla-se a uma região do ribossomo expondo três códon. Três bases do RNAm correspondem a um *códon*. Cada **códon** indica o tipo e a posição dos aminoácidos na cadeia de proteína. Portanto, é o código que determina a relação códon-aminoácido. Com quatro bases nitrogenadas (U-A-C-G) combinadas, são possíveis 64 tipos de códon, e a maioria dos aminoácidos é reconhecida por mais de um códon.

RNA transportadores (RNAt) ligam-se a aminoácidos específicos. Cada RNAt possui três bases expostas, o anticódon. Durante a síntese proteicas, cada códon do RNAm unir-se-á ao anticódon do RNAt.

A síntese começa sempre com o códon AUG, que codifica o aminoácido metionina. **Proteínas** chamadas de **fatores de iniciação** comandam esse início. No ribossomo, dois códons acoplam-se a dois anticódons do RNAt através do pareamento complementar de bases (ex.: códon AUC, anticódon DAG). Aminoácidos trazidos pelo RNAt se ligam por desidratação formando um dipeptídeo. O ribossomo desliga paulatinamente expondo novo códon, quando o primeiro RNAt se desliga. Novo RNAt se encaixa no novo códon e ocorre outra ligação entre aminoácidos. Assim, a cadeia polipeptídica vai aumentando e termina a síntese quando um ribossomo chega a um códon de terminação em que não há aminoácido correspondente. Nesse local, encaixa-se uma proteína chamada **fator de liberação**, que desliga todos os participantes do processo, soltando a proteína.

CROMOSSOMOS E REGULAÇÃO CÊNICA

Quase todas as células de um organismo multicelular contêm o mesmo genoma. As diferenças entre um tipo de célula e outro (ex.: linfócito e neurônio) dependem dos tipos de genes que são expressos em cada uma delas. É a expressão gênica. Em cada caso, a célula está usando somente alguns genes de seu repertório total, que expressam diferentes RNA e proteínas.

Para que o DNA possa ser facilmente controlado dentro do núcleo, ele é compactado e dobrado. A intervalos regulares, a molécula de DNA se enrola sobre grânulos de uma proteína, a **histona**, formando estruturas globulares, os nucleossomos.

No período da interfase, o cromossomo apresenta-se na forma conhecida como **cromonema**, na qual um fio de DNA repleto de nucleossomos se enrola helicoidalmente, como um fio de telefone.

Em geral, regiões do cromossomo que são transcritas em RNA são mais estendidas, enquanto aquelas que são mais compactadas, chamadas de heterocromatina, são inativas.

Para um gene começar a se expressar (ou não), dependerá de uma série de fatores como: tipo celular, sua circunvizinhança, idade e sinais exteriores. É a expressão de um gene dependente de um conjunto de proteínas reguladoras de genes que afeta o processo de montagem, facilitando ou diminuindo a velocidade das reações. Essas proteínas reguladoras ligam-se a pequenas sequências de nucleotídeos (as sequências regulatórias de DNA), aliviando ou

reprimindo a transcrição do gene. Uma única proteína regulatória, em células germinativas, pode disparar a formação de uma única célula especializada ou mesmo de um órgão inteiro. A maioria das proteínas reguladoras dos genes trabalha como parte de um "comitê" de proteínas regulatórias, todas necessárias para o gene se expressar na forma correta, em resposta a condições corretas, no momento certo e em um nível requerido.

Embora alguns mecanismos de controle se apliquem a células bacterianas e eucarióticas, estas últimas, por meio de estrutura cromossômica mais complexa, têm formas de controlar a expressão gênica não disponível para bactérias.

A tecnologia do DNA

A tecnologia do DNA recombinante (ou Engenharia Genética) reúne as técnicas que permitem a manipulação do material genético, revelando os mecanismos pelos quais a expressão gênica é regulada.

Para ser estudado, um gene deve ser isolado e purificado. Enzimas bacterianas conhecidas como nucleases de restrição (ou endonucleases) são utilizadas para cortar o DNA em pedaços pequenos. Essas enzimas identificam determinadas sequências de nucleotídeos de DNA e os cortam. Os fragmentos de DNA obtidos podem ser reunidos por outro tipo de enzima, a **ligase**. Com ela, pode-se reunir fragmentos de espécies diferentes, formando um DNA recombinante. **Clonagem molecular**: os segmentos de DNA obtidos pelas endonucleases são separados por eletroforese em gel, quando migram em um campo elétrico. Fragmentos maiores migram mais lentamente que os menores, formando uma escada de bandas discretas, como nos códigos de barras. Assim eles são separados e isolados. Fragmentos são inseridos dentro de bactérias como a *Escherichia coli*. Eles se fundem aos plasmídeos (pedaços de DNA soltos) bacterianos que, ao se multiplicarem, duplicam também o fragmento de DNA enxertado. A reutilização desses plasmídeos em outras bactérias produz milhares de cópias do segmento de DNA usado. Genes humanos também são clonados por essa técnica, como o gene para o fator VIII, a proteína da coagulação, cujos defeitos causam a hemofilia.

Reação em cadeia da polimerase (PCR) - nesse processo, realizado *in vitro*, usa-se a enzima DNA-polimerase, que permite a fragmentação rápida de várias cópias de um segmento de DNA extraído de células. *Transcrição in vitro* - isolada a enzima transcriptase reversa, que forma uma molécula de DNA-molde a partir de uma fita de RNA (como ocorre em retrovírus, como o HIV), é possível sintetizar em laboratório um DNA complementar (DNAC). Ele é usado como uma sonda para localizar um gene no cromossomo. A Engenharia

Genética é usada para detectar doenças, na ciência forense, estudar proteínas raras ou difíceis de serem isoladas.

ESTRUTURA DA MEMBRANA

A membrana plasmática é um filme gorduroso tão fino e transparente que não é visível no microscópio óptico. Serve de barreira para conter o conteúdo celular e permite a passagem de substâncias entre a célula e o meio circundante. Cresce com a célula, aumentando sua área sem perda de continuidade. Pode ser furada ou deformar-se sem se romper.

As membranas internas que envolvem compartimentos intracelulares são iguais, na composição e propriedades, à membrana plasmática. As membranas celulares consistem numa dupla camada contínua de lipídeos, na qual as proteínas estão embebidas. As células ajustam a fluidez de suas membranas pelas modificações da composição lipídica dessas membranas. As moléculas de lipídeos da membrana têm tanto regiões hidrofóbicas ("detestam água") quanto hidrofílicas ("gostam de água"). Elas se arranjam espontaneamente em bicamadas quando colocadas em água. Ainda que a bicamada de lipídeos forneça a estrutura básica da membrana, a maior parte das funções é realizada por proteínas da membrana, como o transporte de nutrientes, metabólitos ou íons.

Algumas funcionam como receptores que detectam sinais químicos no meio ambiente da célula e os transmitem ao interior da célula; outras agem como enzimas específicas. A maioria das membranas é reforçada e suportada por uma malha de proteínas fibrosas chamada de córtex celular. Algumas células, como os eritrócitos, necessitam desse córtex para fornecer resistência mecânica enquanto são bombardeadas através dos vasos sanguíneos; outras células necessitam de seu córtex para capacitá-las a mudarem ativamente de forma e a se moverem.

Uma estrutura que recobre a membrana é o glicocálix, formado por carboidratos que ajudam na proteção e lubrificação da célula, no reconhecimento do óvulo por um espermatozoide, no reconhecimento de bactérias pelos neutrófilos (tipo de leucócito) etc.

A célula tem meios de confinar proteínas a domínios específicos da membrana e de imobilizar alguns tipos de proteínas, ligando-as a macromoleculares intracelulares ou extracelulares.

Transportes de membrana

As células vivem e crescem pela troca de moléculas com o meio, de modo que várias moléculas hidrossolúveis devem ser capazes de cruzar a membrana plasmática.

Nutrientes devem ser importados; produtos residuais devem ser expelidos, e as concentrações de íons como H^+ , Na^+ , K^+ e Ca^{++} precisam ser ajustadas. Solutos como CO_2 e O_2 , moléculas lipossolúveis e pequenas moléculas sem carga podem se difundir simplesmente pela membrana, mas a grande maioria não pode fazê-lo. Dependem de proteínas especiais.

A membrana da célula contém uma variedade dessas proteínas transportadoras, cada uma sendo responsável pela transferência de um tipo particular de soluto. Há duas classes delas: proteínas carreadoras e proteínas-canal. As proteínas carreadoras ligam-se a um soluto de um lado da membrana, e o levam para o outro lado. Funcionam como uma catraca, transportando íons e pequenas moléculas orgânicas. Podem atuar como bombas ao transportar íons contra um gradiente de concentração, com gasto de energia. Ex.: a proteína gasta energia para transportar íons sódio (Na^+) para fora da célula e íons potássio para dentro. Graças a essas proteínas, as células animais mantêm a concentração de íons sódio cerca de 10 a 15 vezes maior fora da célula do que dentro e quase 10 vezes mais potássio dentro do que fora. É o transporte ativo. O transporte por proteínas carreadoras pode ser ativo ou passivo. Uma dessas proteínas é chamada de *permease*, que transporta moléculas de glicose passivamente, sem gasto de energia.

As proteínas-canal formam minúsculos poros aquosos por onde passam solutos; o transporte é sempre passivo. Se o canal está aberto, moléculas pequenas e com carga apropriada podem passar por ele.

Osmose é a passagem da água (solvente) de um meio menos concentrado para um mais concentrado. Se a célula estiver num ambiente mais concentrado (hipertônico) que o seu interior, ela perde água e murcha. Se o ambiente externo for menos concentrado (hipotônico) que o interior da célula, ela ganha água, aumenta de volume, podendo arrebentar.

Geração de energia em mitocôndrias e cloroplastos

A provisão de uma abundante fonte de energia para a célula foi fundamental para a evolução da vida no planeta.

O método mais eficiente para a síntese de ATP baseia-se no transporte de elétrons pelas membranas, o que ocorre tanto na fotossíntese como na respiração aeróbica.

Fosforilação oxidativa (síntese de ATP) nas mitocôndrias: piruvatos (originados da quebra da glicose no citosol) e ácidos graxos entram na mitocôndria e são quebrados a acetil-CoA. São metabolizados pelo ciclo do ácido cítrico (Krebs), produzindo CO_2 , que é descartado, e hidrogênios, captados por moléculas transportadoras, o NAD e o FAD, que os conduzirão até a cadeia respiratória. A maior parte da energia da glicose encontra-se nos elétrons dos átomos de hidrogênio. Na membrana interna da mitocôndria, encontram-se substânciasceptoras de elétrons (cadeia respiratória). Os elétrons dos átomos de hidrogênio transportados pelos NADH e FADH_2 começam a percorrer gradativamente os componentes da cadeia, em reações de oxi-redução. Nessas passagens, os elétrons vão perdendo energia, que é utilizada na síntese de ATP.

No final da cadeia respiratória, o oxigênio recolhe os elétrons, e combina-se com prótons H^+ , formando água. O oxigênio é o aceptor final do oxigênio.

OS CLOROPLASTOS E A FOTOSSÍNTESE

As *reações da fotossíntese* são agrupadas em *duas categorias*: **reações de fase clara** e **reações de fase escura**.

Nas **reações de claro**, a energia derivada da luz energiza um elétron de clorofila que, excitado, começa a se mover ao longo de uma cadeia transportadora de elétrons da membrana interna do cloroplasto (tilacoide). A clorofila obtém seus elétrons da hidrólise (quebra) da água, produzindo O_2 como subproduto. Nessa passagem, há liberação de energia usada na síntese de ATP. No final dessa série de reações, os elétrons são carregados, juntamente com H^+ , pelo NADP, convertendo-o em NADPH_2 .

Nas **reações de escuro**, o ATP fornece energia e o NADPH_2 participa como redutor, fornecendo os H_2 ricos em energia que, numa série de reações químicas, se convertem em glicose.

COMPARTIMENTOS INTRACELULARES E TRANSPORTE

As células desenvolveram várias estratégias para segregar e organizar as suas reações químicas. Uma estratégia é agregar as diferentes enzimas utilizadas para catalisar diversas reações como síntese de RNA, DNA, proteínas. Outra é confinar os diferentes processos, bem como as proteínas necessárias, em compartimentos delimitados por membranas (lisossomos, aparelho de Golgi, mitocôndrias, cloroplastos etc.).

As proteínas usadas no núcleo são transportadas por meio dos poros nucleares, que funcionam como portões seletivos de moléculas. As proteínas das organelas são, na sua maioria, produzidas no citosol e transportadas às organelas onde funcionam. Sinais na distribuição da sequência de seus aminoácidos guiam as proteínas à organela correta. As proteínas que operam no citosol não possuem sinais e permanecem onde são sintetizadas. O transporte de proteínas entre o local de síntese (ergastoplasma) e o local de armazenagem (Golgi), e desse para outros destinos (lisossomos, grãos de zimógeno das células do pâncreas, etc), é realizado por vesículas de transporte, que brotam continuamente de uma membrana e se fundem à outra. Em todas as células eucarióticas, as vesículas de transporte brotam do aparelho de Golgi, e se fundem à membrana plasmática num processo chamado de **exocitose**. Essa rota fornece lipídeos e proteínas para o crescimento e alargamento da membrana, conduz proteínas para serem liberadas do lado externo (secreção) etc.

As vesículas endocíticas formam-se após a ingestão de fluidos, moléculas e partículas, por invaginação da membrana (*fagocitose* e *pinocitose*). Essas vesículas ligam-se aos lisossomos que contêm enzimas hidrolíticas. Após a digestão, a maior parte dos componentes dessas vesículas é reciclada em vesículas de transporte, de volta à membrana plasmática para reutilização.

COMUNICAÇÃO CELULAR

As células individuais, assim como organismos multicelulares, precisam sentir e responder aos estímulos do ambiente. Nos multicelulares, as células precisam coordenar seu comportamento de várias maneiras. Para isso, utilizam centenas

de tipos de moléculas extracelulares para enviar sinais umas às outras (proteínas, peptídeos, aminoácidos, nucleotídeos, esteroides e até gases dissolvidos). A conversão de informação de uma forma para outra é chamada de **transdução de sinal**. Uma célula sinalizadora produz um tipo especial de molécula (sinal). A célula-alvo recebe o sinal por meio de um receptor (proteína especial da membrana). O sinal é enviado ao interior da célula e determina o comportamento celular. Há quatro tipos de sinalização entre as células:

1. **Sinal hormônio**: disseminado pelo corpo através da corrente sanguínea (animal) ou da seiva (planta);
2. **Sinalização parácrina**: moléculas sinalizadoras atuam a curta distância, permanecendo na vizinhança da célula que as produziu. São mediadores locais. Ex.: molécula mediadora que coordena a inflamação nos locais de infecção ou na cicatrização;
3. **Sinalização neuronal**: sinais elétricos celulares são convertidos num sinal extracelular químico (neurormônios), nas sinapses entre neurônios e entre neurônios e músculos ou glândulas;
4. **Sinalização por contato**: contato por meio de ligação de uma molécula sinalizadora presente na membrana à molécula receptora da membrana plasmática da célula-alvo. Ex.: ocorre na fase de diferenciação celular da fase embrionária.

Uma célula típica possui uma coleção de diferentes receptores na membrana. As moléculas sinalizadoras trabalham em combinação para regular o comportamento da célula. Alguns sinais estimulam o metabolismo celular, outros induzem à divisão, outros, à diferenciação. Caso privadas de receptores apropriados, a maioria das células sofre uma espécie de suicídio celular (morte celular programada ou apoptose).

O CITOESQUELETO

É uma rede intrincada de filamentos protéicos que se estende por todo o citoplasma. Essa rede auxilia na sustentação do grande volume do citoplasma e capacita a célula. Auxilia também a se organizar interiormente e adotar uma variedade de formas e movimentos amplos: deslocamento de células sobre uma superfície, contração de células musculares, alterações na forma celular durante o desenvolvimento embrionário etc.

A presença do citoesqueleto pode ter sido um fator crucial na evolução das grandes, e estruturalmente complexas, células eucarióticas. O **citoesqueleto** é constituído a partir de três tipos de filamentos protéicos: filamentos intermediários, microtúbulos e filamentos de actina. **Filamentos**

intermediários - Grande resistência à tração; sua função principal é capacitar as células a suportarem tensão mecânica produzida quando estas sofrem estiramento; são os mais resistentes e duráveis. Formam uma rede por todo o citoplasma, circundando o núcleo e se estendendo para a periferia da célula. Presentes no axônio dos neurônios, em células musculares, são semelhantes a cabos formados por muitos fios longos enrolados juntos. **Microtúbulos** - Tubos longos, ocos e relativamente rijos, formados por uma proteína, a **tubulina**; são capazes de desagregação em um local e reagrupamento em outro. Crescem a partir do *centrossomo*, estendendo-se para a periferia da célula. Criam um sistema de trilhos, sobre os quais vesículas, organelas e outros componentes celulares podem se locomover. No início da mitose ocorre a desagregação dos microtúbulos e o rearranjo, formando o *fuso mitótico*. Também podem formar cílios e flagelos.

Filamentos de actina - Cada filamento é uma cadeia torcida de moléculas globulares de actina. Sem esses filamentos, uma célula não poderia rastejar, emitir pseudópodos ou se dividir. Proteínas motoras, dependentes da actina, pertencem à família das miosinas. As miosinas usam a energia do ATP para se deslocarem sobre a actina, promovendo os movimentos musculares de contração e descontração.

DIVISÃO CELULAR

CONTROLE DO CICLO CELULAR

E MORTE CELULAR

O ciclo celular de uma célula eucariótica consiste em várias fases distintas: períodos G_1 , S, G_2 e M (G = pausa; S = síntese; M = Mitose).

A **pausa G** é o estágio que corresponde ao intervalo entre o término da divisão (M) e a fase S, em que ocorre a síntese ou duplicação do DNA. Na fase G_1 há intensa atividade metabólica na célula. Ocorre síntese de proteínas, e a célula cresce em massa.

A **fase G_2** é a pausa entre a duplicação dos cromossomos e o início da divisão. Juntas, as fases G_1 e G_2 proporcionam um período adicional para a célula crescer e duplicar suas organelas citoplasmáticas.

A **fase M** começa com a duplicação do centrossomo e a formação do fuso mitótico, composto de microtúbulos que levam os cromossomos-filhos a pólos opostos da célula. Grandes organelas, como o retículo endoplasmático e o aparelho de Golgi, rompem-se em pequenos fragmentos, assegurando a distribuição idêntica entre as células-filhas. Mitocôndrias duplicam-se. Têm

DNA. Quando o envelope nuclear se rompe, durante a prófase (1ª etapa da mitose), os microtúbulos do fuso invadem a área nuclear. Alguns deles capturam os cromossomos duplicados, ligando-os a complexos de proteína com o centrômero de cada cromátide-irmã.

Os microtúbulos de pólos opostos deslizam, arrastando cada cromátide (agora cromossomo) para os pólos da célula. Reorganizadas as cariotecas, a célula, agora com dois núcleos, prepara-se para a divisão do citoplasma (citocinese). Nas células animais, forma-se um anel contrátil de filamentos de actina e miosina (miofibrilas de natureza proteicas características das fibras musculares) na região central da célula, que vai se contraindo e estrangulando. Dessa forma, o citoplasma divide-se em duas novas células, geneticamente idênticas à célula-mãe.

Controle do ciclo celular e morte celular

O controle do ciclo celular consiste num conjunto de proteínas específicas que controlam a proliferação, sobrevivência e morte celular. Esse mecanismo garante que a célula só se divida quando necessário. Várias células normais morrem durante a vida de um animal, por um processo de morte programada ou apoptose.

TECIDOS

A maioria das células de um organismo multicelular está organizada em grupos cooperativos, os tecidos, que são compostos não somente de células, mas também de uma matriz extracelular que elas secretam ao seu redor. É essa matriz extracelular que dá força de sustentação ao tecido.

A resistência da matriz se deve a proteínas fibrosas chamadas de colágeno. É normal a distinção de quatro tipos de tecidos em animais: **conjuntivo**, **epitelial**, **nervoso** e **muscular**.

Tecidos conjuntivos (ossos, tendões, cartilagens etc): a principal característica é a existência de diferentes tipos de células, separadas por abundante substância por elas fabricadas. Há também numerosas fibras proteicas entremeadas com as células, o colágeno e as fibras elásticas. Há vários tipos de tecidos conjuntivos: *frouxo*, *denso*, *adiposo*, *sanguíneo*, *ósseo* e *cartilaginoso*. A diferença entre eles é relacionada ao tipo de componente predominante. As fibras de colágeno assemelham-se a cordas dispostas irregularmente, formando malhas difusas, dando resistência ao tecido; as fibras

elásticas dão elasticidade aos tecidos onde se encontram (pulmão, fígado etc). As células do tecido conjuntivo são fibroblastos, mastócitos, macrófagos, célula adiposa, osteoblastos etc.

Tecido epitelial: especializado em revestimento e proteção das partes internas e externas do corpo e na formação de glândulas. Suas células são firmemente aderidas umas às outras, o que lhe dá grande resistência. Não há vasos sanguíneos, e a nutrição é por difusão.

Na maioria dos epitélios aparecem junções ou regiões de colagem entre as células, as junções aderentes e os desmossomos, formados por filamentos de queratina que estabelecem firme adesão entre as células. Esse tecido pode ser simples se tiver uma camada de células, e estratificado caso possua mais de uma camada. Os tecidos nervoso e muscular não são tratados aqui. A organização dos tecidos é ativamente mantida por comunicação celular, adesão seletiva célula-célula e célula de memória.

Células cancerosas surgem do acúmulo de mutações somáticas e violam as regras que mantêm a organização dos tecidos.

Os movimentos celulares programados criam o plano de corpo de um animal

Embora a estrutura final do corpo de um animal possa ser extremamente complexa, ela é gerada por um repertório limitado de atividades celulares na fase embrionária.

A fertilização induz a clivagem dessa célula em várias outras menores, as quais realizam uma série de movimentos. Enquanto algumas células movem-se livremente, outras são mantidas juntas.

O processo inicial é a formação do intestino (gastrulação), o que ocorre em qualquer animal pela invaginação de células do exterior do corpo. Após isso, movimentos celulares formam os rudimentos das principais características do corpo: cabeça, cauda, dorso etc.

Em geral, as células atuam como fonte de moléculas de sinalização que influem outras células nas vizinhanças. Algumas células respondem, produzindo novos sinais. Células vizinhas, em diferentes distâncias da fonte, são expostas a sinais de diferente intensidade, produzindo novos sinais.

Células de memória preservam traços dos sinais recebidos (ativação ou repressão de genes particulares). Esses sinais são proteínas sinalizadoras (*sonic hedgehog*). **Células do sistema nervoso central** respondem a um forte sinal, formando a placa basal, enquanto que as células do broto dos membros

respondem formando um dedinho. Graças às células de memória, poucos mecanismos básicos de sinalização são aparentemente suficientes para dirigir a criação de uma grande variedade de estrutura altamente elaborada.

Síntese elaborada por Maria Aparecida Cassiani

2. BOUER, J. *Sexo & Cia: as dúvidas mais comuns (e as mais estranhas) que rolam na adolescência*. 2 ed. São Paulo: Publifolha, 2002.

Livro de sexo, para quê? Para o autor, falar e escrever sobre o assunto é um serviço, um espaço para tirar dúvidas, apesar de ser uma tarefa difícil, por envolver tabus, preconceitos, mitos. Por meio do livro, o autor espera que, de alguma maneira, possa ajudar a resolver as dúvidas, informar melhor e quebrar alguns tabus e preconceitos que cercam a sexualidade. Sexo é bom, e é normal ter dúvidas e deve ser cada vez mais natural que as pessoas procurem respostas para aquilo que não sabem. O livro é considerado, pelo autor, um verdadeiro manual de sobrevivência. Nele, você encontrará através de ilustrações, dúvidas, depoimentos de adolescentes e tudo sobre:

MUDANÇAS - da cabeça aos pés, tudo fica diferente! É difícil acreditar que as mudanças que transformam o corpo da gente variam muito de pessoa para pessoa. Na real, quem tem paciência de esperar? Como controlar a ansiedade de usar um sutiã ou um barbeador quando todos os amigos da turma já estão nessa? E a sensação de que todo mundo já cresceu e você continua pequeno? Não é mole!

Mas não há mágica, nem creme, nem reza que façam você ter seu desenvolvimento antes do planejado. O começo das mudanças não têm data marcada! Cada um vai ter um calendário pessoal. É preciso ter paciência para esperar a hora certa. O ritmo de desenvolvimento difere de pessoa para pessoa.

- Algumas dúvidas e depoimentos para tranquilizar e deixar a natureza seguir seu curso em paz.

“Meus testículos são muito pequenos. Meu médico disse, há uns dois anos, que minhas transformações estavam começando (isso depois de ver o meu saco). Agora tenho 16 anos e quero saber quanto tempo mais vou ter de esperar”.

“Tenho 14 anos e ainda não fiquei menstruada. Todas as minhas amigas já estão nessa fase. Será que estou muito atrasada”.

- ESPINHA - tire a mão delas já! Elas são capazes de provocar estragos no ego de qualquer um.

As espinhas são um dos sinais da entrada na puberdade. Elas estão relacionadas com uma ação maior dos hormônios sexuais.

“Minhas aulas começam agora e estou cheio de espinhas. O que fazer para que elas desapareçam?”

“Tenho marcas de espinhas nas costas. São manchas escuras que me deixam com vergonha de usar roupas decotadas. Existe algum creme para clarear essas manchas?”

- Importante, para todas as dúvidas o melhor é consultar um especialista de pele, um Dermatologista.

- PÊLOS – com mais ou com menos, todos normais.

Os pêlos são mais um sinal de que garotos e garotas chegaram à puberdade. A maior preocupação é com a quantidade. Uns acham que têm muito pouco, outros acham que têm demais. A genética é que conta: o que vai determinar a quantidade de pêlos no corpo são as informações genéticas que recebemos dos nossos pais.

São raros os casos em que a quantidade de pêlos significa realmente um problema. Normalmente, quando eles acontecem, estão ligados a disfunções dos hormônios.

Dê uma olhada nas dúvidas mais comuns:

“Tenho 17 anos e passo muita vergonha porque meu corpo tem poucos pêlos e é menos masculino do que os dos meus amigos. Acho que vou tomar vitamina ou algum tipo de hormônio que resolva meu problema.”

“Estou curiosa para saber se existe algum produto que possa eliminar de vez o buço. Sou mulher e acho esse “bigode” ridículo.”

“Eu queria saber se é verdade que a pílula anticoncepcional retarda o crescimento dos pêlos. Se for verdade, posso tomar alguma? Qual é a mais recomendável? Tenho 14 anos.”

Obs: Aconselhável procurar um endocrinologista para uma avaliação. Só esse especialista poderá dizer se existe problema hormonal, o que é bastante comum. Nunca tome remédios sem prescrição médica.

-

- ALTURA - nem sempre é possível ser grande.

“ Tenho 18 anos e 1,70m. Meu irmão tem 16 e já mede 1,75m. Meus amigos são mais altos do que eu. Posso tomar algum remédio ou colocar um aparelho na canela para crescer mais uns 7 cm?”

Também na altura a genética é um fator determinante. E quase nada é possível para mudar essa determinação. Não há tratamento milagroso para esticar uma pessoa. Mas o melhor meio de tirar a dúvida é consultar o pediatra. Outro recurso bastante importante é o exame de raios X que indica a idade óssea. E são ultra importantes as boas condições de alimentação e de saúde na infância.

- PESO - pegue leve.

O peso também é motivo de encanação para muita gente. Hoje existe uma espécie de culto ao corpo supermagro. O padrão de beleza é cruel e muita meninas e até meninos entram em paranoia de que estão gordos, e, na verdade, não estão. Lembrando que na adolescência, com tantas mudanças corporais, o peso pode demorar um pouco para se normalizar. E um peso saudável tem a ver com um estilo de vida saudável.

No desenvolvimento, quando se trata de questões que envolvem o peso, é preciso muita atenção, pois com a preocupação em aparentar e manter um

“corpo perfeito” surgem os problemas já conhecidos por todos, que são o uso de “fórmulas” para emagrecer (combinação de substâncias) que tiram o apetite, o que gera o risco de se adquirir duas doenças:

- a anorexia: cuja característica é o fato de que a pessoa deixa de comer e, mesmo estando magra, se acha gorda quando vê sua imagem no espelho. Essa distorção da própria imagem faz com que a pessoa queira emagrecer cada vez mais, e como consequência, acontecem problemas gravíssimos de saúde, e até morte.

Bulimia: é uma ingestão exagerada de alimentos, seguida de uma tentativa desesperada de eliminar esse excesso. A pessoa tem episódios em que come de forma compulsiva tudo o que vê pela frente e depois, tomada por culpa e arrependimento, provoca vômitos, faz muitos exercícios, toma diurético e laxantes. As vítimas potenciais de bulimia são as pessoas que fazem dietas exageradas, sem orientação.. Essas doenças precisam de tratamento especializado, com terapia, orientação nutricional e, muitas vezes, remédios antidepressivos.

- PÊNIS & CIA – régua para quê?

O pênis o campeão de dúvidas entre os meninos. É pênis pequeno, grande, torto para a direita, para a esquerda, para cima, para baixo... E a pergunta que fica é: por que os caras encanam tanto com a forma e o tamanho do pênis?

A puberdade traz para a vida mudanças rápidas, com as quais não estamos acostumados. E o pênis muda, cresce, engrossa, começa a liberar esperma etc. É o primeiro ensaio para a vida adulta. E os ensaios sempre causam uma certa dose de ansiedade, insegurança e vergonha.

“Eu tenho 17 anos, e a camisinha fica larga no meu pênis. O que faço?”

Entre tantas dúvidas que surgem, sempre é melhor procurar um Urologista, e pode confiar que é amigo.

-VAGINA & CIA. Prazer em conhecê-la!

Está aí uma parte do corpo feminino que as mulheres muitas vezes nem conhecem direito. E os homens, muitos menos. Não conhecem, mas deveriam. A vagina é o canal que leva ao útero. É onde o pênis penetra e por onde saem os bebês. Suas paredes são elásticas; por isso, na hora do parto, dá para uma criança de cerca de 3 quilos passar por ela. A vagina é um lugar quente e úmido e precisa de vigilância constante para evitar o aparecimento de

Uma das coisas que mais perturbam as mulheres: infecções e corrimentos vaginais. Muitas meninas têm vergonha ou dúvidas sobre suas vaginas. Algumas as acham grandes, feias e pensam que os namorados não vão “aprovar”. Outras não sabem direito o que existe dentro dela. A maioria jamais tocou ou olhou sua própria vagina. Para conhecê-la, basta a ajuda de um espelhinho, uma boa conversa com pessoas de sua confiança e a primeira visita a um ginecologista que é um especialista, um profissional cuidadoso preparado para responder as dúvidas. “Ele não morde”.

-HÍMEN: você já sabe o que é? É uma pele bem fininha que fica na entrada da vagina e se rompe, em geral, na primeira transa. Segundo a literatura médica, existem vários tipos de hímen:

-*hímen anular*: é o mais comum; tem um único orifício no meio.

-*hímen complacente*: é o mais grosso e elástico e pode não se romper na penetração.

-*hímen cribiforme*: é pouco comum. Composto de vários pequenos orifícios.

-*hímen imperfurado*: é raro e a garota vai precisar de uma pequena cirurgia para permitir a passagem do fluxo menstrual.

“Existe um limite de tamanho do pênis que uma vagina pode aguentar? Um pênis muito longo é motivo de desconforto ou de prazer para a mulher?”

“É verdade que os absorventes internos não tiram a virgindade? Tenho 14 anos e queria saber se posso usar esse tipo de absorvente sem susto?”

- SEIOS - cuidados com os modismos.

O tamanho dos seios é um assunto que continua a mexer com a cabeça de meninas e meninos. O aparecimento de brotos mamários (pequenas saliências que ficam sob as aréolas) é um dos primeiros sinais de que a garota está entrando na puberdade, e ocorre acontece entre os 10 e 12 anos.

As mamas começam a crescer e, em geral, no final da puberdade, adquirem seu tamanho definitivo. Genética e características individuais (como a deposição de gorduras no corpo) fazem com que algumas garotas tenham mamas menores ou maiores. Quanto a cirurgia de redução ou aumento (silicone) no processo de desenvolvimento de uma garota devem ser vistas

com cautela, podendo atrapalhar um processo natural de desenvolvimento. São várias as dúvidas sobre os seios. Como:

“Tenho 17 anos, sou magra (49 quilos), mas tenho seios muito grandes. Morro de vergonha. Uso creme para diminuir e para firmar os seios. Isso funciona?” “Não, claro.”

-Importante é a conscientização de que se deve fazer o exame preventivo; é muito fácil e indolor. Uma das formas é o auto-exame que a garota mesmo pode fazer, apalpando, com cuidado, seus seios durante o banho. Se notar algo, procurar o médico.

- MENSTRUAÇÃO

Menstruar é normal. Faz parte da vida de qualquer mulher. Não é doença, mas pode mexer um pouco com sua vida. Algumas garotas sofrem demais com a chegada da menstruação. Ficam tristes, sensíveis, irritadas, nervosas, prontas para brigar. É o que os especialistas chamam de TPM (tensão pré-menstrual) que é uma síndrome, uma série de sintomas conjuntos, e pode ser provocada por alterações hormonais, retenção de líquido no organismo e mudança na concentração de serotonina (transmissor químico do cérebro, portanto “não é frescura da mulher”. Todavia, algumas acabam passando por esses dias sem essas alterações e sensações.

O autor aborda temas que também são bastante complicados na fase da adolescência, pois envolvem as “emoções”; são eles: namoro, timidez, vida sexual, pais, ansiedade e depressão.

Na adolescência é comum achar que o sexo é a parte mais difícil do relacionamento, mas não é. Entender as próprias dúvidas, incertezas, os questionamentos surgidos nessa fase de transição, sabendo como estabelecer limites, aprendendo a lidar com os outros e sentir-se seguro na hora de tomar decisões são tarefas que não se efetivam da noite para o dia. . Tantas coisas acontecendo, muitas pessoas enfrentando problemas sérios acabam sofrendo de ansiedade e depressão. . A auto-estima cai, o desempenho na escola piora, as relações sociais prejudicadas e a vida podem se tornar muito chata. Ficam tristes, desanimadas, infelizes, sem ânimo, tomadas de angústia e atitudes estranhas.

Além de lidarem com todas as dúvidas comuns da adolescência, o/a adolescente luta contra uma dificuldade a mais: preconceitos raciais, sexuais, sociais, culturais e religiosos. Mães e pais que não admitem que seus filhos namorem pessoas de outros níveis sociais e raças, colegas que tratam mal pessoas que gostam de gente do mesmo sexo, grupinhos que excluem quem não se encaixa no que a maioria pensa e sente e assim por diante. No entanto,

esse quadro deve ser transformado, pois não podemos admitir que, atualmente, as pessoas sejam discriminadas porque não seguem a norma, o padrão. ! E nós precisamos aprender a compreensão e o respeito às diferenças.

Ao falar do tema Sexo, o autor não tem a intenção de fazer um guia completo como o **bê-á-bá do sexo**. A ideia é auxiliar no preparo para a vida sexual de uma forma mais tranqüila e responsável, prazerosa e natural. Faz parte da vida como dormir e comer, entre tantas outras coisas. A escolha pelo melhor momento para se iniciar a vida sexual é de cada um, é pessoal. Desnecessário ter pressa. O importante é o sentimento de maturidade para se iniciar a vida sexual.

As dúvidas são muitas: beijo, masturbação, virgindade, a primeira transa, dor e sangramento, ejaculação e ereção, sexo anal, orgasmos, mas até as pessoas experientes têm suas dúvidas, problemas etc.

Sexo é bom! – afirma o autor, não há dúvida. Todavia, ele traz o risco da transmissão de algumas doenças, as sexualmente transmissíveis (DST). Desde que o mundo é mundo e desde que as pessoas fazem sexo, as DST dão sinal de vida.

Historicamente, desde a Antiguidade, há muitas referências às DST. O homem convive há séculos com doenças como gonorréia, sífilis e outras. Contudo, de duas décadas para cá, estamos convivendo com a doença mais grave de toda a história: a Aids. Ela já levou milhões de vidas e deixou muitos órfãos pelo mundo afora. Em alguns países, a situação é dramática.

No Sul da África, mais de 30% da população adulta de algumas nações está contaminada pelo vírus HIV, causador da Aids. No Brasil, são quase 600 mil pessoas infectadas pelo HIV. Muita gente morreu. E muita gente aprendeu a conviver com ele.

Para evitar a Aids, a informação, o combate ao preconceito e o uso regular da camisinha são os maiores aliados. E também outras doenças como:

Herpes, condiloma (HPV), sífilis, gonorréia, chato, candidíase, clamídia e tricomoníase. Como se pode observar, há várias doenças sexualmente transmissíveis (DST) e, para cada uma delas, existe um tipo de exame

diferente. Não há um único exame que detecte todas ao mesmo tempo. Na dúvida, procure um médico, ele ajudará.

“E USE CAMISINHA”.

Todos sabem disso, mas na “hora H”, parecem esquecer e aí...

“Qual outra explicação para que uma em cada cinco adolescentes entre 13 18 anos já tenha enfrentado uma gravidez aqui no Brasil?”

São diversos os problemas e as implicações que uma gestação pode trazer para meninas que ainda moram com os pais, mal têm namorado fixo e estão na escola ou começando uma vida profissional. Será que a falta de informação faz com que as garotas passem por essa situação? Pouco provável! Falta, sim, cuidado, prevenção, método anticoncepcional e a cabeça um pouco mais em cima do ombro quando pinta a paixão ou o tesão.

E não esqueça! a camisinha é sua melhor amiga. E fale sempre com o médico.

E finalizando, DROGAS. A busca de novas formas de prazer e de sensações diferentes vem de muito tempo atrás em nossa história.

Mas hoje o consumo e a variedade de drogas alcançaram uma proporção nunca vista.

A melhor maneira de enfrentar as drogas é conhecê-las. Saber quais são, o que provocam, que riscos oferecem, por que as pessoas as consomem etc.

Além das drogas ilegais, como a maconha ou a cocaína, é preciso saber que o fumo e as bebidas alcoólicas, que estão por toda parte, também são drogas. E, de longe, são as mais consumidas pelo homem. E também remédios, prescritos por médicos para curar problemas, e encontrados em qualquer farmácia, acabam sendo utilizados como drogas.

Quem experimenta alguns tipos de droga não se torna um dependente da noite para o dia. No entanto, em geral, de maneira geral, dá

para dizer que quem usa droga com frequência vai enfrentar problemas de saúde, dificuldades sociais e perdas importantes. Drogas e sexo andam juntos, e quem consome qualquer tipo de drogas tem sua capacidade de avaliar riscos alterada e pode, entre outras atitudes perigosas, fazer sexo sem proteção.

QUESTÕES

1) A que tema se refere a frase a seguir:

Calma Lá! Não existe hora marcada para as transformações que acontecem.

No corpo.

- a) Mudanças
- b) pêlos
- c) hormônios
- d) Drogas
- e) Nenhuma das anteriores.

2) Alguns sinais indicam que os hormônios começam a aumentar: espinhas, crescimento das mamas e aparecimento de pêlos próximos à vagina e nas axilas. Para se checar como anda o desenvolvimento do corpo, que profissional consultar?

- a) Dermatologista
- b) Endocrinologista
- c) Ginecologista
- d) Pediatra
- e) Todos.

3) Para o autor, o que é importante para o (a) adolescente iniciar sua vida sexual?

- a) Capacidade de assumir responsabilidade
- b) Maturidade
- c) Permissão dos pais

- d) Confiança no (a) parceiro (a)
- e) Estar apaixonado(a)

4) Quais as doenças que o autor considera como DSTs ?

- a) Aids, herpes.
- b) Condiloma (HPV), Sífilis.
- c) Gonorréia, chato, Candidíase.
- d) Clamídia, Tricomoníase
- e) Todas

5) São consideradas drogas disfarçadas:

- a) Cocaína e Crak
- b) Álcool e Cigarro
- c) Prozac e Maconha
- d) remédios
- e) Todas

GABARITO

1. A / 2. C / 3. B / 4. E / 5. B

3. CARVALHO F.H; PIMENTEL S. M. R. A célula. Barueri: Manole, 2007.

Aspectos gerais de estrutura celular

A célula é a unidade básica da vida em que existe uma complementaridade entre estrutura e função. Essa afirmativa faz parte de uma teoria, denominada teoria celular, estabelecida por Schleiden e Schwann, em 1838-39. A primeira observação de uma célula, no entanto, já havia ocorrido em 1665, ocasião em que, ao examinar um pedaço de cortiça em um microscópio rudimentar, Hooke deu o nome de célula aos inúmeros compartimentos que observara nesse material. Esses compartimentos, na realidade, representavam espaços (celas) ocupados por unidades mortas.

Apesar dos fragmentos celulares poderem até desenvolver algumas atividades importantes, somente a célula tem a capacidade de manter vida e de transmiti-la. Pode-se, pois, concluir que os vírus não são unidades de vida, porque não podem se manter, independentemente da célula que infectam.

As células surgem apenas de outras células preexistentes. As formas mais simples de vida são células solitárias (organismos unicelulares), enquanto as formas superiores contêm associações de células, constituindo colônias de organismos unicelulares mais complexos. Os organismos unicelulares podem ser, estrutural e funcionalmente, mais simples como bactérias, ou mais complexos, como protozoários. Nas associações de células com diferentes especialidades ou divisão de trabalho estará ocorrendo uma contribuição para a sobrevivência do indivíduo. O que diferencia colônias de organizações unicelulares de organizações multicelulares é que, nestas últimas, as células de mesmo tipo podem se apresentar ligadas por uma matriz extracelular, adesões entre membranas ou, ainda, pontes citoplasmáticas.

As células são revestidas por uma **membrana plasmática**, também denominada **plasmaléma**, de constituição lipoproteica. Células mais simples não apresentam núcleo (procariotos), enquanto as mais complexas contêm um ou vários núcleos (eucariotos). **Células eucariotas** são produtos posteriores da evolução, tendo desenvolvido compartimentalização do material genético no núcleo, separado dos constituintes citoplasmáticos. As células de eucariotos contêm maior quantidade de DNA do que as de procariotos. Células humanas, por exemplo, contêm cerca de 1.000 vezes mais DNA do que células bacterianas. Por outro lado, nas células eucariotas, dada a sua complexidade, o material genético requer uma regulação (controle) muito mais complexa do que a das células procariotas.

Entre o núcleo e o plasmaléma existe uma substância aparentemente amorfa e homogênea, se examinada em microscópios mais simples, na qual se

distribuem corpúsculos de diversas formas e tamanhos, compartimentalizados por membranas lipoproteicas, as organelas citoplasmáticas. Como já mencionado anteriormente, foi apenas com o advento do microscópio eletrônico e de metodologias bioquímicas e fisiológicas que o conhecimento da subestrutura dessas organelas e de seus atributos funcionais pode ser estabelecido. Ao microscópio de luz, no entanto, podem ser evidenciadas, com metodologia apropriada, regiões ocupadas por mitocôndrias, lisossomos, peroxissomos, cloroplastos, complexo de Golgi, centríolos vacúolos e grânulos de secreção. Os componentes que são encontrados nas células podem até ser catalogados como comuns a muitas delas, mas sua estrutura varia conforme cada tipo particular de célula. Embora células animais e vegetais tenham muitas características em comum, uma diferença fundamental é a presença de cloroplastos em células vegetais, o que lhes permite realizar a fotossíntese. Além disso, células vegetais são revestidas por uma rígida parede contendo celulose e outros polímeros.

Formas e tamanhos celulares

As células podem apresentar estrutura e forma variadas, geralmente associadas a especializações funcionais. As células contêm muitas moléculas diferentes que interagem em ambiente aquoso e que são compartimentalizadas por membranas lipoproteicas. No estabelecimento de uma forma celular, a organização de um componente, o citoesqueleto, composto por redes de fibras ou filamentos proteicos, exerce um papel preponderante. De modo geral, as formas celulares dependem da tensão superficial, da viscosidade do protoplasma, da ação mecânica que exercem as células contíguas, da rigidez da membrana plasmática e da especialização funcional da célula.

A maioria das células, especialmente de organismos multicelulares (metazoários), exibe uma forma fixa e típica. Há, no entanto, células com forma mutável, como vários protozoários e leucócitos. Dentre as células de forma fixa, existem aquelas em que a forma é regular, seja esférica [ex., óvulo ou linfócito humano], prismática [ex., células vegetais] ou irregular típica [ex., alguns tipos de células vegetais, protozoários, espermatozoides, neurônios, astrócitos, células caliciformes e células descamadas da mucosa bucal e vaginal.]

O tamanho celular oscila entre amplos limites. A maioria das células atinge poucos micrômetros de diâmetro ou comprimento. Há, no entanto, células muito maiores, como o óvulo humano, com 0,2 mm de diâmetro, e óvulos de aves, com vários milímetros de diâmetro.

Generalidades sobre o núcleo interfásico

O núcleo, sendo mais facilmente corável do que os outros componentes celulares e, também, graças a seu tamanho, foi descoberto mais cedo, como parte integrante das células eucariotas, tendo sido descrito em 1833, por Brown. O estudo do citoplasma foi posterior, pelas dificuldades técnicas já mencionadas.

À medida que as técnicas de estudo foram se aprimorando, foi sendo estabelecida a importância vital do núcleo para a vida celular, culminando-se com a comprovação de que suas principais funções seriam a de transmissão de caracteres hereditários e a de supervisão da atividade metabólica da célula. O núcleo se forma a partir de outro núcleo preexistente, por divisão, que pode ser sincronizada, ou não, com a divisão celular.

O núcleo se acha presente em todas as células dos eucariotos, à exceção daquelas que o perderam em alguma etapa de sua vida (ex.: eritrócitos de mamíferos). Nos procariotos, embora não ocorra um núcleo típico, o DNA se distribui numa região bem definida, com morfologia característica, denominada nucleóide.

Tanto a forma como a posição do núcleo são influenciadas pela própria forma da célula e pelas condições morfológicas e funcionais do citoplasma. Nas células esféricas e cúbicas, o núcleo apresenta forma geralmente esférica, nas prismáticas e fusiformes, é elipsoidal ou alongado e, em ambos os casos, está posicionado no centro da célula. Nos leucócitos, pode ter forma bastante irregular. Nos espermatozoides, a forma nuclear pode ser alongada, ou então, ser irregular, variando conforme o grupo animal. Em lepidópteros e em cigarrinhas-das-pastagens, as células glandulares apresentam núcleos estrelados. Em células glandulares de outros organismos, geralmente o núcleo se localiza na porção basal celular. Em células adiposas de vertebrados, o núcleo é alongado e deslocado pelos vacúolos de gordura para a periferia celular.

A maioria das células é mononucleada, porém, em hepatócitos, músculo estriado, células somáticas de muitas espécies de insetos e células em cultura, pode ocorrer mais de um núcleo.

O tamanho do núcleo também pode ser variado, correlacionado ao seu conteúdo de DNA e ao grau de ploidia da célula, bem como à sua atividade funcional, que implica em conteúdos variáveis de RNA e proteínas não-histônicas.

MOLÉCULAS IMPORTANTES PARA A COMPREENSÃO DA CÉLULA E DO SEU FUNCIONAMENTO

A análise e a compreensão da célula e de todo o seu funcionamento vêm ganhando importância nas mais diferentes áreas do conhecimento. Todas as formações da área biológica e da saúde requerem, como ponto de partida, essa compreensão. Além destas, o avanço da ciência, a crescente importância da Biologia molecular e a necessidade de um entendimento interativo dos fenômenos da natureza têm agregado a esse grupo profissionais das áreas de engenharia, química, física, jornalismo, direito etc. Essa agregação, cada vez mais numerosa, faz com que deva existir um conhecimento da célula como uma estrutura dinâmica, fisiologicamente ativa, organizada e funcional.

Deste modo, inicia-se o estudo da célula a partir de seus constituintes químicos, principalmente aqueles com organização macromolecular e que exercem papéis fundamentais na sua estrutura e funcionamento.

Água

Formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, trata-se de molécula imprescindível para a vida em nosso planeta. Em alguns organismos, ela pode representar quase 100% da massa da matéria fresca (98% nas águas-vivas) e chega, no ser humano, em torno de 65% da massa corpórea do indivíduo adulto.

A simples presença da água garante que as demais moléculas formem o fluido celular e atinjam seus destinos, seja de forma casual, seja de forma mediada por receptores ou outras maneiras de reconhecimento e de movimentação. A troca gasosa nas células animais só se dá a partir da dissolução de oxigênio e gás carbônico no sangue e no citosol. Em plantas, a água é responsável pela pressão de turgor que viabiliza o crescimento celular e, por meio de sua maior ou menor disponibilidade no vacúolo, pode participar de fenômenos mais complexos, como a abertura e o fechamento das células-guarda dos estômatos. Normalmente, uma redução em 20% de seu conteúdo pode provocar a morte celular. Em contrapartida, em muitas sementes, seus níveis atingem valores inferiores a 10% e isso possibilita que tais estruturas de propagação permaneçam em um estado denominado quiescente, com baixíssimo metabolismo, e que possam, quando a água for novamente disponibilizada, germinar e originar um novo indivíduo.

Em consequência dessa polaridade, as moléculas de água se atraem umas às outras, criando novas interações presentes tanto no estado sólido quanto no líquido. Essas interações, denominadas ligações ou pontes de hidrogênio, dificultam a separação entre as moléculas e fazem com que haja a necessidade de uma maior quantidade de energia para que ocorra essa

separação. Em outras palavras, isso determina que o seu ponto de fusão e de ebulição seja muito superior ao de outras moléculas cuja massa é maior ou que apresentam a mesma forma geométrica.

Devido a sua natureza polar, a água pode atrair regiões também polares de outras moléculas, isto resultando em uma separação dessas moléculas, com conseqüente dissolução das mesmas. De forma simplificada, imagine i quando uma colher de sal de cozinha (Na^+Cl^-) é colocada em um copo com água: os íons Na^+ são atraídos pelo oxigênio e os íons Cl^- , pelos hidrogênios, havendo assim a dissociação do sal. Raciocínio semelhante pode ser feito para o açúcar, que apresenta ligações covalentes, mas também é atraído pelos pólos opostos da molécula de água e dissolvido na mesma. Desse modo, substâncias polares são também denominadas hidrofílicas.

Em muitos casos, a atração entre a molécula de água ou uma hidroxila pertence a uma molécula qualquer e a outra molécula polar é de tal ordem que a distância entre elas torna-se pequena o bastante (entre 0,2 e 0,3 nm) para originar as chamadas ligações (pontes) de hidrogênio e todas as conseqüências físico-químicas que isso representa. As ligações de hidrogênio também ocorrem entre moléculas que contenham hidrogênio ligado, covalentemente, a átomos fortemente eletronegativos (em geral, biologicamente, oxigênio ou nitrogênio), com átomos muito eletronegativos da mesma molécula ou outra que esteja próxima.

Utilizando a mesma lógica, pode-se concluir que as moléculas apolares não são atraídas pela água e, por isso, elas são, em geral, insolúveis. Por não se misturarem à água, elas são ditas hidrofóbicas. As interações hidrofóbicas são importantes na determinação da estrutura de muitas moléculas biologicamente importantes.

Finalmente, pode-se classificar um tipo de moléculas que apresenta duas regiões distintas: uma hidrofóbica e outra hidrofílica (sabões, por exemplo). Essas moléculas são denominadas anfipáticas. Sua região polar pode interagir com a água e a apolar, apenas com outras moléculas apolares.

Moléculas e íons inorgânicos

A exemplo da água, outras moléculas inorgânicas e íons fazem parte dos organismos vivos, além do mundo mineral. Esse grupo de substâncias, chamado genericamente de sais minerais, apresenta múltiplas funções: quando insolúveis, podem ter função estrutural (p. ex.: cálcio e fosfato nos ossos de vertebrados); podem se associar a moléculas maiores, como pigmentos (magnésio na clorofila) e proteínas (ferro na hemoglobina; ferro e enxofre nos citocromos); podem exercer papel tamponante (bicarbonatos no sangue,

fosfato no citosol), na transferência de energia química (fosfato do ATP), nos impulsos nervosos e equilíbrio osmótico das células (sódio e potássio), contração muscular (cálcio) e uma infinidade de outras funções.

Moléculas orgânicas

As moléculas orgânicas que fazem parte dos organismos vivos são de natureza bastante variada. Entretanto, em sua maioria, são formadas apenas por seis elementos químicos: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre (CHONPS). Esses elementos, associados a outros que aparecem com menor frequência, formam as substâncias necessárias para a vida no planeta, juntamente com a água e os sais minerais.

Dentre os compostos orgânicos, a associação de moléculas para a formação de polímeros ou outras moléculas maiores é comum e as principais classes de substâncias dessa natureza são os carboidratos, os lipídios, as proteínas e os ácidos nucleicos.

As demais moléculas, a exemplo do que ocorre com os sais minerais, podem ter natureza diversa e exercer múltiplas funções. Mesmo para os seres heterotróficos, grande parte delas pode ser sintetizada pelo próprio organismo ou serem incorporadas na dieta. Como exemplos de importância, principalmente para o homem, podem ser citados alguns aminoácidos não-proteicos como a carnitina (que auxilia a entrada de ácidos graxos nas mitocôndrias) e a ornitina (participa no ciclo da uréia); as vitaminas (a maioria delas necessária na dieta) e os hormônios (sintetizados pelo próprio organismo).

As vitaminas são necessárias em pequenas quantidades e auxiliam em inúmeros processos metabólicos. Podem ser subdivididas em hidrossolúveis ou solúveis em água (vitaminas do complexo B [B1 ou tiamina, B2 ou riboflavina, niacina, piridoxina, ácido pantotênico, biotina, ácido fólico e B12 ou cobalamina] e a vitamina C) e lipossolúveis ou solúveis em lipídios (vitamina A, D, E e K). Há ainda outras substâncias relacionadas às vitaminas, como a colina, o ácido p-aminobenzoico, ácido lipoico e inositol.

Carboidratos

Carboidratos, sacarídeos ou açúcares podem ser definidos quimicamente como poliidroxialdeídos ou poliidroxicetonas. Deste modo, os mais simples possuem três carbonos, com dois grupos hidroxila e um grupo carbonila.

Monossacarídeos

Biologicamente, encontram-se monossacarídeos com 3 à 7 átomos de carbono que, segundo sua origem aldeídica ou cetônica, podem ser classificados em aldoses ou cetoses. Podem também receber o prefixo que corresponde à quantidade de carbonos da molécula (trioses, tetroses, pentoses, hexoses e heptoses).

A seguir são listados alguns monossacarídeos bastante abundantes e comuns nos organismos vivos, sua ocorrência e importância celular:

a) Pentoses:

- . ribose e desoxirribose(aldoses) – importantes constituintes dos ácidos nucléicos (RNA e DNA respectivamente).
- . xilose e arabionose (aldoses) – presentes em glicoproteínas e em paredes celulares de muitas plantas.
- . ribulose (Cetose) – importante na incorporação de CO₂ na fotossíntese.

b) Hexoses:

- . *glicose* (aldose) – também conhecida como dextrose, é bastante abundante. Única fonte de energia utilizável pela maior parte dos organismos anaeróbios e também por alguns órgãos e tecidos de animais mesmo em aerobiose (cérebro humano por exemplo). É produto primário da fotossíntese dos vegetais e está presente em abundância em muitas frutas onde forma, juntamente com a frutose, o dissacarídeo sacarose.
- . *frutose* (Cetose) – também conhecida como levulose, é o mais doce dos açúcares (quase duas vezes mais que a glicose) e está fortemente presente em frutas e no mel, muitas vezes ligadas a glicose para formar o dissacarídeo sacarose.
- . *galactose* (aldose) – difere da glicose apenas pela posição da hidroxila do Carbono 4 (por isso denominada epímero-f da glicose) e seu metabolismo no fígado origina esse açúcar. Está presente em muitas glicoproteínas, glicolipídios e em muitas paredes celulares vegetais.

Dissacarídeos

Ligação de dois monossacarídeos ocorre entre hidroxilas, com formação de água. É chamada ligação glicosídica e forma os dissacarídeos.

Os mais comuns são:

- a) celobiose,
- b) maltose
- c) lactose
- d) sacarose

Oligossacarídeos

Nome dado moléculas que apresentam até cerca de 20 resíduos de monossacarídeos quando hidrolisadas totalmente.

Muitas moléculas de glicoproteínas e glicolípidios têm sua porção glicídica composta por oligossacarídeos.

Polissacarídeos

Muitas vezes formados por milhares de unidades monossacarídicas, os polissacarídeos são importantes macromoléculas para os seres vivos de todos os reinos biológicos. São classificados em homopolissacarídeos ou heteropolissacarídeos, segundo o produto de sua hidrólise total ser apenas um tipo de monossacarídeos ou mais de um.

Os polissacarídeos mais conhecidos têm papel de reserva energética e são importantíssimos na alimentação dos organismos heterotróficos. Os polissacarídeos de reserva nas plantas é o amido, enquanto que nos animais, é o glicogênio, por exemplo, de homopolissacarídeos da A- glicose.

Lipídios

Contrariamente aos carboidratos, não há nenhum grupamento químico característico para todos os lipídios. Não formam polímeros e a característica que os une é a sua pequena solubilidade em água. Dadas algumas semelhanças estruturais, pode-se classificá-los em diferentes grupos, dos quais se destacam:

- Possuidores de ácidos graxos:

- a) Ceras.
- b) Gorduras neutras.
- c) Fosfolipídios.
- d) Esfingolipídios.

- **Esteroides** – derivados do ciclopentanoperidrofenantreno
- **Terpenoides** – derivados do isopreno.

Ácidos graxos são ácidos carboxílicos com 4 ou mais átomos de carbono. Em termos biológicos, são predominantes aqueles com 14 a 22 átomos de carbono em cadeia que pode ser saturada (só simples ligações) ou insaturada (uma ou mais duplas ligações) com par de carbonos (sua síntese acontece com a adição de 2 em 2 átomos). Possuem caráter anfipático, ou seja, uma região polar (do grupo carboxila, que pode se ionizar), e uma região apolar ou hidrofóbica, representada pela porção hidrocarboneto (apenas C e H) da molécula.

a. Ceras

São ésteres de ácidos graxos e álcoois graxos.

As ceras são bastante apolares e importantes reservas de organismos marinhos, protetoras da pele e anexos de muitos vertebrados (pêlos e penas de animais aquáticos, por exemplo), da superfície das folhas de muitas espécies, protegendo-as inclusive do ataque de patógenos.

b. Gorduras neutras

Correspondem à classe mais abundante de lipídios, normalmente presentes como a principal fonte de energia a ser utilizada pelos organismos animais. Um homem adulto, via de regra, tem gorduras neutras suficientes para seu suprimento de energia (ATP produzido na respiração aeróbica) por várias semanas enquanto a reserva de açúcar (glicogênio) supre o organismo por cerca de um dia.

c. Fosfolipídios

São moléculas resultantes da ligação de um diacilglicerol e um grupo fosfato. Com isso, o caráter apolar apresentado pelos triacilglicerois é perdido e volta-se ao caráter anfipático: uma região hidrofóbica (apolar) representada pelos dois ácidos graxos esterificados no glicerol e uma região hidrofílica (polar) do grupo fosfato.

d. Esfingolipídios

São formados pela ligação de um ácido graxo com o grupo amina do amino-álcool esfingosina (que tem uma cadeia com 18 átomos de carbono e uma dupla ligação), formando uma amida.

Esteroides

Derivados do ciclopentanoperidrofenantreno, que tem uma estrutura cíclica composta por 4 anéis (um com cinco átomos de carbono e os demais com seis). Comumente apresentam pelo menos uma hidroxila (R-OH) e, muitas vezes, grupo(s) carbonila (R-C=O).

Terpenoides

Grupo de lipídios derivados do isopreno:

Os carotenoides são os representantes mais comuns desse grupo. Dentre eles, a vitamina A, presente em pequenas quantidades no organismo humano e o B-caroteno, presente nos cloroplastos das células vegetais ou acumulado como reserva em algumas plantas (cenoura por exemplo) são os mais abundantes e representativos.

Proteínas

São polímeros de aminoácidos que têm função biológica.

Aminoácidos

Há vinte aminoácidos que podem participar da formação das proteínas e serem incorporados durante a sua síntese nos ribossomos. Todos eles são α -aminoácidos e se apresentam na forma L (o carbono α é assimétrico).

Em pH ácido (menor que 7), o grupo carboxila se ioniza, ou seja, perde seu próton (em pH 2,5, 50% deles já se encontram ionizados), enquanto o grupo amina está protonado (tem fraco caráter ácido e a maioria fica ionizada apenas em pH acima de 9).

Peptídeos

A ligação entre o grupo carboxila de um aminoácido (aa) e o grupo amina de outro é denominada ligação peptídica e forma dipeptídeos (2 aa), tripeptídeos (3 aa), oligopeptídeos (vários AA) e polipeptídeos (dezenas a centenas de aminoácidos).

Proteínas

São as mais abundantes moléculas presentes nos organismos vivos à exceção da água, podendo perfazer 50% da matéria seca deles. No ser humano, por exemplo, cerca de 15% da massa corpórea vem das proteínas.

Grande parte das proteínas é formada apenas por aminoácidos e, por isso, elas recebem o nome de *proteínas simples*. Entretanto, há proteínas denominadas *proteínas conjugadas*, pois possuem outras moléculas ou átomos (grupo prostético), além dos seus aminoácidos formadores.

As propriedades físico-químicas e as funções das proteínas têm relação direta com a sua composição em aminoácidos. Por esse motivo, é de extrema importância o conhecimento da sequência com que eles são incorporados à molécula durante a síntese proteica para formar a estrutura tridimensional do polipeptídeo. Didaticamente, a sequência de aminoácidos de uma proteína é denominada estrutura primária da proteína.

Em decorrência, à medida que novos aminoácidos são incorporados à molécula de proteína que está sendo sintetizada, começará a haver a atração entre o oxigênio e o H de ligação peptídicas distintas. Essas interações determinam uma estrutura especial característica. Que é denominada estrutura secundária da proteína. Assim, *estrutura secundária de uma proteína* é a forma que ela toma em decorrência das pontes de hidrogênio entre oxigênio e hidrogênio ligado ao nitrogênio de ligações peptídicas distintas.

A estrutura secundária, resultante das interações por ligações de hidrogênio específicas dos átomos das ligações peptídicas, posiciona os grupos R dos diferentes aminoácidos, de tal modo que pode provocar novos tipos de interação. Assim, a estrutura tridimensional total de molécula, agora

com o somatório dessas interações, denomina-se *estrutura terciária da proteína*.

As interações mais comuns entre os diferentes grupos são:

a) *ligação ou interação eletrostática*: um grupo R carregado com a carga contrária a outro grupo R o atrai;

b) *ligação ou interação covalente*: específica da cisteína, cujo grupamento sulfidríla (-S-H) é facilmente oxidado com outro grupamento S-H de outra cisteína formando pontes -S-S- (pontes dissulfeto) e dando origem ao conjunto chamado cistina (duas cisteínas ligadas por uma ponte dissulfeto);

c) *ligações de hidrogênio*: ocorrem entre um átomo muito eletronegativo de um grupo R e outro átomo eletronegativo ligado a hidrogênio de um outro grupo R;

d) *ligação ou interação hidrofóbica*: realizada entre grupos R apolares. Geralmente, os aminoácidos portadores de grupos R apolares ocupam a região mais interna da proteína e interagem seus grupos R. Os aminoácidos com grupo R polares ocupam a porção mais exterior da molécula, na qual podem interagir com a água.

Algumas proteínas, para adquirirem seu estado funcional, necessitam mais de uma cadeia polipeptídica (com sua estrutura tridimensional definida). Ao estado funcional, que conta com as estruturas terciárias de dois ou mais polipeptídeos unidos, geralmente, a um grupo prostético, dá-se o nome de *estrutura quaternária da proteína*. O exemplo mais conhecido de proteína que tem estrutura quaternária é a hemoglobina, formada por 4 cadeias (duas denominadas a e duas b), cada uma delas envolvendo um grupo heme contendo ferro.

Ácidos nucleicos

São polímeros de nucleotídeos que, por sua vez, são moléculas formadas por uma base nitrogenada heterocíclica, uma pentose (açúcar) e um fosfato. À junção da base com o açúcar (sem o fosfato) dá-se o nome de nucleosídeo.

Segundo o tipo de açúcar formador, tem-se o ácido ribonucleico (RNA ou ARN) ou ácido desoxirribonucléico (DNA ou ADN).

Nucleosídeos

OS nucleosídeos podem ser hidrolisados em uma pentose e uma base heterocíclica.

A pentose é a ribose para os nucleosídeos de RNA ou a desoxirribose para os chamados desoxirribonucleosídeos, e tem como diferença o carbono 2 do açúcar não hidroxilado:

As bases heterocíclicas podem ser derivadas de dois compostos: purina e pirimidina. Segundo essa origem, tem-se as bases púricas (adenina e guanina) e as bases pirimídicas (citosina, uracila e timina).

Nucleotídeos ou nucleosídeos-fosfato

A adição de fosfato ao nucleosídeo origina um nucleotídeo ou um nucleosídeo-fosfato. Adicionar um (nucleosídeo monofosfato), dois (nucleosídeo difosfato) ou três fosfatos (nucleosídeo trifosfato). O fosfato é adicionado ao carbono 5' do açúcar, com liberação de água.

Ácido desoxirribonucleico – DNA ou ADN

Polímero formado por monômeros dos nucleotídeos (originários de bases púricas), de bases pirimídicas. É o responsável pela informação genética contida nos organismos vivos e pela sua transmissão às células – filhas. Em envoltório nuclear, além de existir em pequena quantidade nas mitocôndrias e cloroplastos. Nos procaríotos, ocupa preferencialmente uma região denominada nucleóide, apesar de não estar fisicamente delimitado por membrana.

No DNA, há o pareamento de uma fita com outra, formando uma dupla fita ou dupla hélice. Essa interação, estável apenas quando no sentido antiparalelo (uma fita 5' → 3' e a outra no sentido 3' → 5'), é feita por meio de ligações de hidrogênio entre uma base púrica com uma pirimídica. O pareamento se dá entre uma Adenina e uma timina (duas pontes de hidrogênio) ou entre uma guanina e uma Citosina (três pontes de hidrogênio).

A reação de polimerização do DNA é complexa e envolve muitas enzimas, com destaque para as DNA polimerases. Se dá sempre no sentido 5' → 3' da *molécula mãe* e é semi – conservativa, ou seja: cada fita da molécula original serve de molde para as novas moléculas formadas. O processo de síntese de DNA a partir do DNA já existente na célula é denominado replicação e ocorre em quase sua totalidade em uma etapa da interfase do ciclo celular denominada “fase S” .

Ácido ribonucleico – RNA ou ARN

Polímero formado por monômeros dos nucleotídeos. Sua síntese ocorre a partir da molécula de DNA que lhe serve de molde e se dá no sentido 5' → 3' dessa molécula. Assim dos eucariotos, onde ocorre a sua transcrição a partir do DNA.

O RNA transportador (RNAt) é responsável pelo reconhecimento, ligação e transporte dos aminoácidos presentes no citoplasma para a síntese proteicas (tradução).

A outra família de RNA, transcrito pelo DNA, refere-se aos inúmeros RNA mensageiros (RNAm). Normalmente fita simples, esses RNA apresentam tamanho variado conforme a proteína que codificam para a síntese. Em procariotos, têm uma série de bases iniciais que os auxilia na ligação com o ribossomo e no correto posicionamento para o início da síntese proteica. Em eucariotos, a síntese é mais complexa e sua extremidade 5' é protegida por uma série de proteínas.

Finalmente, o DNA transcreve RNA ribossomal (RNAr) que, juntamente com dezenas de proteínas, forma o ribossomo de procariotos ou de eucariotos. O RNA ribossomal é sintetizado em região repetitiva do DNA (que tem bases suficientes para transcrever simultaneamente dezenas de moléculas desse RNA), denominada *região organizadora do nucléolo*.

MICROSCÓPIAS

As células são pequenas e complexas, sendo difícil a observação de sua estrutura e composição macromolecular. Ainda é mais difícil elucidar como elucidar como funcionam seus diversos sub-compartimentos. Há uma grande variedade de procedimento experimentais para esse estudo, sendo que as possibilidades e limitações dessas técnicas têm determinado, em parte, nossa concepção atual da célula e dos tecidos. Portanto, para compreender melhor a célula,, é necessária a compreensão geral dos métodos que foram desenvolvidos para o seu estudo.

Microscopia de luz

Os efeitos da interação da luz com o meio por ela percorrido decorrem de sua natureza corpuscular ou fotônica e ondulatória (radiação eletromagnética). Dois efeitos, absorção e refração, ocorrem como consequência da interação da frente de onda, fotônica ou eletromagnética, com os componentes do material a ser analisado. Pode-se dizer que *absorção e refração* são duas faces do

mesmo fenômeno e são importantes fatores a serem considerados na formação das imagens aos microscópios.

Os microscópios são equipamentos que têm por objetivo produzir imagens aumentadas de objetos tão pequenos que são importantes à vista desarmada ou que, vistos a olho nu, não revelariam aspectos texturais mais detalhados.

A formação de imagens pelos microscópios fundamenta-se em um sistema de lentes combinadas, que são colocadas de forma a ampliar a imagem do objeto. É importante lembrar mais uma vez que, para que os objetos sejam vistos à microscopia, dois requisitos fundamentais têm de ser cumpridos: a interação da luz com o espécime tem de gerar *absorção* ou *refração* dos raios de luz, criando contrastes entre o objeto e o meio que envolve.

A teoria da formação da imagem nos microscópios é regida pelas Leis da Física. Entretanto, como as lentes dos microscópios comportam-se como sistemas biconvexos, ou seja, lentes convergentes, a formação da imagem depende da posição do objeto em relação ao plano focal (f) ou ao centro focal (c) da lente. Assim, teremos imagens reais invertidas ou virtuais direitas.

Microscopia de contraste de fase

Esse tipo de microscopia baseia-se nos princípios da difração da luz, isto é, o caminho do feixe luminoso, na formação da imagem por esse tipo de microscópio, sofre um retardo óptico, permitindo assim que seja possível observar materiais biológicos sem a coloração. Esse tipo de microscopia foi desenvolvido pelo holandês Zernike, na década de 1950. Isso permitiu grandes avanços nos estudos de células vivas pois, a partir desse tipo de microscópio, pode-se observar preparados não corados que, à microscopia de luz convencional, apresentam-se transparentes ou com pouco contraste.

Microscopia de contraste interferencial

Esse tipo de microscopia funciona à base de prismas ópticos posicionados no caminho da luz. Esses prismas modificam a fase da onda luminosa, que aparecerá contrastando-se com o meio em que se encontra o material a ser analisado. O microscópio de interferência requer uma construção específica, diferente do microscópio de contraste de fase, que apenas apresentava anéis do caminho da luz. Esse microscópio não requer objetivas especiais, mas o revólver deve conter ranhuras para alojar os prismas de interferência, de modo a gerar as cores de interferência, que promovem a visualização do material. A

microscopia interferencial mais difundida na área biológica é a chamada microscopia de Normarski. Esse tipo de contraste interferencial trabalha com a defasagem dos comprimentos de ondas.

Microscopia de polarização

O microscópio de polarização apresenta dois prismas, ou filtros, chamados polarizador e analisador. Esses filtros estão posicionados estrategicamente entre a fonte de luz e o condensador (filtro polarizador) e entre a objetiva e a ocular (filtro analisador).

Na microscopia de luz comum, os feixes de ondas luminosas apresentam direção de vibração em todos os planos. Os filtros polarizadores promovem a seleção de apenas um plano de direção de vibração das ondas luminosas, o que é conhecido por *plano da luz polarizada (PPL)*.

As anisotropias ópticas são fenômenos de ordem espectral conhecidos por dicroísmo e birrefringência.

O dicroísmo ocorre quando apenas um filtro polarizador é colocado no sistema. Ele é expresso pela diferença de absorção do objeto em duas direções de deslocamento do feixe de luz no objeto (um perpendicular ao outro). A birrefringência ocorre quando cruzamos perpendicularmente os dois filtros, o polarizador e o analisador, dependendo da diferença entre os índices de refração do objeto.

Microscopia de campo escuro

Os microscópios de campo escuro apresentam um sistema especial de condensador. Esse condensador permite à luz ficar, de tal modo inclinada, que não atravessa o material. A luz atinge o espécime a ser analisado, e somente os feixes desviados pelo objeto percorrem o resto do sistema, isto é, as objetivas e as oculares, formando a imagem. Esse tipo de microscopia é utilizado somente para pequenos materiais, como plâncton, bactérias, pequenos cristais, grãos de pólen e outros objetivos transparentes à microscopia de campo claro convencional.

Microscopia de fluorescência

A microscopia de fluorescência está baseada na propriedade física de algumas substâncias absorverem a luz, em um determinado comprimento de onda, e emitirem luz, com comprimentos de onda maiores e níveis energéticos mais

baixos. Existem componentes celulares ou moleculares naturalmente fluorescentes, e outros que podem se ligar a substâncias fluorescentes (fluorocromos). Uma estrutura fluorescente deverá, em última análise, emitir brilho contra um fundo escuro.

O microscópio de fluorescência é diferente dos demais aparelhos já citados , por precisar de um sistema óptico que interaja pouco com a luz. A luz que alimenta seu sistema óptico é uma luz de mercúrio de alta pressão, cujos picos mais característicos variam entre 312 e 579 nm.

Outra peculiaridade do microscópio de fluorescência são os sistemas de filtros requeridos para detectar o brilho do material contra o fundo negro. São os chamados *filtros de excitação e filtros de barreira*. Os filtros de excitação localizam-se logo após a saída da fonte de luz e antes do condensador, tendo como finalidade selecionar o comprimento de onda desejado. Os filtros de barreira localizam-se entre a objetiva e a ocular, isto é, após o objeto, tendo como função primordial deixar passar somente a luz fluorescente emitida pelo espécime analisado, barrando assim a luz de excitação. Assim, o material fluoresce contra um fundo escuro.

Microscopia confocal a laser

Esse microscópio, desenvolvido recentemente e comercialmente disponível a partir de 1987, tem suas peculiaridades, permitindo, por exemplo, a observação de materiais espessos, sem coloração prévia, vivos ou pré-fixados. Esse aparelho pode obter imagens de planos focais específicos ou cortes ópticos. Esses cortes ópticos são, então, estocados em um computador e podem ser utilizados na reconstrução tridimensional e visualização da estrutura como um todo. Desta forma, os microscópios tradicionais trabalham com imagens analógicas, enquanto o confocal a laser, com imagem digital. Esse aparelho trabalha com a óptica de um microscópio de fluorescência, mas utiliza *laser* como fonte de luz alimentadora do sistema. O microscópio confocal permite o detalhamento de estruturas subcelulares que não apresentam limite de resolução compatível ao da microscopia de luz fluorescente convencional, como microtúbulos e outros elementos fibrilares do citoesqueleto e elementos finos da matriz extracelular.

Aplicação da microscopia de luz nas análises quantitativas e padrões texturais

Para a quantificação de elementos ou macromoléculas na célula, existem vários sistemas. O principal deles é o conhecido citofotômetro ou microespectrofotômetro. Esse aparelho comporta-se como um microscópio

comum, em seu sistema óptico, entretanto ele apresenta uma fotocélula que capta os sinais luminosos e os transfere para um terminal fotométrico (à semelhança de um espectrofotômetro utilizado nas dosagens bioquímicas), que transformará os valores absorciométricos em valores quantitativos. A citofotometria tem tido ampla aplicação na área de Biologia celular, principalmente para a quantificação de DNA e de proteínas, dentre outras macromoléculas.

Aos microscópios de luz, podem ainda ser acoplados sistemas analisadores de imagens, consistindo basicamente de microcâmeras de vídeo que captam a imagem e a transferem para um terminal de computadores tipo PC. *Softwares* específicos permitem a análise de padrões texturais dos componentes morfológicos nos tecidos, como a distribuição das massas cromatínicas em núcleos ou, até mesmo, padrões de arranjo das fibras da matriz extracelular.

Microscopia eletrônica

Os princípios que regem a óptica da microscopia eletrônica são os mesmos descritos para a microscopia de luz, sendo que o primeiro apresenta-se de maneira invertida, isto é, a fonte geradora dos feixes de elétrons está na porção superior do aparelho.

A microscopia eletrônica, como a microscopia de luz, também apresenta vários tipos de aparelhos com especificidades quanto ao funcionamento e à utilização. Basicamente, pode-se dizer que existem duas formas de microscopia eletrônica: a microscopia eletrônica de transmissão e a microscopia eletrônica de varredura.

Microscopia eletrônica de transmissão

O funcionamento do microscópio eletrônico de transmissão está relacionado, principalmente, à natureza dos feixes de elétrons, utilizados na formação da imagem. Nesse tipo de microscopia, os elétrons têm de interagir com o objeto para fornecerem a imagem. O objeto deve ser exatamente fino para permitir a passagem dos elétrons.

Microscopia eletrônica de alta voltagem

A utilização do microscópio de alta voltagem veio, de certa maneira, revolucionar a Biologia estrutural. Pois graças a esse aparelho, muitas estruturas subcelulares puderam ser descritas, como, por exemplo, a

organização tridimensional dos componentes do citoesqueleto, graças a possibilidades de se utilizarem espécimes com espessura, na casa dos micrômetros, e seria possível na microscopia eletrônica de transmissão convencional.

Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de transmissão fornece informações a partir de cortes ultra-finos de célula ou tecidos, pois a obtenção da imagem depende da interação dos elétrons com o material, ao ser atravessado por eles ou não.

O microscópio eletrônico de varredura pode velar feições topográficas de uma superfície em grande nitidez de detalhes. Esse aparelho fornece imagens tridimensionais, tanto de objetos relativamente grandes, como vermes e insetos, quanto de células livres, como tecidos animais e vegetais ou, até mesmo, embriões e fragmentos geológicos em análises de granulometria e textura de solos.

Microscopia de tunelamento quântico e de força atômica

O microscópio de força atômica assemelha-se ao de tunelamento quântico, com a diferença que este último apresenta um microespelho e um feixe de *laser* sobre a agulha. Esse fato permite uma menor agressividade à amostra e a detecção de detalhes de superfícies, sem maiores interferências com a amostra. Esse tipo de instrumento permite também a obtenção de imagens em solução ou de sequências que representam reações químicas ou modificações estruturais ao longo do tempo. Nesse tipo de aparelho também pode ser avaliada a estrutura atômica de biomoléculas.

MÉTODOS DE ESTUDO DA CÉLULA

Para a obtenção de um bom preparado citológico, ou histológico que seja passível de análise ao microscópio, é imprescindível que se tomem alguns cuidados durante todas as etapas do processamento. Esses cuidados vão desde a escolha e coleta do material, até a montagem do preparado permanentemente em lâmina histológica.

Coleta do material biológico

Essa etapa é de importância fundamental para o estudo dos componentes celulares e subcelulares, pois nesta fase é que são definidas as formas de análise dos preparados citológicos.

Montagem total

Consiste em coletar o material, que deverá ser fino ou transparente o suficiente para que o mesmo possa ser colocado diretamente sobre uma lâmina, e, assim, promover as técnicas subseqüentes de fixação e coloração.

Esfregaço

Células livres presentes nos fluidos corpóreos, como sangue, linfa, sêmen, líquido, hemolinfa, podem ser dispostas sobre lâmina em fina camada de maneira que possam ser observadas em microscópio de luz. O método de esfregaço consiste em colocar uma gota do material a ser analisado sobre uma lâmina, e, com o auxílio de uma outra lâmina, promover o deslizamento do líquido sobre a primeira lâmina, de forma que se faça uma camada do líquido com células sobre o vidro.

Espalhamento

O espalhamento, erroneamente chamado de esfregaço, consiste em promover uma raspagem das camadas superficiais de membranas mucosas com uma pequena espátula ou palitos e, posteriormente, deslizar esse material raspado sobre a superfície limpa de uma lâmina.

Esse tipo de prática é muito utilizada para a avaliação de mucosas vaginais, no conhecido exame preventivo de câncer denominado Papanicolau.

Esmagamento

Esse método consiste em esmagar, entre lâmina e lamínula, o material a ser analisado. Pode-se promover a coloração concomitantemente ao esmagamento, ou promover a retirada da lamínula com auxílio de nitrogênio líquido, e fazer a coloração posteriormente. O nitrogênio líquido congela rapidamente o material e a lamínula pode ser retirada sem que o material esmagado seja removido da lâmina. Esse método de coleta é muito eficiente para estudos de divisões celulares em tecido com alta taxa de divisão (raiz de cebola, testículos e glândulas salivares de insetos). Também, por esta maneira de coleta, pode-se estudar núcleos interfásicos inteiros com a vantagem de

obtenção de preparados na íntegra, podendo assim fazer quantificações de DNA e proteínas nucleares.

Decalque

O objetivo dessa técnica de coleta é de colocar sobre uma lâmina, devidamente limpa, núcleos inteiros de órgãos com relativa consistência mole, como, por exemplo, o fígado, o baço, os rins, o timo. A técnica consiste em retirar do animal um fragmento do órgão a ser estudado, e a face que foi cortada deverá ser levada em solução salina, para retirada do sangue, e secada em papel de filtro posteriormente. Ao promover esses movimentos, os núcleos ficarão impressos na lâmina, podendo ser feitos os passos seguintes de fixação e coloração. Essa técnica relativamente simples é muito útil para o estudo de quantidade de DNA, interações moleculares entre complexos DNA/proteína, textura cromatínica e análise de imagens dos fenótipos nucleares.

Corte histológico

Existem muitos estudos em que a inter-relação entre as células e a topografia dos tipos celulares deve ser respeitada. Assim, é necessário promover cortes extremamente finos dos órgãos a serem analisados. Para isto, utiliza-se o corte histológico. A técnica histológica consiste na obtenção de cortes extremamente finos (na casa dos micrômetros de espessura) e na sua colocação sobre a lâmina. Entretanto, para a obtenção desses cortes, é preciso que o material a ser analisado passe por um tratamento de inclusão em parafina, resina ou gelatina, ou simplesmente seja congelado. Com qualquer um desses tratamentos, o material ficará uniformemente duro, podendo ser facilmente cortado pelo micrótomo (equipamento utilizado na obtenção dos cortes; para cortes de parafina e historresinas é utilizado o micrótomo rotativo manual e para cortes ultrafinos para microscopia eletrônica é utilizado o ultramicrótomo).

Fixação biológica e agente fixadores

A fixação constitui uma das etapas mais importantes dos processamentos citológicos e histológicos, pois depende de processos físico-químicos nos quais os componentes macromoleculares dos tecidos e das células passam por um processo de insolubilização, que inativa os constituintes moleculares dos compartimentos teciduais ou celulares de origem. Em última análise, o processo de fixação biológica promove uma preservação das características morfológicas e macromoleculares dos tecidos ou células. A fixação também

tem função impedir a autólise ou degradação bacteriana do material biológico a ser analisado ao microscópio. A fixação é um passo importante de técnica citológica e histológica, pois a análise satisfatória de um determinado preparado depende da preservação adequada do que se quer analisar.

Os fixadores são agentes químicos das mais diversas funções orgânicas, que reagem quimicamente com os componentes celulares, promovendo a sua estabilização molecular. Os principais componentes celulares que podem ser preservados são as macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, polissacarídeos e lipídios). Na maioria das vezes, os fixadores agem sobre essas moléculas coagulando – as ou tornando – as insolúveis e, conseqüentemente, precipitando – as nos tecidos de origem.

Preparação do material para microscopia eletrônica de transmissão

Existem diferenças fundamentais entre o processamento de fragmentos de órgãos para a microscopia de luz e para a eletrônica. Serão abordadas, neste tópico, as principais diferenças entre as etapas para a técnica rotineira de obtenção de cortes ultrafinos. As diferenças no processamento residem no fato de serem necessários maiores cuidados com a preservação do material, visto que o poder da resolução da microscopia de luz. Estas diferenças referem – se ao processo de fixação, inclusão, corte e coloração. As células e os tecidos biológicos, assim como toda a matéria viva, são constituídos de elementos químicos de baixíssimo peso molecular, como, por exemplo, o carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o hidrogênio, dentre outros. Dessa forma, a visualização da matéria orgânica ao microscópio fica comprometida devido a seu baixo contraste. Além disso, o material a ser examinado ao microscópio de luz deve, em princípio, ser bem fino e transparente, para que a luz possa interagir com este para a formação da imagem. Partindo dessas colocações iniciais, se faz necessário preparar o material biológico por colorações ou reações que resultem numa resposta colorida dos elementos a serem analisados para que possamos visualizar o material com maior clareza de detalhes ao microscópio de luz.

A citoquímica é a área da Biologia celular e estrutural dedicada aos estudos dos métodos de coloração dos tecidos e constituintes celulares ou subcelulares, preocupando – se não somente com os princípios químicos das reações de coloração, mas também com os procedimentos protocolares para obtenção de preparados a serem avaliados aos microscópios.

Reações citoquímicas mediadas por ligações eletrostáticas

Nestas reações, dizemos que, por afinidade eletrostática, um corante ionizado em uma solução reage com um substrato (nome dado ao componente a ser avaliado pela reação) de carga iônica oposta. Assim, podemos enumerar dois fenômenos citoquímicos: acidofilia e basofilia. Entende-se por *acidofilia* o fenômeno **citoquímico** no qual um substrato carregado positivamente, chamado de **substrato** catiônico, reage eletrostaticamente com um corante carregado negativamente, dito **aniônico**. Assim, por ligação iônica esses dois elementos reagem e formam um composto colorido, que será evidenciado ao microscópio de luz.

Entende-se por *basofilia* como o fenômeno citoquímico no qual substrato carregado negativamente, chamado de substrato aniônico, reage eletrostaticamente com um corante carregado positivamente, dito catiônico.

Reações citoquímicas mediadas por ligações covalentes

Muitas são as reações citoquímicas mediadas por ligações covalentes, principalmente aquelas que necessitam ser facilitadas por uma molécula de componente metálico, que é chamado mordente. Os tricrômicos são conhecidos como técnicas citoquímicas para demonstração diferencial dos tecidos conjuntivos.

Os exemplos mais clássicos de reações citoquímicas mediadas por ligações covalentes são, entretanto, a reação de feulgen, para DNA e o teste do Ácido periódico – Schiff (PAS), para polissacarídeos neutros. Ambas as reações são obtidas a partir de um mesmo reagente chamado de Reativo de Schiff, que consiste num leucoderivado do corante Fucsina Básica. Esse reagente, quando em presença de aldeídos livres ou combinados nos tecidos, promove a coloração magenta característica.

A *reação* de feulgen tem, como pré-tratamento do material a ser submetido ao reagente de Schiff, uma hidrólise ácida pelo HCl, na qual a molaridade do ácido, o tempo e a temperatura podem variar na dependência do material a ser estudado.* É importante saber que essa hidrólise remove da molécula de DNA as bases púricas promovendo, assim, a depurinação do DNA sem as purinas, apresenta grupamentos aldeídicos, gerados a partir da instabilidade das desoxirriboses, sendo estes reativos ao reagente de Schiff.

O *teste do pás* é muito utilizado para avaliações citoquímicas de polissacarídeos neutros, como o glicogênio, o amido e a celulose, além de glicoproteínas. Baseia-se na capacidade do ácido periódico (HIO – 4) oxidar as ligações carbono – carbono das sequências 1 – 2 glicol dos carboidratos produzindo aldeídos. Após esse tratamento prévio com o ácido periódico, o

material será submetido ao reativo de Schiff e, assim como na reação de Feulgen, os aldeídos serão evidenciados em cor magenta.

Reações citoquímicas mediadas por interações hidrofóbicas

Essas reações são específicas para lipídios não polares como, por exemplo, os triglicerídeos e derivados do colesterol, sendo importante para o estudo de células adiposas e de elementos do tecido adiposo ou até mesmo para estudo dos lipídios da bainha de mielina nos nervos e em células hepáticas.

Essas colorações partem do princípio que os lipídios não – polares são altamente hidrofóbicos, portanto, as reações devem ser livres de água, conseqüentemente, os corantes a serem utilizados devem ser diluídos em soluções a base de álcool ou acetona. Assim esses corantes interagem com os lipídios hidrofobicamente.

Dentre os corantes específicos para lipídios, podem ser citados o *sudan Black*, o *sudan III* e o azul de Nilo.

Citoquímica enzimática

Os estudos citoquímicos de enzimas baseiam-se, principalmente, na possibilidade de averiguar *in situ* a atividade delas. Para isto, são necessárias alguns pré-requisitos como a preservação da integridade molecular da enzima, com fixações brandas e/ou cortes por congelamento, ou ainda tratamento em bloco. A imunocitoquímica utiliza a especificidade dos anticorpos na localização de moléculas ou de regiões de moléculas nas células ou tecidos. A visualização dos anticorpos depende do acoplamento deles com marcadores detectáveis que podem ser de diferentes tipos, dependendo dos interesses específicos e dos microscópios disponíveis para as análises. A imunocitoquímica consiste em uma excelente ferramenta para estudos sobre a célula, garantir grande especificidade, associada à identificação das relações estruturais entre a molécula de interesse e outros componentes e/ou compartimentos celulares. Normalmente, se marca o núcleo das células com um corante ou fluorocromo numa etapa final de contracoloração, para melhor localizar o produto da reação imunocitoquímica.

Anticorpos policlonais x anticorpos monoclonais

Quando uma macromolécula isolada, ou um conjunto de moléculas, é injetada em um animal, ela elícita a produção de anticorpos pelo organismo. Os anticorpos produzidos pelo organismo são específicos contra as diferentes

moléculas da mistura ou a diferentes regiões de uma mesma macromolécula e estão todos presentes no soro. A especificidade na utilização desses anticorpos só é garantida quando antígeno injetado é altamente purificado, sendo os anticorpos denominados monoespecíficos. Quando se utiliza soro do animal hospedeiro, que pode ser coelho, rato, camundongo, cabra, burro, cavalo, porco, macaco e, até mesmo, galinha, tem – se uma preparação chamada de policlonal, já que os anticorpos são produzidos por diferentes clones de linfócitos. Em contraste, os linfócitos B dos animais utilizados podem ser isolados e fundidos a células de um tipo de plasmocitoma (linfócitos B tumorais), adquirindo, destas últimas, grande capacidade proliferativa. À célula híbrida formada denomina-se hibridoma. Após as etapas de clonagem (isolamento de uma única célula) e de propagação dos clones que produzem o anticorpo de interesse, obtém-se uma linhagem celular que produz um único tipo de anticorpo, dirigindo a um único antígeno que corresponde a uma molécula da mistura inicial ou a um segmento da macromoléculas que serviu para imunizar o animal. Embora monoclonais possam ser obtidos a partir de diferentes espécies, os camundongos são os mais comumente utilizados.

Imunocitoquímica direta x imunocitoquímica indireta

Para serem localizados, os anticorpos precisam estar acoplados a marcadores que permitam a sua localização, uma vez que tenham se ligado ao antígeno específico. Quando o anticorpo é marcado por um marcador qualquer e pode ser observado imediatamente, o processo recebe o nome de imunocitoquímica direta.

Dessa forma, a estratégia comumente utilizada para evitar essa perda de anticorpos, que são destinados à localização dos antígenos, é utilizar um segundo anticorpo (anticorpo secundário), este sim, acoplado a um marcador, na localização do anticorpo primário. Nesse caso, tem-se a imunocitoquímica indireta possibilita também uma ampliação do sinal obtido, pois, a cada anticorpo primário, podem se ligar vários anticorpos secundários.

Imunofluorescência x imunoperoxidase

Quando o composto utilizado na marcação do anticorpo é um fluorocromo, a imunocitoquímica recebe, às vezes a designação imunofluorescência.

Embora os fluorocromos fluoresceína (que emite fluorescência verde) e rodamina (que emite fluorescência vermelha) sejam os mais conhecidos dos marcadores utilizados em imunocitoquímica, vários substitutos com melhores propriedades espectrais ou de estabilidade têm sido disponibilizados comercialmente. No caso desses dois, o reagente utilizado na marcação do

anticorpo é o isotiocinato de fluoresceína (FITC) e o isotiocinato de tetrametilrodamina (TRITC). Além da necessidade da utilização de um microscópio de fluorescência para observação das reações obtidas com uso de sondas fluorescentes, a preparação obtida tem vida limitada, principalmente devido à destruição dos fluorocromos pela exposição à luz de excitação.

Fracionamento celular

Em eucariotos, grande parte das vias metabólicas está compartimentalizada em organelas. Desse modo, se quisermos isolar uma enzima que catalisa uma reação específica, ou mesmo purificar uma determinada proteína que reside em determinada organela, é necessário isolar esta última das outras organelas celulares. O conjunto de procedimentos que levam à separação das organelas celulares chama-se *fracionamento celular*.

Para se estudar os componentes presentes em uma determinada organela, é necessário que se rompa a sua membrana por choque osmótico, ultrassom ou passando a suspensão de organelas através de pequenos orifícios. No caso do núcleo, pode ser usado um detergente, como *tween* ou *Triton*, que, ao solubilizar os lipídios da membrana permite a saída do conteúdo no clear, constituído de nucléolo, ácido nucléico e proteínas. O tratamento com ultrassom além de ser utilizado para romper o envelope no clear, é empregado para romper mitocôndrias.

Cromatografia líquida e eletroforese

O grande número de macromoléculas, a variedade de suas atividades biológicas e as diferenças químicas, entre elas organismos diversos, tornaram as técnicas bioquímicas de extração, purificação e caracterização, práticas comuns nas pesquisas em Biologia celular.

Entre os processos de purificação, a cromatografia líquida é um método de separação muito utilizado. Diferentes métodos cromatográficos podem ser empregados, levando em consideração as características da molécula de interesse. O resultado final pode ser a obtenção de um componente com um alto grau de pureza.

Cromatografia em gel filtração.

Nesta cromatografia, as moléculas maiores não conseguem entrar nas esferas do polímero, e por isso são as primeiras a serem eluídas da coluna. Já as de tamanho menor penetram nas esferas e, em consequência, sua migração é

mais lenta. As moléculas pequenas atravessam várias esferas, retardando ainda mais sua migração. Dependendo do tamanho das diferentes moléculas, elas podem ser eluídas da coluna em momentos diferentes, possibilitando que sejam separadas e até purificadas.

Cromatografia de troca iônica

A separação nessa cromatografia depende, principalmente, da carga elétrica das moléculas. As matrizes utilizadas nessa cromatografia são variadas (celulose, cepeharose etc) com grupos carregados positivamente, como o dietilaminoetil, ou negativamente como carboximetil. As matrizes modificadas com grupos DEAE são trocadoras de ânions, enquanto aquelas modificadas com CM são trocadoras de cátions. Nos dois casos, as moléculas serão eluídas com um gradiente crescente de cloreto de sódio.

Cromatografia por afinidade

Nessa cromatografia, a separação das moléculas (geralmente proteínas) é baseada em sua afinidade por um ligante.

Eletroforese

Uma forma de se analisar as proteínas obtidas e um processo de extração ou presentes em frações de uma cromatografia é pela **eletroforese**. Essa técnica consiste em separar moléculas colocadas em gel submetido a uma diferença de potencial elétrico.

Técnicas de DNA Recombinante

Estão cada vez mais disponíveis métodos que permitem avaliar com precisão a estrutura e expressão gênicas. A versatilidade e, em alguns casos, a simplicidade dessas metodologias, vem permitindo uma importante ampliação do conhecimento básico da estrutura e função gênicas, além de possibilitar o estudo de anormalidades genéticas, podendo envolver alterações em oncogenes e genes supressores de tumor, diagnóstico de agentes infecciosos, identificação de indivíduos, melhoramento animal e vegetal em Biologia do desenvolvimento, evolução de organismos e produção de proteínas

recombinantes. Finalmente, o desenvolvimento da tecnologia para geração de organismos transgênicos é uma aplicação direta da tecnologia do DNA recombinante.

O DNA consiste de um polímero dupla fita formado por resíduos de nucleotídeos trifosfatados unidos por ligações covalentes do tipo fosfodiéster.

A adição de um ou mais grupos fosfatos na posição 5' ou 3' da desoxirribose origina um nucleotídeo mono, de ou trifosfatado, dependendo do número de fosfatos.

A determinação da quantidade de DNA em diferentes organismos mostra, em geral, uma proporcionalidade entre esta, o tamanho do genoma e o estágio evolutivo. O ganho de DNA entre bactérias e mamíferos, é de três ordens de magnitude, muito além do aumento do espectro de proteínas presentes, Isso sugere o acúmulo de DNA com funções distintas daquela de codificar proteínas (genes estruturais). A expressão dos genes se dá pela síntese de um RNA, ácido ribonucleico, que difere do DNA apenas por conter uracila, em vez de timina, e ribose, em vez de desoxirribose. Entre os três tipos de RNA, sintetizados a partir do DNA, o mensageiro é o que codifica proteína. A dupla fita de DNA é mantida por pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas adenina/timina e citosina/guanina denominadas interações Watson Crick. Essas mesmas interações permitem que a síntese de uma molécula de RNA, a partir da molécula de DNA, seja uma cópia fiel da mesma, pois para a síntese de RNA, o DNA é aberto por um complexo enzimático específico e uma das fitas serve como molde para a maquinaria que sintetiza o RNA.

Hibridação *in situ* (HIS)

Como o nome indica, esta metodologia permite a identificação de genes ou de seus transcritos simultaneamente à localização celular, sendo também efetuada em preparações cromossômicas. Uma vez que pode ser realizada em tecidos fixados, embebidos em parafina, a hibridação *in situ* é principalmente empregada em estudos retrospectivos. Comparado às hibridações em filtro ou PCR.

Reação em cadeia da polimerase (PCR)

A reação de PCR utiliza certas características do processo de replicação do DNA. A DNA polimerase, enzima responsável pela replicação, utiliza uma molécula de DNA fita simples como molde para sintetizar uma nova fita complementar. Essa enzima também tem requerimento de um pequeno

segmento de DNA dupla fita para que, a partir deste ponto, ela possa iniciar a síntese. Durante o processo de síntese, faz-se necessária a presença de desoxirribonucleotídeos trifosfatados (dNTP), como precursores, e sal de magnésio em concentração específica com o co-fator para a DNA polimerase. A primeira etapa da replicação do DNA *in vitro* é a desnaturação do molde de DNA, ou seja, a separação da dupla fita, que pode ser obtida por aquecimento. Em seguida, é preciso que ocorra o anelamento dos iniciadores (*primers*) em pontos específicos da cadeia de fita simples do DNA molde, formando um pequeno segmento dupla fita que fornece para a DNA polimerase uma extremidade 3'OH livre da ribose para a adição de um novo nucleotídeo. Desse modo, em uma reação de PCR, pode-se direcionar a DNA polimerase para que ela sintetize uma região específica do DNA molde de interesse. Durante esse processo, as duas fitas do DNA servem como molde para a síntese, catalisadas pela DNA polimerase. Para que isso ocorra, faz-se necessária a presença de oligonucleotídeos iniciadores para cada fita do DNA molde. Os iniciadores são escolhidos para flanquearem na região do DNA que vai ser amplificado, de maneira que as novas fitas de DNA sintetizadas, iniciando-se sempre a partir de um iniciador, sejam estendidas até a posição do outro iniciador na fita oposta. Desse modo, novos sítios para a ligação dos iniciadores são gerados em cada nova molécula de DNA sintetizada. Se essa mistura de reação for novamente aquecida para separar as fitas moldes, tanto as fitas originais quanto as recém-sintetizadas, estão agora disponíveis para o anelamento com os iniciadores e a síntese de novas fitas complementares. Esse comportamento cíclico pode ser repetido *n* vezes, *sempre* seguindo esse padrão de desnaturação, pareamento e extensão.

PCR *in situ*

A técnica de PCR *in situ* tem o mesmo objetivo de uma hibridação *in situ*, porém utilizada quando o DNA alvo é muito raro, ou seja, poucas cópias estão presentes no tecido ou na célula, tornando sua detecção por hibridação *in situ* muito difícil. Nesse caso, aplica-se uma combinação do método de PCR e de hibridação *in situ*.

Sequenciamento de DNA

O método de Maxam e Gilbert inicia-se com a marcação do DNA a ser sequenciado no final de uma das fitas com ³²fósforo (³²P). A enzima polinucleotídeo cinase é usualmente utilizada para adicionar ³²P na extremidade hidroxil 5' da fita do DNA. O DNA marcado é então quebrado, preferencialmente em um dos quatro nucleotídeos, pelo emprego de reagentes químicos que especificamente modificam e removem as bases a partir de seus

açúcares. As condições de quebra são controladas de tal maneira que, em média, se obtenha uma quebra por cadeia. Os fragmentos de cada mistura são separadas por eletroforese em gel de poliacrilamida desnaturante; o gel seco é, então, exposto a filme de raio X e o auto-radiograma, analisado. Essa análise é baseada no fato de que os fragmentos de menor tamanho correspondem ao nucleotídeo mais próximo da marcação radioativa e, conseqüentemente, seria a extremidade 5' da fita de DNA que está sendo sequenciada.

BIOMEMBRANAS

As biomembranas são estruturas laminares, compostas principalmente de lipídios e proteínas, que definem os limites entre as células e o ambiente extracelular. Elas formam barreiras de permeabilidade seletiva, que regulam a composição molecular e iônica do meio intracelular. Também tornam possível a compartimentalização das atividades metabólicas, por meio da segregação de enzimas e outros componentes nas diferentes organelas membranosas presentes na célula.

As biomembranas possuem muitas enzimas e sistemas de transportes importantes. Alguns tipos especializados de membranas geram gradientes iônicos que podem ser utilizados para sintetizar ATP ou para produzir e transmitir sinais elétricos. Além disso, na superfície externa das células, estão localizados muitos sítios receptores ou de reconhecimento, que podem interagir com outras moléculas ou mesmo com outras células. Apesar dessas diferentes funções, as membranas têm em comum a sua estrutura geral: uma bicamada composta de lipídios e proteínas, mantidos juntos principalmente por interações hidrofóbicas.

Estrutura das membranas biológicas

No século passado, Kölliker observou que células animais e vegetais, quando colocadas em soluções iônicas concentradas, permitiam a passagem de água, mas não de moléculas solúveis. Isso sugeria a existência de uma barreira semipermeável envolvendo as células.

Em 1925, Gorter e Grendel extraíram fosfolipídios de eritrócitos humanos e os colocaram em um recipiente com água. Foi observado que esses lipídios formavam uma camada na interface entre a água e o ar.

Em 1935, com a descoberta de que as membranas também eram compostas por proteínas, foi proposto, por Danielli e Davson, um modelo no qual proteínas globulares encontravam-se na periferia das membranas, interagindo com as cabeças polares dos fosfolipídios.

O modelo de Danielli-Davson-Robertson, apesar de apresentar os seus méritos, era sujeito a críticas, como a limitação da permeabilidade que as camadas compactas de proteínas representavam. Por volta da década de 1970, observou-se que muitas proteínas de membrana apresentavam domínios estruturais compostos por α -hélices hidrofóbicas. Isso levou à sugestão de que algumas proteínas de membrana apresentavam-se inseridas na bicamada lipídica. Além disso, foi mostrado que antígenos de superfície eram capazes de se deslocar na superfície celular. Com esses conhecimentos em mãos, em 1972, Singer e Nicolson propuseram o *modelo do mosaico fluido* para as membranas biológicas. Esse modelo pressupunha que as proteínas estariam embebidas na bicamada lipídica, de forma que as porções hidrofóbicas das proteínas encontrar-se-iam no interior também hidrofóbico da bicamada, ambos protegidos do contato com a água. Isso indicava que essas proteínas apresentariam, portanto, três domínios distintos: 2 hidrofílicos, nas faces externas da membrana, e um hidrofóbico, no interior dela. O modelo propunha também que as proteínas, dada a fluidez dos lipídios, estivessem em movimento constante pela bicamada lipídica.

Composição química

As biomembranas são compostas basicamente por lipídios e proteínas, sendo que alguns desses componentes estão covalentemente ligados a carboidratos.

Lipídios

São substâncias orgânicas insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. Os lipídios são moléculas pequenas, sendo que há cerca de 50 moléculas de lipídios para cada molécula de proteína nas biomembranas. Dentre os vários tipos existentes, os mais abundantes nas membranas biológicas são os fosfolipídios, que pertencem à classe dos fosfoglicerídeos. Em menor quantidade, são encontrados os esfingolipídios e o colesterol.

Os fosfolipídios apresentam uma cabeça polar ou *hidrofílica*, e duas caudas apolares, ou *hidrofóbicas*. Dessa forma, pelo fato de apresentarem regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, os lipídios de membrana são moléculas anfipáticas. A cabeça polar é composta pelo glicerol (um triálcool), um fosfato e um álcool, como a colina, a etanolamina, o inositol ou a serina. As caudas apolares são compostas pelas cadeias carbônicas dos ácidos graxos.

Proteínas

Embora a estrutura básica de uma biomembrana seja dada pela bicamada lipídica, a maioria dessas funções específicas é realizada por proteínas. Entre essas funções, pode-se citar o transporte de íons e moléculas polares, interação com hormônios, tradução de sinais por meio de membranas e até estabilização estrutural. A razão entre proteínas e lipídios nas membranas varia de acordo com atividade funcional da mesma.

As proteínas de membrana podem se associar a lipídios de diversas formas. Algumas proteínas interagem muito fortemente com as porções hidrofóbicas dos lipídios de membrana. Essas proteínas só podem ser extraídas com o uso de agentes que quebrem essas interações, solubilizando as membranas, como os detergentes. Essas proteínas são conhecidas como *proteínas intrínsecas*. As proteínas intrínsecas estão inseridas na bicamada lipídica e apresentam *domínios citoplasmático, transmembrana e não-citoplasmático*. Os domínios que passam pelo interior das membranas e que fazem parte de um ambiente hidrofóbico possuem, em sua maioria, resíduos de aminoácidos hidrofóbicos.

Os carboidratos

Os carboidratos são de grande importância para a fisiologia das biomembranas. Eles ocupam espaço relevante da superfície das membranas. No caso da membrana plasmática, os carboidratos presentes na superfície celular compõem um tipo especial de camada, com cerca de 10 a 20 nm, conhecida como *cobertura celular* ou *glicocálix*. Uma vez que os carboidratos carregados negativamente, em especial o ácido siálico, apresentam-se em quantidades significativas, o glicocálix é, em grande parte, responsável pela carga elétrica negativa encontrada na superfície da célula.

A função mais importante dos carboidratos nas membranas é o reconhecimento molecular, o que permite também a comunicação intercelular.

Aspectos funcionais

Fluidez das membranas

Dada a ausência de ligações químicas entre os diferentes componentes das biomembranas, eles possuem relativa liberdade com respeito aos adjacentes e são livres para se mover no plano da bicamada. A fluidez é a capacidade de movimentação dos diferentes componentes na bicamada lipídica.

A movimentação dos lipídios é de extrema importância. Além de diminuir a rigidez das membranas biológicas, ela permite a difusão dos seus diferentes constituintes. Na verdade, a maior parte dos fenômenos associados à fisiologia das membranas, entre eles a atividade enzimática e o transporte de solutos, é profundamente afetada pela fluidez. A fluidez é uma característica dada pela composição lipídica. Dentre os fatores que podem interferir na fluidez estão (1) a presença ou não de insaturações nas cadeias dos ácidos graxos, (2) a temperatura ambiental, (3) a presença de moléculas interpostas na bicamada lipídica, e (4) a própria dieta alimentar.

. *Presença de insaturações:* as cadeias carbônicas dos ácidos graxos podem ser saturadas ou insaturadas. As insaturações fazem com que os ácidos graxos ocupem um maior espaço no plano da membrana, possibilitando assim um maior espaço no plano da membrana. Possibilitando assim uma maior movimentação dos lipídios e conseqüentemente das proteínas.

. *Temperatura:* a temperatura interfere na fluidez das membranas porque os ácidos graxos que os compõem apresentam um determinado *ponto de fusão* e, conseqüentemente, uma *transição de fase*. O ponto de fusão dos ácidos graxos é a temperatura em que a molécula passa do estado gel para um estado *líquido-cristalino*. Em uma biomembrana no *estado gel*, os fosfolipídios estão completamente estendidos e alinhados, agrupando-se de forma bastante fechada e perpendicular ao plano da bicamada. A movimentação dos lipídios, nesse caso, fica bastante restrita, o que torna a membrana bastante rígida, compacta e impermeável. Por outro lado, o estado líquido-cristalino é caracterizado por uma intensa movimentação dos ácidos graxos, o que representa uma maior fluidez e maior permeabilidade.

. *Presença de moléculas interpostas:* a presença de moléculas entre os fosfolipídios, como o colesterol, é capaz de interferir na fluidez, pois altera o grau de compactação normal dos ácidos graxos e dificulta a movimentação destes no plano da bicamada. O colesterol quebra a estrutura altamente ordenada das cadeias dos ácidos graxos. Assim, em uma dada temperatura, por impedir a aproximação e a associação lateral, o colesterol mantém as cadeias de hidrocarbonetos dos fosfolipídios em um estado fluido intermediário entre o gel e o líquido-cristalino.

. *Dieta alimentar:* outro fator que pode interferir na composição lipídica das membranas celulares e, como conseqüência, na sua fluidez, é a dieta. Os lipídios obtidos via cadeia alimentar, entre eles ácidos graxos saturados, insaturados, poliinsaturados e o próprio colesterol, são incorporados às membranas. Desta forma, a dieta observada em uma dada população, seja animal ou humana, é capaz de interferir de forma bastante acentuada na fisiologia das membranas biológicas.

Permeabilidade

Se analisarmos a permeabilidade de membranas lipídicas sintéticas, veremos que elas bloqueiam a passagem da maioria das moléculas polares, de moléculas apolares grandes (de alta massa molecular) ou moléculas carregadas eletricamente. Essa barreira é de crucial importância, pois permite à célula manter diferentes concentrações de solutos no citoplasma em relação ao fluido extracelular.

O transporte mediado por proteínas nas membranas pode ser feito de três formas diferentes:

- . *Uniporte*: quando uma única molécula é transportada unidirecionalmente através da membrana;
- . *simporte*: quando duas moléculas são transportadas simultaneamente em uma mesma direção;
- . *Antiporte*: quando duas moléculas são transportadas, simultaneamente, em direções opostas.

O transporte através das biomembranas ocorre por dois mecanismos básicos. Por difusão (transporte passivo) ou por transporte ativo. A difusão é caracterizada por não existir gasto energético durante o transporte. Ela pode se dar por **difusão simples** ou por **difusão facilitada**. O transporte ativo é caracterizado basicamente envolver gasto energético. Vejamos agora as principais formas de transporte através das biomembranas.

Difusão simples: ocorre a favor de um gradiente de concentração de soluto, até que seja atingido equilíbrio entre os dois comportamentos. A velocidade da difusão depende da solubilidade dos solutos em relação aos lipídios e do tamanho das moléculas. Quanto a maior a solubilidade das moléculas nas membranas, maior será a permeabilidade e mais rápido o transporte dessas moléculas. Por exemplo, as solubilidades do oxigênio e do nitrogênio são extremamente altas. Desse modo, esses compostos se deslocam pelas membranas como se elas não representassem qualquer barreira. Moléculas com a mesma solubilidade terão como fator limitante ao transporte o seu tamanho. As que forem menores permeiam mais facilmente pelas membranas.

. *Difusão por canais proteicos*: os canais proteicos constituem vias aquosas para a passagem de solutos. Esses canais são altamente seletivos à passagem de solutos de íons ou moléculas. Essa seletividade é consequência das próprias características dos canais, como o seu diâmetro e a disposição de cargas elétricas ao longo deste. Os *canais de sólido*, por exemplo, apresentam diâmetro entre 0,3 e 0,5 nm e são riscos em cargas negativas. Essas cargas atraem os íons Na⁺ em maior quantidade que outros compostos, pois a relação

entre a força de atração e o diâmetro iônico é maior para o sódio que para outros íons.²³ Já os *canais de potássio* não apresentam cargas elétricas, de modo que não exercem atração molecular. Uma vez que o íon Na⁺ é menor que o K⁺, sua densidade de cargas e seu campo elétrico são mais fortes. Assim, a forma hidratada do Na⁺ é maior em diâmetro que o K⁺. Como consequência, os íons potássio hidratados são menores e arrastam uma menor quantidade de água. Desta forma, eles passam por seus canais, enquanto os íons sódio hidratados são retidos em decorrência de suas dimensões. Os canais proteicos nem sempre estão abertos. Existe um sistema de fechamento, semelhante a comportas, que os obstruem. Esse sistema de fechamento representa um mecanismo fisiológico que permite o controle da permeabilidade das biomembranas. Esses canais podem ser abertos por (1) potenciais elétricos gerados nas membranas ou (2) por interações com outros tipos moleculares, como hormônios ou neurotransmissores.

. *Difusão facilitada*: um grande número de componentes, como açúcares e aminoácidos, atravessam as biomembranas com uma taxa maior do que a esperada em relação ao seu tamanho, carga elétrica ou concentração. Esses compostos são translocados para o interior da célula por meio da difusão facilitada. Esta última é uma forma passiva de transporte mediada por carreadores que apresentam especificidade para os solutos presentes no meio extracelular; entretanto, por se tratar de um transporte mediado por proteínas de membrana, ela apresenta um limite de saturação. Acima desse ponto, o aumento na taxa de transporte não é mais observado, embora a concentração do soluto possa aumentar. Apesar da difusão facilitada ser proporcional, um deslocamento mais rápido que as outras formas passivas de transporte, ela é incapaz de carrear moléculas pelas membranas contra um gradiente de concentração. A distribuição de Na⁺ e K⁺, por exemplo, depende de transporte ativo, que consome de 25% da energia da maioria das células e até 60% da energia de células excitáveis, como neurônios.

. *transporte ativo*: esse transporte é feito às custas de gasto energético. Ele é mediado por proteínas carregadoras, da mesma forma que na difusão facilitada. No entanto, no transporte ativo o carreador consome energia química (ATP) para promover o transporte de moléculas contra gradientes de concentração ou eletroquímicos. O exemplo mais comum de transporte ativo é a bomba de sódio e potássio, mediada pelo carreador Na⁺/K⁺- ATPase. Esse mecanismo transporta íons Na⁺ do interior da célula para fora e íons K⁺ do ambiente extracelular para o citoplasma. Embora o Na⁺/K⁺- ATPase seja o exemplo mais conhecido de transporte ativo, ele não é o único que ocorre na célula. A bomba de Ca²⁺ é um carreador encontrado na membrana plasmática e em endomembranas, como as mitocôndrias e do retículo sarcoplasmático (o retículo endoplasmático das células musculares). Esse carreador, como o próprio nome sugere, promove o transporte de Ca²⁺. Outro carreador que

trabalha mediante gasto energético é a bomba de H⁺, presente nas membranas lisossomais. Assim como no caso da difusão facilitada, o transporte ativo também apresenta um ponto de saturação, que é atingido quando todos os carregadores de membrana estão trabalhando em atividade máxima.

O transporte ativo é de extrema importância para a fisiologia da célula, embora seja bastante dispendioso em termos energéticos. Uma boa parte da energia celular é gasta em processos dessa natureza.

Especializações de membrana

Microvilosidades

As microvilosidades são especializações digitiformes da membrana plasmática responsáveis pela ampliação da superfície celulares visados trocas entre a célula e o meio. Essas estruturas estão especialmente presentes nas células absorptivas, como as células epiteliais ou dos túbulos proximais dos rins. Estruturalmente, as microvilosidades assemelham-se a um cilindro recoberto pela membrana plasmática. Um feixe de filamentos de actina constitui o cerne da microvilosidade, dando-lhe o formato característico. Os filamentos de actina estendem-se em direção ao citoplasma e conectam-se a uma rede de filamentos de actina que constituem a trama terminal. Recobrendo externamente a vilosidade, existe um glicocálix desenvolvido, principalmente no intestino. O tamanho e a densidade das microvilosidades variam conforme o tipo celular.

Estereocílios

À semelhança das microvilosidades, os estereocílios também tem importância no aumento da superfície de trocas entre a célula e o meio que a circunda. Os estereocílios são mais longos e mais finos que as microvilosidades e não apresentam o feixe de actina característico destas últimas. No epidídimo, os estereocílios (pontas de seta) estão envolvidos com a modificação da composição do líquido em que ficam imersos os espermatozoides (seta) durante a sua capacitação.

Bainha de mielina

A bainha de mielina corresponde a expansões da membrana plasmática das células de Schwann, que se enrolam ao redor de alguns tipos de axônios (Ax). A função principal da bainha de mielina é garantir um isolamento elétrico do axônio, que contribui para aumentar a velocidade de propagação do impulso nervoso. Entre uma célula de Schwann e outra há uma descontinuidade da bainha de mielina (conhecida como nódulo de Ranvier). O empacotamento das membranas é bem estreito e a extensão bastante longa, de forma que a passagem de nutrientes ocorre através de junções comunicantes que apareçam nos níveis das incisuras de Schmidt – Lantermann.

JUNÇÕES CELULARES

As células dentro de um tecido, ou órgão, estão interconectadas com outras células e com a matriz extracelular por meio de estrutura especializadas da membrana plasmática, denominadas junções intercelulares e junções célula–matriz respectivamente. Estruturalmente, as junções intercelulares são classificadas em quatro diferentes componentes: junção de oclusão (*zonula occludens* ou *tight junction*), junção aderente (ou *zonula adherens*), desmossomo (ou *maculae adherens*) e junção comunicante (*nexus* ou *gap junction*). Quanto às junções célula – matriz, estas podem ser divididas em dois tipos: a *junção de adesão focal* e o *hemidesmossomo*. Todas essas junções celulares não são necessariamente encontradas em todos os tipos celulares do organismo; as células do sangue, por exemplo, são desprovidas dessas estruturas. Em outros casos, como no dos epitélios de revestimento, as junções aparecem bem desenvolvidas.

Tem sido demonstrado que essas especializações da membrana se constituem em elementos altamente dinâmicos e reguláveis da membrana celular, sendo modulados por substâncias e tratamentos diversos. Várias proteínas integrantes das junções já foram identificadas, isoladas e bioquimicamente caracterizadas, tendo sido evidenciado o envolvimento dessas estruturas em vários processos fisiopatológicos. A disfunção de algumas junções pode contribuir na etiologia do processo de infecção bacteriana intestinal, câncer e metástase, doenças dermatológicas de origem auto-imune, neuropatias etc.

Junções intercelulares

Junções intercelulares são definidas como especializações da membrana plasmática que interconectam células vizinhas dentro de um tecido. As junções foram originalmente denominadas *barra terminal*, pois apareciam como uma série de pontos mais corados das membranas laterais de células adjacentes, imediatamente abaixo da superfície apical do epitélio intestinal, observado por microscopia de luz. Acreditava-se que, neste local ocorria depósito de um cimento intercelular que servi para selar o espaço intercelular. Com o advento da microscopia eletrônica, entretanto, a barra terminal (termo, agora, em desuso) foi identificada como um complexo de estruturas morfológicamente distintas, localizadas na membrana lateral da célula. No caso tecido epitelial, a junção de oclusão (localizada na porção mais especial), pela junção aderente e pelo desmossomo, foram uma tríade na membrana lateral das células, conhecida como complexo Unitivo. Funções específicas foram atribuídas a cada um dos componentes das junções intercelulares, baseando-se na sua ultra-estrutura visualizada por microscopia eletrônica. A junção de oclusão, a junção aderente e os desmossomos representam dispositivos de adesão intercelular. No epitélio de revestimento, a junção de oclusão age como uma barreira de difusão, limitando a permeação de H₂O, íons e pequenas moléculas entre as células (ou via paracelular). A junção comunicante desempenha uma função importante no processo de comunicação intercelular. A estrutura bioquímica do complexo Unitivo tem sido intensamente estudada, nos últimos anos, tendo sido identificadas várias proteínas integrantes a essas estruturas.

ENVOLTÓRIO NUCLEAR

A existência de um sistema que delimita o núcleo celular foi sugerida já com as primeiras observações do próprio núcleo celular. Posteriormente, a presença de um sistema membranoso foi reforçada por experimentos de permeabilidade, de micromanipulação e com o emprego da microscopia de polarização.

Em inglês, o termo *nuclear envelope* tem sido empregado para designar esta complexa estrutura que delimita o núcleo celular. Em nosso idioma, parece que *envoltório nuclear* é termo mais adequado que envelope nuclear, carioteca, invólucro nuclear ou membrana nuclear, por melhor expressar a complexidade apresentada por esta organela e sua participação na estrutura e fisiologia nucleares.

A compartimentalização do material genético é uma característica fundamental das células eucarióticas e esta parece ser a função primordial do

envoltório nuclear. Porém, outras funções têm sido descobertas. Assim, pode-se atribuir ao envoltório nuclear papéis (1) na separação dos processos de transcrição (a síntese de RNA a partir de um molde de DNA), que acontece no núcleo, e de tradução (a síntese de proteínas com base de um molde de RNA mensageiro, com a participação dos ribossomos e outros componentes), que acontece no citoplasma; (2) na organização espacial do material genético no interior do núcleo, sendo que cromossomos e genes ocupam posições definidas no núcleo interfásico e (3) na determinação da forma e proteção mecânica do conteúdo nuclear, deixando-o menos sujeito aos movimentos celulares e/ou do citoplasma, ocasionados pelo citoesqueleto. O envoltório nuclear também representa uma barreira seletiva, criando diferenças na distribuição de proteínas e íons entre o núcleo e o citoplasma. Esta função depende de trocas núcleo-citoplasmáticas obrigatórias à vida celular, existindo mecanismos de importação-exportação de componentes produzidos em um dos compartimentos e destinados ao outro.

Outra característica do envoltório nuclear da maioria das células eucarióticas é a sua desintegração e reestruturação durante o ciclo celular, dois eventos finamente regulados pelos mecanismos de controle da divisão celular.

A complexidade do envoltório nuclear já era notada pela identificação ultraestrutural do conjunto das duas membranas, do próprio espaço delimitado por elas (denominado *espaço perinuclear*), dos pontos de interrupção e fusão das duas membranas em estruturas denominadas *complexo de poro*, e da presença de uma lâmina densa nuclear interna de espessura variável, a *lâmina nuclear*.

O transporte através dos complexos de poro

Após a identificação dos *complexos de poro*, com o auxílio da microscopia eletrônica, passou-se a acreditar que partículas de pequeno tamanho passam livremente através do envoltório nuclear. O limite desse tamanho seria ditado não pelo diâmetro do poro propriamente dito, mas pelos componentes aparentemente fibrilares que se estendem em direção ao seu centro.

Alguns experimentos, utilizando íons ou solutos de baixa massa molecular, demonstraram que partículas com até 4,2 kDa difundem-se, passivamente, através do envoltório nuclear, o que seria compatível com a existência de canais aquosos com cerca de 9 a 10 nm de diâmetro. Componentes de 12 a 50 kDa também se difundem através do envoltório nuclear, porém com velocidades inversamente proporcionais aos seus tamanhos.

Entretanto, já na década de 1960, experimentos com microeletrodos foram capazes de determinar a existência de uma diferença de potencial estabelecida pelo envoltório nuclear entre o citoplasma e o núcleo. Isso indicava que o envoltório nuclear não só constituía uma barreira à passagem de íons, mas também mantinha uma diferença em suas concentrações, apesar da existência dos complexos de poro confirmada pela microscopia eletrônica.

Além disso, mais recentemente, grande atenção foi dispensada à identificação dos mecanismos de controle da concentração nuclear de cálcio, face à importância desse íon na regulação de diversos processos nucleares, destacando a ativação de endonucleases, que tem papel importante em processos como a morte celular programada (apoptose), por exemplo. Em várias situações, foram demonstradas variações na concentração nuclear de cálcio durante alterações fisiológicas da célula. Por outro lado, em outros tipos celulares, como em alguns oócitos, parece não existir qualquer diferença entre as concentrações nucleares e citoplasmáticas desses íons. Então, pode-se concluir que essas variações resultem de variações funcionais específicas do tipo celular e do momento fisiológico, além de reforçar a ideia da existência de mecanismos de controle das concentrações iônicas associados ao envoltório nuclear, não necessariamente exclusivos dos complexos de poro. Acredita-se, por exemplo, que o cálcio acumulado no espaço perinuclear tenha importância na regulação da concentração intranuclear de cálcio, sendo necessário, para isto, que haja transportadores de cálcio em nível da membrana nuclear interna.

Embora já tenha sido observado o brotamento de vesículas das membranas nucleares, o transporte de macromoléculas basicamente depende das trocas que ocorrem no complexo do poro. Proteínas e RNA são transportados à custa de gasto de energia através dessas estruturas.

A translocação de componentes na direção nuclear ocorre em um processo de duas etapas. A primeira corresponde à ligação com o complexo de poro e a segunda, à translocação propriamente dita através do canal. Como mencionado, macromoléculas, maiores que o diâmetro do poro, são também translocadas, sofrendo modificações conformacionais necessárias que ocorrem com gasto de energia. A existência desse sistema de duas etapas é confirmada pela demonstração de que a depleção de energia impede a translocação do material com destino nuclear, mas não a sua ligação com envoltório nuclear.

O transporte de proteínas citoplasmáticas para o núcleo depende da existência de uma *sequência de localização nuclear* (NLS, *nuclear localization sequence*), que corresponde a um conjunto de aminoácidos, geralmente de caráter básico, que são reconhecidos por receptores citoplasmáticos, conjuntamente denominados *importinas*, e então direcionados ao complexo de poro, o que garante a sua internalização. Alguns dos mecanismos reguladores

da translocação de proteínas residem na exposição ou bloqueio dessas sequências, o que pode ocorrer por alterações na conformação da proteína, promovidas por modificações pós-traducionais ou pela associação com fatores específicos (que pode ser um hormônio esteroide, por exemplo). Além disso, tem sido demonstrado que modificações covalentes por fosforilação também são importantes na regulação do transporte. Se a fosforilação ocorre em um dos aminoácidos da sequência de localização nuclear, o transporte é reduzido e a proteína acumula-se no citoplasma. Se a fosforilação ocorre em sítios adjacentes, mas a uma certa distância da NLS, o transporte é acelerado.

Em outras situações, a sequência pode ser apenas estrutural e não residir necessariamente na sequência primária da proteína. Isso significa que a sequência de localização nuclear somente é formada devido a um arranjo específico encontrado em certa conformação da proteína. Além disso, algumas proteínas podem também ser transportadas para o interior do núcleo sem possuir a NLS, atingindo o núcleo por interações com outras proteínas competentes para a translocação.

O complexo proteína e importina, após ser translocado para o núcleo, é desfeito pela associação com uma proteína denominada RN-GTP. Essa molécula associa-se à importina, desfazendo o complexo. No citoplasma, o GTP é hidrolisado a GDP e o complexo se desfaz, disponibilizando a importina para um novo ciclo de transporte para o interior do núcleo.

As vias de transporte de moléculas entre o núcleo e o citoplasma

Diferentes moléculas atravessam os complexos de poro. A existência de moléculas que se concentram no citoplasma ou no núcleo demonstra a existência de mecanismos de transporte na direção do compartimento alvo e/ou mecanismos de retenção, que impedem o transporte enquanto a molécula não está madura ou mesmo o seu retorno ao compartimento de origem.

Pelo processo de difusão, moléculas que possuem massa molecular até 50 kDa passam livremente pelo complexo de poro, estabelecendo um equilíbrio entre os dois compartimentos, a não ser que os mecanismos de retenção, mencionados acima, concentrem-nas num dos lados do envoltório nuclear. Quando as moléculas apresentam massa molecular acima de 50 kDa, a sua passagem pelo complexo de poro depende de outros fatores além de sua maior concentração em um dos compartimentos. No processo de difusão facilitada, as moléculas a serem transportadas interagem com componentes do complexo de poro, que auxiliam a sua passagem para o outro compartimento. Aparentemente, não há restrição de tamanho para a passagem dessas moléculas, cujo transporte depende da ação do complexo de poro, mas a passagem se dá no sentido de equilibrar as suas concentrações nos dois

compartimentos. Por outro lado, para aqueles componentes que são concentrados no núcleo, há o processo de importação mediada por sinal. Esses componentes não passam por difusão simples através do complexo do poro e dependem de sinais específicos (sinais de localização nuclear – NLS), reconhecidos por receptores citoplasmáticos, que medeiam a sua interação com o complexo de poro e facilitam a sua translocação para o núcleo. Da mesma forma, para aqueles componentes que se originam no núcleo e precisam ser transportados para o citoplasma, existe o mecanismo de exportação mediada por sinal (dependentes de sinal de exportação nuclear – NES). Neste caso, são transportados, principalmente, os complexos RNA-proteínas que se destinam ao citoplasma. Esses componentes só entram no sistema de exportação nuclear, quando os mecanismos de retenção são removidos, após o apropriado processamento do RNA. É importante ressaltar que os receptores (e carreadores associados a eles) são transportados de volta para o compartimento de origem, sendo reutilizados na mesma via de transporte.

Mutações nos genes que codificam proteínas da lâmina nuclear são causas de distrofias

São várias as proteínas que fazem parte da lâmina nuclear. As laminas A/C e outra proteína da lâmina nuclear, a emerina, têm sido implicadas em um tipo de distrofia muscular, a Distrofia Muscular de Emery-Dreyfuss. No caso das mutações dos genes das laminas, a distrofia tem caráter autossômico, enquanto a associada à emerina tem caráter ligado ao cromossomo X. Esse tipo de distrofia muscular atinge adolescentes e se caracteriza por encurtamento dos músculos da perna e do antebraço. Na maioria dos casos, os problemas cardíacos manifestam-se entre os 20 e 40 anos. Nos casos mais graves há severa disritmia ventricular (levando à morte súbita). O aumento da creatinina plasmática revela, na maioria dos casos, lesões nas células musculares. Essas células apresentam tamanho variável e as do tipo I são atroficas. A distrofia muscular decorrente de mutações nos genes de proteínas associadas à lâmina nuclear não é bem entendida. Acredita-se que as proteínas da lâmina nuclear (1) interajam com fatores de transcrição específicos que são necessários para a manutenção da integridade da célula muscular, (2) façam parte das estruturas de reforço do núcleo que protegem a célula muscular do estresse mecânico e (3) sejam responsáveis pela ancoragem de heterocromatina à superfície interna do núcleo, afetando a expressão gênica. Embora todas essas possibilidades ainda não estejam comprovadas, a falha de qualquer uma delas pode ser a responsável pelos danos das células musculares. Entretanto, uma característica comum das células afetadas é a desestruturação do envoltório nuclear e o extravasamento do conteúdo nuclear para o citoplasma. Uma questão relevante é a razão pela

qual as células musculares são alvo das modificações, uma vez que todas as células carregam a mesma alteração genética. Uma provável explicação está no fato de que as células musculares têm pouquíssimas laminas do tipo B1, que são bastante abundantes nos outros tipos celulares e, aparentemente, contribuem para diminuir o efeito de mutações deletérias nos genes das laminas A/C. Esse tipo de distrofia pode ser reproduzido experimentalmente por meio da produção de camundongos *knock out* para o gene das lâminas A/C.

Por outro lado, alguns tipos de mutações nos genes das lâminas A/C estão associados à lipodistrofia familiar do tipo Dunnigan. Não surpreendentemente, os *knock out* para as laminas A/C também se caracterizam por uma perda progressiva dos adipócitos.

Outra manifestação da ausência de laminas A/C funcionais é na neurodegeneração periférica que ocorre em pacientes com a síndrome de Charcot-Marie-Tooth. Mutações nos genes das laminas B também levam a alterações nucleares. A anomalia de Pelger-Huet foi recentemente relacionada a mutações nestes genes. Sua principal característica é a presença de granulócitos com núcleos arredondados, ao invés de apresentarem a típica lobulação observada nestas células. Os pacientes podem apresentar também encurtamento de alguns dos ossos longos.

Especializações do envoltório nuclear

Formas irregulares, sulcos da superfície e retículo nuclear

Algumas células, como aquelas das glândulas salivares de alguns insetos, apresentam núcleo com formato bastante irregular. Esse formato é adotado pela ação do citoesqueleto de actina e sua forma aparentemente mantida pela lâmina nuclear. Em células de mamíferos, também são encontradas algumas variações, como sulcos na superfície ou canais que se estendem para dentro do núcleo, mantendo-se revestidos pelas membranas do envoltório e, às vezes, contendo complexos de poro. Em todos esses casos, acredita-se que se tratem de especificações que favorecem as trocas núcleo-citoplasmáticas, promovendo uma ampliação da superfície nuclear. Em algumas situações, fica clara a associação desses canais com domínios nucleares. Análises fisiológicas mais detalhadas demonstraram a continuidade desses canais com o envoltório nuclear e com o RE. Além disto, existe um mecanismo de liberação de cálcio para o interior do núcleo, regulado por moléculas sinalizadoras e que permitem a disponibilização desse íon, que controla a função de diversas

moléculas para domínios nucleares específicos, e não para o núcleo como um todo. Este sistema recebeu o nome de **retículo nuclear**.

A função de nucleação de microtúbulos em plantas

A divisão celular em vegetais é denominada acêntrica, dada a ausência de centríolos. Já há algum tempo, entretanto, foi demonstrado que as moléculas que desencadeiam a polimerização dos microtúbulos estão associadas à superfície nuclear. Desta forma, núcleos de células vegetais isoladas são capazes de nuclear a polimerização de microtúbulos. Foi também demonstrado que, pelo menos algumas das moléculas, existentes na superfície nuclear das células vegetais, apresentam reação cruzada com anticorpos produzidos contra moléculas associadas ao centríolo das células animais. Além disto, foi também demonstrada a participação de tubulina e, como elemento auxiliar, associada à superfície do núcleo.

A desestruturação do envoltório nuclear no início da divisão celular

Até pouco tempo, acreditava-se que o envoltório nuclear era desestruturado de maneira uniforme, dada a desestruturação da lâmina nuclear. Alguns estudos demonstraram, entretanto, que o envoltório nuclear rompe-se inicialmente num ponto localizado da superfície do núcleo. Foi também demonstrada uma íntima associação do centríolo com depressões da superfície nuclear. Os estudos demonstraram então que a região de rompimento do envoltório nuclear é diametralmente oposta à região de associação do centríolo com o núcleo e que, aparentemente, nesta associação, ocorre uma distensão do envoltório nuclear na região oposta, o que, em associação com a desestruturação da lâmina nuclear, levaria ao rompimento do envoltório. Sabe-se também que há uma participação bastante ativa dos microtúbulos do fuso em formação, assim como de moléculas de dineína que se ancoram na superfície nuclear e movimentam-se sobre os microtúbulos, auxiliando na tração das membranas nucleares na direção do sulco em que se encontra o centríolo.

Cromatina e cromossomos

Cromatina é o complexo de DNA, proteínas histônicas e não-histônicas, presente no núcleo de células em interfase. Moléculas de RNA podem fazer parte temporariamente desse complexo. Durante a fase de divisão celular, a

cromatina sofre alterações em sua morfologia, composição e função, apresentando – se sob a forma de unidades individualizadas conhecidas por cromossomos.

Nos núcleos interfásicos, a cromatina pode se apresentar diferentemente compactada, granulosa ou filamentosa e com distribuição textural variada, quando se consideram células de mesmo tecido ou, até mesmo, tipos celulares em diferentes momentos fisiológicos, sendo assim identificados diferentes fenótipos nucleares.

Com frequência, a cromatina se acha ligada à matriz nuclear, uma estrutura filamentosa proteica com diversos papéis, entre os quais os de compactação e organização de cromatina, o de regulação da expressão gênica e o da replicação de DNA.

Em nível ultra-estrutural, a cromatina mostra – se constituída por uma estrutura filamentosa com cerca de 10 a 30 nm de espessura, que sofre níveis adicionais de empacotamento. Como esse filamento se encontra organizado no interior dos núcleos ou mesmo constituindo os cromossomos, somente pode ser compreendido com a associação de técnicas bioquímicas, de Biologia molecular e de microscopia eletrônica mais moderna, tendo sido muito importante, em todos os casos, o emprego de enzimas especiais, como as de endonucleases.

Composição química

DNA

Dentre os componentes da cromatina, o DNA é o banco de informações genéticas da célula e seu vetor pelas várias gerações celulares. O DNA encontra-se na cromatina na forma de macromoléculas. Constitui-se de duas cadeias helicoidais de polinucleotídeos complementares (purina – pirimidina), que associam por ligações de hidrogênio, girando para a direita ao redor de um eixo central imaginário, lembrando uma escada helicoidal. Enquanto a disposição das bases nitrogenadas pareadas corresponderia aos degraus dessa escada, perpendiculares ao eixo central, as cadeias de açúcar-fosfato corresponderiam ao seu corrimão. Forma-se, assim, um duplex de 20Å de diâmetro, conforme estabelecido no modelo clássico de Watson e Crick.

O modelo mencionado refere-se à conformação B do DNA. Outras conformações são conhecidas, como a A e a C, variando-se nestas os graus de hidratação do meio, o passo da hélice da macromolécula, o número de pares de bases nitrogenadas por volta e o ângulo que as bases nitrogenadas fazem com o eixo imaginário, ao redor do qual a macromolécula se estende. Existe uma conformação chamada Z, facilitada por uma sequência especial de

bases (-CGCGCG- ou – ACACA-CAC-) e com sentido da hélice voltado para a esquerda, fazendo com que a disposição do esqueleto açúcar-fosfato do DNA adquira uma geometria em zig-zag, daí sua denominação. O DNA pode ainda se apresentar *in vitro* com outros tipos de estrutura, como é o caso do DNA H (hélice tripla).

É importante mencionar que, embora várias configurações já tenham sido descritas para o DNA, é a configuração B que se admite quando são apresentados modelos de estrutura cromatínica.

O conteúdo de DNA, no interior de um núcleo diploide, é razoavelmente constante para as diferentes células de uma mesma espécie. Nas células germinativas (óvulo e espermatozoide), o conteúdo de DNA costuma ser haploide, ou seja, a metade do conteúdo encontrado nas células diploides correspondentes.

Uma célula pode existir com menos de 500 genes (em torno de 580.070 pb de DNA), como na pequena bactéria *Mycoplasma genitalium*, que possui o menor genoma conhecido. Embora células de organismos superiores tenham conteúdos de DNA várias ordens de grandeza maiores do que os de organismos unicelulares, não há uma razão direta entre espécies filogeneticamente superiores e conteúdo de DNA. Assim, insetos de mesma *ordem* podem diferir em até 10 vezes em valores absolutos de conteúdo de DNA por célula diploide, anfíbios podem apresentar muito mais DNA do que o gato doméstico.

Histonas

As histonas são proteínas básicas nucleares de alto ponto isoelétrico, encontradas nos eucariotos. São importantes componentes da estrutura da cromatina, participando não somente como repressoras, mas também como ativadoras da transcrição do DNA. Como o DNA, as histonas são sintetizadas na fase S do ciclo celular. A razão de massa DNA/histona é igual a 1,0.

São cinco as classes principais de histonas (H1, H2A, H2B, H3 e H4) que são classificadas com base em seu teor em lisina e arginina. A histona H1 é muito rica em lisina, enquanto as histonas H2A e H2B são moderadamente ricas em lisina, e as histonas H3 e H4 são ricas em arginina.

Em termos de evolução, as histonas são muito conservadas, o que significa que variam pouco em sequência de aminoácidos nas diferentes espécies consideradas. No entanto, estão entre as proteínas mais modificadas, o que acontece por fosforilações, acetilações, metilações e ubiquitinação. As modificações diminuem as cargas positivas das histonas, alterando as interações DNA-histonas. Muitas das modificações são reversíveis.

Dentre as histonas, a mais variável em estrutura primária e tamanho é H1, sendo, pois, a menos conservada em termos evolutivos. Em contrapartida, as histonas H3 e H4 são as mais conservadas evolutivamente. As histonas H4 de bovinos e ervilhas, espécies que divergiram 1,2 bilhões de anos atrás, diferem por apenas dois resíduos.

A molécula da histona H1 apresenta três regiões bem definidas: a amino-terminal, com 40 resíduos de aminoácidos; a central, globular e hidrofóbica, com cerca de 80 resíduos; e a carboxiterminal, com 108 resíduos e a mais rica em aminoácidos básicos, especialmente lisina. Os outros tipos de histona apresentam maior quantidade de aminoácidos hidrofóbicos nas regiões carboxiterminal e globular.

Em eritrócitos nucleares de peixes, aves, répteis e anfíbios, para da histona H1 aparece substituída por outra proteína da mesma família, H5, que exerce papel especial na estabilidade físico-química e condensação cromatínica dessas células, restringindo sua atividade gênica.

Nos espermatozoides, as histonas somáticas são substituídas por (ou acrescentadas de) outros tipos de proteínas nucleares básicas. Essas podem ser do tipo caracterizado por uma riqueza especial em arginina, a ponto de o polipeptídeo poder ser considerado quase uma poliarginina, como acontece no salmão. Nesse caso, a proteína é conhecida como protamina ou clupeína, tem uma massa molecular em torno de 4.000 dalttons e uma afinidade muito alta por DNA em dupla fita, tornando o complexo DNA-proteína muito estável e de difícil dissociação.

Em outros tipos de espermatozoides, como nos mamíferos, pode ocorrer uma proteína rica em arginina, classificada como “semelhante à protamina” ou queratinosa, por conter também o aminoácido cisteína. Há ainda espermatozoides em que a proteína nuclear básica é uma variante de H1, muito rica em lisina e com variada presença de regiões de α -hélice. Esse tipo ocorre em ouriços-do-mar, em abelhas e em alguns anfíbios. Embora se tenha tentado estabelecer uma correlação entre tipos de proteína básica nuclear presentes em espermatozoides e filogênese, até o momento não se logrou êxito.

Proteínas não- histônicas

Participam ainda da composição da cromatina as proteínas não-histônicas (NHP). Admite-se que essas proteínas desempenhem variados papéis na cromatina, desde o estrutural até o enzimático, participando da regulação da atividade gênica. Fazem parte desse grupo as enzimas que atuam nos

processos de transcrição, replicação e reparo do DNA e nos processos de condensação e descondensação cromatínica.

A massa molecular das proteínas nucleares NHP varia de 10 a centenas de kDa, a razão de resíduos ácidos/básicos delas varia 1,2 a 1,6 e seu ponto isoelétrico, de 3,7 a 9,0.

O número de proteínas nucleares não-histônicas, analisadas por eletroforese em gel de poliacrilamida com SDS, varia conforme o tecido num mesmo indivíduo, tendo já sido encontrados mais de 1.000 tipos dessas frações proteicas.

Pouco ainda é conhecido com respeito à distribuição das proteínas NHP na cromatina. De certo, sabe-se que, após a extração de DNA. Histonas e RNA e mesmo de muitas proteínas NHP, permanece um “esqueleto” ou “arcabouço”, especialmente visto em cromossomos, cuja arquitetura lembra a das próprias unidades cromossômicas. O DNA de regiões precisas da cromatina se ligaria a essas proteínas.

RNA

O RNA é integrado de modo transitório à estrutura da cromatina, constituindo em torno de 3% da sua composição e correspondendo às cadeias recém-transcritas em várias fases do seu processo de alongação.

Estrutura da Cromatina

Embora desde 1956, houvessem sido apresentadas propostas de como ocorreria a associação do DNA com proteínas, organizando as fibras de cromatina, somente a partir de 1974, com os trabalhos de Olins e Olins e de Kornberg et al., pode ser estabelecido um modelo de estrutura cromatínica mais aceito. Olins e Olins, nos EUA, submeteram núcleos de diferentes tecidos a um choque osmótico com KCl 0,1 M. Esse tratamento rompeu os núcleos, liberando fibras de cromatina que, ao microscópio eletrônico, exibiam uma distribuição linear de pequenas unidades aproximadamente esféricas (nucleosomes), com um diâmetro de 7 nm, unidas entre si por um filamento com 1,5 nm de espessura. Na época, essa estrutura foi chamada de *colar de contas*.

Ao mesmo tempo, na Inglaterra, um grupo de bioquímicos, liderados por Kornberg, comprovou que a fibra cromatínica era constituída por unidades repetitivas compostas por duas moléculas de cada uma das histonas H2A, H2B, H3 e H4 e de cerca de 200 pares de bases (PB) de DNA.

Em 1975, Oudet et al, denominaram a unidade estrutural repetitiva da cromatina de *nucleossomo*. Este mostrou ser constituído por um *nucleoide* (*core nucleossômico*) ligado à unidade seguinte por um filamento espaçador (espaçador internucleossômico). O nucleoide estaria composto por 146 pb de DNA, que descreveria 1 e $\frac{3}{4}$ de volta de uma hélice ao redor de um octâmero de histonas (2 moléculas de H2A, 2 de H2B, 2 de H3 e 2 de H4). O filamento espaçador é composto por uma sequencia variável em número de PB de DNA.

Chegou-se a conclusão de que o nucleoide teria a forma aproximada de um cilindro achatado, com 11 nm de largura e 5,5 nm de altura, e que podia ser clivado por uma digestão suave com nuclease microcócica. Graças ao achado de que o DNA do nucleoide é de fácil acesso à digestão enzimática por endonucleases, como o DNase I, de origem pancreática, demonstrou-se que o DNA ocuparia uma posição periférica, em relação ao octâmero de histonas. Esta ideia foi confirmada por difração de nêutrons.

Segundo a idealização de Oudet, fazia parte do nucleossomo a histona H1. No entanto, na literatura que se seguiu ao trabalho de Oudet, encontra-se muitas vezes sob a definição de nucleossomo a unidade cromatínica, sem se incluir a molécula de H1. Assim, para se evitar dúvidas na conceitualização, é preferível que se faça referência à *unidade repetitiva da cromatina*, ao invés de nucleossomo, e se defina, em termos bioquímicos, o que se está considerando. É também frequente na literatura moderna, o uso do termo *cromatossomo* para indicar a unidade cromatínica, na qual se inclui uma cópia de H1.

Há locais bem definidos de interação do DNA com as histonas do *core*, o que se demonstra pelo acesso do DNA à ação enzimática por DNase I (do pâncreas) e DNase II (do baço). Quando o DNA não complexado a histonas é clivado por nucleases, são produzidos fragmentos com tamanhos variados, que se manifestam em gel de agarose ou poliacrilamida com um padrão característico de bandas. No entanto, quando a cromatina é submetida ao mesmo tratamento, os fragmentos de DNA são clivados segundo um padrão regular em múltiplos de 10,4 nucleotídeos, isto porque o DNA está ligado às histonas em sítios específicos, com repetitividade.

O DNA espaçador, ou seja, aquela porção da unidade repetitiva da cromatina não contida no nucleoide, interage com as histonas H2A e H2B na “entrada” e na “saída” do DNA do nucleoide. Assim, as histonas H2A e H2B estariam, de alguma forma, estabilizando a ligação DNA-H3H4, mas também se ligando ao DNA espaçador. Além disso, há evidências de que as histonas H2A e H2B possam se ligar também à histona H1. As histonas H2A-H2B apareceriam formando heterodímeros, enquanto as histonas H3-H4 constituiriam um tetrâmero. Esse tetrâmero é um complexo estável de dois heterodímeros de H3-H4.

A posição exata da histona H1 na unidade repetitiva da cromatina tem sido muito discutida. Embora tenha sido admitido por muito tempo que H1 se posicionaria lateralmente ao nucleóide, ligando-se ao DNA espaçador e participando na compactação do filamento cromatínico, modernamente também se admite que a histona H1 possa se ligar ao DNA e as histonas do *core*, não por fora, mas por dentro da estrutura nucleossômica.

Apesar do DNA ser menos compactado em cromatina deficiente em histona H1, o papel dessa histona parece estar mais relacionado com a reunião de complexos nucleoproteicos reguladores específicos, que participam tanto da repressão quanto da ativação da transcrição.

Níveis hierárquicos de organização cromatínica

Vários níveis de compactação do filamento cromatínico ocorrem no núcleo interfásico. O nucleofilamento é a fibra cromatínica de 10 nm de espessura, com a sequência linear das unidades repetitivas da cromatina. O nucleofilamento sofre uma organização helicoidal com 5 a 6 unidades repetitivas da cromatina por volta de hélice, constituindo uma fibra de 20-30 nm denominada *solenóide*. Admite-se que o solenoide seja estabilizado não apenas graças à interação entre moléculas de H1, mas também por interação entre as faces superior e inferior das unidades repetitivas, especialmente pelas caudas das histonas dos nucleóides.

Tem sido também relatado que, no arranjo das unidades cromatínicas em sequência, devam fazer parte certas regiões curtas descontínuas, geralmente com 100 a 400 pb de DNA de comprimento, mais acessíveis à clivagem por DNase I e reagentes. Essas regiões corresponderiam a sítios gênicos regularidades, acessíveis a fatores de transcrição, podendo estar associadas à matriz nuclear. Se tais regiões de DNA se associarem à matriz nuclear na cromatina de núcleos interfásicos, serão chamadas de MAR (*matrix attachment regions*); se a associação ocorrer em cromossomos de células em divisão, as regiões serão denominadas de SAR (*scaffold attachment regions*).

Segundo Worcel, as moléculas de H1 estariam com a sua polaridade alternada ao longo do nucleofilamento, ou seja, a região N-terminal de uma molécula de H1 estaria próxima à região C-terminal de outra, situada na volta adjacente da super-hélice do nucleofilamento. As interações H1 – H1 poderiam, assim, estabilizar a fibra de 20 – 30 nm (solenóide).

Admita-se que, a cada dez unidades repetitivas da cromatina, a molécula de H1 apareça substituída pela proteína UH2A (ubiquitina ligada à H2A), o que conferiria maior flexibilidade à fibra solenoidal. O papel de outras

proteínas não histônicas na estrutura da cromatina é ainda pouco compreendido.

O conhecimento sobre os níveis hierárquicos superiores da estrutura cromatínica é ainda limitado. Existem evidências de que a cromatina esteja dividida em domínios funcionais, cujos limites estariam em associação com a matriz nuclear.

Foram alcançados avanços pelo uso da microscopia fluorescência tridimensional, associada a sondas para regiões cromossômicas ou cromossomos específicos, possibilitando que fosse admitida a organização de territórios cromossômicos e de movimentos e mesmo rotação de unidades cromossômicas e regiões cromossômicas no núcleo interfásico. Certas situações patológicas parecerem mesmo estar associadas com mudanças de composição dos cromossomos no núcleo, como é o caso da posição do cromossomo X em focos epilépticos.

Nas células em divisão, o empacotamento dos complexos DNA – proteína é maior, a ponto do índice DNA/cromossomos ser ao redor de 5.000/1, enquanto, no solenoide, é da ordem de 50:1 e, na unidade repetitiva da cromatina, 7:1.

Durante a fase S do ciclo celular, ocorre a replicação do DNA, segundo o modelo semiconservativo. Também nessa fase ocorrerá agregação de novas histonas recém – sintetizadas. A natureza dessa agregação tem sido muito discutida. Uma das hipóteses mais aceitas é a de que as moléculas de histonas “novas” e “paternas” se distribuam ao acaso nos filamentos que se replicam.

Quanto à estrutura cromatínica durante a transcrição do DNA, há indicações de que as unidades repetitivas da cromatina sofram algum tipo de alteração estrutural, com reposicionamento do octâmero de histonas em relação ao DNA ou mesmo completa liberação do DNA a ser lido pela RNA polimerase.

Os cromossomos metafásicos

Os cromossomos autossômicos geralmente ocorrem aos pares (2 lotes cromossômicos, 2n) nas células somáticas, tanto de animais como de vegetais. O número de cromossomos de uma espécie é constante e se mantém como tal durante os ciclos repetidos de divisão celular.

Durante a meiose, os cromossomos sofrem redução em número. No final do processo, serão obtidas células com um lote cromossômico (células haploides ou n). Dado que ocorre o fenômeno de recombinação dos genes, as

unidades cromossômicas, geradas no final do processo, não serão idênticas às de origem materna ou paterna.

A determinação do número de cromossomos de uma espécie é geralmente efetuada na metáfase, período no qual ocorre a condensação máxima das unidades cromossômicas, facilitando a contagem. Nas metáfases meióticas (I ou II), a condensação dos cromossomos é ainda maior do que na mitose.

Os cromossomos apresentam tamanho relativamente constante nas diferentes células de uma mesma espécie, em mesma fase do processo de divisão. No mesmo lote cromossômico, no entanto, os cromossomos podem ser apresentar com extrema variabilidade em tamanho.

O comprimento dos cromossomos pode variar de 0,2 a 50 μm e o seu diâmetro de 0,2 a 2 μm . Na mesma espécie humana, os cromossomos atingem de 4 a 6 μm de comprimento.

O conjunto das características morfológicas que permite a caracterização dos lotes cromossômicos de um indivíduo é denominado de *cariótipo*. E acostuma – se ordenar os cromossomos, fotografados ou esquematizados, aos pares de homólogos, numa série decrescente de tamanho. Esse arranjo do cariótipo, que revela o número, a forma e os tipos de cromossomo, é denominado cariograma. Pode-se também representar o cariótipo esquematicamente, construindo um idiograma. Essa forma de representação dos cromossomos utiliza os valores médios do tamanho relativo e da posição de centrômero obtidos por medidas tomadas para vários cariótipos de diferentes indivíduos de uma espécie.

A cada das metades cromossômicas observadas durante a divisão celular e que irão constituir um novo cromossomo, se dá a denominação de *cromátide*.

As cromátides serão irmãs se forem de um mesmo cromossomo, ou homólogas, se situadas em diferentes cromossomos do mesmo par (paterno e materno). Denomina-se *cromonema* a unidade cromossômica filamentosa, ou seja, o próprio cromossomo.

Centrômeros, constrições secundárias e telômeros são as principais diferenciações morfológicas naturais dos cromossomos. O centrômero ou constrição primária do cromossomo é a região em que situa o *cinetócoro*, estrutura organizadora da polimerização das fibras cromossômicas do fuso mitótico. A posição do centrômero em um determinado cromossomo é constante, permitindo que este possa ser classificado como *metacêntrico*, se localizado na porção mediana do cromossomo, *submetacêntrico*, se deslocado para um dos braços cromossômicos, e *acrocêntrico* ou *telocêntrico*, se

posicionado em uma das extremidades do cromossomo. Há espécies, como o roedor *Calomys SP*, em que a maioria dos cromossomos é acrocêntrica. Graças à obtenção de sondas específicas e ao método de FISH (*fluorescence in situ hybridization*), é possível identificar a região centromérica de um cromossomo em especial, inclusive em núcleos interfásicos.

Outras constrições presentes nos cromossomos são chamadas de secundárias e podem aí conter a região organizadora do nucléolo, geralmente se associando a ele. As extremidades cromossômicas são denominadas telômeros. Se acidentalmente ocorrer perda de telômeros em diferentes cromossomos, estes poderão se fundir. Os telômeros consistem de sequências de DNA ricas em G, repetidas centenas de vezes e altamente conservadas em termos evolutivos. As extremidades dos cromossomos não se replicam por ação normal da DNA polimerase, mas sim por mecanismo especial que envolve atividade de uma transcriptase reversa (telomerase), que carrega consigo seu próprio molde de RNA, complementar às sequências repetitivas de DNA do telômero. O uso deste RNA permite à telomerase entender a extremidade 3' do DNA cromossômico de uma unidade de repetição, para além de seu comprimento original. A falha na manutenção do número das repetições teloméricas, por deficiência na ação das telomerasas, parece estar relacionada ao envelhecimento celular. Nas células tumorais, a atividade telomérica parece se manter elevada e o tamanho do telômero, por conseguinte, não se altera.

Há métodos especiais de tratamento e de coloração que permitem identificar nos cromossomos segmentos ou bandados importantes na sua identificação e caracterização. As bandas aparecem por diferenças na distribuição de componentes cromatínicos ou mesmo por diferença na composição química da cromatina ao longo do cromossomo. As bandas Q aparecem fluorescentes com quinacrina. As bandas G aparecem como segmentos mais corados com Giemsa, após tratamento com tripsina ou tampão fosfato. As bandas C aparecem após tratamento com soluções ácidas ou alcalinas, seguindo de tratamento com solução salina 2SSC e coloração com Giemsa. De fato, a denominação de banda C se baseia nas primeiras observações de que o método evidenciava regiões centroméricas.

As alterações nos padrões da distribuição de bandas geralmente estão associadas a anomalias de caráter genético. Os padrões de banda também permitem estudos de filogênese animal e vegetal.

Com o projeto *Genoma Humano*, dados de mapeamento do DNA do genoma humano puderam ser cruzados aos de mapas de bandado cromossômico obtido ao nível citogenético. Essa informação se encontra disponibilizada em *site* do National Center for Biotechnology Information (USA) (<http://www.ncbi.nih.gov>). Como os genes por cromossomos são muito

números, para serem representados em sua totalidade, as imagens fornecidas buscam informar algum aspecto particular no qual o pesquisador tenha interesse. Por exemplo, cromossomo humano 17 foram localizados 1.679 genes distribuídos segundo as suas diferentes regiões; destes genes, apenas uma parte tem função conhecida. Os detalhes de localização dos genes no respectivo mapa cromossômico mostram que, dentre muitos que poderiam ser citados, o gene que codifica para a queratina 15 se situa na região 17q21.2, o que codifica o antígeno 5 associado ao espermatozoide, na região 17q11.1 e o que codifica a serina/ treonina cinase 12, na região 17p13.1.

Os cromossomos gigantes: plumosos e politênicos

Tanto os cromossomos plumosos quanto os politênicos apresentam-se com tamanhos muito acima dos comumente observados. Os plumosos chegam a atingir 800um de comprimento. Os politênicos atingem 150 a 250um de comprimento, porém, se as células em que ocorrem estiverem infectadas por vírus ou microsporídeos, chegam a atingir 1.500um.

Os cromossomos plumosos foram descobertos 1892 por Rückert, em oócitos de tubarão. Podem também ocorrer em oócitos de outros peixes, bem como de anfíbios e répteis, em algumas células vegetais e no espermatócito de *Drosophila* (cromossomo Y). Também, em espermatócito de gafanhoto, a estrutura cromossômica, quando vista ao microscópio de luz, lembra o aspecto plumoso.

Os cromossomos politênicos ocorrem em células somáticas de vários tecidos de dípteros (*Drosophila*, *Rhynchosciara*, *Sciara*, *Chironomus* e outros), em insetos colembólídeos, em protozoários ciliados e no ligamento suspensor do feijão.

Os cromossomos plumosos ocorrem na prófase meiótica ((diplóteno), quando são observados dois homólogos mantidos unidos por quiasmata. Distribuídas ao longo dos cromossomos, aparecem centenas de regiões granuladas, com maior espiralização de nucleofilamentos, os chamados *cromômeros*. Quando os cromômeros se desespiralizam, projetam-se alças finas, distribuídas aos pares, simétricas e com características morfológicas próprias e constantes. Alças se desespiralizam de ambas cromátides de cada homólogo.

Nas alças dos cromossomos plumosos, há uma intensa síntese de RNAm, que será liberado do cromossomo no interior de micronúcleolos e irá comandar a síntese de proteínas. Nas alças, portanto, são incorporados precursores de RNA. A atividade de cada cromossomo é independente e distinguível da dos demais, por representar um locus gênico.

Os cromossomos plumosos estão tão espessamente recobertos por RNA e proteína que o seu DNA chega a representar apenas 1% de sua massa seca total.

O padrão de transcrição simultânea de muitas moléculas de RNA, nesses cromossomos, lembra as imagens de “árvore de Natal” vistas no nucleolo, durante a transcrição do precursor maior dos RNA pesados. Além disso, é possível que uma mesma alça possua diversas unidades de transcrição. Às vezes, é vista uma alça desespiralizada apenas em um dos lados da estrutura plumosa, indicando diferentes manifestações de dois genes alelos em um indivíduo heterozigoto (herança mendeliana simples). Muito desenvolvidas nos oócitos jovens, as alças desaparecem com o decorrer da ovogênese, quando a liberação das fibrilas de RNP de suas matrizes no nucleoplasma e conseqüentemente retração do filamento de DNA – proteína. Nas alças dos cromossomos plumosos cujo DNA transcreve para RNAm de histonas, foi observado que este RNA ocupa apenas um curto segmento do transcrito. Não se conhece o significado do restante da cadeia de RNA transcrita em cada fibrila.

O cromossomo plumoso Y, da prófase meiótica de *Drosophila*, apresenta ao menos 5 pares de alças essenciais para a diferenciação do espermatozoide viável. Comprovou-se que a ausência de uma dessas alças induz o aparecimento de espermatozoide com encurtamento de cauda e com imperfeições no axonema e nos derivados mitocondriais.

Já em relação aos cromossomos politênicos, estes se originam por pareamento ponto por ponto dos cromossomos homólogos de modo que, embora em uma espécie o número $2n$ de cromossomos possa ser igual a 8, ocorram 4 unidades morfológicas individualizadas. Essas unidades iniciam, então, uma série de ciclos de replicação, sem que as cromátides se separem (pareamento secundário).

O número de ciclos de replicação varia conforme o tecido e a espécie considerados. Em glândulas salivares de *Drosophila virilis* e de *Rhynchosciara americana* ocorrem 10 ciclos, organizado mais de 1.000 cromátides por cromossomo politênico ($2 = 1,024$); em *Sciara coprophila* ocorrem 12 ciclos e em *Chironomus*.

Geralmente, ocorre um grau de politenização mais elevado nas glândulas salivares. O volume dos nucléolos com cromossomos politênicos aumenta na medida em que aumentam os ciclos de politenização. Da mesma forma, aumenta o tamanho das células e dos órgãos em que se encontram.

Foram já registrados casos em que a politenização não é permanente, ou seja, pode ser seguida por uma fase em que as cromátides se separam e se dispersam, dando ao núcleo um aspecto interfásico mais usual.

Nos insetos colembolídeos, os homólogos não se pareiam; politenizam-se em separado.

Ao longo do comprimento dos cromossomos politênicos, ocorrem em regiões com maior espiralização cromatínica (cromômeros) alternadas com regiões de menor espiralização. Durante a politenização, os cromômeros de cromátides dispostas paralelamente ficam justapostos, gerando estrias transversais em registro, as bandas. As bandas se separam entre si pelas interbandas. As bandas ocorrem em número, posição e distribuição constantes para os mesmos cromossomos de diferentes tecidos, o que favorece a elaboração de mapas cromossômicos. De posse desses mapas é possível constatar-se alterações estruturais e fisiológicas ao longo dos cromossomos.

Experimentos com radioautografia mostraram incorporação de timidina tritiada ao longo do filamento cromossômico dos cromossomos politênicos nos vários ciclos de politenização, demonstrando que o DNA é contínuo de uma extremidade a outra do cromossomo politênico.

Admite-se que uma banda não represente propriamente um gene. Um gene pode estender-se de banda a interbanda ou até ser compreendido numa interbanda. Algumas bandas contêm diversos *loci* gênicos e uma só banda pode se apresentar como duas, após um esmagamento cromossômico mais forte.

Algumas regiões dos cromossomos politênicos sofrem intumescimentos com desespiralização dos filamentos cromatínicos, seguindo-se regressão do fenômeno durante o desenvolvimento do organismo. Esses intumescimentos são denominados *pufes*, anéis de Balbiani e bulbos, e parecem não ser diagnosticáveis nos protozoários e no feijão. Nos anéis de Balbiani, estruturas que aparecem nos cromossomos politênicos do gênero *Chironomus*, não se verificam regressão do intumescimento. Quanto aos bulbos, tratam-se de pequenos pufes de RNA que ocorrem predominantemente em sciarídeos. Embora possa ocorrer transcrição ao longo de todo cromossomo politênico, é nos pufes que se dá a síntese mais intensa de RNA. O padrão de pufação varia conforme o tecido e o órgão considerado. As modificações morfológicas e fisiológicas nas regiões de pufe, associadas a modificações de caráter celular funcional, permitem a obtenção de alguns dados sobre a fisiologia cromossômica e sua regulação.

Em poucos casos pôde ser estabelecida uma relação direta entre um pufe e uma função específica. Um exemplo clássico foi a observação de Beermann, em 1961 de que quatro células específicas das glândulas salivares de *Chironomus pallidivittatus* apresentavam o cromossomo IV com o anel de Balbiani BR4 bem desenvolvidos, ao mesmo tempo em que essas células secretavam grânulos de proteína. Em *Chironomus tentans*, não foi constatado anel de Balbiani nem secreção de grânulos proteicos nas células

correspondentes às de *C.pallidivittatus*. híbrido dessas espécies recebia anel BR4 apenas num dos lados do cromossomo politênico IV, bem como metade da secreção proteica verificada em *C. pallidivittatus*. Assim, a herança desses grânulos protéicos foi demonstrada como sendo devida a um fator mendeliano simples.

A utilização de eletroforese, associada a técnicas genéticas convencionais, possibilitou que se correlacionassem os pufes 3C e 68C de cromossomos poliênicos de glândulas salivares de *Drosophila melanogaster* com a síntese de duas frações proteicas específicas.

É também notório que alguns pufes, além de descreverem RNA, contam com uma replicação local, por amplificação gênica, de um DNA adicional. Esses pufes são denominados *pufes de DNA* e foram descobertos por BREUER e PAVAN, 1955, em cromossomos de *Rhynchosciara americana* e, mais tarde, comprovados em outros dípteros e ciarídeos dípteros ciarídeos. Quando da regressão do pufe de DNA, o DNA adicional não é eliminado e, portanto, essa região do cromossomo se torna aumentada em espessura, o que é conhecido por cicatriz. Foi demonstrado, pelo grupo de Lara, que o DNA amplificado nos pufes de DNA de *Rhynchosciara americana* estaria codificando a transcrição de um RNAm responsável pela síntese de proteínas de secreção salivar do inseto, envolvidas na fabricação do seu caso comunal.

Admite-se que a pufação seja induzida por ação hormonal, especialmente de ecdisona, hormônio de muda dos insetos. A resposta à ação hormonal varia conforme a época do desenvolvimento do inseto e do órgão específico considerado, bem como da concentração e tempo de ação do hormônio. Foi também demonstrado que outras substâncias podem induzir alguns pufes específicos; entre elas estariam íons metálicos, antibióticos, vitaminas e galactose. Choques de temperaturas são também muito conhecidos como indutores de pufação. Larvas de *Drosophilas* crescidas a 25°C, quando transferidas para meio a 37°C, chegam a exibir 9 a 10 em 30 a 40 min.

A formação de um pufe envolve o acúmulo de proteínas não-histônicas na interbanda adjacente ou na própria banda que origina o pufe. O conteúdo das proteínas não-histônicas acompanha o crescimento dos pufes, bem como sua regressão. Há hipóteses que buscam interpretar o papel dessas proteínas nos pufes, entre as quais se mencionam: empacotamento e transporte de RNA recém – transcritos, ativação de genes presentes no próprio pufe ou em regiões a ele adjacentes, ou ainda transcrição de RNA. Quanto as proteínas histônicas em pufes de DNA, são elas adicionadas à região de pufe quando o DNA adicional é amplificado.

Heterocromatina e eucromatina

O termo heterocromatina, cunhado por Heitz, foi proposto para definir, em termos morfológicos, a cromatina de regiões específicas de certos cromossomos, que permanecia condensada (heteropicnótica) durante toda a interfase, com uma afinidade tão intensa por corantes tanto quanto aquela de cromossomos metafásicos. Esse comportamento se diferenciaria daquele da maioria da cromatina que, após a divisão celular, torna-se mais descompactada e difusa (eucromatina).

Além das características estruturais, características fisiológicas, químicas e genéticas passaram a se somar para definir heterocromatina seja a cromatina condensada, com replicação de DNA mais lenta e certa inatividade genética.

A heterocromatina pode ser classificada em constitutiva e facultativa. A heterocromatina constitutiva é aquela de regiões centroméricas, teloméricas e, algumas vezes, intercalares de regiões homólogos, geralmente ricas em DNA repetitivo ou satélite e predominantemente não codificadora. Um conjunto de porções heterocromáticas constitutivas pode associar – se entre si, constituindo corpos maiores, mais facilmente evidenciáveis, denominados cromocentros. Estes são muito conspícuos em células de insetos, em hepatócitos de camundongo e em células portadoras de cromossomos politênicos.

A característica de não codificação por parte do DNA da heterocromatina constitutiva parece não ser tão rígida assim, uma vez que algumas de suas áreas têm sido vistas em associação ao núcleo e, sob condições de estresse, como choques de temperatura ou infecções, podem vir apresentar descondensação, como acontecem cromossomos politênicos e em células de triatomíneos.

As sequências ativas, em termos de transcrição, geralmente se encontram na eucromatina. É possível que a condensação cromatínica dificulte o acesso da RNA polimerase ao DNA, porém outros fatores podem estar envolvidos. A simples observação de condensação cromatínica ao microscópio de luz (nível de supra – organização cromatínica em nível nucleossomal).

A heterocromatina facultativa não apresentaria diferenças na composição de DNA em comparação com a eucromatina; seria mais um estado fisiológico reprimido do DNA numa região condensada da cromatina, ocorrendo em apenas um dos cromossomos homólogos, e podendo reverter ao estado não – condensado. Exemplos: a heterocromatina de um dos cromossomos X de mamíferos placentários XX e todos os cromossomos paternos de machos de *planococcus sp* (pulgões de farinha). No caso heterocromatina facultativa de um dos cromossomos X, a heterocromatização instala – se em um dos

cromossomos do par, ao caso, após alguns ciclos de divisão celular do embrião, e reverte ao estado eucromático nas células germinativas (oócitos).

Uma vez que os conceitos clássicos de heterocromatina e eucromatina não são exatamente precisos para distinguir muitas regiões cromatínicas com função diversa, talvez alguma revisão desses conceitos se faça necessária. O termo heterocromatina parece englobar diferentes tipos de estrutura cromatínica, cujo denominador comum é um alto grau de organização, e possivelmente distinguidos por ocorrência de diferentes tipos de modificações de histonas e de agregação de proteínas não histônicas.

Atualmente, vem-se propondo que a heterocromatina possa fornecer um mecanismo de defesa contra elementos móveis de DNA, empacotando tais estruturas e impedindo que as mesmas sofram uma proliferação subsequente.

Fenótipos nucleares

A observação de núcleos interfásicos ao microscópio de luz permite que se descrevam suas características geométricas aliadas à distribuição e aos estados de empacotamento (supra-organização) da cromatina. Tais características, que definem os fenótipos nucleares, são realçadas pelo emprego de testes citoquímicos apropriados, de modo que as imagens produzidas ganham melhor poder discriminativo.

A moderna análise dos fenótipos nucleares incorporou procedimentos obtidos com o uso de analisadores de imagem, permitindo a incorporação de inúmeros parâmetros matemáticos à análise qualitativa ou semi-quantitativa mais simples, e e em ganhando notoriedade no campo da Biologia celular. Identificando diferentes funcionalidades nucleares e celulares e, no campo da citopatologia, como ferramenta de reconhecimento de lesões celulares, auxiliando em muitos casos o citodiagnóstico.

Células epiteliais mamárias humanas em cultura, quando transformadas e tornadas tumorigênicas pela ação de carcinógenos, como o benzo[a]pireno, um dos elementos presentes no fumo, sofrem alterações nos seus fenótipos nucleares. Salienta o aumento em condensação cromatínica nos núcleos das células tumorigênicas em relação aos das células não-transformadas (controle).

NUCLEOLO

O nucleolo é a estrutura celular mais facilmente visível, mesmo sem coloração e *in vivo*, em microscopia de luz comum, o que é possível graças ao seu índice de refração mais elevado do que o dos outros elementos do núcleo e do citoplasma. Embora já tivesse sido descrito por Fontana, em 1781, sua denominação, como a conhecemos hoje, foi dada por Valentin, somente em 1839.

O nucleolo é a organela celular cuja função é produzir ribossomos. Seu tamanho e forma dependem do estado funcional celular, variando conforme a espécie e, dentro de uma espécie, e dentro de uma espécie, de tecido para tecido e mesmo de célula para célula. Muitas vezes o nucleolo é visto próximo à periferia nuclear, porém essa não é uma regra fixa. Quanto mais forte a sobrecarga funcional celular, maior será o nucleolo. É o que ocorre em células em processo de secreção (células glandulares e neurônios) e em muitas células tumorais. Por outro lado, como exemplo de células com nucleolos pequenos, temos as células endoteliais e as da glia.

Podem ser observados um ou mais nucleolos por núcleo, porém a maioria das células possui apenas um nucleolo. Hepatócitos, células vegetais e células animais em cultura são alguns exemplos de células em que ocorre mais de um nucleolo. No caso extremo de oócitos de anfíbios, podem ser encontrados, em algumas circunstâncias, até 3.000 nucleolos por núcleo. Núcleos poliploides, ou seja, com vários lotes do genoma, geralmente contêm mais nucleolos do que núcleos diploides.

A falta de uma membrana ao redor do núcleo pode significar que não exista barreira para difusão entre nucleolos e nucleoplasma.

O nucleolo se associa a sítios cromossômicos específicos (zonas organizadoras do nucleolo, NOR) que carregam os genes codificadores do RNAr mais pesados. Pode ocorrer uma única NOR por lote cromossômico haploide. No entanto, dois nucleolos podem se fundir ou uma zona organizadora do nucleolo pode se encontrar distribuída em mais de um cromossomo do lote haploide. Nos seres humanos, por exemplo, os genes para RNAr se situam nas extremidades de cinco diferentes pares cromossômicos. É comum também se observar uma região de heterocromatina em íntima associação com a NOR. Em hepatócitos de roedores, a heterocromatina se distribui ao redor do núcleo, enquanto o inverso ocorre em hemípteros sugadores de sangue.

Durante o ciclo celular, podem ocorrer alterações na forma e tamanho dos nucleolos. Costuma-se afirmar que, durante a divisão celular, os nucleolos desaparecem a partir do fim da prófase, reaparecendo no final da telófase. Há, no entanto, exceções à regra.

Ultraestrutura e classificação dos nucléolos

Ao microscópio eletrônico, são detectáveis nos nucléolos áreas ricas em elementos granulares (grânulos com diâmetro ao redor de 15 a 20 nm) e áreas predominantemente fibrilares (3 a 4nm de espessura), que variam em disposição tridimensional, conforme o tipo celular analisado. Com base nessas observações, foram propostas várias classificações dos nucléolos, sendo a mais simples e objetiva aquela que contempla a grande maioria dos casos estudados e que pressupõe três categorias:

1. nucléolos reticulados, com nucleolonema, estrutura filamentosa trabeculada com aproximadamente 1.000 nm de espessura e contendo em seu corpo, predominantemente, elementos granulares de ribonucleoproteína (RNP), mas também elementos fibrilares;

2. nucléolos compactos, no qual os elementos se superpõem e se anastomosam numa massa única compacta. São observados, principalmente, em células em proliferação, podendo se tratar de uma primeira etapa de desenvolvimento de um nucléolo que será do tipo 1, ou mesmo surgir em condições que resultem em inibição ou bloqueio de síntese de RNA nucleolar;

3. nucléolos com camadas concêntricas, em que a porção central é representada pelo elemento fibroso e a camada cortical, periférica, contém os elementos granulares. Esse tipo de nucléolo é muito comum em oócitos de anfíbios. Nessas células, as duas camadas, central e cortical, podem ser muito bem discriminadas até com um microscópio de luz (microscopia de fase) e separadas por choque osmótico com soluções salinas de NaCl ou KCl de baixa molaridade, ou água deionizada, a partir de nucléolos previamente isolados com pinças, sob lupa.

Organização molecular e papel fisiológico na biogênese de ribossomos

O nucléolo encontra-se envolvido na biogênese de ribossomos, não unicamente com respeito à síntese dos RNAr mais pesados, mas também quanto ao seu processamento pós-transcricional e sua reunião, seja com RNAr mais leves, seja com proteínas.

Ocorrem muitas modificações químicas no precursor de RNAr antes que esse RNA venha a se tornar parte integrante do ribossomo. Essas modificações provavelmente auxiliem na dobradura e na agregação dos RNAr finais e alterem a função dos ribossomos.

O nucléolo durante a mitose

Segundo descrições clássicas, o nucleolo desaparece no fim da prófase e reaparece na telófase, junto aos sítios NOR. A reformulação pós-mitótica dos nucléolos dependeria da interação de duas entidades separadas, as regiões NOR e os corpos pré-nucleolares, que aparecem na telófase.

Mais recentemente, constatou-se que os componentes nucleolares, RNAs e proteínas não se dissolvem no citoplasma, durante a divisão celular. O RNA permanece como um envoltório ao redor dos cromossomos na placa metafásica, porém, quando da migração destes para os pólos, desloca-se para a região junto aos microtúbulos do fuso entre os dois blocos cromossômicos em movimento, assim permanecendo até a telófase. Parte das proteínas nucleolares, na metafase, também se posiciona em volta dos cromossomos, porém permanece acompanhando os respectivos blocos cromossômicos, em sua migração para os pólos. Supõe-se que esses componentes, ou parte deles, participem da reorganização dos nucléolos na telófase.

Admite-se também, ao menos com relação aos componentes que permanecem em íntima associação aos cromossomos, que formem uma estrutura organizada tal que desempenhe um papel protetor do material genético, numa situação em que a lâmina nuclear se encontra dissociada e espalhada pelo citoplasma, além de se constituir em sítio de armazenamento de fatores de maturação de RNAr.

MATRIZ NUCLEAR, DOMÍNIOS NUCLEARES E TERRITÓRIOS CROMOSSÔMICOS

O núcleo interfásico foi a primeira estrutura intracelular a ser observada ao microscópio, mas vários aspectos de sua organização funcional ainda são muito pouco conhecidos. Recentemente, tem sido demonstrado que o núcleo em intérfase é altamente compartimentalizado e extremamente dinâmico. Muitos fatores nucleares distintos são localizados em compartimentos específicos no núcleo que, por técnicas específicas, podem ser estudados ao microscópio de luz e eletrônico.

Enquanto um significativo progresso no entendimento das propriedades específicas dos genes e de sua regulação ocorreu nas últimas décadas. Como já visto em capítulos anteriores, a arquitetura do núcleo interfásico está sustentada basicamente pelos componentes, morfologicamente distintos: envoltório nuclear, lâmina nuclear, cromatina, nucleolo e também por uma atriz proteicas conhecida por *matriz nuclear*.

Atualmente sabe-se que o núcleo interfásico não é uma estrutura homogênea, e os cromossomos, que são individualizados na divisão celular, no núcleo interfásico, apresentam domínios próprios e microambientes regulados por proteínas desta matriz nuclear, constituindo, assim, *territórios cromossômicos* específicos.

A manutenção desse microambiente é de fundamental importância para ação e expressão gênicas, pois os genes ocupam posições específicas no núcleo interfásico, ao contrário do que se pensava há poucas décadas, e este posicionamento específico dos genes no núcleo interfásico é chamado de *domínio nuclear*.

Definição

Beresney e Coffey definiram a matriz nuclear como sendo uma estrutura altamente residual, obtida dos núcleos por extrações salinas sequenciais, tratamento com detergentes não-iônicos ou nucleases. Essa definição é reconhecida como a primeira definição original do termo *matriz nuclear*.

A matriz nuclear consiste de uma porção morfológica e bioquimicamente distinta, por se apresentar como uma estrutura proteica fibro-granular, que alicerça o núcleo, distinguindo-se dos outros componentes da cromatina. Ela associa-se ao DNA quando este contém sequências ricas em A-T, sendo estas conhecidas como Regiões de Associação de Matriz (MAR) ou, do inglês, *Scaffold associated region (SAR)*. Esse arcabouço, proteico prende o DNA durante os processos de duplicação e regula a transcrição nos eucariotos, juntamente com as histonas.

Composição química

A matriz nuclear pode associar-se a até 80% do DNA genômico, estando ele na forma de filamentos cromatínicos ou cromossômicos. Estudos iniciais revelaram que, dos componentes da matriz nuclear em fígado de rato, o material mais abundante é de origem proteica, seguido de RNA, fosfolipídios e DNA.

Os polipeptídeos da matriz nuclear variam de peso molecular entre 30 e 190 kDa. Dentre as proteínas da matriz nuclear, pode-se citar genericamente as *matrinas* e as *metaloproteínas*. As matrinas, em linhas gerais, são as principais e maiores proteínas da matriz nuclear, distinguindo-se bioquimicamente das laminas A, B e C da lâmina densa e das proteínas nucleolares, como a B-23, e também das hnRNP (ribonucleoproteínas heterogêneas), já identificadas no núcleo interfásico.

As matrinas são proteínas de peso molecular ponto isoelétrico variáveis e foram descritas a partir de estudos com eletroforese bidimensional. A nomenclatura foi adotada de acordo com o peso molecular, ou seja, a matrina 1 é a mais pesada (190 kDa), e as numerações subsequentes são de acordo com o peso molecular decrescente.

Muitos subtipos dessas proteínas têm sido descritos ano a ano por pesquisadores da área, que atribuem funções específicas a essas matrinas na fisiologia nuclear.

As metaloproteínas são proteínas que garantem a integridade estrutural da matriz nuclear sem, entretanto, impedir as relações entre os componentes da matriz e os da cromatina. A descoberta das metaloproteínas na matriz nuclear permitiu o entendimento de que os íons cúpricos associados a essa proteínas é que promovem a maior estabilização de algumas interações molecular durante a ação de genes, seja na ativação ou no silenciamento gênico.

Outra classe de proteínas que tem tomado grande importância na matriz nuclear são as glicoproteínas, podendo assumir um papel funcional no transporte e reconhecimento de sinais na matriz nuclear.

Não se pode deixar de mencionar as enzimas do metabolismo cromatínico, que podem fazer parte da trama arquitetural da matriz nuclear. Como exemplo, citam-se as topoisomerases, que atuam efetivamente no processo de duplicação do DNA e já foram isoladas como sendo constituintes da matriz nuclear.

O RNA é o segundo componente em abundância na matriz nuclear. Essas moléculas encontram-se sob a forma de hnRNP ou também em pequenas ribonucleoproteínas nucleares (snRNP). Esses elementos são oriundos do processamento e clivagens de RNA cromatínicos e nucleolares.

Recentemente, essas estruturas têm sido denominadas de *nuclear speckles*, e tem-se assumido que esses compartimentos subnucleares sejam a expressão morfológica do dinamismo cromatínico/cromossômico das células eucariotas. Nas células eucariotas, foram mapeados entre 10 e 30 sítios de *nuclear speckles* difusamente distribuídos no nucleoplasma e matriz nuclear. Recente revisão realizada por Angus Lamond e David Spector propõe uma redefinição dos compartimentos nucleares, baseada no modelo destes *speckles* e propõem um modelo de organelas nucleares. Isto logicamente baseado na distribuição e quantidade dessas estruturas por núcleo, avaliando-se por meio de microscopia de fluorescência e confocal.

Morfologicamente, esses *speckles* se organizam em grânulos intercromatínicos, por vezes, estruturados em cachos ou filamentos pericromatínicos.

Outros componentes, como DNA e fosfolipídios, por apresentarem uma baixa expressão volumétrica nas extrações bioquímicas, são considerados por muitos autores como contaminantes.

RIBOSSOMOS E SÍNTESE PROTEICAS

Nas células, a informação passa do DNA para o RNA e deste para as proteínas. Cada gene consiste de uma sequência linear de nucleotídeos que determina a sequência de aminoácidos em um polipeptídeo. Dois processos são fundamentais para que isso ocorra: a transcrição e a tradução. Durante a transcrição, a informação contida na sequência de nucleotídeos do gene é codificada em moléculas de RNAm. Durante a tradução, a sequência de códons (cada três nucleotídeos consecutivos) do RNAm é utilizada para adicionar aminoácidos específicos, um a um, para a formação de uma cadeia polipeptídica. A tradução do RNAm ocorre nos ribossomos, uma organela constituída da RNAr e proteínas. A tradução requer também moléculas de RNAt, que se ligam ao aminoácido específico de acordo com o anticódon (sequência de três nucleotídeos) e este se associa ao códon do RNAm no ribossomo, trazendo assim os aminoácidos para serem incorporados à cadeia polipeptídica na ordem precisa determinada pelo DNA.

O DNA de cada célula de todos os organismos contém, pelo menos, uma cópia (ou raramente, várias) dos genes que carregam a informação para produzir cada proteína que o organismo necessita. O primeiro passo para a expressão dessa informação genética é a *transcrição* dos genes em moléculas complementares de RNA. Para esse processo, são necessários diferentes ribonucleotídeos: ATP, GTP, CTP e UTP e as enzimas polimerases, que catalisam a adição de cada um desses nucleotídeos de acordo com a sequência de bases do DNA, ou seja, onde houver timina (T) no DNA, será adicionada adenina (A) no RNA, C-G, G-C e A-U. Pelo processo de transcrição, todos os RNA celulares são produzidos a partir do DNA. Os três principais tipos de RNA transcritos que participam conjuntamente na síntese proteicas são: RNA mensageiro (RNAm), RNA transportador (RNAt) e RNA ribossômico (RNAr).

A síntese de proteínas não é feita diretamente do DNA. Para que a informação, contida na sequência de bases do DNA, seja traduzida em uma sequência de aminoácidos da proteína (estrutura primária), um tipo especial de RNA é utilizado como intermediário, o RNAm. A sequência de nucleotídeos dos diferentes RNAm é “lida” pela maquinaria celular da síntese proteica para produzir milhares de proteínas. Esse processo ocorre em organelas celulares denominadas *ribossomos* e é conhecido como *tradução*.

O ribossomo

Esta estrutura celular é constituída de moléculas de RNAr e proteínas. Logo que o RNAr é transcrito, associa-se a proteínas e, nos eucariotos, fica retido temporariamente em torno da região cromatínica no qual estão localizados os genes ribossômicos, formando o nucleolo. No nucleolo, os RNAr precursores transcritos serão processados e originarão as duas subunidades ribossomais. O RNA 5S, que faz parte da subunidade maior, é transcrito em outra região cromossômica, migrando para os nucleolos. Assim, as subunidades prontas atravessam o complexo de poro do envoltório nuclear e se associarão no citoplasma apenas no momento da síntese proteica, originando o ribossomo funcional.

Mitocôndria e cloroplasto também contêm ribossomos que, em alguns organismos, são menores que os de procariotos. Mitocôndrias de organismos eucariotos unicelulares (leveduras, *Neurospora*, *Aspergillus nidulans*, *Euglena gracilis*, entre outros) contêm ribossomos com coeficiente de sedimentação semelhante aos de *Escherichia coli*, isto é, 70S a 74S (subunidades 50S e 40 ou 30S; RNA 21 – 24S e 14 – 15S), enquanto em animais (por exemplo, no homem, no rato, no anfíbio *Xenopus laevis*, no gafanhoto *Lucusta migratória* e no inseto *Drosophila melanogaster*), os ribossomos são de 55 a 60S (subunidades 40S e 30S; RNAr 16 a 17S e 12 a 13S). Nas mitocôndrias das células humanas, o ribossomo é constituído das moléculas de RNAr 16S e 12S, porém, nas plantas, contém, além desses dois, também um RNAr 5S. Por outro lado, os ribossomos 70S dos cloroplastos apresentam 4 tipos de RNAr, 23S, 5S e 4,5S na subunidade maior 50S e o 16S na subunidade menor 30S.

Nos eucariotos, os ribossomos podem ser encontrados livres no citoplasma ou associados à membrana do retículo endoplasmático e à membrana externa do envoltório nuclear. A única diferença entre esses ribossomos está relacionada ao destino das proteínas que estão sintetizadas.

Os ribossomos apresentam de 20 a 30 nm de diâmetro e podem ser observados ao microscópio eletrônico de transmissão como centenas, às vezes milhares, de pequenos pontos. *Escherichia coli*, por exemplo, contém cerca de 20.000 ribossomos, o que representa 25% do peso seco da célula bacteriana, e

células de mamíferos em proliferação contêm cerca de 10 milhões de ribossomos.

A forma dos ribossomos foi deduzida a partir de estudos por métodos físicos, como o espelhamento de nêutrons, a difração de raio X e a observação ao microscópio eletrônico com reconstrução tridimensional, entre outros. A localização das proteínas no ribossomo tem sido possível por imuno eletroscopia e análise bioquímica.

A análise por criomicroscopia eletrônica mostrou que os ribossomos são constituídos de densos filamentos com aspecto contorcido, de forma que o ribossomo como todo exibe um aspecto rugoso. Nessa imagem do ribossomo não é possível distinguir as moléculas de RNA e de proteínas, mas é possível visualizar a posição do aminoacil – RNAt entre as subunidades maior e menor.

A síntese proteicas

A síntese de proteínas pode ocorrer em polissomos (vários ribossomos + um RNAm) livres ou associados ao retículo endoplasmático. O mecanismo básico da síntese é o mesmo, independente de onde ela ocorra. Vários componentes são importantes durante a síntese, mas alguns são primordiais, como as moléculas de RNA. Além do RNAr presente nos ribossomos, atuam na síntese proteicas RNA mensageiro (RNAm) e o RNA transportador (RNAt). Como visto anteriormente, o RNAm contém a sequência de bases que vai determinar a ordem em que os aminoácidos serão adicionados durante a síntese de proteínas. A leitura do RNAm vai ocorrer na direção 5' → 3', como será visto mais adiante.

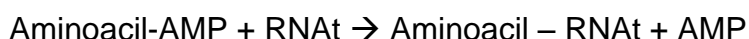
Um outro ácido nucleico de fundamental importância durante a síntese proteica é o RNAt, que vai se ligar a um determinado aminoácido e também vai ser reconhecido por um grupo de 3 nucleotídeos na molécula de RNAm. Enquanto a molécula de RNAm é alongada em toda a sua extensão, a molécula de RNAt apresenta em sua estrutura tridimensional, várias dobras, que resultam dos emparelhamentos entre as bases nitrogenadas (A-U, C-G) que estão sobre o mesmo filamento de polinucleotídeo. Também existem domínios, como se fossem duplas hélices, levando molécula a assumir as conformações mostradas na figura 11.4. Duas regiões da molécula de RNAt têm importância especial no processo de síntese proteica. Uma dessas regiões contém uma sequência de três nucleotídeos, CCA, em sua extremidade 3' que vai se ligar covalentemente a uma molécula de aminoácido, e a outra região contém uma sequência de 3 bases (denominada *anticódon*), que irá se emparelhar com o códon presente na molécula de RNAm. No entanto, se cada códon tivesse um anticódon correspondente, haveria 61 RNAt diferentes. Porém, foram encontrados pouco mais de 30 RNAt. Isso acontece porque o

pareamento da primeira base do anticódon do RNAt (dita “oscilante”), na posição 5’, com a terceira base do códon (na posição 3’) do RNAm não segue o padrão. Essa primeira base do anticódon pode ser uma guanina (G) modificada, denominada *insônia* (I), e pode emparelhar – se com C, A e U. E ainda, se a primeira base do anticódon for U, pode reconhecer A e G na terceira posição de códon, e se for G, reconhece C e U. Por exemplo, os códons 5’ - UUU-3’ ou UUC no RNAm especificam fenilalanina-RNAt (um RNAt com um aminoácido fenilalanina ligado) e podem se complementar com o anticódon 3’ – AAI-5’. As duas primeiras bases SAP as mesmas em ambos os códons e determinam o aminoácido; a terceira pode se emparelhar com qualquer anticódon do RNAt.

A estrutura tridimensional dos diferentes RNAt faz com que essas moléculas sejam reconhecidas por enzimas específicas, que vão catalisar a ligação de cada RNAt a um determinado aminoácido.

Uma característica do RNAt é a expressiva quantidade (cerca de 10%) de nucleotídeos covalentemente modificados. Essas modificações afetam a conformação da molécula de RNAt, implicando no reconhecimento pela enzima que catalisa a ligação do RNAt com o aminoácido e também no emparelhamento correto com o RNAm.

Antes de ser iniciada a síntese, o aminoácido passa por um processo de ativação, no qual este se liga a uma molécula de RNAt em uma ligação catalisada pela enzima *aminoacil RNAt sintetase* . A ligação se dá entre o grupo hidroxila presente na extremidade 3’ da molécula, no adenilato da sequência CCA, e o grupo carboxila do aminoácido. A ativação do aminoácido catalisada pela aminoacil RNAt sintetase, na verdade, se dá em duas etapas. Primeiramente, o aminoácido se liga ao AMP, formando um aminoacil – adenílico: Ainda no sítio ativo da enzima, o aminoacil é transferido para o RNAt:



O aminoácido ligado ao seu RNAt está em condições de ser adicionado à cadeia de polipeptídeos que está sendo sintetizada no polissomo. No caso de a síntese estar sendo iniciada, além da ativação do aminoácido, outros eventos ocorrem como a associação do RNAm à subunidade menor do ribossomo e também associação das duas subunidades dos ribossomos. Esta *etapa de iniciação*, que é bastante complexa envolve a participação de proteínas específicas chamadas de fatores de Iniciação (IF). Como já foi visto, as subunidades ribossomais somente se associam durante o processo da síntese proteicas. No caso de procariotos, a subunidade maior só vai se associar à subunidade menor depois que esta última se ligar ao RNAt iniciador carregando o aminoácido metionina ligado a um radical formil (f-met). O RNAt iniciador sempre carrega f-met, no caso de procariotos, e met, no caso de eucariotos. Em procariotos, a ligação do RNAt iniciador ocorre no sítio P da

subunidade menor e só depois desse complexo formado, é que o RNAm se associa.

Em procariotos, o início da síntese se dá com o N- formil- metionina-RNAt, que vai se instalar no sítio P do ribossomo. O códon de iniciação é quase sempre AUG (em algumas bactérias pode ser GUG). Um questionamento que surgiu, quando se iniciarem os estudos sobre síntese proteicas, foi de como o ribossomo iria reconhecer o sítio do RNAm para iniciar a síntese, uma vez, que existem várias sequências de AUG ao longo da molécula de RNAm. Não demorou muito para que fosse identificada uma sequência no RNA 16S presente na subunidade menor do ribossomo, a qual se parecia com uma sequência (sequência Shine – Dalgarno) no RNAm, que precedia a sequência AUG que deveria, então, servir de ponto inicial para a síntese de proteínas.

Em eucariotos, primeiramente o RNAt transportando a metionina se associa à subunidade menor do ribossomo, com a ajuda de proteínas chamadas fatores de iniciação, conhecidas pela sigla eIF (do inglês *eucaryotic Initiation Factors*). Em seguida, esta subunidade se liga à extremidade 5' do RNAm, após reconhecer uma base modificada a 7- mentil – guanosina, e dois fatores de iniciação, eIF-4g e eIF-4E, que já estavam associadas à extremidade 5(cap) do RNAm. A subunidade menor então se move ao longo do RNAm com a ajuda de outros fatores de iniciação, até encontrar uma sequência AUG. Neste ponto, os fatores de iniciação são desligados e a subunidade maior se associa ao complexo Metional-RNAt-subunidade 40S-RNAm, formando o de ribossomo completo funcional. Pelo menos 10 fatores de iniciação participam nessa fase inicial da síntese proteica em eucariotos. Já em procariotos, atuam apenas três fatores de iniciação, IF-1,IF-2,IF-3 para uma visualização da iniciação da síntese em procariotos. Tanto em procariotos como em eucariotos, a incorporação da subunidade maior do ribossomo, formando o ribossomo funcional, ocorre após a ligação do aminoácil-RNAt com a subunidade menor do ribossomo e com o RNAm.

O conjunto formado pelo ribossomo completo, f-met-RNAt ou Met-RNAt e RNAm, é conhecido como complexo de iniciação 70S e 80S e, a partir do momento em que esse complexo é formado, a síntese tem prosseguimento, com a adição de novos aminoácidos. Segue – se a formação da ligação peptídica e a translocação do ribossomo sobre a fita de RNAm, caracterizando a *etapa de enlogação*. No ribossomo, são reconhecidos três sítios: o sítio A, que recebe os complexos de aminoacil – RNAt, o sítio P. como pôde ser visto na etapa da iniciação, o primeiro aminoácido ocupa o sítio P, deixando o sítio A livre para receber o próximo aminoacil RNAt. Este é “escoltado” até o ribossomo por uma proteína chamada fator de elongação (EF-Tu em procariotos e EF-1^a em eucariotos), que se complexa com o GTP. Após o aminoácil –RNAt estar corretamente emparelhado com o códon do RNAm no

sítio A, oGTP sofre hidrólise, o EF-Tu GDP é liberado e o primeiro aminoácido metionina se liga, por seu grupo carboxil, ao grupo amino do aminoacil –RNA_t que ocupa o sítio A. O EF-Tu –GDP agora inativo, pode ser novamente ativo, complexando-se com um fator EFTs, que permite a troca de GDP por GTP, regenerando o EF-Tu-GTP e a sua capacidade de novamente interagir com um outro aminoacil-RNA_t até alcançar o ribossomo. A formação da ligação peptídica, seja no caso da f-met-RNA_t e no de Leu-RNA_t, ou entre qualquer peptidil –RNA_t e o próximo aminoacil – RNA_t que estiver ocupando o sítio A, catalisada por um complexo enzimático, *peptidil transferase*, presente na subunidade maior do ribossomo. Vários estudos têm mostrado que essa reação é mediada não por uma proteína, mas pelo maior RNA_r presente na subunidade maior do ribossomo.

O passo seguinte, ainda dentro do processo de alongação, consiste na migração ou translocação do ribossomo ao longo do RNA_m na direção 5' → 3', deixando, dessa forma, o sítio A livre para a chegada de um novo aminoacil-RNA_t. A translocação depende da presença de outro fator, EF-G, e consequente hidrólise de GTP, resultando em mudança conformacional do ribossomo e na sua translocação ao longo do RNA_m.

A etapa de alongação é muito semelhante entre procariotos e eucariotos, diferindo apenas em relação aos seus fatores de alongação.

O crescimento da cadeia polipeptídica, pela adição de aminoacil-RNA_t, ocorre até que o sítio A do ribossomo encontre um dos códons UAA, UAG e UGA, conhecidos como *stop codon*, para os quais não existe RNA_t com anticódon capaz de formar emparelhamento. No entanto, aqueles códons são reconhecidos por proteínas chamadas de *fatores de liberação*. Esses fatores vão encerrar a síntese proteica, pois ocupam o sítio A e alteram a atividade da enzima peptidil-transferase, que catalisa a hidrólise da ligação entre a cadeia polipeptídica e o RNA_t que está no sítio P. Assim, o polipeptídeo é liberado, ocorrendo o mesmo com o RNA_t. As subunidades do ribossomo separam-se e o RNA_m se dissocia.

Nesta etapa, os procariotos e eucariotos diferem quanto aos fatores de liberação. Os procariotos têm os fatores RF-1, que reconhece UAA ou UAG, e RF-2, que reconhece UAA ou UGA, enquanto os eucariotos possuem um único fator de liberação, e Rf, que reconhece os três códons de terminação.

Polissomos

Durante a síntese proteica, os ribossomos se deslocam ao longo do RNA_m na direção 5' → 3' e deixam para trás a extremidade 5', ou algum sítio em que outro ribossomo possa se instalar. Desse modo, vários ribossomos funcionais

podem estar associados a uma mesma fita de RNAm, caracterizando o *polissomo* ou *polirribossomo*. A quantidade de ribossomos associados depende da extensão do RNAm. Uma molécula de RNAm, com 500 nucleotídeos, por exemplo, pode apresentar até 5 ribossomos sintetizando proteínas simultaneamente.

Bloqueadores da síntese proteica

Até 1940, não havia um tratamento eficaz para vários tipos de doenças infecciosas. Mas, a partir daquela data, foram descobertas várias substâncias com capacidade de inibir o crescimento de bactérias. Essas substâncias são os *antibióticos* e muitos deles têm uma ação específica sobre bactérias, bloqueando, na sua maioria, etapas da síntese proteica, como ocorre com a estreptomicina, cloranfenicol, tetraciclina e eritomicina. Outros, como a puromicina, que atuam tanto em procariotos como eucariotos, e a cicloeximida, que atua só em eucariotos, não têm aplicação clínica, mas foram importantes em experimentos que levaram à compreensão do mecanismo da síntese proteica. No caso da puromicina, por ter uma estrutura muito semelhante a um aminoacil-RNAt, pode ocupar o sítio A do ribossomo durante a síntese proteicas, chegando a se ligar ao peptidil-RNAt que está no sítio P, formando peptidil-puromicina, que então é liberado do ribossomo sem que este sofra translocação ao longo do RNAm. Esse resultado demonstrou que a translocação só ocorre depois da ligação do aminoacil-RNAt ao peptidil que está no sítio P.

Um exemplo clinicamente importante de bloqueio da síntese proteica ocorre na doença denominada *difteria*, que é causada por uma bactéria, *Corynebacterium diphtheria*, que libera uma toxina (proteína) codificada por um bacteriófago. Somente aquelas linhagens de *C. diphtheria* lisogênicas para o bacteriófago causam essa grave doença. A toxina liga-se ao gangliosídeo GM1 na superfície de membrana plasmática das células humanas. A toxina é clivada em dois fragmentos, denominados A e B. O fragmento B se insere na membrana plasmática e parece formar um “poro” por onde o fragmento A passa para as células das pessoas infectadas. Dentro da célula, o fragmento A catalisa uma reação de ADP-ribosilação do fator de alongação (eEF-2; uma translocase), inativando-o de forma irreversível. Isso impede a translocação do ribossomo e, conseqüentemente, a transferência do peptidil-RNAt do sítio A para o sítio P, interrompendo a síntese proteica. Um único fragmento A é capaz de bloquear 500.000 moléculas de eEF-2 em cada célula, levando a pessoa à morte. A difteria é uma doença que causa lesões, principalmente, na porção superior do trato respiratório, levando a um espessamento da mucosa nessa região e facilitando o crescimento das bactérias. O espalhamento da toxina

pelo corpo, pelos vasos sanguíneos e linfáticos, pode resultar em disfunção neuronal e do miocárdio.

RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

O retículo endoplasmático (RE) é formado por um sistema de membranas interconectadas na forma de tubos ramificados, às vezes na forma de cisternas, que delimitam uma cavidade mais conhecida como luz. Podem-se distinguir dois tipos de retículo. O retículo endoplasmático *rugoso* (RER) ou *granular* apresenta ribossomos associados e uma estrutura na forma de cisternas. Células com intensa síntese proteicas, como as células acinosas do pâncreas, possuem RER bastante desenvolvido. Na ausência de ribossomos, o retículo endoplasmático é denominado *liso* (REL) ou *agranular*, formando estruturas predominantemente tubulares. Células com retículo liso abundante estão relacionadas à síntese de hormônios esteroides, como as células de Leydig nos testículos; à degradação de glicogênio, como os hepatócitos; ou a funções específicas, como o controle do cálcio citoplasmático nas células musculares. Nestas últimas, o RE recebe a denominação específica de *retículo sarcoplasmático*.

Retículos rugosos e lisos podem estar presentes numa mesma célula, formando uma estrutura contínua. A associação temporária dos ribossomos às membranas do RE é determinada pelo estado fisiológico da célula, ou seja, áreas de REL podem ser substituídas por RER no caso de respostas celulares que envolvem intensa síntese proteica. O inverso também pode ocorrer. Havendo a necessidade de eliminação de resíduos de fenobarbital (um anestésico que pode se acumular, chegando a níveis tóxicos para o organismo), áreas de RER dos hepatócitos são substituídas por REL, com capacidade de destoxificação. Essa capacidade de conversão, assim como a sua observação em células vivas, faz do RE uma organela bastante dinâmica.

Uma característica estrutural do RE é a continuidade com o envoltório nuclear. No entanto, não existe nenhuma ligação direta das membranas do RE com a membrana plasmática. O RE é encontrado na maioria das células eucarióticas, nas quais ocupa, em média, 10% do volume celular, correspondendo a mais da metade do total de membranas presentes em uma célula animal. A quantidade de RE e sua localização no citoplasma variam de acordo com o tipo e o metabolismo celular. Nos hepatócitos, o RE é uma estrutura bastante desenvolvida que aparece disperso por todo o citoplasma. Em células

secretoras polarizadas, como as células pancreáticas, o RER fica restrito preferencialmente à porção basal do citoplasma, em geral próximo ao núcleo.

Composição química

Membranas

À semelhança das demais biomembranas, as membranas do RE são formadas por uma bicamada lipídica com proteínas associadas. Os lipídios presentes correspondem a 30% do seu conteúdo, sendo principalmente fosfolipídios com ácidos graxos de cadeias curtas e insaturadas. O conteúdo de colesterol e glicolipídios é baixo. Os componentes lipídicos estão dispostos assimetricamente nas membranas do RE. Pode-se citar a presença de fosfatidilinositol, fosfatidiletanolamina e fosfatidilserina, preferencialmente na face externa ou *citoplasmática*, enquanto fosfatidilcolina e esfingomiéline são presentes em maior quantidade na face interna ou *luminal*.

Aspectos funcionais

O RE está relacionado à síntese, modificação e transporte de proteínas e lipídios. Esses componentes podem seguir três destinos diferentes: permanecer no RE, seguir para outras organelas ou ser encaminhado para o exterior da célula por meio da secreção. Neste último caso, o RE é o início da via biossintética-secretora da célula.

É interessante ressaltar que o sistema de canais formado pelo RE delimita uma região isolada do citosol. Na luz do RE, acontecem reações bioquímicas específicas, como a formação de pontes dissulfeto, glicosilações e outras modificações estruturais de proteínas e lipídios.

Como foi descrito anteriormente, o RE assume diferentes funções, dependendo do tipo celular e do estado metabólico.

Síntese proteica

O RER apresenta-se bastante desenvolvido nas células com intensa síntese de proteínas destinadas à secreção. Os ribossomos que aparecem associados ao RE são idênticos aos ribossomos livres no citosol. A associação com o RE é transitória e, tão logo a leitura do RNA m termine, o ribossomo é liberado no citoplasma até ser novamente engajado na síntese proteica. Podem ser encontrados polissomos associados às membranas do RE. A interação de ribossomos com a membrana do RE sugere que a transferência de proteínas

para a luz do RE ocorra durante sua tradução pelos ribossomos, ou seja, co-traducionalmente, enquanto a importação de proteínas em outras organelas (como mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e núcleo) ocorre pós-traducionalmente. Algumas proteínas podem ser transportadas já em sua forma final para o RE. Essa situação ocorre apenas para um pequeno número de proteínas em mamíferos, mas é mais frequente em bactérias e em fungos. A seguir, serão comentados aspectos da transferência co-traducional de proteínas para a luz do RE em células de mamíferos.

A hipótese do sinal

A maquinaria básica para a síntese proteica que ocorre junto ao RE é a mesma encontrada no citoplasma. Como então, em alguns casos, a síntese proteica é direcionada para o RER? Experimentos realizados na década de 1970 demonstraram que, se a síntese de proteínas normalmente destinadas ao RE fosse realizada em um sistema *in vitro* e na ausência de membranas (microsomas), resultaria em um peptídeo com cerca de 20 aminoácidos a mais do que o mesmo peptídeo produzido também *in vitro*, mas na presença dos microsomas. Essa sequência de 20 aminoácidos localiza-se na extremidade N-terminal das proteínas destinadas ao RE e, apesar de não ser constante para todas as proteínas, é composta predominantemente por aminoácidos hidrofóbicos. Outros experimentos demonstraram que se essas sequências hidrofóbicas N-terminais fossem adicionadas a proteínas normalmente produzidas no citoplasma, elas seriam direcionadas para o RE. A partir dessas observações, foi formulada a *hipótese do sinal*. A sequência N-terminal hidrofóbica, denominada *peptídeo sinal*, é sintetizada em ribossomos livres no citoplasma e tem a função de encaminhar a síntese proteica para o RE. O *peptídeo sinal* é clivado posteriormente e não permanece na forma final da proteína.

Transferência co-traducional

Tão logo o peptídeo sinal é traduzido, uma partícula citoplasmática denominada *Partícula de Reconhecimento do Sinal (PRS)* liga-se a ele. A PRS é uma ribonucleoproteína composta por um RNA 7S (RNA PRS) e 6 subunidades proteicas (PRS 9, PRS 19/14, PRS 54, PRS 68/72). A subunidade de 54 kDa (PRS 54) é responsável tanto pelo *reconhecimento* e ligação com o peptídeo sinal quanto pela interação da PRS com o ribossomo.

Ocorre, então, o direcionamento do complexo peptídeo nascente-ribossomo para o RER, onde existe um receptor para a PRS. A ligação do receptor à PRS garante também o acoplamento do ribossomo e do peptídeo à

membrana do RE. Neste momento, a PRS já terminou seu papel no direcionamento da síntese proteica para p RE e, pela hidrólise de GTP, há o desligamento da PRS de seu receptor, permitindo a reciclagem de ambos e a continuidade da síntese proteicas junto à membrana do RE.

Tão somente após a ligação do ribossomo ao RE e desligamento da PRS, a síntese proteica é reiniciada.

A ligação do ribossomo à membrana do RE ocorre por meio de sua ligação com receptores como a p180. Além disso, o complexo proteico sec61 parece estar diretamente relacionado à ancoragem dos ribossomos. Na fase de associação dos ribossomos à membrana do RE, ocorre também a ligação da cadeia polipeptídica nascente a um poro aquoso de 2nm de diâmetro. Esse é um poro fisiológico que só se forma na presença de complexo ribossomo-peptídeo nascente na membrana do RE.

COMPLEXO DE GOLGI

Grande parte das proteínas e lipídios, sintetizados no retículo endoplasmático (RE) tem como destino a superfície celular ou mesmo o meio extracelular. A *Via Biossintética Secretora* é composta pelo RE, sítio de síntese das substâncias; pelo complexo de Golgi (CG) e pelas vesículas de transporte. Juntos, eles promovem o processamento, a seleção e o transporte das substâncias a serem secretadas da célula.

O CG faz parte do sistema citoplasmático de membranas, sendo composto por sáculos achatados independentes, mas com contínua troca de material por vesículas. Geralmente, o CG está localizado em região próxima ao núcleo. Na maioria das células animais, o CG costuma ocupar a região central. Já em células polarizadas, como ácinos ou células do epitélio intestinal, é comum que os elementos CG estejam voltados para a face secretora da célula. Células especializadas em secreção como aquelas produtores de hormônios e enzimas digestivas, têm grande parte do citoplasma preenchido por uma rede de CG e vesículas de vários tipos. O CG está presente em quase todas as células eucarióticas, não sendo encontrado em apenas em algumas células muito especializadas, como as hemácias ou os espermatozoides completamente diferenciados. Em relação às células vegetais, cada pilha de sáculos do CG é também conhecida pelo termo *dictiossomo*.

Em geral, existe uma relação especial do RE com o CG, que se posiciona entre o RE e a membrana plasmática. Nas proximidades do CG, não

são encontrados ribossomos, glicogênio ou mitocôndrias. Além da participação do CG na seleção e transporte dos produtos de secreção, também há a participação dessa organela no processamento de proteínas e lipídeos, principalmente por meio de glicosilação, sulfatação e fosforilação.

Composição química

Membranas

As membranas dos diferentes compartimentos do CG apresentam composição e espessura variáveis. A espessura das cisternas varia entre 5 e 10 nm, isto é, com valores intermediários entre aqueles observados para o RE e a membrana plasmática. Os lipídios compreendem de 35 a 40% dos componentes das membranas do CG e estão representados principalmente por fosfolipídios, distribuídos assimetricamente na bicamada.

As proteínas de membrana correspondem a 60-65% da bicamada lipídica, sendo representadas em sua maior parte por enzimas, proteínas estruturais e proteínas envolvidas na formação e direcionamento de vesículas. Estão presentes principalmente transferases envolvidas nas etapas de processamentos de lipídios, proteínas e polissacarídeos presentes na luz do CG, podendo ser citadas as glicosiltransferases, sulfotransferases e fosfatases. É interessante ressaltar que o conteúdo enzimático é característico para cada compartimento do CG, uma vez que as reações bioquímicas acontecem de maneira sequencial em compartimentos específicos desta organela. Por exemplo, a enzima tiamina pirofosfatase, presente na rede Golgi *trans*, é utilizada como marcadora para o CG em análises morfológicas e bioquímicas por não ser encontrada em outros compartimentos celulares.

Aspectos funcionais

Nos diferentes compartimentos do CG, as proteínas e os lipídios provenientes do RE sofrem importantes modificações estruturais, dentre as quais se destacam glicosilação, sulfatação e fosforilação. O processamento dessas proteínas e lipídios, que em alguns casos é iniciado ainda no RE, é fundamental para que essas moléculas desempenhem adequadamente suas funções.

O CG é também um importante sítio de reconhecimento e de encaminhamento de compostos. Ele promove o endereçamento e transporte de compostos para endossomo tardio, para a membrana plasmática e também para o meio extracelular (via biossintética secretora) (transporte anterógrado) e

para o RE (no caso de redirecionamento de proteínas residentes do RE) (transporte retrógrado).

Outra relevante função desempenhada pelo CG é a síntese de hemiceluloses e pectinas, importantes polissacarídeos que compõem a parede celular vegetal.

As vesículas de transporte

A formação de vesículas a partir de um compartimento doador se dá através do processo de brotamento. Para que isso ocorra, determinada região da membrana desse compartimento se curva, aproximando-se até se fundir, liberando, assim, uma vesícula. Geralmente, a curvatura na membrana é imposta pelo agrupamento de proteínas específicas, que permanecem como um revestimento externo nas vesículas liberadas. Tais proteínas são conhecidas como *proteínas de cobertura*. Além dessa função, as proteínas de cobertura possibilitam a seleção das substâncias a serem transportadas nessas vesículas.

Diferentes classes de coberturas vesiculares podem ser reconhecidas ao microscópio eletrônico e cada uma desempenha papéis específicos no transporte vesicular, sendo responsáveis por etapas distintas desse transporte. Atualmente, são facilmente reconhecidas a cobertura de clatrina, a cobertura formada por proteínas COP I (COat Protein I) e a cobertura de proteínas COP II (COat Protein II) .

Lisossomos

Os lisossomos foram inicialmente identificados como organelas membranosas que continham as atividades da enzima fosfatase ácida e de, pelo menos, mais quatro hidrolases, que apresentavam funcionamento ótimo em pH ácido. Os trabalhos do Francês De Duve contribuíram muito para a identificação dos lisossomos. Após caracterizar essas atividades enzimáticas e propor que elas estivessem contidas no interior de organelas membranosas, De Duve et al. puderam utilizar a microscopia eletrônica na caracterização morfológica dos lisossomos. Na verdade, os aspectos estruturais dos lisossomos são bastante variáveis. Como o repertório enzimático também varia em decorrência de uma grande diversidade funcional, parece mais plausível definir os lisossomos como uma família de organelas com características básicas comuns.

Os lisossomos são organelas citoplasmáticas que acumulam cerca de 40 enzimas hidrolíticas, que apresentam uma ampla gama de substratos. A principal função dessas organelas é a digestão intracelular. Esse papel é

extremamente importante, pois permite à célula eliminar porções envelhecidas ou danificadas do citoplasma, incluindo organelas e moléculas, e degradar componentes oriundos da endocitose, sejam eles fragmentos da membrana plasmática, macromoléculas, partículas, outras células ou microorganismos.

Estrutura

Os lisossomos são estruturas geralmente esféricas e de tamanho extremamente variável, delimitadas por membrana. A identificação dessas organelas ao microscópio eletrônico depende da localização de marcadores específicos, como a atividade da fosfatase ácida, ou da presença de resíduos dos processos de digestão. Os lisossomos acumulam, ao longo do tempo, resíduos não – digeríveis. Estes são eliminados por alguns tipos celulares, como os organismos unicelulares de vida livre, mas dificilmente por alguns tipos celulares dos organismos multicelulares. A observação desses resíduos consiste em elemento adicional à identificação ultraestrutural dos lisossomos.

Os lisossomos apresentam uma cobertura de carboidratos que fica associada à fase interna da membrana que os envolve e, aparentemente, é responsável por evitar a digestão da própria membrana pelas hidrolases que se acumulam no seu interior.

Nas células vegetais, os lisossomos aparecem em diferentes formas, acoplando funções adicionais à digestão intracelular.

Crinofagia

As células secretoras que, em determinado momento deixam de receber o estímulo para secreção, precisam eliminar os grânulos onde seus produtos são acumulados no citoplasma. Neste caso, é acionado o processo denominado *crinofagia*, no qual os grânulos são digeridos pela via lisossomal. Dessa forma, o material oriundo da via biocintética é encaminhado para o interior dos lisossomos. A célula volta, então, para um estado basal de atividade, até que um novo estímulo induza novo acúmulo de secreção.

Endocitose

A endocitose envolve três mecanismos principais: a *pinocitose* (quando a célula engloba parte da fase fluida do meio externo), a *fagocitose* (quando a célula engloba partículas sólidas) e aquele que envolve a *endocitose mediada por receptores*.

A pinocitose é um processo contínuo de formação de vesículas que trazem água, pequenas moléculas e proteínas solúveis. Geralmente, as vesículas de pinocitose são pequenas e numerosas. Uma vez dentro das células, as vesículas fundem-se entre si e aos lisossomos resultando na digestão do seu conteúdo.

Esse processo permite a ingestão de volumes excessivos de líquido e resulta também na ingestão de grandes extensões da membrana plasmática, que é em sua maior parte reciclada. A taxa de pinocitose e de internalização de membrana plasmática varia de célula para célula, sendo especialmente alta em células como macrófagos. Neste caso, a reciclagem dos segmentos de membrana é fundamental para a manutenção de sua extensão e do volume celular.

Já a fagocitose corresponde à internalização de partículas relativamente maiores. Em organismos unicelulares, a fagocitose corresponde a um processo importante para a obtenção de nutrientes. Já nos organismos multicelulares, a fagocitose desempenha um papel importante na defesa contra microorganismos; na eliminação de células danificadas, envelhecidas ou em processo de morte celular, além de ser essencial nos processos de remodelação durante a embriogênese e na cicatrização. Dentre as células fagocíticas, existem os neutrófilos e, principalmente, os macrófagos. O fagócito depende da ligação de partículas presentes no meio extracelular a receptores presentes na superfície das células, levando primeiro à adesão dessas partículas e, em seguida, à projeção de membranas que as envolvem e as internalizam. Neste processo, há uma participação efetiva dos filamentos de actina e a vesícula contendo a partícula a ser ingerida denomina-se *fagossomo*. No caso das células do sistema imune referidas antes, a ligação se dá com porções de imunoglobulinas que se ligam à partícula a ser internalizada. Essas células são conhecidas como *fagócitos profissionais*. Já células cuja função primordial não é a fagocitose, mas que podem exercer essa atividade em situação específica, são conhecidas como *fagócitos não profissionais* ou eventuais. Fibroblastos e células epiteliais são exemplos de fagócitos não-profissionais.

As hemácias são removidas da corrente circulatória por um processo fagocítico que acontece no fígado pelas células de Küpfer. A exposição de resíduos de galactose na superfície das hemácias de resíduos de galactose na superfície das hemácias, devido à clivagem de açúcares mais terminais por enzimas circulantes no plasma, permite o reconhecimento dessas células por moléculas semelhantes às lectinas presentes na superfície das células de Küpfer.

A *endocitose mediada por receptores* permite às células a internalização de moléculas pela formação de vesículas de maneira bastante específica. A

especificidade desse processo depende da existência de receptores na membrana plasmática. Esses receptores conhecem as moléculas a serem internalizadas, agrupam-se no plano da membrana e formam os *coated pits* a partir da associação da porção citoplasmática dos receptores com as moléculas de clatrina. A associação com a clatrina permite a invaginação do segmento da membrana e o brotamento da vesícula recoberta por clatrina no citoplasma.

Uma das características desse processo é a concentração, em duas etapas, do material a ser internalizado. Primeiramente, ao se ligar aos receptores, as moléculas são concentradas junto à superfície da célula, reduzindo o segmento de membrana a ser ingerido. Esse mecanismo é utilizado no controle remoção de receptores da superfície celular. É comum que, a partir das vesículas de endocitose, os receptores sejam reciclados para a membrana plasmática. Porém, em outros casos, eles são destinados à digestão dentro dos lisossomos, juntamente com os seus ligamentos.

QUESTÕES

O que é célula?

Resp. Célula é a unidade básica da vida em que existe uma complementaridade entre estrutura e função.

Do que uma célula é revestida?

Resp. As células são revestidas por uma membrana plasmática, também denominada plasmalema, de constituição lipoproteicas.

Descreva a diferença entre as estruturas primárias, secundárias, terciárias e quaternárias das proteínas.

Resp. Proteínas são as mais abundantes moléculas presentes nos organismos vivos à exceção da água, podendo perfazer 50% da matéria seca deles. No ser humano, por exemplo, cerca de 15% da massa corpórea vem das proteínas.

Grande parte das proteínas é formada apenas por aminoácidos e, por isso, elas recebem o nome de *proteínas simples*. Entretanto, há proteínas denominadas *proteínas conjugadas*, pois possuem outras moléculas ou átomos (grupo prostético), além dos seus aminoácidos formadores.

Em decorrência, à medida que novos aminoácidos são incorporados à molécula de proteína que está sendo sintetizada, começará a haver a atração entre o oxigênio e o H de ligações peptídicas distintas. Essas interações determinam uma estrutura especial característica. Que é denominada estrutura secundária da proteína. Assim, *estrutura secundária de uma proteína* é a forma que ela toma em decorrência das pontes de hidrogênio entre oxigênio e hidrogênio ligado ao nitrogênio de ligações peptídicas distintas.

A estrutura secundária, resultante das interações por ligações de hidrogênio específicas dos átomos das ligações peptídicas, posiciona os grupos R dos diferentes aminoácidos, de tal modo que pode provocar novos tipos de interação. Assim, a estrutura tridimensional total de molécula, agora com a somatória dessas interações, denomina-se *estrutura terciária da proteína*.

Algumas proteínas, para adquirirem seu estado funcional, necessitam mais de uma cadeia polipeptídica (com sua estrutura tridimensional definida). Ao estado funcional, que conta com as estruturas terciárias de dois ou mais polipeptídios unidos, geralmente, a um grupo prostético, dá-se o nome de *estrutura quaternária da proteína*. O exemplo mais conhecido de proteína que tem estrutura quaternária é a hemoglobina, formada por 4 cadeias (duas denominadas a e duas b), cada uma delas envolvendo um grupo heme contendo ferro.

4. CARVALHO, Isabel C. M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2008. cap. 1, 3 e 5.

Cap. 1 – A epistemologia da Educação Ambiental: A crise de um modo de conhecer e a busca de novos modos de compreender.

Uma das questões que atravessam a crise do conhecimento na contemporaneidade, afetando diretamente a educação, diz respeito a como se pode acessar a realidade e compreendê-la. Uma dessas visões é a que pensa a realidade como algo mediado pela dimensão simbólica (cultural), e situa a produção do conhecimento e, conseqüentemente, a educação dentro de processos compreensivos e interpretativos, produtores de subjetividades e modos de vida. A outra é aquela que tende a tomar a realidade como algo passível de ser captado em si, como um fato que dispensa a mediação da cultura. Esta visão funda, ao mesmo tempo, um método científico e um modo de pensar que se firmou como próprio da racionalidade moderna, também chamada de “razão instrumental”.

O paradigma científico-moderno, sua crise e as conseqüências para a educação.

Um dos legados do pensamento característico da modernidade foi a construção de um modelo de racionalidade que alcançou sua formulação mais acabada com o filósofo René Descartes (1596 a 1650), no sec. XVII, e representou importante ruptura com modelos anteriores, os quais situavam a compreensão do real em instâncias

de legitimação externas ao mundo humano. A razão moderna, com Descartes, trouxe a legitimação do conhecimento para dentro do mundo humano. Assim, já não havia uma instância externa ao operar como fonte de verdade para compreender a vida. A explicação do mundo e a autocompreensão dos seres humanos eram, agora imanentes, ou seja, estavam no mundo e já não dependiam de uma fonte externa. O acesso à verdade imanente ao mundo dava-se por intermédio do próprio sujeito humano, o qual, entendido como sujeito da razão, capaz de pensar logicamente (racionalmente), podia chegar a uma compreensão objetiva do real.

Essa mudança de posição, que centrava o sujeito humano e a razão – sendo aquele considerado sujeito da razão – como fonte do conhecimento verdadeiro, inaugurou a chamada “revolução científica” e fundou a modernidade.

Buscando diferenciar-se de modelos anteriores de pensar, que viam a natureza como uma totalidade ou um organismo vivo, marcado pelas relações de interdependência dos fenômenos espirituais e materiais, a racionalidade moderna separou rigorosamente o sujeito cognoscitivo e o objeto do conhecimento e afirmou-se como a capacidade de abstrair as qualidades de seu objeto e fazer uma descrição matemática do real. Para tanto, o encontro do humano com o mundo teve de ser “purificado” ou ainda “desencantado”.

A compreensão do mundo teve de isentar-se das paixões, dos afetos, de todo e qualquer tipo de “contaminação” por sensibilidades, sentidos, propriedades anêmicas, cosmológicas e modos de experienciar o real não correspondente ao modelo da razão

No método científico, a separação entre sujeito e objeto desdobrou-se em outras polaridades excludentes com as quais aprendemos a

pensar o mundo; natureza/cultura, corpo/mente, sujeito/objeto, razão/emoção.

Somos seres de nosso tempo e, por isso, marcados por essa tradição do pensamento ocidental. Tal maneira de ver o mundo, a qual tem sido denominada de **paradigma moderno**, entrou em crise justamente por não conseguir responder, adequadamente, aos novos problemas teóricos e práticos que atravessam a vida contemporânea, entre os quais os ambientais.

Ao separar radicalmente a natureza da cultura, a ciência sacrificou a diversidade em nome da universalidade do conhecimento, reduzindo os fenômenos culturais às determinações das leis naturais gerais. Nesse sentido, os saberes da Física e da Biologia tiveram grande ascensão e ganharam legitimidade como portadores do conhecimento verdadeiro do real, e explicativo do humano.

Já as ciências humanas, entre elas a Educação, neste quadro da hegemonia de uma cientificidade objetivista, ocuparam o lugar menos valorizado, devendo espelhar-se na ciência objetiva para um dia alcançarem tal padrão de racionalidade e objetividade.

A interdisciplinaridade: um desafio epistêmico e metodológico.

Atenção:

(...) A interdisciplinaridade jamais será uma posição fácil, cômoda ou estável, pois exige nova maneira de conceber o campo da produção de conhecimento buscada no contexto de uma mentalidade disciplinar.

Trata-se de um combate, ao mesmo tempo externo e interno, no qual à reorganização das áreas e das formas de relacionar o conhecimento corresponde à reestruturação de nossa própria maneira de reconhecer e nos posicionar perante o conhecimento, desfazendo-nos dos condicionamentos históricos que nos constituem.

A crise ambiental, de certa forma, alimenta questionamentos epistemológicos e desacomoda os modos já aprendidos de pensar da racionalidade moderna, ao expor a insuficiência dos saberes disciplinares e reivindicar novas aproximações para que se compreenda a complexidade das inter-relações na base dos problemas ecológicos.

A retidão disciplinar e os caminhos híbridos da educação ambiental

A despeito da vocação renovadora da EA, nesse choque de paradigmas – ou nessa transição paradigmática -, como alguns autores preferem caracterizar o momento presente, as armadilhas

de uma cientificidade normativa e tecnicista seguem influenciando a esfera educativa. No campo mental, essa perspectiva busca reafirmar-se em certo otimismo tecnológico que vê nas tecnologias ambientais e novos mercados verdes a via régia para a solução da crise ambiental. A EA seria, então, equivocadamente tomada como um sucedâneo do ensino de ciências, na acepção de uma ciência morta – mas ainda bem viva enquanto idéia-força disputando

hegemonia dentro do campo científico. E correria o risco de orientar-se predominantemente para a difusão de conhecimentos científicos e tecnologias ambientais tomados em sua forma ingênua sem a devida problematização de seus contextos históricos de produção e dois interesses econômicos aos quais respondem, sendo, reafirmados como conhecimentos desinteressados, em si mesmos verdadeiros e eficazes para a crise ambiental.

Conectando a vida e o conhecimento no cotidiano da prática educativa

No mundo vivido, os aspectos tomados isoladamente pelas disciplinas estão permanentemente relacionados, como a trama de um só tecido. Ao puxar apenas um fio, tratando-o como fato único e isolado, cada área especializada do conhecimento não apenas perde a visão do conjunto, como também pode esgarçar irremediavelmente essa trama em que tudo está imbricado. Com isso, a multiplicidade das “camadas” de significados que constituem a realidade é traduzida em fatos unidimensionais, vistos de somente uma perspectiva. Na escola, organizada sobre a lógica dos saberes disciplinares, o resultado é que, por exemplo, o professor de geografia não toca nos aspectos biológicos da formação de um relevo em estudo; o historiador não considera a influência dos fatores geográficos na compreensão do declínio de uma civilização; o professor de biologia não recupera os processos históricos e sociais que interagem na formação de um ecossistema natural, e assim por diante.

A interdisciplinaridade como atitude: a abertura ao diálogo entre saberes e ao trabalho em equipe.

Os problemas ambientais ultrapassam a especialização do saber. Para confirmar essa asserção, basta pensar em alguns dos mais conhecidos, como:

- a) o aquecimento global e os desequilíbrios climáticos;
- b) a poluição dos rios e mananciais, que tem diminuído a oferta de água potável e gerado graves consequências para a saúde, como no caso da contaminação de rios e represas;
- c) os organismos geneticamente modificados (transgênicos), cujos riscos para o meio ambiente e para a saúde humana ainda estão longe de ser compreendidos plenamente.

Contudo, para intervir nos riscos ambientais ou para gerir o ambiente de modo que tais riscos sejam evitados, é preciso compreender os complexos processos biológicos, geográficos, históricos, econômicos e sociais geradores desses problemas.

Por isso, as equipes que estudam as questões ambientais e intervêm nelas são, em sua maioria, compostas de profissionais de várias áreas que atuam em conjunto e buscam formas interdisciplinares de cooperação entre si e de compreensão da realidade.

Com os outros profissionais da área, o educador ambiental compartilha o desafio gerado pela complexidade das questões ambientais. Isso implica atitude de investigação atenta, curiosa, aberta à observação das múltiplas inter-relações e dimensões da realidade e muita disponibilidade e capacidade para o trabalho em equipe. Significa construir um conhecimento dialógico, ouvir os diferentes saberes, tanto os científicos como os outros saberes sociais (locais, tradicionais, das gerações, artísticos, poéticos, etc.); diagnosticar as situações presentes, mas não perder a dimensão da historicidade, ou seja, dar valor à história e à memória que se inscreve no ambiente e o constitui, simultaneamente, como paisagem natural e cultural.

A educação Ambiental no debate das idéias: elementos para uma EA crítica

A EA tem uma proposta ética de longo alcance que pretende reposicionar o ser humano no mundo, convocando-o a reconhecer a alteridade da natureza e a integridade e o direito à existência não utilitária do ambiente. Essa proposta ética tem repercussões, quando se trata de eleger os princípios pedagógicos da EA.

Ao construir-se como prática educativa, a EA posiciona-se na confluência do campo ambiental e as tradições educativas, as quais vão influir na formação de diferentes orientações pedagógicas no âmbito da EA ou, produzir diferentes educações ambientais.

A intensificação do diálogo com os movimentos sociais tem ampliado a interface entre a esfera educacional e os acontecimentos socioculturais. E isso tem ocorrido não apenas com relação ao ambiente, mas também no caso de outras “educações de fronteira”, como a educação para a paz, a educação de gênero, a educação para os direitos humanos, etc. O que essas novas educações têm em comum é o fato de tratarem as questões emergentes da vida social em uma perspectiva interdisciplinar, convocando diferentes saberes e áreas de conhecimento para compreendê-las.

Superando uma visão ingênua de Educação Ambiental

Apesar de atualmente todos concordarem que é preciso fazer algo a respeito da crise ambiental, há muitas divergências e disputas entre diferentes pontos de vista sobre o que fazer, sobre como gerir as questões ambientais, sobre que interesses devem prevalecer na complexa negociação entre os diversos grupos sociais, envolvendo seus projetos e visões de mundo, sobre as

necessidades do presente e as expectativas de futuro que podemos construir em conjunto. Educação ambiental tem sido a expressão cada vez mais utilizada nos textos das políticas e programas de educação e de meio ambiente, bem como nos projetos comunitários de extensão, de gestão e de ação.

O uso cada vez mais corrente e generalizado da denominação “Educação Ambiental” pode contribuir para uma apreensão ingênua da idéia contida nela, como se fosse uma reunião de palavras com poder de abrir as portas para um amplo e extensivo campo de consenso.

A expressão “Educação Ambiental” passou a ser usada como termo genérico para algo que se aproximaria de tudo o que pudesse ser acolhido sob o guarda-chuva das “boas práticas ambientais” ou ainda dos “bons comportamentos ambientais”.

Elementos para uma Educação Ambiental crítica

A construção de uma EA crítica implica a explicitação de algumas posições teórico-metodológicas. A primeira delas diz respeito à visão de educação como um processo de humanização socialmente situado.

Nessa definição, a prática educativa é processo que tem como horizonte formar o sujeito humano enquanto ser social e historicamente situado. Segundo tal perspectiva, a educação não se reduz a uma intervenção centrada no indivíduo, tomado como unidade atomizada e solta no mundo. A formação do indivíduo só faz sentido se pensada em relação com o mundo em que ele vive e pelo qual é responsável. Na EA esta tomada de posição de responsabilidade pelo mundo em que vivemos, incluindo aí a responsabilidade com os outros e com o ambiente.

O projeto político-pedagógico de uma EA crítica poderia ser sintetizado na intenção de contribuir para uma mudança de valores e atitudes, formando um sujeito ecológico capaz de

identificar e problematizar as questões socioambientais e agir sobre elas.

Ultrapassando a fronteira entre a educação formal e a não-formal

A EA tem sido uma força potencializadora para construir pontes e aproximar a educação formal da não-formal. Muitos trabalhos nessa área passam-se justamente na fronteira do formal e do não-formal, integrando a escola e as comunidades do entorno. Esses trabalhos geralmente incluem ações que envolvem alunos dentro e fora da escola, chegando a propor novos conteúdos escolares ou orientações curriculares. Fecha-se, assim, um círculo virtuoso formado pela aprendizagem escolar e social desenvolvida nas comunidades.

Atitude, comportamento e ação política: elementos para pensar a formação ecológica

A formação de uma atitude ecológica pode ser considerada um dos objetivos mais perseguidos e reafirmados pela EA crítica. Essa atitude poderia ser definida, em seu sentido mais amplo, como a adoção de um sistema de crenças, valores e sensibilidades éticas e estéticas orientando segundo os ideais de vida de um sujeito ecológico.

As atitudes orientam as decisões e os posicionamentos dos sujeitos no mundo. Nesse sentido, quando falamos em atitude, devemos diferenciá-la da noção de comportamento. Atitudes são predisposições para que um indivíduo se comporte de tal ou qual maneira, e assim podem ser preditivas de comportamento. Contudo, não há determinação do tipo causa e efeito que nos permita traçar correspondência direta entre a formação de atitudes e o plano dos comportamentos. Estes últimos são as

ações observáveis, efetivamente realizadas, e podem estar ou não de acordo com as atitudes do sujeito

5. DEAN, W. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*, São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

Cap. 1

A Revolução Da Floresta.

Estamos voando, a sete mil metros de altitude, rumo ao sul do subcontinente brasileiro na direção da cidade do Rio de Janeiro. Comparadas com a impressionante produtividade, abundância e variedade das florestas maravilhosas para contar. Os relatos sobre essas florestas famintas dizem respeito à resistência de pioneiros desesperados, não ao estabelecimento de grandes santuários da vida. Elas são tão resistentes e descomplicadas que toda a devastação imposta pelos homens não impede de se reconstituírem, a menos que sejam cobertas com asfalto.

O mesmo não se pode esperar em relação às florestas tropicais, que podem quase certamente ser destruídas, mas talvez nunca se restabeleçam nos lugares de onde foram eliminadas. Daí a tragédia. A destruição dessas florestas é irreversível no âmbito de qualquer escala temporal humana. Quando a floresta tropical é destruída, a perda em termos de diversidade, complexidade e originalidade não é apenas maior que a de outros ecossistemas: é incalculável.

A história de destruição das florestas da América do Sul, contudo, é um caso até certo ponto acessível a nossa curiosidade. A história chegou tarde a praticamente todos os outros encontros entre o homem e a vida selvagem. Para o homem, a coexistência com a floresta tropical sempre foi problemática. Antagonismo não é, em nenhum momento, parte necessária da relação, mas a “limpeza” da floresta não é mero ditame do preconceito ou orgulho cultural ou de arranjos políticos e sociais imprevidentes. O avanço da espécie humana funda-se na destruição de florestas, uma vez que ela está mal equipada para que se possa habitá-la.

Na costa leste da América do Sul, estendia-se outrora uma imensa floresta ou, mais precisamente, um complexo de tipos de florestas, em geral latifoliadas, pluviais e de tropicais e subtropicais. Entre oito e 28° de latitude sul, interiorizava-se a cerca de cem quilômetros da costa no norte e alargava-se a mais de quinhentos quilômetros no sul. No total, a floresta cobria cerca de 1 milhão de quilômetros quadrados. Esse complexo tem sido chamado de Mata

Atlântica brasileira, associado à outra muito maior, a Floresta Amazônica, mas distinto dela. Em conjunto, as duas florestas formavam uma zona biogeográfica diferente e mais rica em espécie que as outras florestas tropicais do planeta, situadas na África e no Sudeste Asiático. A Mata Atlântica era, em si mesma, de uma diversidade extraordinária, levando-se em conta seu tamanho relativamente modesto. A floresta ocorreu ao longo dessa costa devido a relevo, regimes de vento e correntes oceânicas.

Dado o grande âmbito de latitude ao longo do qual se espalha a Mata Atlântica, ocorreu outro gradiente de temperatura e insolação. Mudanças sutis podem, assim, ser observadas na composição da floresta entre seus extremos norte e sul. Na verdade, essas formações se interpenetraram. No sul, a floresta subtropical acompanha o litoral marítimo mais quente e penetra nas baixadas do rio Paraná. O solo foi menos determinante que a chuva e a temperatura no estabelecimento da Mata Atlântica. Exceto pelas faixas litorâneas de dunas, seus solos tiveram origens graníticas, basálticas e gnáissicas antigas, altamente intemperizados e, conseqüentemente, de baixa fertilidade.

A Mata Atlântica é uma cobaia dessa ordem. Graças a seu tamanho avantajado, sua complexidade e variabilidade, biogeógrafos e ecologistas tatearam em busca de designações comuns para seus componentes, mas seu caráter distinto é indiscutível. Esta história da Mata Atlântica não é uma história natural; ou seja, não é uma explicação das criaturas da floresta e das relações que estas mantêm entre si. É, antes, um estudo da relação entre a floresta e o homem. Podemos visitar a floresta tropical e até especializarmo-nos na extração das mil e uma raridades que ela oferece, mas não moramos nela, exceto em desespero. O “morador” humano brasileiro da floresta vive em suas margens, perto de cursos de água ou campos.

É difícil dizer se é correto referir-se à Mata Atlântica no tempo presente. Certa extensão de cobertura florestal ainda existe na região e, embora a maior parte seja identificável como secundária, algumas pequenas faixas podem jamais ter sido derrubadas ou queimadas pelo homem. Mesmo para os moradores da floresta é difícil decidir sobre a identidade de determinada árvore, e empregam nomes que incluem diversas espécies e até diversos gêneros. Árvores da Mata Atlântica que se elevam a 35 metros ou mais, em suas áreas de crescimento mais luxuriante, podem ter mais de cem anos, embora algumas, de circunferência muito grande, possam ser muito mais velhas, com idade de até mil anos.

Não se sabe quanto tempo pode levar o processo de recomposição. A floresta secundária, do tipo que ocorre quando se abandona uma clareira que foi queimada para agricultura, em vinte ou trinta anos, pode atingir exuberância próxima à da floresta intocada. Uma única copa de árvore pode abrigar mil espécies de insetos e a Mata Atlântica como um todo pode ter abrigado um

milhão delas, das quais apenas pequena percentagem foi, ou será um dia, batizada pelos cientistas.

As plantas e animais da Mata Atlântica também eram raros no sentido de que muitos deles não seriam encontrados em nenhuma outra floresta. Dentre suas espécies arbóreas, mais da metade era endêmica. Outros 8% eram compartilhadas com a Floresta Amazônica. Diversos locais na Mata Atlântica têm sido postulados como centros de endemismo de pássaros, mamíferos, répteis e insetos, contendo numerosas espécies que não haviam conseguido expandir sua área de ocorrência além de suas fronteiras ou que ali haviam encontrado um refúgio quando sua área de ocorrência anterior se tornou restrita. Certos beija-flores, sanhaços, marsupiais, preguiças, sagüis, pererecas, patibobas e inúmeros outros seres estão limitados à Mata Atlântica.

A especialização implica maior eficiência, e a Mata Atlântica foi realmente eficiente na captação de energia solar, absorção de nutrientes do solo, da água da chuva e atmosfera e na reciclagem e intercâmbio de recursos. O resultado foi uma biomassa vegetal que, em alguns lugares, pode ter chegado a seiscentas toneladas por hectare e a uma capacidade de gerar talvez cinquenta toneladas de biomassa por ano.

Quando e como surgiu a Mata Atlântica

Há mais de 400 milhões de anos, plantas vasculares fotossintetizadoras e multicelulares começaram a aderir às margens dos continentes. Logo esses organismos cobriram as costas rochosas, desaceleraram o fluxo das águas, formaram solos e avançaram para o interior. Formaram-se radículas absorventes de nutrientes, estames se achataram em folículos que captavam a luz solar e sementes substituíram esporos como agentes de dispersão. Por 50 milhões de anos, as formas de vida da Mata Atlântica evoluíram localmente, sem sofrer transtornos geológicos adicionais.

O último período glacial alcançou seu ápice de 25 a 18 mil anos atrás; há não menos de 12 mil anos, as geleiras sul-americanas se retiraram para seus santuários atuais no topo dos picos mais elevados dos Andes. Nesse instante do tempo geológico, a Mata Atlântica mais uma vez se expandia vigorosamente, para ocupar um vasto império, 3500 quilômetros ao longo da costa sul-americana, e acima e por sobre a escarpa costeira, na medida em que as chuvas o permitiam. Dessa forma, a moderna Mata Atlântica evoluiu e por fim passou a ocupar suas fronteiras históricas.

Cap. 2

A Primeira Leva De Invasores Humanos.

A retomada da expansão da Mata Atlântica coincidiu com sua descoberta pelos homens, caçadores que subitamente invadiram as planícies sul-americanas há

talvez 13 mil anos. Assim começou um longo período de interação, com resultados muito difíceis de avaliar – as atuais apreciações não passam de conjecturas e possivelmente jamais deixarão de sê-lo.

Para esses caçadores migratórios, a fronteira mais remota era a floresta costeira, que abordavam pelo lado continental, interno. Penetravam distâncias consideráveis na floresta ao longo de riachos, buscando corredeiras onde era fácil apanhar peixes. Afora essas incursões, é provável que o interior da floresta fosse pouco promissor como lugar de moradia, porque os animais ali eram mais raros e difíceis de caçar.

Os caçadores-coletores não desapareceram nas regiões montanhosas. Levantamentos arqueológicos recentes em diversos sítios de barragens hidrelétricas descobriram seus acampamentos, todos ao longo de altos trechos de cursos d'água, normalmente a uma distância de algumas centenas de metros das correntes, sugerindo talvez o quanto eram, outrora, extensas as florestas de galeria.

A julgar por relatos do século XIX, é possível que antigos caçadores-coletores utilizassem fogo para tocar sua presa e para eliminar a vegetação lenhosa que crescia na planície, substituindo-a por folhagens tenras para atrair herbívoros esparsos.

Essas especulações são antigas, porque geralmente faltam evidências. Gerações de observadores têm se perguntado, porém, porque faltavam árvores em áreas tão grandes do continente na época em que os europeus o invadiram, já que as árvores podem facilmente ser plantadas em muitas dessas regiões onde florescem. O pampa, a planície gramada que se estendia da Bahia Blanca, na Argentina, por 2300 quilômetros ao norte até a atual cidade de São Paulo, é a maior e mais intrigante dessas anomalias.

Mesmo que a Mata Atlântica fosse até certo grau modificada pela invasão de caçadores-coletores, não poderia ter sido transformada tão extensamente como o foram as florestas dos continentes ocupados há muito mais tempo pelo *Homo sapiens*. Afinal, a América do Sul foi o último continente descoberto pelos homens e sua residência de quatrocentas gerações foi breve, comparada com as 1600 gerações de manejadores de fogo na Austrália e as 4 mil gerações na África.

Com o declínio dos grandes animais de caça, alguns dos homens que ainda exploravam a atividade, mudaram-se para a margem das baixadas do continente: para eles, eram os domínios mais distantes de suas expedições.

É evidente, no entanto, que esses povos tinham pouca necessidade de explorar a floresta. Provavelmente coletavam seus frutos e remédios silvestres; afora isso, viviam de costas para ela, distantes de seus vizinhos do planalto.

Durante a maior parte da era dos sambaquis, as populações montanhesas na região da Mata Atlântica persistiram na caça e na coleta. Apesar disso, é possível que seus usos do recurso florestal estivessem se intensificando.

Milho foi encontrado em um sítio em uma área de floresta de galeria no atual Estado de Minas Gerais, e datava de 3900 anos atrás. Assim, a agricultura foi empreendida vários milênios após sua adoção nos Andes e na meso-América, sugerindo uma longa fase durante a qual os recursos coletados eram suficientes para uma população humana modesta e itinerante.

As culturas mais antigas dos primeiros grupos agricultores, além do milho, eram nativas das terras baixas da América do Sul, principalmente a mandioca – uma raiz, produto básico em suas diversas variedades – e outras raízes do gênero ao qual pertence o inhame, e ainda a abóbora, o abacaxi e o amendoim.

A adoção da agricultura transformou radicalmente a relação dos homens com a floresta. O que havia sido um recurso residual, produto inferior para os caçadores-coletores, queimado por descuido ou acidente quando se tocava ou atraía a caça, agora se tornava seu principal *habitat*. Descobriram que os solos do cerrado eram demasiado arenosos, secos, ácidos e saturados de alumínio para cultivar. A agricultura era muito mais viável nos solos da floresta. Desde o começo, a agricultura na região da Mata Atlântica – de fato, em todas as áreas de baixada do continente – exigiu o sacrifício da floresta. A técnica era extremamente simples: perto do fim da estação seca, a macega de uma faixa de floresta – um hectare mais ou menos – era cortada e deixada secar, e, por meio de machados de pedra, retirava-se um anel da casca dos troncos das árvores maiores. Então, um pouco antes da chegada das chuvas, a área era queimada, fazendo com que a enorme quantidade de nutrientes na biomassa da floresta caísse sobre a terra na forma de cinzas. A floresta, que nunca antes havia sido queimada, não só ficava maravilhosamente fértil, mas também livre das sementes de plantas invasoras e, dessa forma, pouca capina era necessária.

O abandono da faixa cultivada era provocado, mais provavelmente, pela invasão de ervas daninhas e pragas. As ervas podiam ser desenraizadas à mão, mas não havia defesa contra as pragas, entre as quais a mais terrível era a formiga-cortadeira, mais conhecida como saúva.

A floresta secundária, ou sucessória, que os indígenas chamam de capoeira – terra anteriormente plantada –, que acabava recuperando os campos abandonados, era similar em estrutura e composição ao crescimento que recuperava naturalmente as aberturas no dossel provocadas pelas quedas de árvores. O rebrotar das árvores corrigia o solo ao elevar os nutrientes do subsolo e dispersá-los pela queda das folhas e pela proteção dos processos do solo contra a insolação e chuva diretas.

A agricultura itinerante poupava muito trabalho, mas não era de todo simples. A agricultura em si era uma tarefa perigosa e problemática. Perceber seu momento oportuno exigia um sexto sentido, para que não fosse feita com muita ou pouca antecedência em relação às chuvas. Não podia ser intensa demais para não queimar a camada rasa e fértil do lixo florestal e seus organismos. A agricultura itinerante não implicava a perda de habilidades já adquiridas porque esses agricultores tinham que continuar a caçar e a pescar.

A agricultura de derrubada e queimada era extraordinariamente redutiva. Quase tudo que estivesse vivo no interior das faixas queimadas era reduzido a cinzas e apenas as cinzas eram aproveitadas. Talvez os primeiros agricultores lamentassem esse desperdício inicial. Sem dúvida, havia episódios de queima que escapavam ao controle, como poderia ter ocasionalmente ocorrido em anos de seca no lado mais úmido e de barlavento da Mata Atlântica e, mais comumente, na floresta mais seca do interior.

A agricultura pode, portanto, ter reduzido a complexidade e a biomassa em áreas consideráveis da Mata Atlântica durante os mais de mil anos em que foi praticada antes da chegada dos europeus.

O aparecimento da agricultura, ao longo do litoral, parece ter sido resultante de uma migração de diversos povos das montanhas. Certamente foram atraídos pela mariscagem e pelos recursos piscosos dos estuários, mas já eram agricultores consumados.

Esses primeiros grupos de agricultores foram varridos da maior parte do litoral, numa extensão que chegou quase ao rio Amazonas, por um outro grupo, cultural e linguisticamente aparentado aos guaranis das bacias dos rios Paraguai e Paraná. Esse grupo foi o tupi, que se aproximou da região da Mata Atlântica começando por volta do ano 400, talvez na direção da família guarani, embora isto não esteja solidamente esclarecido. Mais de mil sítios tupis foram localizados no Brasil, todos ao longo do litoral florestado, até quinhentos quilômetros do litoral marítimo.

Foram principalmente os tupis que os europeus encontraram em suas primeiras investidas ao longo da costa. De fato, este grupo e seus parentes guaranis, os mais numerosos e poderosos habitantes das baixadas, mantiveram, por aproximadamente três séculos, intenso intercâmbio cultural com seus invasores.

A base principal da agricultura tupi nas baixadas era a mandioca. O milho, rico em proteínas, que poderia impor-lhes maior dependência da agricultura mas que também teria demandado mais nutrientes dos solos da floresta, era empregado apenas como matéria-prima alternativa no preparo de uma bebida fermentada que apreciavam muito.

Embora diversificadas e sazonalmente abundantes, essas fontes de proteína provavelmente representavam o fator crítico no abastecimento alimentar. Isto quer dizer que é possível que os tupis tenham sentido a escassez de caça e peixe mais cedo que a de seus produtos agrícolas básicos. Esse desequilíbrio talvez tenha salvo a floresta de ser reduzida a uma formação inteiramente secundária.

Os tupis não submetiam seus vizinhos à escravidão e tributos, o que poderia ter estimulado o uso mais intensivo da terra. É provável que nem o pudessem, porque a escala continental do território de batalhas sempre permitia aos derrotados escapar à escravidão pela retirada.

O traço cultural mais impressionante dos tupis era a antropofagia. À captura de um inimigo em batalha, seguia-se um elaborado e sádico ritual de execução, muitas vezes na presença de aldeias convidadas. O falecido era então assado na grelha e distribuído entre os presentes.

A questão é relevante porque existe a hipótese de que a ingestão de carne humana era uma fonte necessária de proteínas para os tupis.

Pode-se deduzir das crônicas do século XVI que cada aldeia tupi abrigava, em média, seiscentas pessoas e controlava pouco menos de setenta quilômetros quadrados do interior, sugerindo uma população de cerca de nove pessoas por quilômetro quadrado. Com essa densidade, os tupis da baixada teriam provocado, no curso de cinco séculos, uma degradação da Mata Atlântica consideravelmente maior que seus vizinhos do planalto. Supondo novamente o desmate de 0,2 hectare de floresta primária por pessoas/ano, todo o domínio tupi teria estado sujeito a queimada em um lapso de apenas 55 anos.

As pressões tupis sobre a floresta não resultavam totalmente de impulsos utilitário-rationais de otimizar a produção e a mão-de-obra ou de melhorar a segurança militar. Havia também os fatores imponderáveis das animosidades pessoais e angústia existencial que dividiam as aldeias ou provocavam seu abandono.

Embora as práticas agrícolas tupis não pareçam ter sido mais intensivas que as dos povos da baixada que eles desalojaram, sua habilidade na preservação de alimentos pode ter sido um pouco maior. Isso representava uma vantagem militar especial, porque os suprimentos portáteis de comida aumentavam a mobilidade e possibilitavam a montagem de expedições maiores por períodos mais longos.

Na guerra na floresta, os que estavam na defensiva eram forçados a abandonar suas safras e, em última instância, retornar à caça e à coleta para sobreviver. Em tais circunstâncias, os tupis podem bem ter reduzido as pressões sobre a floresta ao longo das suas fronteiras nas montanhas.

A hipótese de que a Mata Atlântica foi muito modificada pelos tupis, ao longo da planície costeira, durante sua ocupação milenar, é circunstancial, mas ajudaria a explicar por que os europeus tinham tão pouco a dizer sobre a floresta logo que chegaram.

Os caçadores que irromperam nas savanas sul-americanas, há cerca de 12 mil anos, participaram do grande ato final de ampliação territorial humana. Os homens que brandiam fogo e armas haviam finalmente alcançado uma distribuição continental cosmopolita. Uma vez exaurida a megafauna que os atraía, assumiram postos ao longo da franja florestal, onde o encontro de dois ecossistemas estimulava plantas de crescimento rápido e atraía caça. A floresta era sua antagonista e o fogo era o meio para penetrá-la e frear seu avanço secular.

Agricultura itinerante e guerra interminável intensificavam a pressão humana sobre a floresta. Os cerrados eram inadequados à lavoura; desta forma, o novo regime de subsistência implicava o desvio da população de um bioma para outro. Ainda que a itinerância exigisse apenas pequenos insumos de terra e ainda que a população que ela sustentava fosse limitada, em última instância, pelo suprimento de recursos não-agrícolas, durante longo tempo a lavoura foi capaz de reduzir grande parte da floresta a formações secundárias. Parece improvável que alguma parte das baixadas da Mata Atlântica localizadas em sítios adequados à lavoura tenha escapado de ser derrubada pelo menos uma vez durante essa fase de desenvolvimento cultural.

Os grupos que obtiveram controle da Mata Atlântica, ao fim de alguns anos de ocupação humana, demonstraram seu talento para reverter a história da vegetação. A produtividade superior do solo perturbado os havia atraído quando ainda eram caçadores-coletores; a agricultura foi uma racionalização e uma intensificação do ciclo de perturbação. A derrubada da floresta para fins de assentamento, agricultura, comunicação e guerra ampliou em muito a área de perturbação.

A região da Mata Atlântica, então, apresenta duas, ou talvez três, categorias de fronteira: aquela entre a floresta e o cerrado, com temperatura gradualmente mais quente e precipitação pluviométrica maior favorecendo a floresta, que desintoxicava o solo à medida que avançava e abrigava os microclimas adequados para sua posterior consolidação e desenvolvimento; aquela da primeira leva de homens que confrontavam a floresta ao longo de sua orla do interior do continente e, consistentemente, se aliavam com o cerrado; e aquela entre os tupis e seus adversários caçadores-coletores.

A Segunda Leva De Invasores Humanos.

Um dos primeiros atos dos marinheiros portugueses que, a 22 de abril de 1500, alcançaram a costa sobrecarregada de floresta do continente sul-americano nos 17 graus de latitude sul, foi derrubar uma árvore. Do tronco desse sacrifício ao machado de aço, confeccionaram uma cruz rústica – para eles, o símbolo da salvação da humanidade. Uma missa foi então celebrada aos pés dessa cruz, durante a qual, para satisfação dos portugueses, os indígenas ali aglomerados imitaram sua postura ajoelhada com as mãos em prece, embora não imitassem suas expressões devotas.

Os indígenas que, inocentemente, se irmanaram com eles naquela praia, não faziam ideia, tal como as árvores às suas costas, da destruição que essa invasão causaria. Esse evento memorável da história da humanidade – o fim de milênios de separação entre os dois maiores contingentes de população da espécie – foi também o mais trágico. Incapazes de compreender intelectualmente a magnitude de sua descoberta, os portugueses tropeçaram em um meio continente, movidos por cobiça e virtude, sem se deixarem levar por compaixão ou mesmo por curiosidade. A Mata Atlântica os deixava impassíveis ou atônitos. Por diversas vezes penetraram-na, e traziam apenas relatos delirantes sobre esmeraldas e ouro. Produziram tamanha devastação entre seus irmãos que, no prazo de um século, quase todos aqueles com quem haviam se deparado estavam mortos e suas sociedades em ruínas. Esse foi o começo, a fundação do povoamento, da colonização e do império, de uma civilização transferida e imposta.

A expedição se retardou bucolicamente na baía de Porto Seguro. Os capitães tiraram sua folga à sombra das árvores. Os tripulantes abateram árvores novas para lenha e derrubaram palmeiras para extrair palmito. As viagens pela África de certo modo haviam acostumado os descobridores a este ambiente novo, tropical. Ao longo da praia, e nas colinas próximas, seu reconhecimento nada lhes relevava além de matas, compostas de árvores enormes e imponentes, cheias de muitos tipos de pássaros. Os indígenas lhes ofereceram cocares emplumados, não como meros símbolos de estima, mas porque os consideravam dotados de virtudes mágicas. Cabral os aceitou afavelmente, bem como os arcos e flechas, pássaros canoros e macacos. Assim, pacificamente, começou a segunda invasão da Mata Atlântica.

Os recursos da Coroa portuguesa eram extremamente limitados e na época se destinavam quase totalmente a “empresa do Oriente”, que parecia muito mais promissora. Desta forma, D. Manuel entregou a exploração da nova colônia a um grupo de comerciantes, que deviam despachar pelo menos seis navios por ano para extrair pau-brasil e o que mais pudessem encontrar. Nisso foram diligentes: consta que, nos primeiros anos, coletaram cerca de 1200

toneladas/ano.O comércio era maravilhosamente lucrativo, já que o rei havia providencialmente fechado o mercado à madeira corante asiática.

Em 1588, 4700 toneladas de pau-brasil passaram pela aduana portuguesa,talvez metade do verdadeiro volume.O tráfico francês clandestino de madeiras corantes era tão bem estruturado quanto o dos portugueses ou até melhor – um cronista de meados de 1550 relatou haver observado 100 mil pedaços de tronco estocados na colônia francesa do Rio de Janeiro.Havia ainda o contrabando intermitente feito por navios espanhóis e ingleses.Em conjunto, todos esses negociantes podem ter provocado a extração de 12 mil toneladas por ano.

Em 1605, a Coroa portuguesa,alarmada com os relatórios sobre a exploração de pau-brasil – de que,com o corte indiscriminado e a estocagem,as madeiras “virão a acabar e perder de todo” - , passou a controlar o corte e criou a função de guardas florestais.A penalidade para a extração ilegal era a morte.Em 1607,o pau-brasil voltou a ser um monopólio,cujos concessionários eram autorizados a importar apenas seiscentas toneladas por ano – um convite à continuidade do contrabando.O mercado,talvez, já estivesse saturado.Segundo um comissário real enviado para investigar a situação, não se tratava, contudo,de que a árvore estivesse em perigo de extinção comercial.Considerando que um volume médio anual de 8 mil toneladas, no século XVI, implicava corte, carreto, estocagem e transporte em chatas de cerca de 320 mil seções de 25 quilos cada,vários milhares de indígenas teriam sido empregados na exploração.Calcula-se que essa tonelagem exigiu a derrubada de aproximadamente dois milhões de árvores durante o primeiro século do tráfico.

Muitas vezes, as viagens de volta à Europa levavam também escravos nativos, A prática foi registrada pela primeira vez em 1511,quando o navio Bretoa, com carga de madeira em Cabo Frio, incluíram em seu carregamento 36 escravos, dez homens e 26 mulheres, ainda que os proprietários houvessem proibido esse tráfico à tripulação. Fazia tempo que os portugueses comerciavam escravos na costa africana, fornecendo mão-de-obra para suas colônias insulares e para as plantações no Algarves e sul da Espanha. Os nativos trazidos para Lisboa provavelmente não se destinavam a ser escravos no campo, mas eram vistos como curiosidades, exotismo, e serviram para exibição ou venda a nobres, como macacos ou papagaios, embora fossem apreciados também como objetos sexuais.Os tupis, evidentemente, forneciam abundante fonte dessa “mercadoria”e os portugueses poderiam congratular-se por realizar um gesto humanitário salvando esses cativos da churrasqueira.

A presteza com que os tupis se engajaram no escambo com os europeus foi motivada, em grande parte, pelo desejo de poupar trabalho, expandir sua base de subsistência e evitar alguns dos perigos da floresta. Um grupo caingangue

residente no Paraná, que havia recebido ferramentas de aço apenas na metade do século XX, lembrava-se de que não mais tinha de escalar árvores, outrora uma atividade muito frequente, para apanhar larvas e mel. Muitos dos que caíam das árvores morriam – agora eles simplesmente derrubavam as árvores.

O mais importante, pelo menos para a Mata Atlântica, é a evidência de que os tupis não eram conservacionistas no sentido de poupar os recursos naturais para as gerações vindouras. É provável que a ausência de preocupação não fosse descuido, mas resultasse da certeza razoável sobre a adequação de seus recursos e sua capacidade de defendê-los contra os competidores. Infelizmente, seus principais competidores logo seriam os europeus, cujos apetites insaciáveis eram muito mais destrutivos que qualquer uma das armas que empunhavam.

Os tupis também se prontificavam a capturar animais vivos e peles para seus hóspedes insaciáveis. Além da madeira corante, o manifesto de carga do Bretoa, em 1511, registra 23 periquitos, dezesseis felinos, dezenove macacos e quinze papagaios; o de 1532, do navio Pélérine, 3 mil peles de “leopardos etc.”, trezentos macacos e seiscentos papagaios. É difícil imaginar o custo dessas mercadorias exóticas para os tupis. Além disso, fica-se a imaginar qual seria o impacto sobre a Mata Atlântica do extermínio contínuo de milhares de seus maiores predadores.

Os europeus gostavam de papagaios, por serem uma novidade e devido a sua plumagem exuberante, além de sua capacidade de imitar a fala humana. Na verdade, de acordo com um mito, eram transfigurações dos anjos decaídos que acompanharam Lúcifer em sua queda. Os nativos comungavam desse fascínio: cuidavam das aves e trocavam-nas em função de suas penas, com as quais se enfeitavam para ocasiões sagradas.

Ainda que o pau-brasil abastecesse um comércio muito modesto, comparado aos dos portugueses no oceano Índico, trouxe tal notoriedade à recém-descoberta Terra de Vera Cruz – a atitude do rei D. Manuel de rebatizá-la de Santa Cruz foi casual – que, por toda Europa, ela logo passou a ser chamada Brasil. No nome aplicado aos habitantes da terra era, e continua a ser, brasileiro; daí, todos os brasileiros por extensão, parecem estar envolvidos no ofício, ou negócio, do corte de madeira corante, uma designação peculiar e pungente, agora que as madeiras corantes há muito desapareceram do comércio e a própria árvore se tornou tão rara em seu hábitat nativo, sobrevivendo, talvez, mais na forma de espécimes plantados patrioticamente em praças e parques públicos.

O tráfico de pau-brasil era mais intenso rumo ao norte, ao longo da costa, saindo de Porto Seguro, porque as árvores nativas do sul eram menos apreciadas. A conveniência da baía da Guanabara, apesar disso, estimulava a

derrubadas no local, tal como o faziam a distância e o isolamento de Cabo Frio, que atraía madeireiros franceses clandestinos. Em 1534, a Coroa, considerando a dificuldade de eliminar do litoral os concorrentes estrangeiros, decretou que todas as árvores de pau-brasil eram propriedade real e que sua derrubada estava sujeita à concessão, medidas que continuaram em vigor por mais de três séculos.

Desejoso de acreditar nesses relatos, o rei enviou, em 1531, uma enorme armada sob o comando de Martim Afonso de Souza para estabelecer uma fortificação em algum ponto próximo ao extremo sul da terra portuguesa, o mais próximo dos propalados domínios das riquezas andinas.

O destino de Martim Afonso de Souza estava alguns quilômetros ao norte, o “porto dos Escravos”, que já havia sido um ponto de parada constante de navios que iam e vinham da Europa. Devido a isso, talvez, os tupis chamavam o local de *temiuri*, sua palavra para *provisões*. Martim Afonso de Souza rebatizou-o de São Vicente, em homenagem ao santo padroeiro de Lisboa. Dentro de poucos anos, fundou-se um segundo porto, chamado Santos, próximo à entrada da baía, e instalaram-se duas outras vilas no topo da escarpadura, Santo Antônio da Borda do Campo e São Paulo. Essa apressada extensão de um posto avançado precário no planalto, aparentemente, foi resultado de penetrar as regiões auríferas o mais depressa possível.

Uma segunda cabeça de ponte da invasão portuguesa da Mata Atlântica foi estabelecida apenas três anos depois da de São Vicente. Ficava na baía do Espírito Santo, um pouco abaixo dos 20° de latitude do sul.

Em 1534, o rei português, impaciente diante do fracasso de seus exploradores em trazer riquezas, decidiu reduzir o custo da colonização, conferindo direitos de propriedade a alguns de seus cortesãos que desejassem assumir as despesas de assentamento e defesa. O Brasil foi fatiado em faixas costeiras paralelas, as capitânicas, e foram emitidos títulos concedendo aos donatários, como eram intitulados os proprietários cortesãos, poderes que se consideravam suficientes para a tarefa. Foi enviado um governador real em 1549 para estabelecer uma capital em Salvador, na baía de Todos os Santos, fortalecer as defesas da colônia e supervisionar os esforços dos donatários.

A invasão européia do Novo Mundo diferiu da primeira invasão pelo fato de que essa segunda leva já havia adotado a agricultura. Suas fileiras, portanto, contavam com uma série considerável de espécies domesticadas que, com vantagens, poderiam trazer consigo. Eram capazes também, até certo ponto, de avaliar os recursos bióticos dos agricultores nativos que encontraram, fosse para comercializá-los ou cultivá-los em sua terra natal.

A outra característica crítica da segunda invasão era que os europeus não estavam meramente migrando para um novo ambiente, mas pretendiam também manter contato com o antigo. Desse ponto de vista, a colônia de exploração e a colônia de assentamento – que os portugueses, desde o início, distinguiam como conquista e colônia – não eram muito distintas entre si.

O intento português de conquistar e transformar esse território, e nele não sucumbir ou admitir sua rendição às culturas nativas, evidencia-se no seu interesse limitado pela sua vegetação e vida animal. Reconheceram e relataram diferenças grosseiras entre o ambiente tropical e o do conhecido Atlântico Norte.

Sua atitude inicial, em relação a essa costa distante, foi fria e até desdenhosa. O encontro de Porto Seguro havia incluído trocas de alimentos. Foi o único momento de estranheza desse interlúdio idílico, embora tenha sido revelador, pois nenhum dos grupos apreciou as respectivas culinárias.

Os invasores portugueses perceberam, contudo, a importância de efetuar transferências para o Brasil a partir das regiões de floresta tropical do Velho Mundo e estavam, entre todos os europeus, na melhor posição para assim agir. Algumas das espécies domesticadas semitropicais do Velho Mundo que enviaram ao Brasil – laranja amarga, limão, gergelim e arroz, por exemplo – já haviam sido aclimatadas em Portugal. Mas outras transferências eram de origem tropical, africana e asiática – inhame, banana, coco, gengibre e quiabo, por exemplo – que os portugueses já haviam levado para suas colônias de além-mar nas ilhas de São Tomé, Madeira e Cabo Verde.

Com o assentamento em São Vicente, iniciou-se de fato a conquista biótica do Brasil. Embora o reconhecimento anterior tivesse introduzido espontaneamente uns poucos animais e plantas exóticos domesticados, Martim Afonso de Souza parece ter deliberado trazer uma variedade de espécies domesticadas europeizadas “como experiência daquilo que a terra poderia produzir”. No planalto paulista, descobriu-se um *habitat* frio adequado aos produtos mediterrâneos: marmelo, figo, damasco, pêssego, pêra, tâmara e romã; hortaliças como repolhos, cebolas, pepinos, melões, colza, endro, rosas (para a água medicinal de rosas); e – essencial à prática da Fé – uvas e trigo.

De todos os produtos coloniais – isto é, aqueles plantados para render um excedente exportável para a metrópole – o mais valioso e viável era a cana-de-açúcar. Cultivada há séculos na Índia e plantada em todo o Mediterrâneo, foi um importante produto de exportação dos portugueses para os mercados do norte da Europa; provavelmente fora trazido para Temiuru ainda antes da expedição de Martim Afonso de Souza.

Essas espécies domesticadas, trazidas para o Brasil, foram plantadas em campos queimados, empregando-se quase as mesmas técnicas dos tupis e

valendo-se da surpreendente fertilidade inicial da biomassa florestal reduzida a cinzas.

Para a Mata Atlântica, os perigos eram imensos, porque uma sociedade baseada na mão-de-obra compulsória não levava em conta o ambiente. Os que comandavam o tráfico eram pessoas em trânsito e imprevidentes: “De quantos lá vieram, nenhum tem amor a esta terra.[...] porque todos querem fazer em seu proveito, ainda que seja à custa da terra, porque esperam de ser ir”. Os plantadores de cana não viam na floresta nada além de um obstáculo à realização de suas ambições. Aqueles que cada vez mais vinham ocupar as margens da economia de plantação – posseiros do sertão – eram impelidos a explorar a floresta de maneira descuidada e imprevidente. A conservação dos recursos naturais iria mostrar-se irrelevante em uma sociedade na qual a conservação da vida humana era irrelevante.

Era propósito dos jesuítas converterem os indígenas não apenas ao cristianismo, mas à passividade e dependência características de um campesinato português que aceitasse a tutela perpétua e todas as indignidades que a caracterizavam – chicoteamento, préstimos pessoais, submissão sexual e trabalho nos campos. Para alcançar essa meta, impunha-se pôr um fim à exploração itinerante e extensiva da floresta pelos indígenas. Os missionários ou seus agentes empreendiam então as entradas a partir de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Eram numerosas e paralelas aos “saltos” dos caçadores de escravos, abrangendo quase toda a região da Mata Atlântica, e juntavam até dois ou três mil indígenas de uma vez.

Consta que uma ofensiva de seis anos sobre o planalto paulista, iniciada em 1590 sob o comando de Jerônimo Leilão, destruiu trezentas aldeias, matando ou capturando seus habitantes, que chegavam a 30 mil. Talvez seja um relato exagerado – uma densidade de 0,4 habitante por quilômetro quadrado nas regiões montanhosas implicaria o desmatamento de 75 mil km² -, embora cifra não muito inferior seja totalmente possível, porque as entradas muitas vezes retornavam após seis meses na floresta com mil ou 2 mil cativos enfileirados.

Embora o tráfico escravo e as agruras das plantações trouxessem a morte aos tupis e seus vizinhos, sua destruição pelas doenças infecciosas do Velho Mundo foi ainda maior.

Na região da Mata Atlântica, os “saltos” dos traficantes de escravos e das entradas dos jesuítas intensificaram a exposição da população nativa às infecções. As aldeias atuavam como foco de surtos epidêmicos. Em 1576, por exemplo, os padres no Espírito Santo relataram que 75 dos 160 nativos que eles haviam atraído para sua aldeia haviam “deixado este mundo para viver no outro, o feliz”.

Ao longo da costa, de São Vicente e Cabo Frio, onda após onda de doenças devastou os tupis; em 1600, estavam reduzidos a uns quatro ou cinco mil, um declínio assustador de 95% em um século. É bem possível que a floresta do planalto tenha passado por escala similar de despovoação.

Antes da iniciativa da apropriação, o monarca português aplicou à nova colônia seu conceito de propriedade da natureza. No ato de dividir o Brasil em capitanias em 1532, a Coroa se presumia como a possuidora legítima de tudo sobre o continente sul-americano a leste da linha de demarcação, por direito de conquista, ainda que seu controle efetivo na época se estendesse a um único enclave, com um raio de uns poucos quilômetros, em São Vicente. Estava implícito neste conceito todo o mundo biótico que a habitava e o substrato do qual ela dependia. Porque reservava para si, além das árvores de pau-brasil, a propriedade das minas de metais e pedras preciosas, e submetia a julgamento especial pleitos privados quanto a cursos d' água e sítios ribeirinhos para a instalação de moinhos d' água, utilizados para moer cana.

Os tupis consideravam as florestas como pertencentes aos espíritos e animais que as habitavam, ou pelo menos como pertencentes tanto àqueles seres como a si mesmos, ainda que em algum nível suas guerras fossem certamente um esforço pela posse exclusiva dos recursos naturais.

Em 1600, o relacionamento humano com Mata Atlântica tinha se transformado, principalmente porque a maioria de seus habitantes humanos originais havia desaparecido e porque o número de invasores era insuficiente para substituí-los. Ao longo da costa, após um século de constantes guerras, escravização e epidemias, apenas sete dos donatários haviam conseguido instalar algum tipo de assentamento. Diversos assentamentos já estavam decadentes. Em conjunto, nas capitanias do Sudeste apenas quinze engenhos estavam operando: Santos e Rio de Janeiro, com seis engenhos cada um, e o Espírito Santo, com três.

A população do Brasil, sob controle português, em 1600, pode ter chegado a menos de 65 mil. Menos de 10 mil desses residentes eram europeus ou mestiços. Quanto à população nativa sobrevivente, que habitava a área da Mata Atlântica fora dos limites portugueses, pode-se apenas especular; é possível que tivesse praticamente desaparecido em um raio de trezentos quilômetros das vilas litorâneas, em decorrência das entradas e "saltos", da disseminação de doenças infecciosas e da fuga de sua população para áreas mais interioranas.

Um século depois de os portugueses terem inicialmente reivindicado seu direito, o controle da costa ainda não estava garantido, mesmo após a expulsão dos franceses do Rio de Janeiro. A luta pelo litoral norte, estendendo-se até o Amazonas, havia apenas começado, e a usurpação portuguesa ao sul de Cananéia enredaria a colônia – na verdade, os estados sucessores

independentes – em guerras intermitentes por mais de um século e meio. As violentas rivalidades coloniais do primeiro século foram, portanto, apenas um aperitivo das crescentes ameaças ao reino da natureza.

O declínio catastrófico da população nativa que se seguiu à invasão europeia do século XVI e a insignificância demográfica da imigração portuguesa concederam à Mata Atlântica um alívio, após 10 mil anos de caça e coleta e mil anos de lavoura itinerante. A floresta que estava afastada de portos adequados ou carente de pau-brasil foi deixada em paz. Teve início um período de recomposição da vegetação e da fauna. Isto pode ser verificado em alguns lugares. A vila de São Paulo, fundada em uma colina no meio de uma planície ampla, aberta, em 1587 possuía “mais bosques que outra coisa”, e os cidadãos receberam ordens para cortar as árvores no interior e ao longo de suas paliçadas. A Mata Atlântica ainda era quase totalmente desconhecida ou jamais observada. Uma imensa realidade natural, inteiramente à vista dos invasores, estava ainda, há mais de um século de distância de ser descoberta.

Cap. 4

Alheamento: Despovoada, A Floresta Renasce.

A Mata Atlântica, tendo a sua população drasticamente reduzida em grande parte dos seus domínios, passou a uma fase em que diminuíram as necessidades e os anseios humanos. No curso do século XVII, porém, foi se tornando também uma realidade cada vez mais afastada do entendimento humano. Um ecossistema pode ser visto como um reservatório de informações, as geneticamente programadas e, ao mesmo tempo, as acumuladas por suas espécies, relevantes a sua sobrevivência e reprodução em seu interior. Os homens da Mata Atlântica, como todas as suas outras criaturas, haviam armazenado, durante 12 mil anos, seus próprios estoques de informação. Uma vez que os recursos e experiências de cada aldeia diferiam dos de seus vizinhos, milhares de espécies da Mata Atlântica tinham sido catalogadas na memória de seus habitantes humanos.

A primeira ou as duas primeiras gerações de invasores portugueses haviam dependido totalmente dos conhecimentos indígenas sobre a Mata Atlântica. Os tupis caçavam, plantavam e cozinhavam para os expedicionários, além de curar suas doenças.

A geração mestiça gerada pelos degredados era culturalmente indígena, falante do tupi, conhecedora da floresta e dos meios de explorá-la. Os filhos da primeira geração de uniões entre portugueses e tupis não aceitavam o status de camponeses e muito menos o de escravos. Resistiam ao batismo e eram indiferentes ao estigma de ilegitimidade. Andavam nus e não hesitavam em insultar os padres quando se irritavam com suas exigências.

Os habitantes portugueses haviam passado “a ser quase como os índios, porque, sendo cristãos, viviam à moda de gentios”. O resultado foi uma queda maior na autoridade moral da igreja: seu esforço em impor a monogamia à sociedade portuguesa apenas havia sido bem-sucedido até o ponto em que as relações abertas eram passíveis de punição por tribunais leigos. Mas a Mata Atlântica aceitava qualquer português que fosse intrépido o bastante para pular a cerca e ignorar as injunções da igreja no tocante a esta e a muitas outras questões.

Não demorou muito para que os brancos casados com índias e sua prole mestiça fossem arrebanhados e submetidos a uma empresa colonial que tinha pouco uso para o seu conhecimento da Mata Atlântica ou para sua ação potencial na integração de técnicas européias e indígenas. Rio de Janeiro e São Paulo continuaram a receber fluxos bem pequenos mas significativos de migrantes. Entre os migrantes, havia umas poucas mulheres, deliberadamente importadas de forma a evitar a absorção genética dos brancos. Tornou-se possível, então, uma sociedade de castas, na medida em que os homens brancos mais ambiciosos e dominantes, astutos o bastante para se darem ao trabalho de granjear favores aos olhos das autoridades portuguesas, buscavam parceiras brancas para o casamento.

Entre as medidas instituídas pela Coroa, para delinear uma sociedade de castas, estavam aquelas que segregavam residências neoeuropeias e nativas e definia a cidade como domicílio próprio de brancos. Em 1583, o conselho municipal de São Paulo proibiu que os brancos visitassem as aldeias “para beber e dançar segundo seu costume”.

Esta foi uma primeira tentativa, na Mata Atlântica, de definir a cidade como sinônimo de “civilização”, dotando-a dos instrumentos de comando e relegando o que era nativo e bárbaro, e devidamente reprimido, às aldeias.

Os habitantes das aldeias estavam sujeitos ao tributo de trabalho, aplicado até o ponto de esgotá-los. Os mais novos desses recrutados para a civilização continuavam a sofrer a calamidade de epidemias periódicas. Em São Paulo, a aldeia era principalmente um meio de manter mão-de-obra temporária ao alcance da mão; no Rio de Janeiro e Espírito Santo, onde os escravos africanos eram mais facilmente obtidos para tal fim, as aldeias, no mais das vezes, serviam para estender a fronteira.

Outra medida eficaz no estabelecimento de uma sociedade de castas foi o modo pelo qual as sesmarias eram concedidas. A abundância de terra desocupada, em consequência dos assaltos e epidemias, possibilitava a qualquer pessoa livre ocupar uma terra devoluta.

Em Portugal, a política real de concessão de terras fora concebida para estimular a produção camponesa necessária ao abastecimento das vilas; no

Brasil, curvou-se ao propósito de encorajar a busca de ouro e pedras preciosas ou, no caso de não haver descobertas, a produção e exportação de açúcar. Surgia, assim, uma classe dominante para quem a propriedade da terra era uma forma de privilégio, conquistado por meio da prepotência local e confirmado pela conivência real.

As primeiras concessões de terra foram modestas, compatíveis com uma escala europeia de propriedade, talvez devido à limitação do domínio colonial e à dificuldade de defendê-lo das levadas de indígenas empenhados em restabelecer suas terras. Não obstante, concessões iniciais de cerca de cem hectares logo deram lugar a doações muito maiores, caracterizando o que em Portugal seriam consideradas vastas propriedades. Tais donatários eram homens com numerosos escravos e uma enorme ambição a que a Coroa estava disposta, ou era obrigada, a tentar satisfazer. De vez em quando, havia concessões ainda maiores e os mais ricos e poderosos dos notáveis locais brigavam com os donatários para adquirir propriedades do tamanho de principados. O mais arrogante de todos os notáveis que procuraram se apossar da Mata Atlântica, contudo, foi Salvador Correia de Sá, cujo tio havia capitaneado o extermínio da colônia francesa na baía da Guanabara. Designado governador, coroou uma série de façanhas militares e comerciais com o confisco, em nome do rei, de um grupo de sesmarias sucessoras da fracassada capitania de São Tomé, que ele conferiu, em 1652, a si mesmo e a seus filhos.

Infelizmente, para a tranqüilidade da colônia e seu governo, concessões de terra eram normalmente atribuídas em condições de extrema imprecisão e confusão. O rei, os donatários, governadores e os conselhos municipais não tinham o menor empenho em coordenar suas doações, de sorte que o mesmo território poderia muito bem possuir quatro donos aparentemente legais. As sesmarias nunca especificavam claramente os limites e, às vezes, nem mesmo as localizações. Embora as concessões contivessem cláusulas, prevendo demarcação a ser efetuada pelo donatário, elas, com frequência, eram omitidas ou adulteradas por fraude e incompetência.

Um dos principais motivos para o tamanho espantoso das sesmarias era a técnica adotada para a exploração da floresta e seus solos. Adaptada do regime de derrubada e queimada praticado pelos indígenas, incluía a aceitação do milho e da mandioca como culturas de primeira necessidade. Uma vez que os solos recém-queimados da floresta eram imensamente férteis e o regime eliminava a necessidade de cultivar e, por isso, o arado foi abandonado. Com isso, a economia de mão-de-obra era enorme, verdadeira liberação para o colono português que não possuía escravos.

Os invasores viabilizaram a lavoura mais intensiva, pelo menos no curto prazo, introduzindo, desde o princípio, animais domésticos do domínio biótico

eurasiático. Porcos, galinhas, ovelhas, cabras e, especialmente, gado bovino propiciaram suprimento de carne com reduzido acréscimo de mão-de-obra. Os porcos, contudo, eram preferidos pelos pequenos agricultores por serem fáceis de criar e conduzir aos mercados das vilas.

O gado bovino foi introduzido inicialmente em São Vicente, talvez com a expedição de Martim Afonso de Souza em 1532, trazido das ilhas do Cabo Verde, onde a variedade portuguesa, criada solta e pesando de 200 a 300 quilômetros, já se aclimatara. Parte desse gado galgou o paredão costeiro até São Paulo, parte foi levada de navio para o Rio de Janeiro.

A inserção de gado bovino no regime de derrubada e queimada foi, no entanto, problemática. Os agricultores que o praticavam não construíam cercas, mas suas clareiras eram efêmeras demais. Na prática nativa, as tentadoras faixas de mandioca atraíam caça selvagem, mas os animais domésticos eram intrusos incômodos.

Os pastos se formavam logo depois dos limites das vilas. Concedeu-se uma planície aos jesuítas, chamada Santa Cruz, a oeste do Rio de Janeiro. Drenaram o terreno e colocaram umas 20 mil cabeças de gado, em um único e amplo pasto. A pecuária bovina na região do Rio de Janeiro expandiu-se para leste, ao longo da costa, onde se encontrariam faixas de campos gramados até a foz do rio Paraíba do Sul.

No Sudeste, raramente se utilizavam cavalos e animais de carga nos primeiros dois séculos de colonização. As expedições em busca de escravos e o transporte de mercadorias, mesmo de mercadorias de pouco valor por unidade de peso, eram realizados a pé, onde fosse impraticável o transporte fluvial. Os cavalos eram encontrados principalmente nas vilas; a primeira menção a jumentos data somente de 1635. O desperdício de energia humana era extraordinário, quase incompreensível, principalmente considerando-se o pequeno esforço exigido pelo cultivo ou criação de animais. Enquanto o interior da floresta permaneceu em grande parte intacto e as clareiras relvadas eram dispersas demais e pouco conhecidas, continuaram impraticáveis as viagens longas a cavalo. Os aldeões teriam achado difícil empregar jumentos na presença das clareiras não cercadas características do regime de derrubada e queimada.

A introdução de implementos de ferro possibilitou outro tipo de intensificação do regime de derrubada e queimada. O machado tornava bem mais fácil derrubar floresta primária, e não capoeira, porque reduzia em muito o trabalho de cortar árvores. É possível que a enxada tenha permitido aumentar as faixas cultivadas de um para 2,5 ou cinco hectares por trabalhador. O uso da enxada significou que a invasão inevitável de ervas daninhas não provocava necessariamente o imediato abandono de um campo. Significava também que a mata secundária não seria tão desconsiderada devido a sua provável

infestação por sementes de capim. Um simples utensílio, portanto, a enxada, era potencialmente capaz de eliminar para sempre a Mata Atlântica.

A rápida expansão da área ocupada por neoeuropeus, nos anos de 1600, sugere uma dilapidação impiedosa de recursos florestais. Seus assentamentos estendiam-se por 250 quilômetros ao longo dos cales dos rios Tietê e Paraíba do Sul, uma expansão que evidencia o acerto do cronista Gabriel Soares de Souza ao observar, neste caso com óbvia aprovação, que “tratando em suma da fertilidade da terra, digo que acontece muitas vezes valer mais a novidade de uma fazenda que a propriedade, pelo que os homens se mantêm, honradamente, com pouco cabedal”.

O tamanho habitual da sesmaria sugere uma medida da densidade demográfica e do ritmo de derrubada da floresta. Cada sesmaria era a morada do donatário e de um modesto séquito, que consistia de seus parentes, dependentes livres e escravos.

A consolidação da colônia portuguesa ocorreu durante um período de extrema incerteza relativo à independência da metrópole e à sobrevivência de seu império. O trono português ficou vago em 1578 e foi ocupado, dois anos depois por Felipe II, e tiveram acesso ao comércio brasileiro do açúcar, em grande parte financiado por eles mesmos.

Mesmo enquanto as coroas de Portugal e Espanha se achavam unidas, mantinha-se uma administração independente nas colônias portuguesas, de sorte que a linha do Tratado de Tordesilhas continuava a dividir o continente sul-americano.

Ao longo da costa, em Recife, Salvador, Espírito Santo e Rio de Janeiro, a cana-de-açúcar, introduzida quase um século antes, ainda não havia sofrido a ação de nenhum dos parasitas ou pestes que co-evoluíram com ela no Velho Mundo, exceto por umas poucas ervas daninhas, ratos e outros animais domésticos – bovinos, caprinos e suínos. O açúcar tornou-se a única atividade econômica de grande vulto que vinculava a região da Mata Atlântica à metrópole, afora o corte do pau-brasil.

Pode-se calcular que até 1700 – cerca de 150 anos, após a exportação do açúcar, alcançar escala comercial – os campos de cana teriam eliminado uns mil km² da Mata Atlântica, supondo-se um crescimento quase constante e os campos de cana “cansados” sendo abandonados para a agricultura de subsistência ou pastagens após uma média de quinze anos. A produção de açúcar também consumia floresta na forma de lenha, queimada debaixo dos tonéis nos quais o caldo da cana era cristalizado. Cerca de quinze quilos de lenha eram queimados para cada quilo de açúcar produzido, o que daria a média de 210 mil toneladas de matas secundárias e florestas de manguezais de enseada cortadas anualmente para esse fim. Além disso, as moendas

precisavam de cinza de madeira para purgar o açúcar de suas impurezas; os manguezais das baías eram os preferidos para esse material. Calculando-se duzentas toneladas de lenha por hectare, as moendas teriam consumido mais 1200 km² no curso de 150 anos.

O trigo não conseguia amadurecer nas baixadas mais, introduzido no platô semitropical de São Paulo, em dado momento após 1609, ali floresceu. A nostalgia portuguesa por seu cereal básico – sacralizado na cerimônia da missa –, e a incapacidade de Portugal produzir um excedente, geraram um mercado considerável, que se estendia até o nordeste brasileiro.

O cultivo da cana-de-açúcar e do trigo e a criação de gado eram empreendidos com o trabalho escravo. No Sudeste, os escravos na maioria eram nativos, obtidos através de uma expansão das caçadas de escravos por paulistas. Depois de 1600, com a maioria dos agricultores nativos da região entre os rios Grande e Paranapanema mortos ou afugentados, os paulistas voltaram sua atenção mais para o sul e sudoeste, para a região ocupada pelos atuais estados do Paraná e Santa Catarina. Na extremidade sudoeste da Mata Atlântica, numa região chamada Guairá, ao longo do rio Paraná, concentravam-se populações realmente densas de guaranis e outras tribos.

Contra as aldeias de Guairá, os paulistas organizaram ondas de assaltos, ou entradas. Suas tropas formavam companhias militares chamadas bandeiras, donde o neologismo patrioteiro bandeirantes, que sugere porta-bandeiras ou pioneiros. Cada expedição era composta de cem ou mais brancos e mamelucos e até mil auxiliares nativos. Seus líderes eram especialistas no tráfico de escravos – excelentes batedores e caçadores que falavam tupi e possuíam destreza nas armas – e preservavam parte de sua herança indígena para fins menores. Os caçadores marchavam por terra ou navegavam descendo o rio Paranapanema ou o Tietê. Cada jornada durava meses e também cobrava seu tributo dos próprios caçadores. Em 1607, um bandeirante lamentava com petulância os 240 soldados nativos que havia “gasto” na floresta na busca de mais nativos para escravizar – uma taxa de mortalidade de três por dia. Em 1640, de uma população original que pode ter chegado a 150 mil, toda essa crueldade havia capturado talvez uns 60 mil, dos quais cerca da metade pode ter sido vendida para os fazendeiros do açúcar do Rio de Janeiro.

Em São Paulo, muitos dos cativos, expostos a doenças contagiosas, logo adoeciam e morriam. Assim, o retorno de cada bandeira era acompanhado de mais uma epidemia. O despovoamento de Guairá foi seguido de caçadas ainda mais para oeste, na área da missão de Itatim, nas cabeceiras do rio Paraguai, e para o sul, contra as missões da região dos tapes, no atual Rio Grande do Sul. Os indígenas da tribo dos tapes, contudo, estavam armados, e os paulistas, por causa das dificuldades criadas pelo excessivo alongamento de suas linhas de suprimento, foram ali derrotados em 1641. No Sudeste, nesta época, os

assaltos se limitavam à captura de bandos de caçadores-coletores, de proporções modestas, sem dúvida, já em fuga de zona mais litorâneas.

Mesmo para os contemporâneos, parecia bizarro que o rei espanhol permitisse aos colonos brasileiros exterminarem enormes contingentes de nativos, que ele supostamente devia considerar também como vassallos, em troca do resultado tão passageiro e insignificante de alguns milhares de toneladas de açúcar. Petições indignadas foram dirigidas à Coroa para que, em vez disso, empregasse esses guerreiros na campanha contra os invasores holandeses. De fato, foram recrutados para esse fim, mas não atenderam à convocação.

Os brancos que não possuíam escravos acabavam se casando com nativas e mamelucas e, pouco a pouco, formavam uma massa de mestiços deserdados, subordinados aqueles que manejavam o poder social, e vivendo “a favor” – termo regional ironicamente oportuno. Na hierarquia social, esses mestiços ocupavam uma posição acima da dos escravos africanos, que logo começaram a tomar seu lugar; seu status de pessoas livres era respeitado, enfim, devido à presença desse novo estrato despossuído ao extremo.

A introdução de africanos na região da Mata Atlântica começou nos anos de 1550. Eram preferidos aos indígenas para o trabalho na plantação devido à maior expectativa de vida e ao hábito de trabalho no campo dos homens africanos. Enquanto povos sequestrados e deslocados, era presumível que fossem menos inclinados a fugir, “porque não têm para onde ir”.

Apenas na metade do segundo século de colonização no Brasil foi que as florestas brasileiras, totalmente exóticas e imponentes, tornaram-se um *hobby* menor dos jesuítas, agora em condições de considerá-las isoladas de seus temíveis, mas em grande parte exterminados, habitantes humanos. Simão de Vasconcellos, que morou na Bahia, em sua crônica escrita em 1663, objetivou mostrar que o Brasil não era inferior aos outros três quartos do mundo, uma ideia que havia rancorosamente grassado entre os europeus depois de seu entusiasmo inicial por aquilo que haviam fantasiado como um paraíso terrestre.

Eles haviam se equivocado, por exemplo, ao supor que os climas iam ficando mais secos quanto mais próximo do equador. O Brasil era viçoso e desfrutava de influências favoráveis do Sol, da Lua das estrelas, uma abundância de peixes em suas águas e pássaros em seus céus, e todo tipo de fera terrestre, tal como havia afiançado o primeiro capítulo do Gênesis. Como qualquer outro cronista, Vasconcellos regozijava-se com a eterna primavera do Brasil, “que recia os olhos e convida as almas a louvar o Autor da natureza, porque sem dúvida excede nessa formosura todas as outras partes do orbe”.

A descrição da floresta feita por Vasconcellos, no entanto, ocupa apenas umas poucas páginas de seu massudo livro, cujo objetivo principal era descrever a

“missão heroica” de sua ordem de arrancar o Brasil do poder do inferno, sob cujo domínio havia estado desde o início do mundo, há uns 6 mil anos.

Embora o interesse científico português em seus territórios do Novo Mundo fosse pequeno, a botânica econômica mereceu um pouco mais de atenção em consequência da perda das colônias asiáticas.

A sociedade que habitava a Mata Atlântica, apesar de toda destruição e desordem operados pela invasão européia, ainda era, em grande parte, indígena no final do século XVII, tanto em termos culturais como genéticos. No lado indígena de uma fronteira osmótica, as adoções da cultura europeia foram gradativas – não totalmente por uma questão de escolha, aldeias, ou que tinham sido escravos nas lavouras de trigo, às vezes fugiam e até em massa.

Entrementes, elementos culturais nativos, embora reprimidos e desprezados pelos neoeuropeus dominantes, persistiram e invadiram o domínio neoeuropeu. Mesmo após dois séculos de ocupação, por toda parte os brancos ainda constituíam minoria, exceto nas cidades do Recife, Salvador e Rio de Janeiro. Os portugueses atribuíam, por analogia, os nomes de plantas e animais europeus familiares a algumas das espécies da Mata Atlântica, mas o resto foi recebido dos indígenas. Dois terços dos nomes comuns das árvores da Mata Atlântica e praticamente de todos os seus animais são de origem tupi-naturais – geológicas, edáficas, vegetais – e de acidentes geográficos – rios, montanhas, vales e estuários.

No fim de um segundo século da invasão portuguesa, a empresa colonial instalada na borda da Mata Atlântica havia se intensificado muito. O assalto genocida a povos tribais ampliara-se por uma área muito maior e ampla faixa de floresta havia sido deixada quase sem ocupantes humanos. Os sobreviventes dessas culturas da floresta serviam agora como subclasse cativa. Os homens, no âmbito do setor de controle português da Mata Atlântica, podem ter chegado a 300 mil, dos quais talvez um terço era de origem portuguesa. Cerca de 20 mil, possivelmente, moravam em vilas. A densidade rural continuava a ser muito baixa, talvez cinco pessoas por quilômetro quadrado no litoral, e duas por quilômetro quadrado no planalto paulista, numa área total ocupada por neoeuropeus e seus subordinados de cerca de 65 mil km². A maior parte dessa área fora subtraída à Mata Atlântica, embora parte dela tivesse sido reiteradamente derrubada e queimada pelos agricultores tupis.

Mais de um século e meio depois da invasão portuguesa, a geografia do interior da colônia ainda era mítica, seus grandes rios concebidos como oriundos de um único grande lago, em algum ponto nos sopés dos Andes. As autoridades coloniais estavam desesperadas para localizar ouro, que salvaria a Coroa Portuguesa dos efeitos desastrosos da perda das colônias asiáticas e da perda de grande parte do mercado do açúcar para o Caribe. Por fim, em 1690,

uma das bandeiras descobriu ouro. Depósitos de aluvião foram encontrados longe, no interior, ao longo da serra do Espinhaço, abaixo de um monte que chamaram Itacolomy. A Mata Atlântica ia agora passar por uma invasão ampla e permanente. A maior corrida do ouro da história estava prestes a começar.

Cap. 5

Ouro E Diamantes, Formigas E Gado.

As grandes descobertas de ouro e diamante, no Brasil do século XVIII, foram as mais importantes ocorridas no Novo Mundo colonial. De 1700 a 1800, 01 milhão de quilos de ouro foram oficialmente registrados e talvez outro milhão tenha escapado ao fisco real. Cerca de 2,4 milhões de quilates de diamantes foram extraídos, segundo registros oficiais e uma quantia adicional desconhecida e incalculável foi contrabandeada. A população e os recursos locais fluíram para as áreas auríferas, que se situavam em pleno sertão, ao longo da fronteira interna da Mata Atlântica. Com isso, a colônia passou a depender mais dos cativos africanos e estes, com seus descendentes, passaram a ter participação preponderante na tarefa de interpretar e destruir a Mata Atlântica.

Com a descoberta do ouro, o Brasil se tornou muito mais estratégico para Lisboa, como se depreende da decisão de 1720 que o elevou do status de governadoria-real para o de vice-reino.

Era inevitável que uma população mais numerosa, uma atividade econômica mais intensa, o aumento da vigilância governamental e a rivalidade européia afetassem a integridade das florestas brasileiras. Quando os garimpeiros finalmente perderam a esperança e adotaram a lavoura e a pecuária, contudo, estenderam seus domínios cada vez mais para o interior da floresta ainda intocada. O século XVIII, então, representou o início de uma tendência irreversível e cumulativa na exploração da Mata Atlântica.

Por todo o século XVII, houve lavras de ouro espalhadas por diversos pontos ao longo da serra do Mar.

Nas lavras, todas de aluvião, o ouro a princípio era facilmente encontrado em leitos de córregos. A onipresença de depósitos pequenos desse tipo, ao longo das escarpas e da face interna da serra do Mar, deu origem a um tipo especial de penetração de fronteira, feita por exploradores chamados faiscadores ou garimpeiros. A necessidade de auto-suficiência deve ter-lhes reavivado a curiosidade sobre os recursos da floresta, especialmente produtos alimentícios e medicinais. Apesar disso, a garimpagem, que se caracteriza por se concentrar em um único recurso, não-renovável e abiótico, não era uma ocupação que tendesse a ampliar a apreciação da natureza.

Em poucos anos, diversos riachos muito ricos foram encontrados e em 1713 todos os principais achados já estavam produzindo. Estavam localizados em um arco ao longo da serra do Espinhaço, desde a atual cidade de Belo Horizonte até São João Del Rei. Outros achados menores dispersos foram feitos em Pernambuco, Sergipe, Bahia e Espírito Santo. A data da primeira descoberta de diamantes é incerta. Esses depósitos, encontrados mais para o norte ao longo da mesma serra, concentrados em uma vila hoje chamada Diamantina, foram levados à consideração do rei apenas em 1729, época na qual diversas fortunas privadas provavelmente já se haviam constituído.

Não obstante, as autoridades coloniais mantinham-se firmes. Foram instituídos governos nas vilas; a mineração ficou mais estreitamente limitada a concessões de arrendamento feitas pela Coroa; e a região de ouro e diamante, hoje conhecida como Minas Gerais, foi separada da capitania de São Paulo e seu governo sediado em Vila Rica de Ouro Preto. Patrulhas militares, embora não muito eficazes na interdição das operações de garimpeiros ou pequenos traficantes ou da saída de contrabando, ainda assim bloqueavam a penetração de novos assentamentos mais a leste da serra do Espinhaço para dentro da Mata Atlântica.

Foram africanos da Coroa do Ouro que ensinaram a seus proprietários a batear e se mostraram peritos em localizar minas. Esses trabalhadores alcançavam preços mais elevados porque, acreditava-se, eram especialmente afortunados ou praticantes de uma espécie de bruxaria para encontrar ouro. O ouro também era encontrado em sopés de montanhas, em certos tipos de argila a um metro ou dois de profundidade e em formações rochosas friáveis. Nesse tipo de terreno, a floresta era queimada – grandes parcelas dela, suficientes, em certos lugares, para erradicar a lavoura itinerante. Às vezes, os riachos eram voltados contra as encostas, técnica chamada “carregar uma montanha em talho aberto”, para poder lavar cada torrão de solo que pudesse conter ouro ou provocar o desabamento de uma afloração rochosa promissora.

Evidentemente, essa prática hidráulica perversa exigia enormes quantidades de água fluindo livremente, de sorte que, no geral, foram tentadas mais imediatamente na face leste da serra do Espinhaço, isto é, a face florestada do planalto, a barlavento, onde as chuvas eram mais pesadas e os riachos, mais largos, fluíam o ano todo.

Um sábio local, José Vieira Couto, observando tais depredações em 1799, considerou o termo “minas” totalmente inadequado: preferia usar o termo local, “lavras”. Curiosamente, a mesma palavra era aplicada na agricultura, “lavar” e “lavoura”, uma atividade quase igualmente predadora em seus métodos e concepção. O próprio conceito de trabalho assumia, assim, mais o caráter de destruição que o de produção, construção ou conservação.

O efeito desse tipo de mineração foi o de substituir a floresta por charnecas esburacadas. “Por todos os lados, tínhamos, sob os olhos, os vestígios aflitivos das lavagens, vastas extensões de terra revolvida e montes de cascalho” , relatava o botânico francês Auguste de Saint-Hilaire quando atravessou a estrada ao norte de Ouro Preto, na segunda década do século XIX.

Pode-se estimar aproximadamente a área devastada pela prospecção de ouro e diamante. Modernos levantamentos na região sugerem que os mineiros obtinham talvez um grama de ouro a partir de um metro cúbico de material contendo ouro e ganga e que esta camada tinha, em média, cinquenta centímetros de profundidade. Dessa forma, o volume total de ouro obtido durante o século XVII teria revirado 4 mil km² da região da Mata Atlântica. As lavras nessa zona teriam se concentrado ao longo dos leitos dos riachos, causando dano, portanto, e principalmente, às associações de plantas hidrófilas – isto é, que buscam umidade. Ao longo dos taludes internos, teriam sido florestas de galeria, em certos lugares, a única cobertura arbórea local e, em outros, a única cobertura não-caduca disponível, por isso uma importante defesa contra a erosão da terra e o assoreamento dos rios.

A descoberta de ouro e diamantes aumentou muito a população neo-afro-europeia da Mata Atlântica. Em 1800, totalizava cerca de 1800 000 indivíduos, tendo se multiplicado seis vezes durante o século, um crescimento anual de cerca de 1,8%. Na região de mineração, metade dos habitantes eram escravos africanos, e mais da metade do restante eram pessoas de origem africana ou mestiças de africanos. Entrementes, a área no limites neoeuropeus não cresceu na mesma proporção. Os neo-afro-europeus podem ter ocupado na época 90 mil km² do segmento sudeste da Mata Atlântica, de Paranaguá até Caravelas.

No curso do século XVIII, as necessidades da população da região mineradora em termos de gêneros alimentícios, quase totalmente satisfeitas pela lavoura em regime de derrubada e queimada, teriam exigido a destruição média de seiscentos quilômetros quadrados de floresta por ano. Grande parte dessa queimada se repetiria na floresta secundária, acessível às vilas e lavoura itinerante cada vez menos viável, de sorte que as zonas densamente povoadas passaram a ser abastecidas a partir de distâncias consideráveis.

A itinerância da lavoura em regime de derrubada e queimada, outrora desespero dos missionários, tornava-se agora alvo das autoridades civis, que nela viam o principal obstáculo à coleta de impostos, ao aumento do abastecimento alimentar urbano e, de fato, à imposição da autoridade e da ordem social. Em virtude disso, um dos principais objetivos do governador designado para a capitania de São Paulo em 1765, Luís Antônio de Souza Botelho, era impor vida aldeã a seus habitantes que vagavam em clamorosa falta de fiscalização.

O governador procurou converter os fazendeiros paulistas ao emprego do arado, uma reforma que incluiria integrar animais de tração e seu estrume ao cultivo dos campos. Os habitantes lhe ofereceram, contudo, a “opinião universal” de que os solos de São Paulo não eram adequados a aração.

A pressão sobre a Mata Atlântica teria, em grande parte, diminuído se essa reforma tivesse sido bem-sucedida. Pode-se imaginar, porém, a incredulidade dos horticultores mestiços quando lhes era dito que deviam trocar um método de cultivo, que interrompia seu lazer por não mais de quinhentas horas por ano, por outro que os teria sobrecarregado com pelo menos 2 mil horas de labuta e que, além disso, não era comprovado e talvez não fosse capaz de render colheitas maiores.

O governador percebia que a política fundiária colonial havia contribuído para a preferência pelas derrubadas e queimadas. O custo excessivo dos títulos de terra deixava-os fora do alcance dos lavradores simples e os concentrava nas mãos dos diletos da corte.

Souza Botelho entendia bem que o mercantilismo e o militarismo portugueses contrariavam sua política agrícola. Sua proposta de autorizar fábricas têxteis que teriam absorvido o algodão local foi rejeitada por Lisboa. Em vez disso, foi instruído a arregimentar os recursos da capitania para a guerra no sul. Ele e seus sucessores tributaram vorazmente os pequenos fazendeiros, exigiram mão-de-obra para construir fortes, confiscaram colheitas para alimentar as tropas e apoderaram-se de suas casas para alojar soldados. Seus coletores de impostos exigiam pagamentos em dinheiro, embora seus tesoureiros atrasassem os pagamentos durante anos.

Aqueles que fugiam às extorsões das autoridades necessariamente se afastavam de contatos com as vilas. Adentravam uma floresta extremamente insegura, para a qual escapavam também os fugitivos da justiça criminal e para onde outros criminosos haviam sido banidos, continuação de uma prática judicial que convertia a fronteira em uma espécie de depósito de degredados. Muitos dos expulsos, contudo, eram apenas os desempregados das vilas. O governador de Minas Gerais recrutava compulsoriamente para a milícia homens acusados de vadiagem e os enviava a postos na fronteira, julgando “mais razoável que a tropa seja composta de vadios e patifes que de homens trabalhadores, necessários ao cultivo da terra”.

Os sertanejos entravam na Mata Atlântica, que se tornara mais luxuriante nos dois séculos em que a população humana em seu interior havia praticamente desaparecido. Ao longo da fronteira oriental da zona de mineração de ouro até o litoral, uma distância de mais de duzentos quilômetros, e a nordeste do distrito diamantino, outros quatrocentos quilômetros descendo o rio Jequitinhonha, os agricultores de subsistência podiam devastar floresta virgem para formar seus campos de milho e mandioca. Todos esses sertanejos, racialmente mesclados,

estavam formando uma cultura distinta das vilas sob controle português. A população das vilas os chamava, desdenhosamente, de “caboclos” ou “caipiras”. Expressivamente, são termos tupis pejorativos, com os seguintes e respectivos significados mais prováveis: moradores em casa de um homem branco e lenhadores da floresta.

A fronteira florestal também se tornara menos hospitaleira aos homens. Embora as moléstias tropicais do Velho Mundo, transmitidas por mosquito, possam ter sido introduzidas logo após o primeiro contato, os cronistas do século XVI continuavam a louvar os “bons ares” do Brasil. A malária, introduzida pelo tráfico de escravos, ironicamente estimulava a continuidade deste porque apenas os africanos resistiam ao seu ataque violento. A febre amarela provavelmente estava se tornando endêmica também entre populações de primatas, já que os mosquitos infectados se reproduziam nas copas das bromélias do dossel, com influências desconhecidas sobre a distribuição desses animais e sobre a composição da floresta e a dispersão das plantas.

Na mesma fronteira difusa penetravam escravos africanos foragidos, muitas vezes reunidos em comunidades independentes, chamadas *quilombos*, uma palavra da língua quimbundo que significa *união* ou *ajuntamento*. Esses assentamentos surgiram nas terras altas do Rio de Janeiro logo depois de ali se iniciar o tráfico de escravos. Em Minas Gerais, onde a imensidão da floresta em torno dos distritos mineradores possibilitava constantes fugas de recém-chegados, novos quilombos brotavam por toda parte, muitas vezes ressurgindo nos mesmos locais.

Os quilombos suscitavam medo e raiva entre os proprietários de fazendas e os moradores da cidade, que logo contrataram caçadores de escravos. Em meados da década de 1860, o “capitão do mato” profissional organizava expedições de cem ou mais caçadores de escravos para destruir quilombos nas regiões montanhosas do Rio de Janeiro. Em certa ocasião, os capitães negociaram uma recompensa calculada pela intensidade do pânico dos fazendeiros: dois terços do valor dos cativos, excetuando-se apenas os cabeças, que eram enforcados, e as crianças nascidas livres no povoado.

A leste do Tietê, ao longo do rio Paraná, os caiapós, uma tribo guerreira que pode ter continuado a praticar o canibalismo, juntou-se em contingentes para defender, por um século inteiro, aquela margem contra os neoeuropeus. Ali exploravam os recursos das matas ciliares que eram o limite extremo da Mata Atlântica e cultivavam, incorporando à sua dieta, bananas, arroz e galinhas. A itinerância desses grupos agora terminava geralmente na aceitação da “redução” em aldeias. Enquanto os portugueses mantiveram a política de isolamento da região do outro a fim de diminuir o contrabando, a selva a leste, rumo ao litoral, permaneceu um porto seguro.

A incorporação de indígenas foi menos violenta ao longo da fronteira cabocla. O conceito de caboclo agora se aplicava a uma mistura cultural e racial mais complexa, com a adição de escravos africanos fugidos, e sua descendência com mestiços e nativos, às vezes separadamente categorizados como “cafuzos” ou “caburés”, o primeiro talvez um termo quimbundo que significava defeituoso, o segundo, outro termo tupi referente a uma pequena coruja marrom da floresta.

Em alguns lugares próximos às aldeias neoeuropeia, os indígenas podiam ser encontrados empreendendo a lavoura por derrubada e queimada, sinal de que estavam livres da pressão de expedições escravização e de que algumas formas de intercâmbio pacífico haviam sido restabelecidas. As vilas recém-fundadas por Souza Botelho registravam, entre seus primeiros colonos, numerosos nativos, complacentemente identificados como guaranis.

A troca cultural ao longo da fronteira cabocla seguiu percursos curiosos, mas, por certo, foi consequente. Escravos fugidos aprendiam dos nativos e, em troca, ensinavam-lhes práticas mágicas e religiosas, técnicas de caça e pesca e remédios para picadas de cobra, feridas e doenças. O ritual afro-brasileiro atual substituiu quase totalmente as espécies nativas de plantas por plantas africanas. Esses fragmentos de evidência sugerem uma reconstituição de alguma pequena fração de conhecimento da floresta que se perdera durante o século de caçadas genocidas aos escravos.

Infelizmente, africanos, caboclo e mesmo muitos dos indígenas eram todos refugiados em terra alienígena e duvida-se que tenham retido intatas as informações que seus ancestrais acumularam. O português continuou a enriquecer-se com nomes tupis para plantas e animais e, nas zonas de mineração, os topônimos indígenas continuavam a ser aplicados. O português brasileiro aceitou uma palavra quimbundo até para o alimento mais básico da colônia (fubá). As técnicas de caçada da fronteira podem ser consideradas como inspiradas por crenças indígenas relativas aos espíritos guardiães da floresta.

É evidente que a opressão do governo colonial estava provocando seu próprio fracasso. Os pequenos agricultores não assumiram residência fixa enquanto a proximidade da autoridade os sujeitasse ao confisco de seus excedentes e de seus filhos.

A maravilhosa diversidade da Mata Atlântica incluía uma ordem notável de criaturas invasoras ansiosas por se apropriarem das colheitas das zonas alteradas que eram as clareiras queimadas dos lavradores. Os ciclos naturais da floresta permitiam a infestação ocasional de animais – roedores, por exemplo –, que se multiplicavam prodigiosamente quando o bambu frutificava e, quando este se exauria, voltavam-se para as plantações e milho armazenado.

Infinitamente mais variados eram os insetos, dos quais de longe o mais implacável e desalentador era a formiga cortadeira, chamada pelos tupis de saúva. Na verdade, para os lavradores nativos, essa peste era o único fator limitante mais significativo: nenhum de seus produtos básicos estava imune. Em 1587, o cronista Gabriel Soares de Souza foi o primeiro europeu a registrar o espanto dos invasores diante da voracidade dessas formigas.

A opinião de Soares de Souza sobre as cortadeiras era também um lamento pela inviabilidade de uma colonização de povoamento: “Se elas não foram que o despovoará muita parte da Espanha [Portugal na época estava unido à Coroa espanhola] para irem povoar o Brasil: pois se dá nele tudo o que se pode desejar, o que esta maldição impede, de maneira que tira o gosto aos homens de plantarem senão aquilo sem o que não podem viver na terra”.

O gênero *Atta* de formiga é extremamente bem-sucedido – ele se espalhou por todas as regiões tropicais e semitropicais do Novo Mundo. Pelo menos cinco de suas espécies habitam na região da Mata Atlântica. Seu sucesso se deve a uma adaptação extraordinária: as formigas consomem exclusivamente um fungo, que cultivam em buracos subterrâneos.

Na floresta, ocasionalmente, são vistas filas ondulantes de saúvas, cada uma carregando um retalho de folha como um guarda-sol em miniatura. Na floresta primária, contudo, as formigas não passam de uma entre inúmeras espécies em competição, e suas populações são contidas.

Infelizmente para os homens, muito poucas plantas que eles domesticaram eram, em algum grau, repelentes à saúva – muito pelo contrário – e centenas de anos de seleção ainda terão de passar para que surjam variedades de plantas resistentes.

Entre as criaturas que poderiam ser arregimentadas contra as formigas, poucas são persistentes. Os tamanduás, infelizmente, evitam as cortadeiras. Embora agrônomos práticos tenham recorrido a outros insetos, mais notadamente uma outra formiga, a cuiabana, para combatê-las, todos relutam em enfrentar os soldados da *Atta* quando há outras presas ao alcance. O tórax da formiga fêmea, chamada içá ou tanajura, era – e é – considerado uma iguaria, e até um afrodisíaco, entre os povos rurais mestiços. Lamentavelmente, era desdenhada pelos moradores urbanos neo-europeus e, por isto, não era comercializável.

As medidas defensivas dos homens, até o século XX, foram, em grande parte, inúteis. As formigas recusavam iscas que poderiam danificar seus jardins de fungos. À medida que as áreas cultivadas se espalhavam e se intensificava a destruição humana dos habitats de predadores de formigas – pássaros, lagartos e rãs – aumentava a infestação de saúva. Em certo sentido, contudo, destruir a saúva, na medida em que isso fosse possível, era contraproducente, porque as

formigas certamente realizavam uma tarefa hercúlea de melhorar as qualidades mecânicas do solo e transportavam nutrientes.

Um fazendeiro afortunado talvez plantasse em local cujas condições, por algum motivo indefinível, eram desvantajosas para as cortadeiras, mas as únicas características ambientais desfavoráveis para elas eram solo arenoso ou solo baixo, úmido. A Atta evitava terra úmida porque os lençóis freáticos elevados impediam-nas de aprofundar os formigueiros.

A única outra manobra de evasão eficaz era ceder velhos campos às cortadeiras e queimar novas faixas de floresta madura. Como observou Soares de Souza, “em clareiras novas não há formigas para fazer estragos em nada”.

Como teria sido a agricultura brasileira, se não tivesse havido saúva? Atrairia mais colonos europeus, como suponha Soares de Souza? Teria o ataque à Mata Atlântica ocorrido tão rapidamente? A lavoura por derrubada e queimada prosseguiria, por ser a técnica menos trabalhosa, mas os campos limpos teriam tido mais valor como pasto e terra agricultável, e o incentivo ao uso de técnicas mais produtivas, que incluem o arado, teria sido muito maior. Em vez disso, a presença das cortadeiras confirmava a transitoriedade inerente ao método de derrubada e queimada e fortalecia o “engodo da floresta virgem”.

Os garimpeiros de ouro e diamante comiam carne de boi. O boi era a fonte preferida de proteínas na dieta neo-européia, e o crescimento de um mercado monetário fez os preços dos bovinos subirem e muitos lavadores dedicados à subsistência passarem para a pecuária.

Na pastagem natural e sem cercas, o gado se reproduzia à vontade. Aqueles que sobreviviam eram os que escapavam às onças e resistiam às doenças e rigores da planície sem abrigo. Essas “raças” – curraleira, caracu, Junqueira, crioula – não apresentavam nenhuma vantagem a seus predadores humanos, exceto a rusticidade; ou seja, não precisavam de nenhuma intervenção humana para manter seus rebanhos. Os fazendeiros não davam forragem e, por isso, a estação seca implicava severa mortalidade do gado, cujos sobreviventes requeriam vários anos para alcançar o peso do mercado. O único suplemento alimentar fornecido aos animais era o sal. Este nutriente, escasso nos solos das terras altas, encontrava-se em baixas concentrações nos barreiros – leitos secos de lagos e margens de rios. Aí o gado, em companhia de animais selvagens famintos por sal, raspava com a língua os galhos viscosos, um efeito, segundo um observador, muito parecido ao produzido pelo arranhar de uma superfície em busca de ouro. A Coroa considerava o sal uma mercadoria conveniente para gerar receita. Decretou o monopólio da sua importação e venda, taxando-o por peso em estradas com pedágio e encerrando as atividades das salinas concorrentes em Cabo Frio.

O gado era vulnerável a morcegos, vampiros, moscardos e às larvas que invadiam as feridas que aqueles provocavam. Indiretamente, as moscas eram outra causa de invasão da floresta. Para escapar a elas, o gado e os cavalos habitualmente penetravam nas franjas da floresta, fazendo com os cascos suas próprias clareiras e transportando neles sementes de capim.

O surgimento de gado em campos gramados e cerrados nativos foi um evento memorável em termos botânicos. Os primeiros observadores “contavam maravilhas” sobre os pastos – como era luxuriante o crescimento do capim e como o gado engordava rapidamente com ele. Bastava, porém, uma geração ou duas de pastoreio por uma única espécie para transformar essas paisagens edênicas. Sem ser tangido, o gado tendia a pastar demais no capim mais palatável, de sorte que os campos definhavam em plantas raquíticas, doentias.

Contra essa transformação, os fazendeiros dispunham apenas de uma arma, o fogo, que utilizavam sem misericórdia. A queimada destruía pequenos animais – roedores, répteis, tatus, tamanduás, insetos e pássaros que nidificam no chão – convertendo as pradarias em um deserto. A queimada reduzia a substância da planta não comestível a cinzas, enriquecendo assim, temporariamente, o solo, se logo viesse a chuva. Mas a queimada danifica de modo sutil os solos e o capim. Destrói plantas que se disseminam horizontalmente formando esteiras, em favor das que formam touceiras, expondo o solo e provocando erosão.

A queimada, além do mais, elimina nitrogênio e as bactérias que participam de sua fixação ao solo, essencial à nutrição animal.

A deterioração do pasto nativo o tornava, paradoxalmente, uma mercadoria escassa. Dessa forma, o gado se espalhava sobre terra da floresta que havia sido cultivada mas estava abandonada. Esses pastos eram muitas vezes chamados artificiais, sugerindo que eram plantados com capim selecionado, mas isso nunca ocorreu no século XVIII e era raro no século XIX.

Em algum momento do século XVIII, capins africanos apareceram nas internadas e palhadas reservadas para forragem de cavalos, próximo à cidade do Rio de Janeiro. Podem ter sido introduzidos na região da Mata Atlântica a partir das camas de palha dos navios de escravos. Capim-guiné, capim - Pará, capim-marmelada e capim-jaraguá são espécies que, na África, ocupam as franjas da floresta alterada.

Uma vez chegados e aclimatados, esses capins por vezes foram disseminados deliberadamente. O capim-marmelada foi, por isso, durante algum tempo, chamado “capim do irmão Luís” em regiões de Minas Gerais, em memória de um benfeitor clerical. É provável, contudo, que o próprio gado fosse o agente mais comum de dispersão. Os capins foram saudados como

concorrentes mais eficazes das ervas em pastagens manejadas pelo fogo, mas eram de fato substitutos desapontadores.

O sistema de pecuária era extraordinariamente improdutivo. Pasto nativo degradado e pasto convertido permitiam apenas um rebanho muito ralo, provavelmente não mais que uma cabeça para cada dois a cinco hectares.

À tendência, de longo prazo, de pastos e animais a degenerar, criadores de gado reagiram se expandindo cada vez mais para novos pastos, onde não haveria “nem ervas nem nada mais que pudesse matar o gado”. Assim, a criação de gado tornou-se quase tão itinerante quanto a agricultura e, como esta, para ser produtiva degradava ecossistemas primários.

O terceiro século da invasão europeia da Mata Atlântica reduziu consideravelmente sua extensão. A mineração, a lavoura e a engorda de gado no sudeste podem ter eliminado, durante o século XVIII, outros 30 mil km². Tão ampla, completa e irreversível havia sido a eliminação da floresta em Minas Gerais, durante o século XVIII, que Karl Friedrich Philipp Von Martius, o mais famoso dos botânicos acolhidos no Brasil nos anos de 1810, foi levado a supor que a região do ouro e do diamante, a sudoeste de Minas Gerais, e a região nordeste da cidade de São Paulo nunca haviam tido floresta, mas eram constituídas de campos gramados nativos.

Um aspecto notável dessa expansão é que os ganhos para os neoeuropeus, com suas formas extraordinariamente perdulárias de exploração dos recursos naturais, foram tão exíguos quanto imensos foram os desperdícios. Thomas Lindley, visitando o litoral próximo a Porto Seguro em 1802, ficou assombrado de que “em um país que, com o cultivo e a indústria, chegaria à fartura com as bênçãos excessivas da natureza, a maior parte do povo sobrevive em necessidade e pobreza, enquanto mesmo a minoria restante não conhece os desfrutes que fazem a vida desejável”.

Padrões de vida baixíssimos, em um Brasil rico de bens naturais, espantavam os visitantes europeus, acostumados a obter retornos muito mais elevados de um cardápio medíocre de recursos naturais.

Naturalmente o objetivo era acumular capital não na colônia, mas na metrópole. Um levantamento de um século de melhorias no estoque de capital social de Portugal talvez fornecesse justificativa para o desperdício de recursos que a Mata Atlântica sofrerá, mas isso parece discutível. Será que uma proporção significativa da crescente riqueza britânica derivava de suas relações comerciais nitidamente assimétricas com Portugal, de seu financiamento do tráfico colonial de Portugal e de sua consequente extração de grande parte do ouro cobiçado? Se derivava, então Mawe estava observando as consequências de uma relação, em vez de um contraste entre duas esferas distintas, e a esterilidade da destruição da floresta pode ser atribuída,

portanto, como muitos o fazem, ao colonialismo e ao capitalismo. No entanto, existem muitas evidências de que a autoridade real era obedecida apenas quando convinha aos colonos. As autoridades coloniais, na verdade, não raro se mostram mais esclarecidas e progressistas que seus governados em relação à exploração da natureza.

O que está em questão é a efetividade e a eficiência com a qual se empregam recursos escassos, a habilidade que participa de sua transformação e a validade dos usos para os quais são empregados. Uma questão mais complexa é a capacidade de considerar o mundo natural como algo mais que um conjunto de utilidades disponíveis, um patrimônio inerentemente valioso mesmo quando não transformado e inexplorado. A Mata Atlântica estava começando sua longa jornada rumo à extinção. Seus habitantes ainda não tinham nenhum resultado palpável e mal a haviam descoberto.

Cap. 6

A Ciência Descobre A Floresta.

Quase trezentos anos se passaram desde que os primeiros europeus colocaram os olhos na Mata Atlântica. Uma parte considerável dela havia sido degradada por seus descendentes, cujas demandas tinham sido poucas, mas devastadoras. A floresta continha uma árvore de cujo córtex podia ser extraída uma tintura, era o esconderijo de ouro e diamantes e recobria solos sujeitos a um tipo primitivo de lavoura e, nas etapas finais de sua degradação, a um tipo primitivo de pastagem. Através do saber vagamente rememorado dos indígenas, transmitido com dificuldade aos caboclos e africanos fugidos do perímetro colonial, algumas espécies da Mata Atlântica haviam adquirido nomes e alguns nomes tinham se associado a usos. O conhecimento indígena que os primeiros invasores haviam, desdenhosamente, ignorado seria, a um custo considerável, recriado e, por último, superado. A Mata Atlântica iria, enfim, ser objeto de curiosidade.

Empregar a ciência para alcançar essas metas era colocar a Mata Atlântica diante da perspectiva de mais devastação. Se, por um lado, a exploração intensiva dos recursos da floresta poderia acelerar sua destruição, a exploração cuidadosa e deliberada possibilitaria mais área preservada e o repouso necessário para render frutos constantes. O papel contraditório da ciência e da tecnologia no manejo da Mata Atlântica começa aqui, no despertar da compreensão desses servidores civis de que a floresta seria manejada ou destruída.

Em 1779, foi fundada em Lisboa a Academia Real de Ciências. Mantinha correspondência com outras sociedades, estimulou a coleta e observação entre amadores nas colônias e publicava seus relatórios.

A primeira sociedade científica brasileira realizou reuniões em Salvador, em 1759, sob os auspícios do vice-rei, o conde dos Arcos. Foram planejados estudos sobre a agricultura, a flora, a fauna e os minerais mas, se algum deles foi levado adiante, não deixou vestígios. Em 1772, outro vice-rei – na época, a sede do governo colonial havia sido transferida para o Rio de Janeiro -, o marquês do Lavradio, fundou a Academia Fluminense, cujo objetivo era estudar medicina, cirurgia, botânica e farmácia. Seus diretores principais sócios eram membros do corpo militar do vice-rei. Na sessão inaugural, o farmacêutico Antônio Ribeiro de Paiva queixava-se de que, em Portugal, o comércio de ervas estava em poder de comerciantes ignorantes que, frequentemente, erravam na identificação de seus produtos, enganos que ele queria evitar no Brasil.

A academia restaurou o antigo jardim botânico jesuíta e nomeou coletores, jardineiros e artistas botânicos, mas teve breve existência. O marquês do Lavradio promoveu a diversificação agrícola e a busca de plantas nativas úteis, mas foi desviado de seu intento pela guerra do Sul; quando deixou seu cargo em 1779, seu grupo de cientistas amadores voltou com ele para Portugal.

Os portugueses não haviam autorizado quaisquer instituições de ensino superior na colônia além dos seminários. Jovens de talento tinham de ir para Portugal em busca de instrução, e lá, frequentemente, eram instados a servir ao império. Se retornavam ao Brasil, ficavam afastados do incentivo de colegas e impedidos de formar uma nova geração de estudiosos. De fato, muitos dos projetos científicos apoiados nesses anos não parecem ter merecido publicação ou intercâmbio, permanecendo como segredos de Estado, de concepção tão mercantilista quanto às políticas econômicas da Coroa.

O mais desastroso, contudo, é que as ciências em Portugal eram ideologicamente suspeitas. As concepções políticas e sociais subversivas do Iluminismo estavam entrelaçadas com suas propostas científicas, tanto na cabeça dos governantes quanto na dos cientistas.

Os cientistas portugueses, por sua vez, estavam habituados a trocar correspondência com colegas franceses, porque a França era o lócus da maioria das inovações e recursos para seus campos de estudo. Em 1788, o botânico Felix de Avellar Brotero fugiu da Inquisição para Paris. O abade José Correa da Serra, nascido no Brasil, foi obrigado a se exilar por duas vezes para escapar a seus rigores: em 1786, foi para Paris, onde se encontrou com Jussieu e Geoffroy Saint-Hilaire no Jardin des Plantes; de volta a Lisboa em 1795, novamente sob suspeita por causa da ajuda que dera a um botânico francês exilado, fugiu para Londres.

A essa altura, Correa da Serra e outros jovens cientistas passaram a ser protegido por um influente cortesão, Rodrigo de Souza Coutinho, um polímata de distinção intelectual e membro diplomado da Sociedade Lineana de

Londres. Em 1796, Souza Coutinho tornou-se ministro das colônias e da marinha. Sua estratégia ao lidar com o perigo francês foi acelerar a absorção do conhecimento científico estrangeiro, que ele via não só como um meio de galvanizar as colônias atrasadas, mas também de garantir sua lealdade, empregando seus bacharéis universitários em projetos que em termos de concepção e exceção abrangiam todo o império português.

Souza Coutinho concedeu também fundos do vice-reino ao padre brasileiro José Mariano da Conceição Velloso, que passou muitos anos estudando botânica no Rio de Janeiro. Designou Velloso como diretor de uma nova editora, que se especializou em editar e traduzir uma série de escritos sobre melhoramentos em agricultura tropical coligidos de outras colônias européias.

O período era propício para a diversificação das exportações agrícolas brasileiras porque os concorrentes caribenhos da colônia estavam arruinados pela guerra. Primeiro, a Guerra de Independência norte-americana, depois as revoluções francesa e haitiana e, finalmente, o imperialismo napoleônico haviam levado as potências coloniais a enviar imensas forças expedicionárias para a região, praticamente extinguindo seu comércio. Portugal continuou por algum tempo tranqüilo à margem dessa agitação e o Brasil passou a fornecer quantidades crescentes de açúcar, algodão, arroz e tabaco para o mercado europeu. Souza Coutinho renunciou em 1803, quando sua política de promoção do desenvolvimento econômico do Brasil em detrimento potencial dos interesses peninsulares foi interpretada como convergente demais com a dos britânicos, que estavam passando a considerar Portugal como descartável.

Napoleão convencera a Espanha a lhe permitir invadir Portugal, como represália por sua omissão em participar de um boicote continental aos produtos britânicos. O pobre Portugal já estava sob bloqueio naval inglês, por haver prometido aos franceses que aplicaria o boicote. O príncipe regente, D. João, resolveu seguir a recomendação de Souza Coutinho, de seis anos antes, e viajou para o Brasil protegido pela mesma frota britânica que estava bloqueando sua capital.

Mais de 20 mil cortesãos, burocratas e comerciantes logo se dirigiram para a corte exilada. Vários milhares de estrangeiros se juntaram a eles – artistas, artesãos, oficiais militares, comerciantes e até cientistas. O governo português reconstituiu-se no Rio de Janeiro. Rodrigo de Souza Coutinho, logo intitulado conde de Linhares, tornou-se o principal ministro do regente, encarregado das relações exteriores e da guerra.

Por toda parte, investimentos bem pequenos em técnicas já amplamente difundidas na Europa evidenciavam que poderiam aumentar em muito a produção brasileira. Os cortesãos torciam o nariz para queijos e manteiga malfeitos, carne-de-sol e peixe seco produzidos na colônia. Todos poderiam ter

se tornado artigos de exportação mas, em vez disso, sofreram concorrência estrangeira.

Infelizmente, a invasão francesa não só excluiu os cientistas naturais brasileiros do centro de sua rede de informações, mas também enredou os cientistas residentes em Portugal em novas dificuldades.

Enquanto isso, a Coroa não hesitou em instalar em sua nova corte poderosos instrumentos de investigação do mundo natural: uma gráfica, uma biblioteca, uma escola de medicina, um laboratório de análises químicas, uma cátedra de ensino agrícola (em Salvador) e uma academia militar, cujas funções incluíam engenharia civil e mineração. Essas instituições ofereciam emprego a cientistas locais como José da Costa Azevedo, professor de zoologia e mineralogia, Leandro do Sacramento, professor de botânica e agricultura, e Francisco Vieira Goulart, diretor do laboratório químico. A imprensa começou a editar, entre outras publicações úteis, um jornal chamado O Patriota, que imprimia regularmente notícias de melhorias agrícolas. Duas importantes instituições científicas foram criadas: um jornal botânico e um museu de história natural.

Receber e aclimatar plantas tropicais de interesse econômico era uma das incumbências do Jardim Botânico. Destinava-se a aperfeiçoar a transferência de culturas coloniais, uma atividade de importância crítica que havia sido realizada até então empírica e esporadicamente.

Manuel Arruda da Câmara, naturalista pernambucano, escrevendo em 1810 em favor da instalação de um jardim botânico em sua província, apresentava uma crítica ainda mais pertinente da política colonial e da concepção botânica anteriores. Quando sangue, lamentava, teria sido poupado se os portugueses tivessem transferido as especiarias asiáticas quando entraram pela primeira vez no oceano Índico, em vez de tentar conquistar a região e defendê-la contra seus concorrentes.

Arruda da Câmara identificava corretamente a transferência de culturas tropicais como um empreendimento difícil para os europeus. Ao contrário de suas transferências para a América do Norte temperada, não estavam familiarizados com as condições de crescimento das plantas que removeram da Ásia e da África e com os ambientes para onde as trouxeram no Brasil.

O príncipe regente rapidamente ordenou a invasão de Caiena (atual Guiana Francesa), em represália pela invasão de seu reino e por receio de que aquela pequena colônia pudesse logo ser reforçada. Souza Coutinho ordenou ao capitão-general de Belém sua “total ruína”, receando que a França retomasse o território na próxima conferência de paz.

Felizmente, a ordem cruel de Souza Coutinho encontrou a oposição do comandante da vitoriosa expedição luso-brasileiro-britânica, que foi persuadido

pelo governador francês a poupar La Gabrielle “em todo o seu esplendor”. O regente D. João recebeu agradecido as sementes e plantas enviadas por seu governador civil natural de Minas Gerais, João Severiano Maciel da Costa, que tratou de fazer com que o jardineiro francês ficasse em seu posto.

O grande golpe seguinte dos portugueses foi fortuito. A maioria das plantas exóticas de La Gabrielle procedia do jardim botânico da possessão francesa das ilhas Maurício. Esse jardim, “Le Pamplémousse”, havia sido organizado pelo ativo e apropriadamente chamado Pierre Poivre, que havia comandado expedições de coleta pelos quatro cantos do oceano Índico. Um oficial português, Luiz d’Abreu, capturado pelos franceses e preso nas ilhas Maurício, conseguiu fugir e roubar algumas sementes antes de deixar a ilha.

Usufruindo a fama por sua audácia, Abreu escreveu a um amigo, Rafael Bottado de Almeida, um senador da colônia portuguesa de Macau, para pedir sementes de chá. Estas chegaram em 1812, em um navio de guerra português. Germinaram e cresceram mas, porque ninguém no Brasil tinha qualquer experiência no cultivo e beneficiamento do chá e ninguém parece ter se lembrado do tratado escrito por Avellar Brotero sobre o assunto, D. João VI ordenou que se contratassem jardineiros chineses.

Um carregamento de sementes de pimenta de Goa, aparentemente destinado a Ajuda, havia sido desviado para a Bahia em 1782. Outros embarques de pimenta-do-reino e canela foram feitos de Goa em 1787, 1788 e 1790. O governador de Goa relatou, em 1800, que a canela, que era uma espécie silvestre ali, estava começando a ser cultivada, sem dúvida por insistência de Souza Coutinho.

Juntamente com introduções de plantas oficialmente patrocinadas ou conhecidas pelo governo, havia muitas outras cuja procedência é obscura. Saint-Hilaire encontrou diversas plantas de clima temperado crescendo no planalto paulista: morangos, pêssegos, damascos e castanhas. Tanto ele como Johann Emanuel Pohl, que passaram pelo Rio de Janeiro em 1818, comentaram a grande diversidade de plantas ornamentais transferidas da Europa.

Essas numerosas transferências não tiveram nenhum efeito na diversificação de exportações. Embora repetidas introduções de especiarias no Brasil fracassassem em termos de um mercado exportador, os franceses na Guiana, os holandeses em Java, os ingleses nas Índias Ocidentais e os árabes em Zanzibar foram todos bem-sucedidos no cultivo de canela, cravo e noz-moscada. Os incentivos oficiais eram muitas vezes contraproducentes. Frequentemente garantiam aos produtores a compra de sua produção, mas os pagamentos atrasavam tanto que provocavam sua bancarrota. Os comerciantes ingleses, que financiavam o comércio entre Portugal e suas colônias, representavam um outro obstáculo, porque competiam com as colônias britânicas.

Ao menos por algum tempo o arroz foi à única exceção a esse péssimo desempenho. Introduzido anteriormente no Norte, tornara-se um gênero doméstico de primeira necessidade na dieta colonial. Seu sucesso como cultura de exportação pouco teve a ver, contudo, com o patrocínio oficial; ao contrário, deveu-se em grande parte à promoção comercial por um beneficiador do Rio de Janeiro, Manuel Luís Vieira.

Exceto pela mangueira, que possui a admirável vantagem da resistência às formigas cortadeiras, a fruta-do-conde (talvez uma referência ao conde de Linhares), a jaca e o chuchu, as frutas e os legumes introduzidos no mercado interno nesses anos foram ignorados pela massa da população. Encontraram, talvez, pestes ou parasitas, aparentemente invencíveis no Brasil da época, ou, quem sabe, a série notável de frutas nativas que os indígenas havia muito tinham trazido ao cultivo parcial tornassem supérfluas as espécies asiáticas.

Curiosamente, a domesticação, aprimoramento e comercialização de espécies nativas brasileiras não estava entre os objetivos arrolados no decreto que reorganizou o Jardim Botânico do Rio de Janeiro. O cultivo das plantas até então silvestres era, certamente, um projeto muito mais complexo do que a simples transferência de plantas exóticas já domesticadas.

Entre os visitantes europeus, contudo, havia alguns cuja curiosidade e simpatia sobrepujavam o preconceito. Saint-Hilaire, um observador particularmente arguto, salientava que as frutas “européias” eram o produto de séculos de cultivo, mas que se as suas variedades silvestres fossem comparadas com as frutas brasileiras, estas últimas seriam indiscutivelmente superiores.

Continuava a ser difícil extrair dos povos tribais e colonos da fronteira seu conhecimento sobre os recursos oferecidos pela floresta. Seu saber chegava às cidades e portos do Brasil na forma de uns poucos artefatos e bens de troca, extraídos dos estuários e das florestas.

As plantas florestais de valor medicinal eram extremamente variadas; de fato, o saber medicinal dos indígenas era o único aspecto de sua cultura que os brancos da cidade não desdenhavam. As assustadoras doenças dos trópicos os levavam a aceitar, temerosos, os vermífugos, febrífugos, remédios para a piã, doenças venéreas e, o mais enganoso deles, antídotos para picadas de cobra. Além destes, acrescentem-se as curas para queixas mais prosaicas – reumatismo, cólica, endoparasitas, diarreia, hemorroidas, erupções cutâneas, inflamações, infecções e deficiências alimentares.

Apenas um desses remédios da Mata Atlântica, no entanto, tornou-se artigo importante do comércio exterior. Foi a ipecacuanha ou poaia, cujo rizoma é um emético. Na virada do século XIX, o Rio de Janeiro exportava cerca de quatro toneladas dela por ano. A ipecacuanha é uma planta comum que constituía parte da cobertura de solo da floresta primária. Os caboclos a coletavam como

uma “cultura” comercial, arrancando-a, geralmente, quando dava flor, porque era quase impossível identificá-la durante o resto do ano.

Outras plantas foram urgentemente procuradas na Mata Atlântica: salsaparrilha, cânhamo e cinchona. A salsaparrilha era considerada um remédio específico contra a sífilis. Diversas de suas espécies locais passaram a ser comercializadas, mas não tanto como produto de exportação, porque as espécies amazonenses eram muito mais apreciadas. O cânhamo era considerado o melhor material para a manufatura da cordoalha naval e tentativas inúteis foram feitas desde os anos de 1620 para aclimatá-la na Bahia e no Rio de Janeiro. A Mata Atlântica continha muitas plantas que poderiam servir para cordoalha. Na região do Rio de Janeiro, a guaxima, um cipó, e na Bahia a piaçava, uma palmeira, eram apanhadas em estado selvagem, para fazer corda. No entanto, depois que se estabelecia o cultivo do cânhamo, ele era preferido.

A cinchona havia muito despertado o interesse oficial. Correa da Serra parece ter enviado, de Londres, sementes dela, ou o que ele imaginou que o fossem. Vandelli formulara a hipótese de que a planta existia no Brasil porque o país margeava regiões onde os espanhóis a colhiam.

O cacau era colhido na selva em seu vale nativo amazonense quando Alexandre Rodrigues Ferreira constatou essa prática extremamente trabalhosa. Além do mais, o cacau, cultivado em seu *habitat* nativo, era vulnerável a parasitas coevoluídos. Sua transferência e cultivo, oficialmente estimulados, na floresta litorânea do sul da Bahia nos anos de 1780 podem ser contabilizados como uma conquista do período. Mesmo assim, ainda levaria mais um século e meio até se tornar produto de exportação significativa.

Apenas dois dos inúmeros produtos silvestres da Mata Atlântica chegaram ao ponto de cultivo e exportação no período – a cochonilha e o indigo. Um oficial da delegação espanhola da fronteira lhe chamara a atenção para um determinado inseto que estava infestando um cacto do gênero opúncia ali mesmo, a seus pés. O inseto, observava, era a cochonilha, do qual se extraía facilmente um corante vermelho. O corante, segundo lhe dissera o oficial, era um item comercial importante no México. Aparentemente, a cochonilha nunca havia sido notada pelos tupis; tampouco o conhecimento de seu uso fora difundido pela região da Mata Atlântica. Em breve, diversos outros relatos sobre a presença da cochonilha foram feitos em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul.

Essa descoberta foi à única realização substantiva da academia antes de se dissolver, embora justifique a memória da instituição. A cochonilha tornou-se em breve um artigo comercial, mas depois desapareceu das pautas de exportação por motivos que não são claros. O historiador inglês Robert Southey afirmou que ela passou a ser adulterada e por isso perdeu crédito junto aos importadores.

O índigo foi o outro recurso nativo domesticado, exportado e, durante certo tempo, mais bem-sucedido que a cochonilha. Esse corante azul, extraído de numerosas espécies nativas da Indigofera, disseminadas tanto no Novo como no Velho Mundo, havia sido notado e utilizado pelos indígenas. Por um século e meio, contudo, os neo-europeus não fizeram nenhuma tentativa de explorá-lo.

Os reiterados experimentos de plantio e beneficiamento do índigo eram incentivados pela disposição do governo de comprar toda a produção. Em 1779, havia algumas centenas de manufaturas de índigo no Brasil, a maioria na capitania do Rio de Janeiro, que satisfaziam inteiramente a demanda portuguesa do corante.

Velloso discernia a grande vantagem do comércio de índigo, comparado a culturas de plantation como a do açúcar. Embora menos lucrativas, culturas como o índigo eram mais acessíveis a “pessoas menos poderosas” e eram “menos complicadas em seu equipamento, menos dispendiosas em sua operação, [e] muito menos destrutivas das florestas”. O colapso do índigo foi, portanto, mais que um incidente na história comercial brasileira: foi um sintoma da dominação social que canalizava recursos para uma cultura única. Esse foi um fracasso de mau agouro para a Mata Atlântica.

Interesse central da Coroa, essencial à defesa do império e ao aumento de seu comércio, era o suprimento de madeira para embarcações. Embora a construção de barcos fosse comum por toda a costa brasileira, existe muito pouco registro de navios oceânicos antes do século XVIII. Por mais de dois séculos, a maior parte da madeira própria para navios oceânicos era enviada aos estaleiros reais de Lisboa (assim como a lenha usada nos fogões dos palácios reais!)

Em meados do século XVIII, contudo, havia começado a se organizar uma grande indústria de construção naval em Salvador, no arsenal e estaleiros reais e em estaleiros privados. Navios de guerra e mercantes construídos na Bahia constituíam, no final do século, a maior parte da frota sob bandeira portuguesa. Ordens reais no sentido de conservar a madeira naval começaram a ser editadas em 1698, quando foram proibidas sesmarias em áreas de reserva dessa matéria-prima. Embora poucas sesmarias fossem concedidas posteriormente, o corte de madeira tornou-se uma indústria privada fortemente organizada. Ainda que formalmente supervisionada por “guardas-mores” e administradores, estes eram sistematicamente subornados e ludibriados por um pequeno número de madeireiros, serradores e tropeiros que efetivamente decidiam quando e onde a madeira seria cortada.

Os governadores executaram diligentemente essas instruções. Realizaram-se levantamentos sobre reservas e meios de transporte de madeira, traçaram-se mapas e foram elaboradas tabelas de preços a serem pagos aos contratados ou proprietários particulares. Parte dos posseiros na área poderiam ser autorizados a ficar, desde que limitassem suas atividades à pesca ou estivessem dispostos a assumir os encargos de guardas-florestais (esta é uma medida proposta por ambientalistas de hoje). Práticas incendiárias seriam punidas com prisão.

Foram criadas reservas adicionais. Na capitania de São Paulo, todas as madeiras de lei das florestas entre a linha do mar e a escarpa costeira eram declaradas passíveis de expropriação real, e cinco reservas reais foram estabelecidas e demarcadas entre Paranaguá e Santos.

As inspeções e relatórios indicam que não existia mais madeira adequada por muitas léguas nas proximidades das vilas maiores. Grande parte das árvores que serviam para construção naval já havia sido derrubada. Em Iguape, não havia mais árvores apropriadas num raio de sessenta quilômetros da barra.

As políticas de Souza Coutinho haviam sido delineadas em parte por Baltasar da Silva Lisboa, um juiz brasileiro que estudara ciências naturais em Coimbra e conhecia de perto as florestas do sul da Bahia.

O conhecimento de que as árvores da Mata Atlântica não cresceriam a partir dos tocos, que não se poderia fazê-las crescer exceto na floresta e que seu crescimento era tão lento que se passariam gerações antes que pudessem ser colhidas, sugeria que, ao contrário das florestas temperadas do Velho Mundo, o replantio de madeira de lei nativa em arvoredos homogêneos não era nem econômica nem ecologicamente viável e que o suprimento de madeira de navios deveria ser sustentado apenas através do cauteloso manejo das florestas existentes, que incluía o corte seletivo e o incentivo à regeneração de espécies arbóreas de maior valor.

Essa realidade não era de nenhum interesse dos madeireiros e seus aliados, que ficaram furiosos com a inesperada contestação de seu modo de produção.

No sul da Bahia, essas medidas não ficaram muito tempo em vigor. Os madeireiros simplesmente se recusaram a suprir os estaleiros reais e o monopólio das melhores madeiras de lei foi rapidamente rescindido. Contra as

concepções da burocracia mercantilista, os opositores das políticas de Silva Lisboa levantaram os princípios do liberalismo.

Por estranho que possa parecer que Portugal fosse obrigado a importar madeira da Nova Inglaterra, mais estranho ainda é que o Rio de Janeiro, que em 1818 comprava a maior parte de sua madeira da distante Porto Seguro, também a comprasse dos portos africanos, norte-americanos e suecos, de onde ela chegava pela metade do preço da madeira cortada em nível local.

Não foi só ao longo do litoral que a competição por recursos florestais resultava em escassez de troncos, madeira serrada e até mesmo de lenha. Na região serrana, os mercados eram mais dispersos, o transporte mais caro e a madeira naval totalmente inacessível. Não havia restrições reais e as florestas com frequência se consumiam em chamas antes que qualquer madeira fosse retirada.

Naturalistas nascidos no Brasil podiam ser ainda mais mordazes em sua visão da destruição da floresta. O minério José Vieira Couto, outro aluno de Vandelli, descrevia o agricultor brasileiro “com um machado em uma das mãos e um tição na outra”, praticante de uma “agricultura bárbara”, como alguém que olha para duas ou mais léguas de florestas como se elas não fossem nada, e ele mal as reduziu a cinzas e já lança seu olhar ainda mais adiante para levar a destruição a outras partes; não nutre nem afeição nem amor pela terra que cultiva, tendo plena consciência de que ela provavelmente não irá durar para seus filhos.

Nesses textos, a devastação dos caboclos é ilimitada; são capazes até de derrubar uma árvore para se pouparem o trabalho de galgá-la para apanhar frutos ou desalojar uma colméia de abelhas silvestres. Sua agricultura não é considerada útil. É possível que a perda de recursos florestais fosse menor do que esses.

É lamentável que os naturalistas de formação europeia da virada do século XIX tenham deixado apenas memórias breves e pálidas de sua experiência sob o dossel da Mata Atlântica. Cheios de queixas diante das inconveniências do caminho, da incompreensão e parvoíce dos habitantes, das dificuldades de manterem secos seus espécimes coletados e suas anotações, raramente

confiavam a seus leitores suas sensações em meio ao silêncio e à melancolia dos gigantes da floresta.

A Coroa tinha intenções claras ao patrocinar a ciência natural no Brasil: ampliar suas receitas através do aumento de exportações e melhorar as defesas imperiais por meio e da manufatura local de material bélico. Fustigada pela turbulência da guerra e da revolução, não fez nenhum esforço para substituir seu governo despótico por uma Constituição ou para pôr um fim às injustiças da sociedade colonial. A escravidão foi abolida em Portugal em 1773, mas não havia nenhum movimento para eliminá-la no Brasil, agora que este havia se convertido na metrópole.

Johann Emanuel Pohl, chegando exausto certa noite a São João Del Rei, ficou grato por encontrar hospedagem com uma cama limpa e confortável, que ele considerou um sinal de civilização. Quando escancarou sua janela na manhã seguinte, contudo, deu de cara com os olhos de uma cabeça sangrenta, crivada de moscas, afixada a uma estaca fincada na praça da vila, apenas alguns metros adiante. Devia-se esse espetáculo repulsivo a um escravo que assassinava o seu senhor.

Atitudes como essa obviamente reservavam para a investigação científica um papel tutorial, quando não francamente favorável ao status quo. Baltasar da Silva Lisboa, em comparação, representava um posição mais direta honesta. Sendo um abolicionista que apoiava a extinção do tráfico escravo, observava uma conexão lógica entre essa instituição e a falta “de respeito e veneração pelos benefícios inestimáveis [da natureza]”, que levavam os brasileiros a “destruir cruel e barbaramente suas maravilhas, sem seguir e imitar sua conduta”. O brasileiro, observava Lisboa, “não era menos ingrato, injusto e destrutivo para com sua própria espécie no modo como tratava com homens que eram seus escravos”, maltratando-os “com punições que assombram a toda a natureza”.

A onda de investigação científica e os planos de utilização racional da Mata Atlântica mal haviam sido contemplados pela atenção real, quando, repentinamente, seu patrocínio foi retirado. D. João VI demorou-se no Rio de Janeiro após a retirada francesa da península ibérica em 1814, talvez porque receasse novos levantes políticos na Europa. Em 1815, declarou-se o Brasil um reino, igual a Portugal e ao minúsculo Algarves, esperando com isto

pressionar os congressos que estavam prestes a redistribuir os despojos de guerra,mas também enganando seus súbitos brasileiros de que o Rio de Janeiro continuaria a ser a sede do império.

Esses vertiginosos eventos políticos,encerrados em 1826,modificaram consideravelmente a relação dos brasileiros com o patrimônio natural que herdaram.Livres da tutela colonial,aptos a decidir os termos de suas trocas materiais e intelectuais com o resto do mundo,aptos a redefinir suas relações sociais como lhes fosse adequado,estavam finalmente livres para decidir o que fariam com o que restara da Mata Atlântica.Não era de todo surpreendente que abandonassem as tentativas de investigá-la,de racionalizar seu uso e conservá-la,optando,ao contrário,por atacá-la com redobrado vigor e entusiasmo.

Cap. 7

A Floresta Sob O Governo Brasileiro.

O novo governo, desvinculado de sua subserviência a um monarca explorador e distante, viu-se abençoado com recursos e oportunidades extraordinários. A independência fora conquistada a um custo insignificante em termos de sangue.As classes abastadas em cada capitania haviam aceitado a legitimidade do imperador e sua Constituição,retirando com isto,das massas oprimidas,a oportunidade para um levante.O território brasileiro foi assim preservado integralmente,ao contrário dos vice-reinos do império hispânico,que na mesma época mergulharam em guerras civis cruentas e aparentemente intermináveis.

Não se pode afirmar,todavia,que essa intelectualidade concebesse a nação independente como algo mais que um Estado e uma cidadania assegurados por fronteiras políticas definidas,ocupando um espaço geográfico consensual.A ideia de que poderia ser igualmente uma comunidade identificada com o mundo vivo,a partir da qual seus cidadãos retirassem perpetuamente seu sustento,era de imediato abafada,quase indiscernível.

A oportunidade propiciada pela independência,por um Estado tranqüilo e pelo espírito reformista dos tempos foi desperdiçada.O império logo foi assolado por conflitos externos tão constantes que parecia que seu destino seria o mesmo das ex-colônias espanholas.D.Pedro se envolveu na sucessão do trono português e,consequentemente,foi obrigado a renunciar ao seu.

Não é de admirar que, a princípio, da agenda dos notáveis que construíram o novo Estado constasse predominantemente, na verdade, quase exclusivamente, o engrandecimento pessoal e faccional, porque conquistar poder era pré-requisito para a realização de programas substantivos. Tampouco é de admirar que seu ressentimento para com a finada autocracia tenha se voltado contra muitas de suas políticas racionais, embora seja impressionante como muitas dessas políticas se frustravam por mera indiferença e incompreensão.

O mais importante dos interesses que desejavam promover era o tráfico escravo africano. O rei D. João VI havia sido obrigada pelos ingleses a restringir a escravidão às colônias portuguesas ao sul do equador e a condicionar seu governo à extinção final do tráfico. Julgou conveniente, em princípio, juntar-se às outras potências européias na oposição à escravatura.

É impossível calcular a extensão do impacto de um regime de trabalho agrícola escravo sobre a região de florestas do sudoeste do Brasil; identificar esse impacto, porém, não é difícil. O afluxo desse grande contingente em si mesmo requeria áreas muito mais vastas para culturas de subsistência. Esses recrutados permitiram excluir os lavradores nativos itinerantes em regime de subsistência e os pequenos produtores de safras comerciais do comércio exportador, que os fazendeiros reservavam para si mesmos.

O fato de permitir que essa forma de exploração suprimisse e distorcesse o emprego de habilidades humanas por mais 66 anos, até cessar, por fim, o fluxo de novos escravos e a última geração deles, nascida no Brasil e cada vez mais saturada com a proteção, deixar de pegar na enxada, obrigando com isto a assembléia a aceitar em 1888 o *fait accompli*, é a mais terrível reflexão sobre as classes governantes da nação.

Outro grande interesse dos fazendeiros era livrar-se de toda restrição ao seu monopólio sobre as terras públicas. O sistema de sesmarias, uma ficção legal que legitimara a usurpação do patrimônio da Coroa, mostrara-se veículo conveniente para esse fim em todo o período colonial. Durante o século XVIII, a Coroa continuara a emitir essas concessões para favorecer ricos e poderosos, com os quais se identificava e contava para povoar a vasta colônia, a produção de bens exportáveis e defender suas fronteiras.

Uma causa importante da destruição da Mata Atlântica foi que o governo não dava nenhum valor à terra que concedia tão gratuitamente. Tendo consumido toda a floresta primária mais promissora em dada sesmaria, um donatário costumava vendê-la por uma ninharia e pedia outra, que normalmente obtinha sem dificuldade.

Curiosamente, apenas a maior intensidade e escala distinguiam essas práticas da itinerância praticada pelas classes inferiores e deplorada pelos governadores e os próprios donatários, sempre ávidos de explorar uma força de trabalho estável. O resultado, segundo o relatório, era que “há na mesma capitania centenas de sesmarias há muitos anos concedidas e que não têm o menor cultivo; e os habitantes continuam sempre a pedir novas terras, sem que haja qualquer necessidade de concedê-las”

Embora incapaz de conceber alternativas para as sesmarias, a Coroa procurava, cada vez mais, impor condições restritivas para sua concessão. O decreto de 1795, provavelmente obra de Rodrigo de Souza Coutinho, exigia a demarcação de todas as sesmarias existentes e futuras.

Os proprietários não tinham o menor interesse em que o Estado fixasse os limites de suas terras e legitimasse seus direitos. Preferiam a incerteza, para melhor invadir terras públicas. Mas a incerteza levava à violência, em escala que devastava o interior e desafiava a autoridade da Coroa. O fato de que os proprietários de terra preferissem derramamento de sangue à estabilidade de títulos bem definidos garantidos pelo Estado sugere um sistema político ainda mais centrífugo que o feudalismo.

A posse dependia da violência ainda mais do que a sesmaria. O presidente do Rio de Janeiro, em 1840, confessou abertamente na assembléia de sua província que “é sabido que para estabelecer uma posse e mantê-la [...] é indispensável a força. Aquele que carece dela é obrigado a ceder a terra a outro que é mais forte ou a vendê-la a alguém que seja capaz de retê-la mediante a mesma força”.

O governo imperial nunca realizou um inventário das terras públicas. Ficava, pois, limitado a indagar dos conselhos municipais se existia alguma em sua jurisdição. Arditamente, estes sempre notificavam que todas haviam desaparecido.

A incapacidade do império de controlar as terras públicas – na verdade, sua inclinação a ser conivente com a expropriação privada sem custo algum para os expropriadores – foi uma das maiores causas do rápido desmatamento. Um cronista de Minas Gerais do século XIX reconheceu os “terríveis efeitos” dessas políticas: Os sesmeiros derrubaram e queimaram a floresta, não beneficiaram os terrenos e, quando lhes faltava espaço necessário para as plantações, abandonavam as sesmarias ou vendiam-nas por pouco mais de nada e iam requerer nova sesmaria ou apossavam-se de terreno em outro lugar.

A aplicação patriarcal da lei de herança foi um fator que estimulou a expansão explosiva da fronteira no século XIX. Alida Metcalf demonstrou que os pais habitualmente favoreciam genros e filhos mais novos na concessão de suas propriedades, na tentativa de protelar ao máximo a inevitável transferência do controle da família e seus recursos para a geração mais nova.

A terceira facilidade pleiteada pelas classes proprietárias de terra era a constante remoção dos indígenas de suas terras e seu recrutamento forçado para a força de trabalho como auxiliares, se não mesmo como escravos. Os monarcas portugueses diversas vezes haviam proibido sua escravização, e tentaram de novo de modo mais retumbante em um decreto que entrou em vigor na região da Mata Atlântica em 1758.

A chegada da corte portuguesa não levou a uma política mais humana. A declaração de guerra do regente aos botocudos, que habitavam a região serrana entre os distritos de ouro e diamante e o litoral, destinava-se a incentivar a garimpagem na região, até então interdita para a colonização a fim de coibir o contrabando.

As aldeias eram estabelecidas para receber os cativos trazidos pelas tropas, fixá-los em um lugar para que pudessem ser catequizados e ficar à disposição para trabalhar nas terras dos brancos. Essas aldeias eram confiadas não aos missionários, mas aos mesmos comandantes de armas cujos salários eram acertados pelo número de nativos que matassem ou capturassem.

Os indígenas eram capturados por cidadãos patriotas que organizavam entradas na floresta. Os aprisionados dessa maneira estavam sujeitos à escravidão pelo prazo, fixação na declaração de guerra, de dez anos; logo depois, esse prazo foi elevado para doze, depois quinze anos.

Surpreendentemente, em 1813, a corte designou para esse sinistro reduto genocida um oficial francês no exílio, que era simpático aos indígenas, Guido Thomaz Marlière. A floresta remota e ameaçadora foi a princípio apenas uma oportunidade para demonstrar sua lealdade, mas ele logo se afeiçoou a ela e ficou mesmo depois que o rei D. João regressou a Lisboa.

A partir daí, a preocupação constante de Marlière, conforme informou a seu superior em 1825, era precaver-se contra colonos brancos que procuravam usurpar terras dos nativos assediando-os com bebidas alcoólicas, soltando gado em suas clareiras e expondo-os deliberadamente à varíola.

As cartas de Marlière relatam dúzias de crimes praticados pelos próprios funcionários do governo – a compra e venda de crianças, a conivência de juízes com a grilagem de terras, o rapto de indígena para as milícias e para o trabalho nas estradas e roubo e lesões corporais cometidas por seus próprios soldados. A rede de aldeias de Marlière chegava a cerca de duas dúzias ao final de sua carreira, estendendo-se do alto Jequitinhonha até as cabeceiras do rio Pomba, uma distância de quase seiscentos quilômetros, ao longo de uma faixa de uns cem quilômetros de largura. No auge do assentamento, viviam nelas uns 10 mil coroados e botocudos.

Embora D. João viesse a entender que as rebeliões nativas eram reações aos maus-tratos e que as campanhas de pacificação envolviam “assassinatos e crueldades”, não via outra maneira de lidar com os indígenas senão intimidando-os e mesmo destruindo-os. Os partidários da independência não divisaram medidas significativamente diferentes das do regime colonial.

As prescrições que emanavam dessa análise eram inevitavelmente similares às políticas do passado. Expedições, que José Bonifácio não se envergonhava de chamar de bandeiras, inspirado nos caçadores de escravos do século XVII, deveriam ser enviadas para a floresta com intérpretes e padres, para persuadir os indígenas a se fixar em aldeias. As aldeias deveriam estar sob a supervisão não de funcionários militares, mas de missionários.

Foram estas, pois, as linhas gerais da política adotada pelo império nos anos seguintes. As bandeiras foram organizadas pelos governadores das províncias, e o ministro do império lhes aconselhava “tolerância e afabilidade”. Aos notáveis locais, eram concedidas faixas de terra, onde residiam

grupos tribais,na suposição – um tanto hipócrita – de que mostrariam aos nativos o benefício da civilização.

Em 1843,o governo imperial convidou capuchinhos italianos,já presentes no país,a assumirem a pacificação e assentamento de grupos tribais por todo o Brasil.Acima dos missionários,estava um órgão governamental,o Serviço de Catequese e Civilização,representando em cada província por um diretor.Em São Paulo e no Paraná,que foi separado de São Paulo em 1853,algumas colônias militarizadas,destinadas a resistir aos ataques nativos,foram estabelecidas nos extremos da Mata Atlântica.Destas,a última foi assentada em 1888,na foz do rio Iguaçu.

Embora a formação de aldeias prosseguisse até o final do século,em meados deste o zelo missionário das épocas anteriores,por meio do qual – como afirmou o administrador das aldeias de São Paulo em 1862 – “tantas almas foram conquistadas para a religião,tantos homens para a civilização e tantas mãos para o trabalho”,”não mais brilha[va]na Província”.As aldeias tornaram-se obsoletas,seu papel perdera valor econômico.A ação predatória dos nativos sobre o gado solto em seus antigos terrenos de caça enfurecia os fazendeiros.O potencial de mão-de-obra desses silvícolas era de reduzido interesse.Os neo-europeus sempre haviam tachado os indígenas de preguiçosos,mesmo quando os escravizavam.Estes últimos grupos sobreviventes eram de utilidade ainda menor que seus predecessores.

Por isso,tornara-se comum a prática de evitar os aborrecidos atrasos inerentes à fundação de aldeias simplesmente assassinando nativos encontrados em terra cobijada.Issso podia ser feito com menor risco agora,já que o mercado brasileiro estava adequadamente abastecido de espingardas.Em São Paulo,esses caçadores passaram a ser conhecidos como bugreiros.Os funcionários das províncias,a despeito de expirada a declaração de guerra aos botocudos,continuavam a autorizar assaltos e,de fato,a comandá-los:em uma expedição punitiva,em algum momento depois de 1838,próximo a São Mateus,no litoral do Espírito Santo,o comandante militar do distrito retornou em triunfo com trezentas orelhas.

Aqui e acolá,alguns invasores procuravam poupar os silvícolas,após o exemplo de Marlière.Em 1852,Teófilo Otoni,uma figura política visionária,caindo em desgraça na corte por haver participado da rebelião liberal de 1842,exilou-se no

vale do rio Mucuri, onde colocou em prática um plano de acesso ao mar ao norte de Minas Gerais. Organizou uma companhia de transporte hidroviário e rodoviário e, associado a ela, fundou um povoamento em um dos afluentes do Mucuri, no terreno onde hoje está a cidade que leva seu nome.

Otoni pretendia que o Mucuri ficasse livre da escravidão; por isso, introduziu imigrantes alemães, suíços, belgas e outros, colocando como requisito que trouxessem poupanças em dinheiro e prometendo, em troca, que a companhia os trataria como associados e não como proletários. Embora frequentemente Otoni fosse enganado por alguns de seus agentes de imigração na Europa, que deturpavam as vantagens que a companhia oferecia ou enviavam patifes recém-saídos da prisão, o vale do Mucuri prosperou sob esse regime liberal de igualitarismo e respeito mútuo.

Esse assentamento idílico sofreu, então, vicissitudes fatais. Eclodiram conflitos entre indígenas e neo-europeus que continuaram até 1873, quando padres capuchinhos fundaram uma aldeia, chamada Itambacuri, cerca de quarenta quilômetros ao sul de Filadélfia. Ao contrário dos jesuítas, os capuchinhos, desde o início, misturaram neo-europeus entre os nativos, encorajando o casamento interétnico. Os colonos, que desejavam se livrar dos capuchinhos, incitaram os indígenas a acreditarem que os missionários os estavam envenenando. Os índios se sublevaram em 1893, destruíram a missão e voltaram para a floresta.

Em São Paulo e Paraná, apenas seis aldeias foram fundadas após a independência, mais por iniciativa de particulares. A mais duradoura foi a de João da Silva Machado, barão de Antonina, que em 1845 assentou em sua fazenda, na atual Itaporanga, estado de São Paulo, centenas de caingangues, cujas terras haviam sido roubadas, a que se juntaram diversos guaranis.

No final do século , portanto, quase todos os ocupantes originais da Mata Atlântica tinham sido afastados ou expulsos. Residência permanente nas aldeias era o sinal mais seguro de que a conversão se efetudara. Embora os jesuítas não dessem a seus pupilos permissão para partirem, os capuchinhos ficaram satisfeitos em trazê-los gradualmente volta.

O desaparecimento de povos nativos da Mata Atlântica, íntimos da floresta e empiricamente familiarizados com suas utilidades, não consternava os neo-europeus. Os nativos tinham sido

“ingratos,inconstantes,desleais,invejosos”,segundo Antônio de Souza,um observador brasileiro sem papas na língua,como outros do século XIX,que escreveu um livro de memórias de suas viagens pelo interior.

De fato, admitia ele, seu presente estado de “constante miséria” devia-se à circunstância “de que tiramos deles uma grande parte de suas terras e florestas”, reduzindo seu suprimento de caça e outros recursos. Em compensação,queixava-se de que os vizinhos dos indígenas haviam adquirido seus hábitos deploráveis,em particular a “preguiça”,que era generalizada no Brasil.

A quarta questão importante para os interesses dos proprietários de terra era livrar-se da legislação florestal imposta desde o início da colonização. As proibições reais do corte de pau-brasil e de madeiras de lei adequadas à construção naval negavam,em princípio,os direitos de domínio pleno da propriedade da terra,mesmo que essas proibições recaíssem sobre áreas onde eram de aplicação quase impossível e fossem fáceis de burlar.O império dotado de Constituição preservou esses monopólios por certo tempo.Os interesses econômicos locais,já agressivos antes de a corte portuguesa deixar o Rio de Janeiro,abrigaram-se sob o novo regime para destruí-los.

O governo imperial deteve ainda por algum tempo o monopólio de compra e exportação do pau-brasil.A madeira corante representava uma fonte modesta mas valiosa de divisas que eram aplicadas na dívida externa e no custeio do inexperiente serviço diplomático.Infelizmente,era um produto sempre fácil demais de contrabandear a partir de dezenas de pequenos portos ao longo da floresta litorânea.

Enquanto isso,no interior,o extrativismo propiciava um meio de troca entre os indígenas que continuavam na Mata Atlântica,fugindo ao sedentarismo e à sujeição,e os agentes comerciais das vilas e portos.É repugnante listar,como um dos produtos extrativos,seres humanos,embora assim fosse,como havia sido desde as bandeiras do século XVI.Os botocudos capturavam as crianças de tribos rivais para vendê-las como curucas aos neo-europeus,ao que parece a prelos consideravelmente abaixo de seu valor de revenda.

As exportações de ipecacuanha cresceram em volume de cerca de quatro toneladas por ano, no início do século, para cerca de 25 toneladas no final dos anos de 1860. Nesta época,contudo,caboclos do Rio de Janeiro,onde

arvoredos nativos da planta já haviam desaparecido,deslocaram-se para Minas Gerais,obviamente atraídos tanto pelo extrativismo vegetal quanto pela esperança de descobrir ouro longo das trilhas da floresta.Infelizmente para a floresta,abriram estradas que estimularam o afluxo de migração bem maior de lavradores itinerantes.

Indígenas e caboclos eram caçadores perseverantes. O naturalista alemão Georg Freyreiss relatou que muitos povos caçavam,passando dias na floresta.Procuravam presas para o comércio e também para subsistência:peles de animais,pássaros vivo,peixes,macacos,flores,penas de pássaros,borboletas e outros insetos.Muniz de Souza esbravejava contra os caçadores,a quem chamava “a primeira classe dos vadios”,mas uma pele de onça valia seis mil réis,o equivalente ao preço de um boi.

Um dos primeiros entusiasmos que arrebataram os burgueses europeus foi a coleção de flores tropicais. Fascinados pelas memórias de viagem de cientistas como Humboldt,Von Martius e La Condamine,eram ávidos expositores de troféus inanimados do mundo natural – objetos como fósseis,pedras,pássaros empalhados e cristais.A região Planaltina da Mata Atlântica,com seus invernos frios e chuvas sazonais intermitentes,era uma fonte excelente desses tesouros,porque suas espécies resistiriam a sistemas de aquecimento domiciliar incertos e inadequados da Europa setentrional e aos hábitos erráticos de rega de jardineiros novatos.

Essas incursões no interior da Mata Atlântica,fazendo dela um almoxarifado para os moradores das cidades da costa,e mesmo para os urbanoides sofisticados do mundo que se industrializava,sugerem uma homeostase salutar,uma floresta primária convertida em “reserva extrativa”,um conceito recentemente transformado em lei na Amazônia.

A realidade era a rápida invasão do comércio coletor pelos caboclos, que consideravam os indígenas apenas como um obstáculo ao acesso direto aos recursos da floresta e que tinham apenas aprendido muito bem a lição de que a maximização imediata dos lucros era alcançada mediante a minimização dos insumos de mão-de-obra e supressão de qualquer respeito que podiam eventualmente sentir pela floresta que os alimentava. A epífitas desejadas pelos agentes comerciais ingleses,belgas,franceses e alemães se aninhavam nos galhos das árvores mais altas da Mata Atlântica.Eventualmente,todas as

orquídeas de uma dada localidade podiam ser removidas. Uma localidade, abandonada pelos garimpeiros de ouro anos antes, refloresceu na metade do século pela chegada de um agente comercial estrangeiro que comprava orquídeas até por dois mil réis a unidade. Moradores locais entravam alegremente na floresta com seus machados, abatendo árvores até que as orquídeas se tornaram tão raras que não valiam mais o tempo do agente; então, segundo o botânico Álvaro da Silveira, que relatou este caso, o “explorador dos caboclos” abandonou os “exploradores da floresta” e a localidade voltou a afundar na apatia.

Para os colecionadores europeus, mais importante que a beleza, fragilidade e exotismo era a raridade das epífitas. A raridade, em termos grosseiros, elevava o seu preço.

De longe, o mais valioso dos produtos extrativos da Mata Atlântica era sua madeira de lei. Equipamentos de serraria tornaram-se comuns em 1820; em 1838, havia 53 serrarias em São Paulo. Nos anos de 1850, a siderúrgica de Monlevade, em Minas Gerais, estava fabricando lâminas para serrarias. Havia surgido uma modesta demanda externa de madeiras de lei, vendidas sob os nomes genéricos de jacarandá, pau-brasil ou palissandra e utilizadas em marcenaria fina.

A derrubada comercial de madeiras de lei era realizada em vales dos rios abaixo das corredeiras; na região da Mata Atlântica, essa era uma área muito limitada, devido à barreira dos penhascos costeiros. Grande parte das madeiras de lei era mais pesada que a água e, então, tinham de ser transportadas em balsas junto com madeiras mais leves para trazê-las ao porto.

Não é de admirar, portanto, que grupos tribais que haviam sido assentados em aldeias fossem capazes de se integrar no comércio como lenhadores. Inteiramente familiarizados com o terreno, eram especializados no reconhecimento das espécies de árvore e estavam dispostos a trabalhar em tarefas ocasionais e sem supervisão.

Nas terras altas, que não dispunham senão de transporte de mula, a madeira de lei tinha pouco valor para os proprietários de terra, afóra suas necessidades imediatas. Quando uma faixa de floresta tinha de ser queimada, suas árvores raramente eram tiradas de antemão. Tal material útil poderia ter sido armazenado para necessidades futuras, mas, ao que parece, armazenar era uma

prática ainda mais rara, sugerindo que a imprevidência seria mais justamente atribuída aos neo-europeus.

Espantosamente, o Rio de Janeiro importava mogno da Jamaica, pagando consideravelmente mais caro por ele que pelas madeiras nobres locais. Saldanha da Gama espantou-se de ver o jacarandá sendo utilizado na Europa para o mais refinado trabalho de marcenaria.

O Brasil independente, liberado da opressão mercantilista, não mais um peão movido por uma monarquia portuguesa avara para defender seu jogo no tabuleiro de xadrez europeu, decidira adotar políticas autônomas que lhe permitissem prosperar acelerando a exploração de seus recursos naturais, intensificando, em suma, a economia extrativista colonial, mas agora em uma era de livre comércio e agricultura racionalizada. A Mata Atlântica era um ativo fundamental e a maneira de administrá-lo não diferiria da dos tempos passados.

Tais eram, frequentemente, os argumentos em favor de estabilizar o curso da economia brasileira. No entanto, Moraes Navarro se perguntava, “poderão eles alcançar todas essas vantagens sem se privarem de muitas outras, que mediante seu erro estão perdendo, e que seus descendentes não serão capazes, mesmo que o queiram, de reparar?”. Essa pergunta foi ignorada depois da independência política. O Estado transferiu para os grandes proprietários de terra, e para os que tinham recursos para virem a sê-lo, o direito de converter a floresta em dinheiro o mais depressa possível. A Mata Atlântica passaria por uma nova provação quando seus proprietários de terra se desviassem para uma forma nova e drástica de produção. Abandonando em grande parte a busca de pedras e metais preciosos, tornaram-se novamente agricultores, adotando uma cultura exótica de enorme potencial econômico.

Cap. 8

O Café Desaloja A Floresta.

As políticas sociais exigidas pelos grandes proprietários de terra do Brasil independente e imperial garantiam-lhes uma força de trabalho e os credenciavam a qualquer porção de terra pública que quisessem chamar de sua. Essas políticas não podiam garantir, no entanto, que o emprego dos recursos assim assegurados gerassem capital; na verdade, esse monopólio autoritário em grande parte frustraria sua utilização eficiente. No interior, havia

vastas posses, habitadas por esfomeados e controlada por sátrapas cuja reserva de capital consistia em bois e porcos e cujas habitações, vestuário e conhecimento do mundo eram praticamente indiscerníveis dos de seus camponeses e escravos.

A independência havia melhorado as condições nas tais transferências eram possíveis, porque banira o jugo do mercantilismo, já retraído quando a corte se transferira para o Brasil. De fato, o governo britânico obrigara o império a adotar uma política de livre comércio em troca do reconhecimento. Embora esse tratado caducasse em 1845 e tarifas mais elevadas fossem então progressivamente impostas, a avidez do governo em estimular as exportações jamais esmoreceu. O governo imperial desejava ampliar o comércio porque praticamente toda a sua receita derivava de taxas de importação.

Infelizmente para a classe proprietária e o Estado, a mais cobiçada das exportações, ouro e diamantes, na qual o Brasil tinha longa experiência, não podia restabelecer sua proeminência. As jazidas remanescentes, muito exploradas durante a estada do rei no Rio de Janeiro, não davam base a grandes esperanças, pelo menos não nos termos da tecnologia em vigor. O barão Von Eschwege, o mais ativo especialista contratado para ressuscitar o setor, previa a necessidade de métodos de uso mais intensivo de capital.

Os capitalistas ingleses logo ocuparam esta lacuna e constituíram uma série de companhias de mineração de ouro. A maioria delas faliu, mas duas foram bem-sucedidas, aplicando as técnicas de poço fundo dos mineiros de Cornwall aos poucos veios importantes que haviam sido localizados, em Gongo Soco, próximo de Caeté, e em Morro Velho, perto da atual Belo Horizonte. Juntas, essas operações somavam menos de um décimo daquilo que se obteve durante o pico da corrida do ouro na metade do século XVIII. Muitas vilas mineradoras entraram em decadência e seus moradores vagavam pela floresta para reassumir a lavoura da derrubada e queimada, ainda que com um olho sem dúvida voltado para os riachos promissores.

Os proprietários de terra ou o governo tampouco se mostravam capazes de avançar na aclimatação e desenvolvimento das culturas tropicais que tanta atenção mereceram dos botânicos brasileiros e portugueses. O Jardim Botânico do Rio de Janeiro e o museu de história natural rapidamente foram relegados ao quase abandono. Observadores estrangeiros

notavam, consternados, que de um parque público no qual não se desenvolvia mais trabalho botânico algum.

O experimento mais inovador e conduzido com mais determinação, que se iniciou no Jardim Botânico no governo do último rei português, foi a tentativa de aclimatar o chá. Os plantadores chineses de chá, trazidos de Macau em 1814 para cultivar as plantas e ensinar métodos de beneficiamento das folhas, continuaram a trabalhar assiduamente no Jardim Botânico. Permaneceram trabalhando no Jardim Botânico pelo menos por dez anos, alheios e solitários, sob a suspeita do diretor do Jardim, Leandro do Sacramento, de estarem deliberadamente ocultando as técnicas de beneficiamento. Darwin ficou surpreso e desapontado ao descobrir que o chá, que ele viu no Jardim Botânico em 1832, sistematicamente plantado em fileiras retas, era um “arbustozinho insignificante”. Achou que a infusão preparada com as folhas verdes, que gentilmente lhe fora servida por um dos jardineiros, “mal possuía o aroma próprio ao chá”.

Sacramento parece ter desistido de tentar extrair dos chineses os “segredos” do beneficiamento do chá, antes mesmo de se aposentar da diretoria do Jardim Botânico. As plantas, contudo, interessaram pelo menos alguns proprietários de terra. Ela crescia prodigiosamente até em solos inapropriados. A província de São Paulo importou um segundo grupo de chineses supostamente qualificados no cultivo e uma série de fazendeiros importantes decidiu plantar o chá, inclusive José Arouche de Toledo Rondon, que escreveu um ensaio sobre seu cultivo e preparação. Também houve plantios experimentais no Jardim Botânico de Ouro Preto e de Santa Tereza, no Rio de Janeiro. Infelizmente, amostras de chá enviadas à Inglaterra em 1837 não foram recebidas favoravelmente. O horticultor belga Jean-Christian Heusser considerou falhos os métodos de beneficiamento e propôs melhorias muito simples. Tais medidas, no entanto, não foram adotados. O Brasil foi obrigado a importar a maior parte do seu chá, e apenas um século depois os colonos japoneses imigrantes foram capazes de abastecer o mercado interno.

É possível que as dificuldades experimentadas na introdução de novos produtos no mercado decorresse em parte de preferências imperiais não reconhecidas. É evidente que a Companhia Britânica das Índias Orientais, uma empresa ainda monopolista, desejou manter seu controle do mercado, com base

em sua fonte chinesa. Era visível a rivalidade econômica na reação dos franceses diante das notícias de que o Brasil estava cultivando chá. Em 1838, o botânico D.M. Guillemain foi enviado ao Rio de Janeiro para inspecionar esses esforços e para levar sementes para a França, de onde poderiam ser implantadas em suas próprias colônias.

A região da Mata Atlântica experimentou por certo tempo o renascimento da exportação de sua cultura mais tradicional e menos aprimorada, a cana-de-açúcar do Rio de Janeiro haviam entrado em declínio no início do século XVIII com a descoberta do ouro, o que aumentou o custo da reposição de sua força de trabalho escrava. O açúcar brasileiro perdera mercados da Europa setentrional quando os holandeses, franceses e ingleses estabeleceram plantações em suas colônias insulares no final do século XVII.

A cana-de-açúcar era cultivada em quase todo povoado neo-europeu na região da Mata Atlântica porque o mascavo – açúcar não refinado, saturado de melado – era um gênero básico e porque a garapa era a matéria-prima para a destilação da aguardente. Centenas, talvez milhares, de pequenos engenhos primitivos atendiam a uma demanda interna consideravelmente maior que a do mercado ultramarino.

A maior parte do açúcar, e praticamente todo o açúcar, para exportação, era produzida em usinas movidas a boi ou água – engenhos – que unificavam a moagem e a cristalização. As usinas menores eram designadas, de forma pejorativa, engenhocas, às vezes operadas manualmente. Em geral, o seu produto era cachaça e não açúcar. A cachaça das engenhocas, destilada diretamente da garapa, era considerada superior à dos engenhos, destilada do licor que sobrava do beneficiamento.

A política do governo colonial em relação à produção de açúcar e álcool, a partir de 1681, tinha sido aparentemente conservacionista: nenhuma usina de açúcar podia ser construída a menos de meia légua (3,3 quilômetros) de outra, considerando que as reservas florestais de cada usina tinham de ser grandes o bastante para garantir a lenha necessária aos processos de fervura e cristalização. Objetava-se, provavelmente com justiça, que essas medidas eram meros pretextos para manter os privilégios dos proprietários das usinas existentes e relegar os pequenos produtores de cana a uma situação de dependência. As medidas eram também uma oportunidade para extorsões

informais por parte dos funcionários da Coroa: é patente, por exemplo, que o governador do Espírito Santo tirou partido do decreto de 1802 para favorecer seus interesses particulares.

O status especial, e contraditório, desses produtores de açúcar que eram donos de engenhos fica evidente no epíteto que sempre os acompanhou: senhores de engenho. Imagine-se um dispositivo tão complexo quanto um engenho como o domínio de um senhor – um título que tinha tudo a ver com status social e nada a ver com engenhosidade ou empreendimento. O decreto de Pombal, de 1758, isentando os fazendeiros de açúcar do Rio de Janeiro de processos por dívida, resumia e legitimava o privilégio feudal de uma elite colonial imersa em um regime que, quanto ao resto, era implacavelmente mercantilista.

A ressurreição do açúcar ao final do século XVIII incentivou certos proprietários de terra a instalar algumas das melhorias que havia muito eram comuns no Caribe. A transição para técnicas mais eficientes de moagem foi, contudo, muito gradual. Embora a mudança dos cilindros da posição vertical para a horizontal e a adição de um terceiro cilindro tivessem sido introduzidas pelos menos um século e meio antes, essas alterações não tinham sido generalizadas. O primeiro engenho com cilindros movidos a vapor foi construído em 1816. Daí em diante, a conversão prosseguiu e, pelo menos na região de Campos, os engenhos movidos a vapor eram comuns em meados de 1850. O “trem jamaicano” – a disposição ordenada de tanques de fervura graduados por tamanho, mais econômicos em combustível.

Melhorias na moagem não implicaram melhorias no plantio. A cana taitiana, trazida triunfalmente de Caiena, foi rejeitada pela maioria dos fazendeiros. Embora essa variedade fosse de crescimento mais rápido, mais resistente aos ventos e de rendimento maior, seus talos eram mais finos e muito difíceis de moer com cilindros de madeira ou de madeira chapeada com ferro.

Por fim, após vinte ou trinta anos, o fazendeiro perderia o interesse, declararia sua terra “cansada” e faria a solicitação de outra sesmaria. O cultivo do açúcar espalhou-se, assim, para além da planície de Campos, rumo ao norte e interior do sul do Espírito Santo e rumo a oeste e interior do piemonte florestado; no planalto paulista, mais para o interior, depois de Campinas.

As exportações brasileiras de açúcar podem ter chegado em média a 16 mil toneladas por ano durante todo o século XVIII, aumentando talvez para 30 mil

toneladas em 1850. Isso sugere a produção para exportação de cerca de 2,6 milhões de toneladas por um período de 150 anos. Qual o tamanho da área da Mata Atlântica que tinha de ser derrubada para produzir 2,6 milhões de toneladas de açúcar? O coeficiente extrativo provavelmente não era melhor, em média, que 3,5%, ou 74 milhões de toneladas de cana.

A cana-de-açúcar também consumia a floresta na forma de combustível para os tanques de fervura. Havia muita preocupação, principalmente no Nordeste, com a enorme demanda dos engenhos por lenha. As exigências de combustível foram muito reduzidas pela implantação do trem jamaicano, de cerca de quinze para cinco quilos de lenha por quilo de açúcar.

Os cálculos sugerem que o plantio de cana-de-açúcar até 1850 não destruiu tanto a floresta a ponto de ser abandonado em qualquer área grande, mesmo levando em conta sua grande extensão. Existem, no entanto, alguns registros de abandono de plantações devido à exaustão de lenha; casos isolados, provavelmente.

As planícies gramadas de Campos eram excepcionais. Ali, a falta de floresta nativa pode ter representado uma limitação real para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar. A lenha era mandada de São Fidélis, pelo rio Paraíba, e de mais longe, provavelmente descendo o rio Muriaé, em cuja margem, a uns oitenta quilômetros de Campos, existe ainda um local chamado Porto Madeira. Em 1844, um canal de cerca de cem quilômetros foi aberto até Macaé, em parte para trazer lenha para os engenhos.

O plantio da cana exigia outros produtos da floresta, em quantidade menor, mas não insignificante. A madeira era queimada para produzir cinzas para purificar o açúcar cristal. O açúcar continuava a ser embalado em caixas e certas árvores eram preferidas para tal fim porque não lhe conferiam cor ou sabor. Entre elas, estavam o jequitibá e a tapinhoã, supostamente reservada para uso da armada. A cachaça era colocada em barris, preferivelmente de canela (*Ocotea* spp.). Todas eram árvores da floresta primária.

Os produtores brasileiros enfrentavam um mercado internacional de açúcar que lhes foi favorável apenas por pouco tempo. Surgiram muitos concorrentes, entre eles os produtores europeus de beterraba, após as crises de revolução e guerra que haviam propiciado ao Brasil a oportunidade inicial. Em consequência, o

cultivo da cana-de-açúcar no sudeste da Mata Atlântica nos anos de 1850 entrou em declínio.

A área montanhosa, acima da cidade imperial do Rio de Janeiro, havia escapado ao plantio comercial da cana-de-açúcar, porque possuía apenas faixas isoladas de terras de aluvião adequadas à cultura. Mas outro produto tropical de *plantation*, que acenava para os proprietários de terra nesta zona problemática e ainda densamente florestada com a perspectiva de ganhos muito maiores, estava atraindo sua atenção. Essa cultura nova, o café, tornar-se-ia, nas primeiras décadas do império, a base da economia exportadora do Rio de Janeiro. O café, ou *Coffea arábica*, uma pequena árvore da família das rubiáceas, nativa do sub-bosque da floresta do sudoeste do planalto da Etiópia, gerava as sementes carregadas de cafeína tão apreciadas pelos moradores urbanos da Europa. Seu oportuno surgimento resolveria de modo brilhante a busca de um produto que o novo império poderia trocar pelas manufaturas e luxos da Europa.

A chegada do café à região do Rio de Janeiro é obscura. Séculos antes, a planta havia sido transferida da Etiópia para o Iêmen, onde passou a ser cultivada comercialmente. Todo o café, posteriormente introduzido no Sul e Sudeste da Ásia e no Novo Mundo, derivou de duas variedades do Iêmen, atualmente conhecidas como “típica” e “Bourbon”. Sementes da variedade típica podem ter chegado ao Brasil no final dos anos de 1600, talvez via Índia, mas o produto não era então exportado.

Com a formação da Academia Fluminense em 1772, Johan Hopman, um holandês exilado que mantinha um horto, começou a distribuir as sementes dessas árvores e instruções sobre seu cultivo. Os primeiros que as receberam podem ter sido dois padres que possuíam fazendas nos subúrbios. Em 1779, quando o vice-rei Lavradio entregou seu cargo, o café ainda era tão insignificante que ele o desconsiderou em seu relatório final, muito embora mencionasse diversas outras culturas até menores.

O café passou a ser o produto das grandes fazendas doadas em sesmarias, enquanto a corte portuguesa residia no Rio de Janeiro. Na verdade, o café foi a salvação da aristocracia colonial. Foi também a salvação da corte imperial cambaleante, que, assediada por rebeliões regionais e duramente pressionada a pagar pelas burocracias civil e militar necessárias para consolar o Estado, foi

resgatada pelas receitas do café que afluíam para a alfândega do Rio de Janeiro. Na época, esse comércio foi totalmente fortuito para o império. O império, portanto, mimou os fazendeiros do Rio de Janeiro: eles eram seu grupo de interesses primordial e seu esteio financeiro.

Por outro lado, as exigências ecológicas dessa planta etíope colocavam os limites físicos para a reprodução do sistema de plantation e, portanto, para a estabilidade do império. A planta encontrou na província do Rio de Janeiro um ambiente adequado, se não ideal, para o seu cultivo.

O café é mesial, isto é, exige solos que não sejam nem encharcados nem secos. Nas áreas altas do Rio de Janeiro, os fundos dos vales eram fracamente drenados e, dessa forma, o plantio tinha de ser em encostas íngremes e desencorajantes – os “mares de morros” ou “meias-laranja” da paisagem física regional. A mata atlântica se estabilizaria, nessas áreas, ao longo de milhares de anos de incipiente intervenção humana, um solo raso mas moderadamente fértil e um tanto ácido. Este material e a biomassa da própria floresta podiam, por certo tempo, suprir nutrientes essenciais.

Era precisamente este o perigo para a Mata Atlântica: acreditava-se que o café tinha de ser plantado em solo coberto por floresta “virgem”. O capital e o trabalho eram escassos demais para gastar no plantio em solos menos férteis. O café é uma planta perene – leva quatro anos para atingir a maturidade e pode permanecer produtiva por trinta anos – e assim se podia imaginar que, uma vez implantado, representaria um regime agrícola de perspectivas estáveis e conservadoras.

Os fazendeiros não prezavam nem produtividade nem qualidade, apenas a economia de trabalho e capital e, não por acaso, seu próprio esforço administrativo. Esta estratégia, se assim pode ser chamada, gerava um produto de qualidade apenas medíocre. Francisco Peixoto Lacerda Werneck, um dos mais importantes da primeira geração de plantadores de café do Rio de Janeiro, um homem que sem dúvida conhecia bem seus vizinhos e partilhava da maioria de seus preconceitos, não estaria expressando nada além de suas aspirações comuns ao parafraseá-los assim: “O que eu quero é muito [café]; dá um preço mais baixo..., mas eu tenho o mesmo lucro líquido, muito embora eu não tenha o mesmo trabalho.” Felizmente, os norte-americanos eram menos exigentes que os europeus. À medida que a população e a economia dos

Estados Unidos explodiam mais e mais seus consumidores podiam dar-se ao luxo desse hábito e o império brasileiro ficava cada vez mais atado a esse único mercado.

Uma patrulha de reconhecimento foi encarregada de localizar espécies consideradas como “padrões” indicadores dos melhores locais para cafezais. O manual dos agricultores, de Lacerda Werneck, com base em sua própria experiência, apresenta reflexões sobre as práticas dos fazendeiros mais representativos e aparentemente foi o mais lido, recebendo duas outras edições após a sua primeira publicação, em 1847.

Em outros lugares e climas, o café era cultivado na sombra, uma prática que imita seu habitat original e que parece melhorar sua qualidade. No Brasil, em vez de preservar parte do dossel nativo, a floresta inteira era destruída na preparação para o plantio – salvo, aqui e acolá, um pau-d’alho. Essas árvores eram poupadas, porque eram consideradas o mais seguro de todos os padrões e, pois, exibidas para um comprador potencial da fazenda como prova da produtividade de seus cafezais.

Nos meses frios de maio, junho e julho, turmas de lenhadores itinerantes eram contratados para executar a tarefa da derrubada segundo um sistema chamado “picarias”. Trabalhando de baixo para cima a partir da base da montanha, brandiam os machados sucessivamente contra cada árvore, talhando até que o tronco, ainda inteiro, gemesse com a iminência de sua queda.

Alguns desses troncos assim derrubados eram retalhados para fazer carvão para o mercado da cidade ou eram arrastados ou cortados no local, a serrote de dois cabos, como material de construção. As posturas municipais normalmente exigiam que os troncos derrubados em estradas ou cursos d’água fossem removidos. Era fundamental uma queimada de intensidade adequada: que não chamuscasse a camada de húmus, mas que não fosse tão superficial que não produzisse cinzas suficientes para neutralizar o solo ou que deixasse ilesos os insetos residentes. A vegetação ressecada saltava em labaredas com um rugido e o espocar das varas de bambu, segundo um observador, soava como disparos de espingarda e os troncos rachavam como artilharia.

As posturas locais exigiam também que, antes de atear fogo, fossem abertos aceiros e alertados os vizinhos. É improvável que, no caso de floresta primária afastada de vilas, tais barreiras, teriam custado um considerável trabalho

adicional, fossem regularmente adotadas, especialmente se o campo não confrontasse com a terra do vizinho.

A destruição da floresta era lamentada apenas momentaneamente por parte daqueles que a assistiam; depressa seus sentimentos eram seguidos por outros – pragmáticos, ou estranhamente pirófilos.

Os incêndios de muitas clareiras elevavam imensas nuvens cinzentas de fumaça. O vale do Paraíba deve ter parecido infernal ao final das estações secas, com centenas de fogos se espalhando por todos os lados. Na metade do século, à medida que se acelerava a derrubada da Mata Atlântica para o café, uma nuvem amarelada pairava sobre a província durante esses meses, obscurecendo o sol de dia e apagando as estrelas à noite. “Tamanha era a quantidade de fumaça que durante os dias, e mesmo meses, o sol fica quase totalmente oculto ou, se o vemos, ele é vermelho, quase como se o enxergássemos através de vidro enegrecido”. Curiosamente, havia gente que na cidade não admitia que as queimadas fossem a causa e chegou-se a debater formalmente, na culta sociedade Velloziana, por que o Rio de Janeiro experimentava essa assim chamada “névoa seca anual”.

O terreno assim preparado pela mão purificadora do homem assemelhava-se um pouco a um moderno campo de batalha, enegrecido, fumegante e desolado. Muitas árvores tombadas tinham sido apenas parcialmente incineradas; eram deixadas a apodrecer com seus tocos ainda enraizados e os troncos caídos ao longo da linha da encosta.

Os cafeicultores, na pressa de instalar seus cafezais o mais rápido possível, não os dividiam em blocos. Isso teria sido uma perda de tempo, porque não se preocupavam em experimentar sementes de procedências, técnicas de plantio ou cultivo diferentes, ou mesmo manter registros de custos e rendimentos por cafezal.

A densidade normal de plantio era de 800 a 900 plantas por hectare. Era extraordinariamente baixa, considerando-se a prática moderna de três mil a cinco mil. A baixa densidade permitia que as árvores crescessem em largura e altura. Dificultando a colheita, facilitando a invasão de capim. O pior de tudo é que isso reduzia o rendimento por hectare. Se o plantio denso tivesse sido a regra, a derrubada da floresta teria sido em grande parte reduzida em sua extensão.

O cultivo não era realizado mediante princípios de conservação do recurso. O capim começava a surgir nos solos florestais recém expostos dos cafezais novos só quando as plantas chegavam a maturidade, com três ou quatro anos. As técnicas usuais de colheita e beneficiamento reduziam a produção e a qualidade. Dividiam-se cotas aos escravos no campo e estes então pelavam indiscriminadamente os galhos com frutos verdes, maduros e passados. Os métodos de secagem, descasque e peneiragem dos grãos tiveram de ser decifrados nos anos que se seguiram à introdução do café, um processo predominantemente empírico que adaptava implementos simples utilizados no descasque do arroz, moagem do milho e trituração da cana.

Os proprietários das fazendas não dispunham dos recursos para colocar de imediato todas as suas propriedades na produção de café e, assim, o vale do Paraíba se tornou uma colcha de retalhos de cafezais e floresta primária à medida que, em primeiro lugar, as encostas voltadas para o norte e, depois, os locais menos favoráveis, eram queimados e plantados.

O café chegou um pouco mais tarde ao Espírito Santo, onde as condições do solo e crescimento eram menos favoráveis. Assim, o cultivo de café espalhou-se de modo extensivo e uma parcela considerável da região montanhosa da Mata Atlântica foi transformada em um mar encapelado de pés de café.

O primeiro século do cultivo comercial do café na região da Mata Atlântica foi também o último da escravidão. Durante esse período, o Brasil produziu cerca de 10 milhões de toneladas de café, quase todas passando pelos portos do Rio de Janeiro e Santos. Supondo-se que setecentos quilos fossem o rendimento médio por hectare, e supondo-se que o cafezal médio fosse economicamente produtivo durante vinte anos, então foi necessário desmatar para esse fim 7200 Km² de floresta primária, o equivalente a trezentos milhões de toneladas de biomassa florestal consumida em fumaça.

Na época do colapso da escravidão, as terras consideradas adequadas para o cultivo de café estavam quase exauridas no Rio de Janeiro. O quanto seriam biologicamente únicas essas zonas da Mata Atlântica? Infelizmente, não se trata de uma questão que possa ser objeto de investigação retrospectiva, embora seja historicamente verificável que poucas de suas espécies foram coletadas antes de virarem fumaça.

Às vezes, afirma-se que a exploração mais radical de um recurso natural é a mais rápida, acompanhada pelo menor dispêndio de trabalho ou capital para que o recurso possa ser transformado o mais rapidamente possível em mais capital, uma herança maior que o recurso intocado a ser transmitido para a prosperidade.

A maioria dos recursos obtidos através da venda do café não foi acumulada ou formada como capital para equipar a energia de uma geração futura, mas gasta em bens na época apreciados como luxos, exclusivamente importados para consumo das famílias que possuíam as propriedades e os trabalhadores. As características da sociedade pós-colonial – sua avidez pelo lucro imediato, concentração de riqueza, fixação na vigilância e no controle, empirismo extremo e total desrespeito por aquilo que apenas cem anos depois uns poucos iluminados lembrariam como riqueza natural inestimável – evocam o quanto é fútil levantar agora tais objeções quando o feito está consumado e nenhum traço da floresta restou sobre os morros secos e amarelados do vale do Paraíba.

A floresta primária sobrevivente, na região da Mata Atlântica ou em qualquer lugar do Brasil – ou, de fato, no resto do mundo tropical -, onde alguma parte dela encontre solos adequados para se disseminar, continua a ser um enorme tentação para qualquer um que, mediante um ganho, se disponha a administrar à espécie humana sua dose diária de cafeína.

Cap.9

Instrumento da devastação

A queimada da floresta para plantar cafezais foi a principal causa, mas não a única, do desflorestamento no século XIX. O comércio do café induziu o crescimento demográfico, a urbanização, a industrialização e a implantação de ferrovias. Consequências indiretas da prosperidade febril baseada numa única mercadoria de exportação, exerceram pressões sobre uma área mais ampla da Mata Atlântica, dando início ao que agora pode ser considerado como danos irreversíveis a paisagem antropomorfizadas.

A população humana da região sudeste da Mata Atlântica multiplicou-se de modo invulgar no século XIX. Contando cerca de um milhão de pessoas em 1808, atingiu 6,4 milhões em 1890.

O comércio do café e de outros produtos de exportação finalmente tornava econômica instalação de meios de transporte mais eficazes que as tropas de mulas. Com a melhoria, a pressão sobre domínios antes inacessíveis da floresta também ficaria maior.

A taxa de crescimento demográfico no sudeste durante o século XIX, superou a do século XVIII, tão rico em ouro e diamantes. Isso em parte foi resultado de um afluxo maior de escravos. A ameaça britânica convertia o tráfico em especulação ainda mais febril e lucrativa.

Considerando as elevadas taxas de mortalidade imputadas no século XIX, principalmente às populações escravas, esse extraordinário e contínuo aumento demográfico deve ser atribuído, principalmente, aos úteros das mulheres brasileiras, que heroicamente sobrepujavam o ritmo da morte por malária, tuberculose, enterite, esquistossomose, doenças de Chagas, picadas de cobra, tiroteios e milhares de outros males e perigos.

Essa população ampliada ainda era distribuída de maneira muito irregular. Continuava a existir uma fronteira de assentamento, além da qual os povos tribais sobreviviam em pequenos bandos e ao longo da qual apenas uma escassa população de pioneiros – fugitivos da escravidão, da servidão ou da justiça – e colonos mestiços se dispersava pela margem da floresta.

Embora a fronteira continuasse a se expandir, as populações no domínio neo-europeu tornavam-se nitidamente concentradas: a província do Rio de Janeiro, que estava mais ou menos regularmente assentada em 1890, continha então 32 pessoas por quilometro quadrado. Como poderia a agricultura itinerante alimentar uma população tão densa, da qual uma parte crescente consistia de moradores urbanos e trabalhadores das plantações que não cultivavam seu próprio alimento? A produtividade por unidade de terra desmatada a partir da floresta primária era extraordinariamente modestos.

A agricultura itinerante tradicional produzia excedentes de mercado que não só eram reduzidos como também incertos. As perdas de safras em cultivo devidas às formigas cortadeiras muitas vezes eram superadas pelas depredações de diversos mamíferos – tatus, cutias e caititus – e por pássaros que se alimentam de sementes e frutos – entre eles, maitacas, pássaros pretos, periquitos e papagaios.

Quando as chuvas não vinham logo após a estação da queimada, as cinzas simplesmente se dispersavam e seus nutrientes não se incorporavam ao solo. O plantio era então quase inútil, e os agricultores tinham que recorrer aos alimentos estocados. Um enorme prestígio era associado aos cultivadores de safras de exportação; nenhum, aos cultivadores de safras de consumo interno; uma escala colonial de valores que não foi reordenada pela independência política.

Os rendimentos inferiores, típicos das terras de capoeirinha desmatadas, resultavam na expansão dos campos cultivados, e por isso reduzidos. Surpreendentemente, a adoção do arado não se generalizou nessa etapa. Mesmo em campos onde enormes tocos de árvore há muito havia apodrecido, os trabalhadores rurais insistiam em empunhar a enxada – durante muito mais horas e dias que anteriormente – e a área média sob cultivo se elevou de talvez um hectare para três a cinco hectares por trabalhador. Quando após uma série de plantios e abandonos, um campo não mais rebrotava como floresta secundária mas gerava apenas cupim, carriços e fetos, era abandonado ao pastoreio.

A partida do fazendeiro era menos abandono que debandada. A crise na agricultura itinerante tornava o pequeno proprietário extremamente vulnerável à invasão do gado. Enquanto seus campos estivessem dispersos na floresta, dificultando a penetração do gado. Estavam a salvo. Mas uma vez que a floresta degenerasse na forma de macega e matas de arbustos, o gado errante podia destruir suas plantações.

Os cupins africanos que haviam imigrado no século anterior eram a ruína dos fazendeiros, tal o seu vigor e resistência diante da enxada. Não era prático cercar campos temporários. Faltava material para cercas: escasseava a madeira resistente à podridão que serviria de mourões; o clima e os solos não deixavam grandes pedras na superfície e o arame farpado estava além das posses dos pequenos proprietários.

Nas vizinhanças do Rio de Janeiro, os campos abandonados eram alvo de grande demanda enquanto pastagem temporárias, gado trazido de Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso, nos últimos meses de inverno, tinha de ser engordado, ou pelo menos mantido vivo, para o mercado.

A manutenção da capoeira era crítica para a sobrevivência de pequenos produtores. Fossem posseiros ou parceiros, precisavam de reservas substanciais de matas. Normalmente, o fogo da cozinha ficava aceso durante o dia inteiro – o feijão cozinhava durante horas -, ferver roupas, aquecer água para o banho, secar guarnições de cama e mesa e roupas da estação chuvosa e para manter a cozinha aquecida no inverno. Os pequenos produtores necessitavam de lenha para beneficiarem suas safras comerciais. Por fim, as mulheres apanhavam lenha sem permissão, outra fonte de conflitos locais. Em todo caso, mais horas eram gastas a cada dia, caminhando para lá e para cá entre matagais dispersos, e a capoeira sofria ainda mais pressão, extinguindo-se.

Os fazendeiros tinham de abater árvores vivas para material de construção, mourões de cerca, caixotes, cabos de enxada e machado, gamelas, cangas, mobílias e muitas outras utilidades. O terreno de mata era também fonte de cipós, utilizados como cordas e para substituir pregos.

A cidade era também grande consumidora de lenha e carvão. Vendedores de lenha e fabricantes de carvão normalmente compravam os lotes que limpavam, embora às vezes trabalhassem por contrato. Havia também um ativo comércio atacadista de madeira.

Sessenta e seis fábricas de chapéu de feltro, onze olarias, cinco fábricas de papel e papelão e cinco fábricas de vidro e porcelana necessitavam de processo a quente, alimentado por lenha ou carvão. A madeira de manguezais era a preferida para diversos objetivos, principalmente para alimentar caldeiras; queimava lentamente e não deixava sedimentos de resina. Os manguezais pantanosos se espalhavam numa faixa de 500 metros por trás das praias da baía da Guanabara. Por serem muito mais apreciados, devido ao tanino nas folhas e casca do mangue, os últimos decretos coloniais haviam proibido sua queima antes da extração da casca.

A introdução de tijolos e telhas cozidos aumentou, consideravelmente, a demanda de lenha. O cimento e o estuque para as residências eram feitos de cal, que também consumia lenha, normalmente de mangue. O mangue era o mais conveniente para o fabrico da cal derivada das conchas de ostras.

Algumas reações ao declínio dos solos da floresta primária podem ser observadas na agricultura do século XIX, que envolvia insumos muito maiores

de mão-de-obra: um sucedâneo para a lavoura de aração em solos mal drenados de baixadas eram canteiros elevados, diversamente denominados leiras, valas, camalhões ou matumbos – este último um termo quimbundo, indicando pelo menos em alguns locais, mais uma contribuição africana à exploração do mundo natural.

Não existem evidências de que os caboclos deserdados tenham sido conservadores ideais da floresta primária para a qual eram empurrados. Continuavam a cultivar como o faziam no litoral, queimando e plantando durante curtas temporadas. À medida que suas invasões os levavam mais para o interior, chegavam a formações florestais mais sujeitas a períodos de secas e dotadas de árvores que se caracterizavam mais como decíduas. É bem provável que a queimada anual estivesse se tornando cada vez mais problemática.

Suas queimadas eram espantosamente amplas, porque não havia motivo para conte-las. As repetidas e frequentes queimadas de pastos nativos constituíam uma grave ameaça às orlas interiores e mais secas da Mata Atlântica.

Pode-se considerar que a difusão da agricultura de *plantation*, a pecuária e o crescimento de cidades e vilas não suplantaram, mas intensificaram formas tradicionais de exploração da floresta, sujeitando-a a pressão suficiente para desestabilizá-la e degradá-la de modo permanente.

Durante o primeiro século e meio de conquista e povoamento, o transporte por terra era feito a pé, em trilhas não mais largas que as pegadas de um homem. Foi apenas no século XVIII que as mulas substituíram os índios como transporte de cargas. A corrida do ouro alterou essas circunstâncias, fazendo com que as faixas consideráveis de campos auríferos abandonados, fossem invadidas com maior intensidade. Os contrabandistas e comerciantes que seguiam as numerosas trilhas ilícitas para o interior desafiavam os esforços do vice-reino no sentido de legalizá-las através da instalação de registros.

A chegada da corte não acelerou muito a construção de estradas. A doação contínua de sesmarias, o meio tradicional de estimular os particulares a abrir trilhas de mula, resultava, na maioria dos casos, apenas em mais picadas, fazendo assim uma série de derrubadas na floresta para a abertura das mesmas.

Enquanto os outros produtos da Mata Atlântica tinham baixos preços e eram obtidos principalmente por meios extrativos ou predatórios, a rede de transporte por terra pouco diferia daquela traçada pelos povos nativos. O comércio cafeeiro forneceu por fim, o estímulo necessário. Uma estrada pavimentada para carruagens foi construída conforme os padrões de engenharia francesa entre Petrópolis e Juiz de Fora. A estrada entre São Paulo e Santos foi alargada e reconstruída mais duas vezes.

Os primeiros barcos a vapor na baía da Guanabara começaram a operar em 1821. A verdadeira revolução nos transportes e, conseqüentemente, no relacionamento do homem com o que continuava intocado da Mata Atlântica foi a locomotiva. Sua introdução no Brasil chegou bem tarde no século. A primeira linha, terminada em 1856, que ia da orla norte da baía da Guanabara até a base da escarpa abaixo de Petrópolis, era pouco mais que um brinquedo da elite da capital.

A ferrovia foi um imenso avanço na paisagem desembaraçada de quaisquer rastros além dos pés humanos e casco de gado e montaria. A Mata Atlântica estava, pois, diretamente na trilha do que era tomado como progresso no século XIX. As ferrovias faziam suas próprias demandas à floresta, porque exigiam grandes quantidades de dormentes, para os quais se preferiam madeira de lei da floresta primária. O impacto da ferrovia sobre a Mata Atlântica foi previsto por Gustavo Schuch de Capanema, um fazendeiro e cientista natural amador, em 1858, bem antes da primeira linha haver escalado o paredão costeiro. Capanema antevia, assim, que as ferrovias promoveriam a perpetuação da agricultura extensiva, itinerante, e acelerariam a destruição da floresta. O que restasse da Mata Atlântica seria não mais mero objeto de exame mas de interesse responsável, senão de efetivo manejo.

Cap.10.

Especulação e conservação.

O destronamento do idoso e enfermo imperador em novembro de 1889 foi realizado por um motim da caserna, liderado por um general de ideologia incipiente e ambição fulminante. Em meio à contenda e rebelião políticas que se seguiram, a elite oportunista erigiu uma república ainda mais excludente que o império.

Os fazendeiros testemunharam com indiferença a expulsão da família imperial porque a princesa Izabel, legítima herdeira do trono, assinara, na ausência de seu pai, em maio de 1888, a Lei Áurea da abolição final.

Para a Mata Atlântica, essa mudança rotineira nas fortunas políticas, com a perpetuação pacífica da ordem social, não deixou de ter consequências duradouras. A constituição promulgada em 1891 transferia para os estados as terras públicas anteriormente pertencentes ao governo central. Na região da Mata Atlântica, elas ainda eram extensas.

Diversos estados impunham tributos sobre a terra, não apenas para gerar receita, mas também para estimular práticas agrícolas mais intensivas. A república dessa forma devorou em poucas décadas quase toda a terra da Mata Atlântica que restara ao poder público.

O rápido aumento do valor da terra plantada com café era um grande motivo de especulação. O especulador investia no plantio apenas um modesto adiantamento, pago a um parceiro, que trazia seus próprios escravos para a propriedade, e ao qual era permitido também intercalar plantios de subsistência e vender a colheita de café do primeiro ano.

A nova região cafeeira, o oeste paulista começou a produzir quando o vale do Paraíba e a zona da mata mineira entraram em decadência. Os solos mais valorizados do oeste paulista, diabases tão ricas em óxidos de ferro que pareciam terra roxa, eram apenas ligeiramente ácidos e continham mais nitrogênio, potássio e cálcio – necessários para a formação dos frutos.

Queimar e derrubar amplas faixas de floresta primária também tinha o efeito de isolar o café de potenciais agentes polinizadores. A derrubada e queimada da floresta com o propósito de assentar cafezais, portanto, prosseguiu em São Paulo até o século XX, em todo o estado e atravessou a fronteira, entrando no Paraná, até consumir totalmente a Mata Atlântica que recobria o que se presumia fossem solos adequados ao café.

No entanto, essa extraordinária expansão das plantações e o crescimento da população foram acompanhados de críticas. Isoladas e a princípio inconsequentes, ouviam-se manifestações de desalento e desconfiança na elite dirigente desde os primeiros anos de vida independente do país. Membros dessa sociedade expressavam o temor nascente quanto ao dano ambiental, provocado por mais de um século de atividade econômica intensificada e

população mais densa. A lavoura derrubada e queimada era uma preocupação constante.

A eliminação de florestas costeiras, portanto, implica um clima mais seco no interior. No sudeste, ao fim do século XIX, tinha-se alcançado a orla interior da Mata Atlântica em diversos locais. Mesmo sem intervenção humana, essa já era uma zona de invernos secos mais longos, intensos e menos previsíveis.

À medida que as matas nas proximidades das cidades se retraíam, o mesmo acontecia com os animais de caça. De consequência mais imediata era o surgimento de pestes e pragas que começavam a atacar os cafezais do vale do Paraíba. Plantas tropicais domesticadas normalmente desfrutavam quase de imunidade ao parasitismo durante um período considerável após sua transferência para um ambiente exótico. Na verdade foi esta estratégia, totalmente inconsciente, que possibilitou a difusão mundial do sistema de *plantation*.

No curso do século XIX, cientistas e técnicos brasileiros se impuseram a tarefa de reintegração com a comunidade intelectual europeia. A transferência de conhecimento científico ocidental foi essencial ao sucesso das instituições brasileiras de pesquisas. A necessária colaboração com colegas estrangeiros distantes e, muitas vezes, indiferentes era um desafio difícil.

A ciência brasileira se caracterizou por não beber da fonte de conhecimento sobre o mundo natural dos indígenas ou povos mestiços da fronteira. Isso pode parecer uma impressionante e obtusa falta de curiosidade, mas é facilmente compreensível, dado o abismo cultural existente entre eles.

Apenas o conhecimento europeu era válido, não só aos olhos dos europeus autoconfiantes, mas também aos dos cientistas brasileiros ainda psiquicamente colonizados, empunhados em obter um apoio sólido no seio das classes privilegiadas do império.

A ciência oficial brasileira conseguiu um pouco mais de solidez após a Guerra do Paraguai, que terminou em 1870, dando início a um período, semelhante ao período reformista do início dos anos de 1850, de crises de inflação e epidemias urbanas.

O Instituto de Agricultura e o Museu Nacional iniciaram em suas áreas a publicação das primeiras revistas científicas que desfrutariam da continuidade necessária para a acumulação e transmissão do conhecimento científico.

O mais consequente dos cientistas paulistas da primeira geração foi Alberto Loefgren, um botânico sueco que chegara com uma expedição de coleta e fora contratado para dirigir as seções de meteorologia e botânica da Comissão Geológica e Geográfica. Encantado com a natureza intacta da região, declinou um convite para regressar a um cargo de pesquisa em sua terra natal, dizendo que, na Europa, tudo que havia para se pesquisar eram as múmias pálidas das plantas deslumbrantes que ele pesquisava ao vivo no Brasil.

O estado de São Paulo consumia a média de 1,5 milhão de dormentes por ano na década que se seguiu a 1902. Madeiras de lei da floresta eram frequentemente utilizadas para tal fim, mas a madeira do serrado começava a ser preferida. Em 1904, Antonio Prado, presidente da Cia Ferroviária Paulista, contratou Edmundo Navarro de Andrade para implantar uma reserva florestal. O resultado dessa experiência, foi uma vitória nítida das árvores do gênero *Eucalyptus*, nativa da Austrália.

Evidentemente, a conservação florestal não poderia ser implementada por estrangeiros, ainda que fossem estrangeiros bem intencionados, ativos, e havia muitos residentes no país. Teria de surgir uma geração nativa de cientistas e ativistas.

Cap. 11

Nomadismo industrial, Industrial ismo predatório.

A região da Mata Atlântica, na primeira metade do século XX, continuou a experimentar um rápido crescimento da população humana, e isso continuou a ser a principal causa da acelerada destruição florestal. A grandiosa frente de assalto à floresta primitiva a cada ano ganhava centenas de milhares de recrutas. Entre 1900 e 1950, a população do sudeste, inclusive a região da floresta latifoliada do Paraná, cresceu cerca de sete milhões para 22 milhões.

Uma economia regional dinamizada por exportações estimulava o crescimento da população. O afluxo de famílias trabalhadoras europeias e japonesas, atraídas pelas plantações de café e algodão de São Paulo e do Paraná, reduziu-se na depressão dos anos 30. A partir de então, porém, o pauperizado nordeste brasileiro e o superpovoado sudeste inundaram a força de trabalho. Enquanto a população do Brasil triplicou entre 1900 e 1950, a de São Paulo quadruplicou e a do Paraná cresceu quase seis vezes e meia. A floresta se tornou mais acessível que nunca aos mercados urbano e mundial.

A usurpação de terras públicas, nos limites mais distantes da Mata Atlântica, foi, até o final, uma atividade assassina. “A terra encharcada de sangue é terra boa”, observou um bem sucedido negociante de fazendas. Os cadáveres eram principalmente de homens pobres.

As cidades do sudeste, entretanto, multiplicavam suas funções comerciais, políticas e financeiras e adquiriam significativa capacidade industrial. É provável que a grande maioria dos habitantes da região da Mata Atlântica encarasse essas transformações com complacência e até satisfação.

Sobre suas florestas, os membros da elite brasileira projetavam constrangedoramente suas ambiguidades relativas à sua sociedade e cultura. Não faltavam tentativas de substituir a flora e fauna nativas por espécies naturais europeias.

A rusticidade dos caboclos talvez fosse a melhor prova de sua força: abandonados e oprimidos por um governo que se recusava a reconhecer seu direito à terra, não obstante, sobreviviam, multiplicavam-se e enfrentavam a floresta que aterrorizava imigrantes e o povo da cidade. O caboclo teimoso era o herói do ensaísta Alberto Torres, que argumentava em favor do conservacionismo a partir de perspectiva muito diferente da de cientistas como Alberto Loefgren e Hermann Von Lhering.

A maior atenção à situação das florestas obrigou as autoridades a fazer levantamentos dos recursos remanescentes do país. Um mapa florestal, produzido em 1910, por Gonzaga Campos para o Ministério da Agricultura calculava que os quatro estados do Sudeste ainda continham 500 mil km² de florestas, uma cifra sem dúvida exagerada que aparentemente incluía formações secundárias e cerrados.

O mercado para o café foi um assunto de considerável inquietação após 1900, quando o plantio começou a sobrepujar o crescimento da demanda mundial. Nos anos 30, o algodão tomou por algum tempo o lugar do café como principal produto de exportação de uma série de municípios, e o algodão e o açúcar continuaram a ser importantes gêneros básicos do mercado interno. Mas a associação do café com a floresta primária no Sudeste permaneceu como fator decisivo na aceleração do avanço da fronteira agrícola.

Os arvoredos de floresta primária estavam sujeitos a pressões extremas de extração que não mais se pareciam com as atividades de subsistência de

povos tribais ou caboclos. O extrativismo para exportação não desapareceu no século XX, mas, ao contrário, ganhou ímpeto. A transformação mais impactante nas faixas não queimadas de florestas primárias era, porém, a remoção seletiva de madeira.

Na ausência de estatísticas mais completas, é difícil calcular a demanda total de madeira de lei. A escala do comércio é sugerida em registros da Estrada de Ferro Sorocabana que, nos anos 20 e 30, expandiu-se para o extremo noroeste do estado de São Paulo. Todas essas atividades extrativas significavam que lotes sobreviventes da floresta primária estavam se tornando menos intocados, menos complexos e menos densos.

O Brasil ingressou na Era Industrial extremamente carente de um de seus pré-requisitos: combustíveis fósseis de hidrocarbono. As chuvas abundantes da região da Mata Atlântica e sua topografia acidentada ofereciam enorme potencial hidrelétrico, que começou a ser explorado na virada do século.

Nenhuma indústria teve maior impacto sobre as reservas de lenha que a siderúrgica. Essas indústrias empregavam altos fornos e eram projetadas para serem acionadas por carvão vegetal. A lenha também alimentava motores a vapor, que forneciam energia em muitas fábricas, bem como uma pequena fração da energia elétrica.

As ferrovias queimavam ainda mais lenha que a indústria siderúrgica. Apesar do uso de certa quantidade de carvão importado e do início da eletrificação nos anos 20, as ferrovias dependiam de lenha para mais da metade de seu suprimento de energia. Quase toda essa lenha vinha de florestas nativas. Além do mais, os fabricantes de carvão comercial, ao contrário dos catadores domésticos de lenha, preferiam a floresta primária porque ali se encontravam as árvores de lenha mais densa, que propiciavam os rendimentos mais elevados e o carvão mais rico em carbono.

A primeira metade do século XX testemunhara o cerco final da Mata Atlântica. A expropriação privada de todo o território estava concluída. A civilização urbana e industrial havia triunfado – seus tentáculos se espalhavam por toda parte, sua ânsia por combustível, madeira e outros recursos da floresta se estendia por toda a Mata Atlântica.

Cap. 12

O imperativo do desenvolvimento.

No alvorecer do pós guerra mundial, uma terrível ameaça se projetava sobre a Mata Atlântica – sobre o que restava dela. Era uma ideia, na verdade, uma obsessão, chamada desenvolvimento econômico: a proposta de que se podia conceber políticas de governo que estimulariam a acumulação de capital e a industrialização e, com isso, um ritmo de crescimento econômico muito mais rápido que qualquer outro experimento na história.

Quase todas as transformações físicas e econômicas, dos anos 50 aos anos 70, que poderiam ser chamadas de desenvolvimento estavam confinadas à região da Mata Atlântica. Praticamente, todo investimento de corporações multinacionais e estatais passou a se concentrar no triângulo industrial formado pelas cidades de São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro. A indústria se expandiu vertiginosamente.

O período foi politicamente agitado; sucessivos governos ostentavam políticas contraditórias em relação à exploração e preservação da floresta, circunstâncias que reduzia ainda mais a possibilidade de que alguma parte da floresta primária pudesse sobreviver.

As faixas remanescentes de florestas primárias, relativamente intactas, eram agora, em geral, as menos adequadas, ou inadequadas, para a agricultura do tipo que havia sido tradicionalmente praticado. Outra razão para a acelerada perda da floresta era a inflação crônica. O grande projeto de desenvolvimento econômico implicava a aplicação de uma proporção muito maior do produto nacional para a formação do capital.

O desenvolvimento econômico aliviou algumas pressões sobre a Mata Atlântica, muito embora tenha imposto diversas outras. As madeiras de lei de espécie variadas, dispersas pelas florestas primárias latifoliadas e, pois, difíceis de cortar e transportar, eram exploradas de maneira diferente, embora igualmente descuidada e destrutiva. Além disso, apenas umas poucas espécies mereciam ser cortadas; as demais eram queimadas in loco.

O serviço florestal estadual era reiteradamente instruído a não interferir nas atividades dos madeireiros, que estavam contrabandeando madeira rio Paraná abaixo. Migrantes afluíam em massa para a região, em busca de migalhas desse banquete. Era muito mais seguro invadir terra pública, afinal o estado não contratava pistoleiros.

Os militares interromperam bruscamente o debate sobre a reforma agrária em 1964. Derrubaram o presidente esquerdista, João Goulart, e baniram centenas de políticos civis e líderes trabalhistas a quem consideravam subversivos e corruptos. Quaisquer que fossem os motivos dos generais, no decorrer de seus primeiros anos no poder, uma série de leis e decretos foram aprovados sustentando a promessa de administração efetiva do patrimônio nacional. Foi esboçado um substitutivo para o Código florestal de 1934. E o principal defeito do código, de fato, era que ele nunca havia sido cumprido.

Em 1967, foram promulgados os elementos finais no programa dos militares. Um novo código de caça e pesca foi aprovado, autorizando a criação de refúgios da vida selvagem e proibindo a exportação da caça. Assim, o governo militar ratificava o Brasil na trilha da conservação, firmemente subordinada à meta do desenvolvimento econômico. Lamentavelmente, restava pouco da Mata Atlântica a conservar.

Cap. 13

Desenvolvimento insustentável.

Durante a década de 70, a escala e velocidade dos projetos de desenvolvimento do governo militar atingiram o clímax que não resultou apenas em crise econômica, mas também em uma tempestade conjunta de desastres ambientais.

O mais prejudicial de todos os programas de desenvolvimento talvez tenha sido o dos projetos hidrelétricos. A topografia acidentada e as chuvas abundantes da região da Mata Atlântica havia atraído empreendedores, engenheiros civis e fabricantes de equipamentos elétricos para colaborar, logo depois da virada do século XX, na construção de usinas hidrelétricas nas proximidades de quase todas as cidades do Sudeste. Em 1950, havia 126 usinas hidrelétricas na região da Mata Atlântica.

A partir do início do século, milhares de quilômetros quadrados de florestas de galeria e semidecídua haviam sido eliminadas para gerar e transmitir eletricidade. O projeto Itaipu, contudo, finalmente provocou um questionamento severo, que não se limitou a ambientalistas ou especialistas em ecologia.

A barragem de Rosana, cuja construção começou, no início dos anos 80, no rio Paranapanema, próximo a sua confluência com o rio Paraná, subtraiu mais de trinta km² da minguante reserva do Morro do Diabo, a última remanescente do

Pontal. A companhia estatal de eletricidade cortou mais floresta do que era necessário para a elevação das águas.

Outras táticas empregadas na luta para liberar a economia do fardo do petróleo importado não deixaram de ter consequências sobre a Mata Atlântica. O álcool combustível foi criticado, principalmente, pelo custo de seus subsídios e pelo deslocamento das culturas que produziam alimentos básicos para as populações urbanas.

Em São Paulo, as autorizações de corte de madeira diminuíram em número ao longo dos anos 70, porque os proprietários de terra estavam ficando sem florestas nativas. A racionalização da exploração de lenha recebia menos atenção do que se podia esperar. A lenha não era mais a principal fonte de energia no Sudeste industrializado, mas continuava importante.

No Rio de Janeiro, a reserva ecológica de Jacarepaguá foi eliminada quando se permitiu que os interesses imobiliários se apropriassem da área e a subdividissem.

A despeito do extremo desprezo com que as preocupações ambientalistas internacionais eram recebidas pelo governo militar e seus auxiliares tecnocratas, considerou-se prudente erigir uma fachada que pudesse minorar as críticas estrangeiras. Em 1973 foi criada uma secretaria especial do meio ambiente, encarregada de monitorar e controlar a poluição.

Os conservacionistas civis eram capazes de exacerbar a permanente suspeita de interesses estrangeiros sustentada por seus patrocinadores de farda, como demonstrou um órgão ambiental oficial: “forças supranacionais [...] exercem toda a pressão para manter os países subdesenvolvidos neste estágio”.

Apenas pequenos trechos adicionais da Mata Atlântica foram colocados sob proteção federal durante os anos 70. Os estados criaram apenas mais alguns parques e reservas equivalentes. A expansão extremamente modesta das áreas de proteção foi uma reação absolutamente branda diante da destruição dos últimos arvoredos primários da Mata Atlântica durante a década de 70.

No início dos anos 80, os programas econômicos do governo, freneticamente alinhavados, passaram repentinamente a desfiar. Os empréstimos que havia contraído no rastro das elevações do preço do petróleo tornaram-se impagáveis quando os Estados Unidos elevaram exorbitantemente suas taxas de juros para suplantar uma espiral inflacionária. O Brasil chegou perto da

bancarrota quando novos capitais pararam de afluir. Isso foi fatal para o governo militar, cuja legitimidade, na época, apoiava-se totalmente em seu desempenho em termos de desenvolvimento econômico.

Cap. 14

Fazendo a lei funcionar.

A retirada dos militares foi arrastada e rancorosa. O mandato do último general-presidente expirava em 1985. O congresso, repleto de membros nomeados, conseguiu rechaçar uma campanha popular em favor da eleição direta de um presidente civil. Em vez disso realizou sua própria eleição. O vencedor morreu quando estava prestes a assumir o cargo e foi sucedido pelo vice presidente eleito, um político de limitado respaldo e visão.

A inserção realista das questões ambientais nesse turbilhão de dificuldades econômicas e reconstrução política mostrou-se, para dizer no mínimo, desafiadora para aqueles que se dedicavam a missão.

A sobrevivência da Mata Atlântica, assim erigida em preocupação mundial, não deixava de ser uma questão essencialmente local, apenas solucionável por aqueles que a cercavam e abordavam.

O movimento ambientalista estava se tornando, senão um movimento de massa, pelo menos mais político. Políticos que haviam zombado do movimento apenas alguns anos antes, agora estavam ansiosos para assumir as causas ambientais, pelo menos no período eleitoral.

Contando com poucos membros, as organizações ambientalistas tinham de contar com outras fontes de receita. A maior parte das maiores organizações ambientalistas obtinha fundos da indústria privada. As organizações ambientalistas também demonstravam relações problemáticas com o próprio governo e geralmente procuravam não ser influenciadas pelo governo, mas influenciá-los.

Os ambientalistas que se lançaram no salvamento da Mata Atlântica prontamente saíram em defesa de seus habitantes indígenas. A Mata Atlântica certamente continha moradores de classe inferior oprimidos, que estavam cada vez mais sujeitos à expulsão e violência. Mas era difícil identificá-los como ocupantes tradicionais de reservas.

Situação mais grave era a das tribos guaranis que estavam saindo das florestas da serra do mar, no Estado de São Paulo, desde os anos de 1830.

Os planos para a preservação de áreas adicionais da Mata Atlântica, concediam aos grupos tradicionais a ocupação de zonas tampão que circundariam zonas nucleares nas quais não se permitiriam quaisquer atividades humanas.

O movimento ambientalista foi, direta ou indiretamente, responsável por uma notável expansão dos parques e reservas na Mata Atlântica do Sudeste. Em uma única década, de 1981 a 1990, seu número dobrou, chegando a 205, e sua área quadruplicou. No fim de 1993, o SOS Mata Atlântica havia concluído seu levantamento de toda a Mata Atlântica durante o quinquênio de 1985 a 1990. Mostrava que 5330 km² haviam se perdido e que, naquele último ano, restavam apenas 83500 km² - um pouco mais de 8% da floresta que presumivelmente havia em 1500.

Cap. 15

O valor da terra nua.

No início dos anos 90, a Mata Atlântica estava em uma situação crítica. Se aquelas faixas remanescentes identificadas ou supostas primárias iriam sobreviver, teriam de ser tomadas medidas drásticas imediatamente, medidas exatamente opostas às habituais à cultura e ao governo brasileiros. Não se sabia ao certo quantas espécies da floresta ainda existiam. Ainda mais vaga era a possibilidade de recriar partes da floresta que haviam desaparecido. O que era bastante evidente era que, na medida em que a floresta primária continuava a se converter em terra arável e em pastagem, reservatórios e rodovias, clubes de campo e favelas, e em que mais e mais terras de propriedade pública conquistassem novas instâncias de proteção legal, as repartições governamentais estavam se tornando a última esperança de salvação da floresta.

A redução irresponsável e perdulária da bacia amazônica a terra nua, por isso, deu margem ao alarme e ao escárnio internacionais. Entre brasileiros que estudaram a história da Mata Atlântica e contemplaram a presença de seus arvoredos remanescentes, a floresta amazônica provoca especial alarme e presságio. O último serviço que a Mata Atlântica pode prestar, de modo trágico e desesperado, é demonstrar todas as terríveis consequências da destruição de seu imenso vizinho do oeste.

6. GRIFFITHS, A.J. F. et al. Introdução à Genética. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. cap. 1 a 17, 19.

Cap.1 O ENFOQUE GENÉTICO A BIOLOGIA

Todos os organismos multicelulares, plantas e animais, sofrem um processo de desenvolvimento que transforma o zigoto na planta ou animal adulto. As novas células surgem com o resultado de grandes números de divisões celulares, e essas células diferenciam-se tanto morfológica quanto bioquimicamente para atender a uma variedade de funções, tornando-se, por exemplo, células sanguíneas, células nervosa, células musculares e células secretoras. Por meio dessa diferenciação. Por meio dessa diferenciação, as células tornam-se organizadas em tecidos e órgãos, cujas formas e funções são características de cada espécie. Assim, as propriedades biológicas de um organismo são o produto final de uma sequência de etapas de desenvolvimento.

- Diversidade de estrutura. As estruturas celulares que levam a informação sobre o desenvolvimento e a função devem ser capazes de existir em um imenso número de formas diferentes, cada uma especificando um aspecto deferente do organismo complexo. Deve haver informação sobre o desenvolvimento de todos os tipos diferentes de células, tecidos, órgãos e processos bioquímico que caracterizam a espécie.
- Capacidades de se replicar. A fusão de um gameta masculino a um gameta feminino produz um único camundongo, embora esse camundongo venha, na maturidade sexual, a produzir um número imenso de gametas que contém a informação necessária para fazer outra geração de camundongos.
- Mutabilidade. Todos os membros individuais de uma espécie não são idênticos, mesmo assim, a prole tende a assemelhar aos seus genitores. Todas as espécies que existem, surgiram da evolução de espécies

ancestrais que se diferenciaram delas em uma variedade de características.

- Tradução. Não é suficiente que exista um mecanismo apenas pra transferir informações sobre um organismo de uma geração para outra por meio de um zigoto.

Os elementos básicos do sistema de informação, herdadas hoje em dia, são chamados **genes**, um termo introduzido em 1909 por Wilhelm Johannsen, que investiga a herança em feijões. A coleção de todos os genes de um organismo é chamada de **genoma**. O campo da **Genética** envolve a diversidade, replicação, mutação e tradução de informação nos genes.

A ciência da Genética começou com um trabalho do monge austríaco **Gregor Mendel**, que publicou o resultado de seus experimentos em cruzamentos entre linhagens que haviam herdado variações em ervilhas em 1865. Mendel não os deu os resultados experimentais de cruzamentos controlados, como também deduziu a existência de distintos fatores que levam a informação sobre o desenvolvimento dos genitores para a prole. No começo do século XX, tornou-se aparente a informação que específica do desenvolvimento dos organismos estava contida nos cromossomos do núcleo celular.

A chave para a análise genética de uma propriedade biológica é examinar os efeitos das mutações. Foi descoberto que bombardear organismos com raio X ou tratá-lo com substâncias químicas induz um grande número de mutações com efeitos claro sobre a morfologia do organismo. Algumas mutações correspondem a deleções observáveis ou duplicação de pequenos trechos do material cromossômico. Pelos resultados dos cruzamentos entre as linhagens portadoras de mutações diferentes, algumas perguntas importantes podem ser respondidas.

O acúmulo de evidências, que começou nos anos de 1920, levou à conclusão de que o DNA é o material genético. O poder analítico da investigação genética aumentou imensamente mais recentemente pelo

conhecimento da estrutura química do DNA, de como a informação no DNA é convertida em moléculas de atividade celular e como sinais bioquímicos das células controlam que informação genética será lida por células em partes diferentes de um organismo em épocas diferentes em sua história de vida.

A análise genética, usando organismos com mutações, é um método poderoso para investigar vias bioquímicas, fisiológicas e desenvolvimentais.

A Base Molecular da Informação Genética

A estrutura dos organismos e seus ativos processos fisiológicos são baseados, na maior parte, em **proteínas**. A informação genética para a síntese dessas proteínas pela células esta contida no **DNA, ácido desoxirribonucléico**. Uma molécula de DNA e feita de dois filamentos enrolados um no outro em uma longa dupla hélice. Cada um dos filamentos consiste em um arcabouço feito em cópias repetidas de um açúcar, chamado de desoxirribose, e fosfato; de cada grupo açúcar-fosfato ao longo do arcabouço, projeta-se uma **base nucleotídica**. Existem quatro tipos diferentes de bases nos nucleotídeos no DNA: **adenina (A), timina (T), guanina (G) e citosina (C)**. Na molécula em dupla hélice, o arcabouço açúcar-fosfato de cada filamento esta por fora da hélice, enquanto cada base nucleotídica projeta-se para dentro e faz par com o filamento oposto. Devido ao espaço ocupado pelas bases nucleotídicas, a adenina sempre parecia com a timina, enquanto a guanina sempre parecia com a citosina. As base que formam pares são ditas **complementares**.

De algum modo, determinada sequência de A, T, G e C deve ser usada pela célula para criar moléculas de proteínas com sequências particulares de aminoácidos. Além disso, alguma parte do DNA deve agir como um sinal para maquinaria da célula de que a tradução de determinado gene em uma sequência de aminoácidos deve ocorrer em algumas células, em determinados tecidos e, em certas épocas, do desenvolvimento e vida do organismo.

A transformação da informação na sequência de nucleotídeos em uma sequência de aminoácidos em uma molécula que irá dobrar-se para fazer uma proteína compreende duas etapas: **transcrição e tradução**.

Transcrição: A primeira etapa em transformar a informação no DNA em uma sequência de aminoácidos é a transcrição da sequência de nucleotídeos no DNA em uma molécula correlata, o **RNA mensageiro (mRNA)**, que também tem um arcabouço de nucleotídeos como estrutura. O RNA mensageiro é composto da molécula de **ácido ribonucleico (RNA)**, que é uma sequência de nucleotídeos similar ao DNA exceto por conter ribose em vez de desoxirribose em seu arcabouço e ter nucleotídeo uracil (U) em lugar de timina. Na transcrição a dupla hélice de DNA é separada em dois filamentos únicos, e um desses filamentos serve de molde para a construção de uma sequência de DNA unifilamentar. O processo de transcrição ocorre no núcleo, é assim muito similar ao processo de replicação do DNA porque o filamento de DNA serve como molde para fazer um filamento de mRNA. O mRNA copia da molécula original de DNA é chamado de **transcrito**. O RNA que produzido diretamente da transcrição do DNA pode então ser alterado para um mRNA final (RNA mensageiro). Essa alteração consiste em remover trechos do transcrito original que não codificam aminoácidos.

Tradução: a produção de uma cadeia de aminoácidos com base em uma sequência de nucleotídeos no processo de tradução. Com uma sequência feita apenas de quatro tipos diferentes de nucleotídeos pode gerar uma sequência de aminoácidos composta de 20 tipos diferentes de aminoácidos? A solução é que a sequência de nucleotídeos no mRNA é lida em grupos sucessivos de três nucleotídeos ao longo da cadeia de mRNA. Cada grupo de três é um **códon**.

Do polipropileno à proteína: É importante compreender que a estrutura primária que resulta síntese, a cadeia polipeptídica, não é a molécula que nos chamamos de uma proteína. Uma proteína é uma cadeia polipeptídica dobrada. Determinada sequência de aminoácidos, embora confine o

processo de dobramento, não o determina totalmente. De fato, para cada determinada sequência de aminoácidos, existem vários dobramentos estáveis alternativos. Além disso, a célula pode fazer algumas alterações químicas nos aminoácidos da molécula. O dobramento final que produz uma proteína biologicamente ativa depende das condições na célula que incluem a presença de uma variedade de outras moléculas. Essa dependência tem efeitos práticos. A insulina humana usada pelos diabéticos, hoje é produzida em culturas de células para as quais o gene de insulina humana foi transferido. Quando primeiro produzida desse modo, a insulina não tem atividade fisiológica, muito embora tenha a sequência correta de aminoácidos. A insulina, biologicamente ativa, foi depois produzida por mudança no método de produção que resultou em uma molécula modificada.

Investigação Genética

A essência do método genético como meio para explicar os fenômenos biológicos é uso das diferenças genéticas entre os organismos. Dentro das espécies, existem diferenças de ocorrência natural entre membros individuais das populações. Por exemplo, cerca de um terço de todos os genes codificantes de proteínas em espécie de reprodução sexual apresenta alguma variação entre indivíduos nas sequências de aminoácidos que eles codificam. Esse **poliformismo genético** é uma fonte rica de material para o estudo das bases da variação biológica entre indivíduos.

Genética direta

Uma investigação genética pode começar com a observação de uma variação detectada na morfologia ou fisiologia, isto é, um **fenótipo** variante. Assim, a primeira etapa na **genética direta** é pesquisar a diferença de genética que causa uma diferença fenotípica. Tal pesquisa envolve procurar os padrões de herança dos descendentes de cruzamentos entre indivíduos que tem fenótipos diferentes. Quando é identificado um gene, um programa

de investigação é, então, desenvolvido para mostrar como a informação contida nesse gene é normalmente transformada em eventos celulares e fisiológicos que contribuem para as características normais do organismo. Uma forma de tal investigação começa com a variação natural normal no fenótipo.

A maioria das características fenotípicas são afetadas por várias vias fisiológicas desenvolvimentais que interagem, cada via consistindo em um número de etapas. Tais casos requerem vários genes.

Genética reversa

O programa da genética reversa começa com mudanças genéticas conhecidas e procura as alterações resultantes no organismo. Uma sequência normal de DNA, podemos usar sua informação para ler a sequência de aminoácidos na proteína que é produzida, pois sabemos a correspondência entre o código do DNA e os aminoácidos que são codificados. O DNA pode então ser alterado de modos específicos que, ou bloqueiam totalmente a produção da proteína, ou mudam a proteína de tal modo que ela fica com atividade metabólica gravemente alterada ou sem atividade metabólica.

Metodologias em genéticas

Muitas metodologias diferentes são usadas para estudar os genes e atividades gênicas, e essas metodologias podem ser resumidas no seguinte modo: *Isolamento de mutações que afetam o processo biológico em estudo, análise da prole de cruzamento controlados entre mutantes e indivíduo tipo selvagem ou outras variantes descontinuas, análise genética dos processos químicos da célula, análise microscópica e análise direta do DNA.*

Organismos modelos

O uso de organismos-modelos vem do trabalho de Gregor Mendel, que usou cruzamentos entre variedades hortícolas da ervilha de jardim, *Pisum Sativum*, para estabelecer as regras básicas da herança. O uso feito por Mendel dessas variedades de ervilhas em estabelecer as “leis” básicas da herança é instrutivo para a nossa compreensão das forças e fraquezas dos organismos-modelo.

As leis de Mendel da herança foram a fundação da genética, em particular, estabeleceram que o mecanismo de herança era baseado em partículas distintas nos gametas, que vieram juntas com a prole e, então, se separaram novamente, quando a prole produziu gametas, ao invés de se misturarem como um líquido contínuo. Mas Mendel não poderia ter deduzido esse mecanismo se tivesse estudado a variação da altura na maioria das espécies de planta, onde tal variação é contínua, pois ela depende de muitas diferenças gênicas.

A necessidade de estudar uma ampla gama de características biológicas e genéticas levou a uma gama de organismos-modelo para cada um dos grupos biológicos básicos.

Vírus: essas partículas simples não-vivas não tem toda maquinaria metabólica. Um vírus infecta uma célula hospedeira e modifica seu aparelho biosintético para a produção de mais vírus, incluindo a replicação dos genes virais. Os vírus que infectam bactérias, chamados de bacteriófagos, são o modelo padrão. O principal uso dos vírus foi estudar a estrutura física e química do DNA e os mecanismos fundamentais de replicação do DNA e mutação.

Procariontes: esses organismos vivos unicelulares não têm membrana nuclear nem compartimentos intracelulares. Embora exista uma forma especial de cruzamento e troca genética entre células procarióticas, na maior parte de suas vidas elas são essencialmente haploides ao invés de diploides. As células de organismos diplóides contêm dois conjuntos dos completos genes, cada um tendo contribuído por um de seus dois genitores através de gametas que se fundem na fertilização. Os organismos haplóides tem apenas um conjunto de genes em cada célula.

Eucariontes: todas as outras formas celulares de vida são feitas de uma ou mais células com uma membrana nuclear e compartimentos celulares.

Genes, o Ambiente e o organismo.

Os genes não podem ditar a estrutura de um organismo por si só. O outro componente crucial na fórmula é o ambiente. O ambiente influencia a ação gênica de muitos modos. Mais discretamente o ambiente fornece matéria-prima para o processo sintético controlados pelos genes. Um broto torna-se um carvalho usando, no processo, apenas água, oxigênio, dióxido de carbono, alguns materiais inorgânicos do solo e energia da luz.

Determinação genética: praticamente todas as diferenças entre as espécies são determinadas por diferenças entre os genomas. Não há ambiente no qual um leão dará origem a um cordeiro. Um broto desenvolve-se em um carvalho, enquanto um esporo de musgo, mesmo que ambos cresçam lado a lado na mesma floresta. As duas plantas que resultam desses processos desenvolvimentais assemelham-se a seus genitores e diferem uma da outra, muito embora tenham acesso à mesma restrita gama de materiais do meio.

Determinação ambiental: considere duas gêmeas monozigóticas (idênticas), os produtos de único ovócito fertilizado que se dividiu e produziu duas crianças completas com genes idênticos. Suponha que as gêmeas nasceram na Inglaterra, mas foram separadas ao nascimento e levadas para países diferentes. Se uma é criada na China, ela irá falar chinês, enquanto a irmã em Budapeste falava Húngaro. Cada uma absorverá os valores culturais de seu ambiente. Embora as gêmeas comecem a vida com propriedades genéticas idênticas, os ambientes culturais diferentes nos quais vivem produzirão diferenças entre elas (e diferenças de seus genitores). Obviamente as diferenças, nesse caso, são devidas ao ambiente e os efeitos genéticos não têm importância na determinação das diferenças.

À medida que um organismo se transforma, no desenvolvimento de um estágio para o outro, seus genes interagem com seu ambiente em cada

momento de sua história de vida. A interação de genes e ambiente determina o que os organismos são.

Genótipo e Fenótipo

Um organismo típico assemelha-se a seus genitores mais do que se assemelha a membros de sua espécie as quais não é aparentado. Assim, geralmente falamos como se as próprias características individuais fossem herdadas. desenvolve-se por meio de longas sequências de eventos nas histórias de vida das pessoas afetadas, e tanto os genes quanto o ambiente tem papéis nessas sequências. No sentido biológico, um organismo herda apenas estruturas moleculares do zigoto do qual se desenvolve. Os organismos seus genes, não os produtos finais de suas histórias de desenvolvimento.

Cap. 2 HERANÇA MONOGÊNICA

Existem vários tipos de enfoques analíticos para a descoberta do gene, mas um dos mais amplamente usados é baseado na detecção de **padrões de herança monogênica**, o tópico desse capítulo. Tais padrões de herança podem ser reconhecidos na prole de alguns tipos de reproduções controladas, que os geneticista chamam de **cruzamentos**. Os componentes centrais desse tipo de análise são os **mutantes**, organismos individuais de alguma forma alterada da sua propriedade normal. A forma normal de qualquer propriedade de um organismo é chamado de **tipo selvagem**, que é encontrada na natureza.

Os padrões de herança monogênica soa úteis para a descoberta do gene não só em genética experimental de organismos-modelo, mas também em genética aplicada. Um exemplo importante é encontrado na genética humana

As regras de herança monogênica foram originalmente elucidadas nos anos 1860 pelo monge Gregor Mendel. A análise de Mendel é o protótipo do enfoque experimental da descoberta monogênica ainda usado hoje.

Genes e Cromossomos

Um conjunto único e completo de informação genética (DNA) de um organismo é chamado de seu **genoma**. Nos eucariontes, a maior parte do DNA de um genoma é encontrada no núcleo de cada célula. Esse DNA nuclear é dividido em unidades chamadas **cromossomos**. O conjunto de cromossomos presentes no organismo da mesma espécie tem um número característico de cromossomo e aspecto.

Em núcleo diploide, os dois membros de um par de cromossomos são chamados de **cromossomos homólogos** ou, as vezes, apenas **homólogos**. As sequências de DNA de membros de um par de homólogos, geralmente são iguais, muito embora pequenas variações de sequência em geral estejam presentes, o que é a base da variação genética dentro de uma espécie, o tipo de variação de que nos permite distinguir uma da outra. Como os cromossomos homólogos são idênticos, eles levam os mesmos genes nas mesmas posições relativas. Assim, nos diploides, cada gene está presente como um **par de genes**.

A **cromatina** varia em compactação ao longo de um cromossomo. Conseqüentemente, os corantes que reagem, com o DNA produzem intensidades diferentes de coloração ao longo de um cromossomo. A cromatina densa é, geralmente, encontrada ao redor do **centrômero**, uma parte de um cromossomo em geral visível como uma constrição. A cromatina densa é chamada de **heterocromatina**, e a menos densa de **euromatina**.

Bases cromossômicas

A visão de Mendel da segregação igual era que os membros de um par de genes segregam-se igualmente na *formação de gametas*. Ele não conhecia os

eventos subcelulares que ocorrem quando as células se dividem no curso da formação de gametas. Hoje em dia, compreendemos que os pares de genes estão situados em pares de cromossomos, e são os membros de um par de cromossomos que, na verdade, segregam, levando os genes consigo. Os membros de um par de genes são segregados como uma consequência inevitável.

Quando as células se dividem, também se dividem o núcleo e seus conteúdos, os cromossomos. Para entender a segregação gênica, devemos primeiro compreender e contrastar os dois tipos de divisões nucleares que ocorrem nas células eucarióticas. Quando as células somáticas se dividem para aumentar seu número, a divisão nuclear acompanhante é chamada de mitose, um estágio programado de todos os ciclos de divisão celular. A mitose pode ocorrer em células diploides e haploides. Antes da meiose, como na mitose, a replicação cromossômica ocorre para formar cromátides-irmãs, que se tornam visíveis na meiose. O centrômero parece não se dividir nesse estágio, enquanto o faz na mitose.

Herança monogênica em haploides

Vimos que na base celular da lei da segregação igual é a segregação de cromossomos na primeira divisão da meiose. Na discussão até agora, há evidência da segregação igual de alelos nos meiócitos tanto de plantas quanto de animais e indireta, com base na observação de que os cruzamentos apresentam as proporções apropriadas da prole esperada sob segregação igual. Reconhece que os gametas nesses estudos devem ter surgido de muitos diferentes meiócitos. Entretanto, em alguns organismos haploides, tais como várias espécies de fungo e algas, a segregação igual pode ser observada diretamente dentro de um meiócito individual. O motivo é que, nos ciclos desses organismos, os quatro produtos de uma única meiose são temporariamente mantidos juntos em um tipo de saco.

A natureza dos alelos e seus produtos:

Usamos o conceito de alelos sem defini-los em nível molecular. Os alelos mutantes podem ser usados para estudar a herança monogênica sem a necessidade de compreender sua natureza estrutural ou funcional. Entretanto, ultimamente, como um motivo primário para usar uma herança monogênica para investigar a função de um gene, devemos analisar a natureza molecular dos alelos tipo selvagem e mutante tanto em níveis estruturais quanto funcionais.

A maioria das mutações altera a sequência de aminoácidos do produto proteico do gene, resultando em função reduzida ou ausente.

Dominância e recessividade

Com uma compreensão de como os genes funcionam através de seus produtos proteicos, podemos compreender melhor a dominância e recessividade. Assim, formalmente, é o fenótipo que é dominante ou recessivo, mas, na prática, os geneticistas aplicam o termo mais frequentemente aos alelos. Essa definição formal não tem conteúdo molecular, mas tanto a dominância quanto a recessividade podem ter explicações simples a nível molecular.

A recessividade é observada nas mutações nos genes que são funcionalmente haplossuficientes. Embora uma única célula diploide normalmente tenha duas cópias tipo selvagem de um gene, uma cópia de um gene haplossuficiente fornece produto genético suficiente em geral, uma proteína para efetuar as reações normais da célula. Em um heterozigoto, a cópia restante codificada pelo alelo + fornece produto proteico para a função normal.

Outros genes são haploinsuficientes. Em tais casos, um alelo mutante nulo será dominante, porque em um heterozigoto o único alelo tipo selvagem não pode dar produto suficiente para a função normal.

Genética direta

Em geral, o tipo de enfoque para a descoberta de gene que temos seguindo é, às vezes, chamando de genética direta, um enfoque para a compreensão da função biológica que começa com mutantes monogênicos aleatórios e termina a análise bioquímica e celular detalhada deles, em geral incluindo a análise genômica. Genética Reversa, em resumo, ela começa com uma análise genômica para identificar um conjunto de genes como candidatos para codificar a propriedade biológica de interesse, e então, inclui mutantes direcionados especificamente para esses genes, examinando os fenótipos mutantes para ver se eles apresentam a propriedade em estudo.

Padrões de herança monogênica ligadas ao sexo

Os cromossomos que analisamos até agora são autossomos, os cromossomos regulares que formam a maioria do conjunto genômico. Entretanto, muitos animais e plantas têm um par especial de cromossomos associados ao sexo. Os cromossomos sexuais também segregam igualmente, mas as proporções fenotípicas vistas na prole são, em geral, diferentes das proporções autossômicas.

Cromossomos sexuais

A maioria dos animais e muitas plantas apresentam dimorfismo sexual; em outras palavras, os indivíduos são masculinos ou femininos. Na maioria desses casos, o sexo é determinado por um par especial de **cromossomos sexuais**. Vejamos os humanos como um exemplo. As células do corpo humano tem 46 cromossomos: 22 pares de homólogos autossomos mais 2 cromossomos sexuais idênticos chamados de cromossomos X. os homens tem um par não idêntico não-idênticos, consistindo em um X e um Y. As mulheres têm um par de cromossomos sexuais idênticos, chamados de cromossomo X. o cromossomo Y é consideravelmente menor que o X. assim podemos , se representarmos os cromossomos autossômicos por A, podemos escrever: mulheres= 44A+XX; homens=44A+XY.

Na meiose nas mulheres, os dois cromossomos X do par segregam como os autossomos, e cada ovócito recebe um cromossomo X. Assim, com relação aos cromossomos sexuais, os gametas são apenas de um tipo e a mulher é dita como sendo sexo homogamético. Na meiose nos homens, os cromossomos X e Y fazem par por uma região curta, que garante que o X e Y se separem de modo que há dois tipos de espermatozoides, metade com um X e a outra com um Y, portanto o homem é chamado de sexo **heterogamético**.

Análise de Heredogramas

As reproduções humanas, como a dos organismos experimentais, fornecem muitos exemplos de herança monogênica. Entretanto, os cruzamentos de experimentais controlados não podem ser feitos em humanos, e, assim, os geneticistas têm de recorrer aos registros médicos na esperança de que as reproduções informativas tenham ocorrido (tais como reprodução monoíbridas) e possam ser usadas para deduzir herança monogênica. Tal levantamento dos registros de reproduções é chamado de **análise de heredogramas**.

Para ver a herança monogênica, os padrões no heredograma tem que ser interpretado de acordo com a lei de Mendel da segregação igual, mas os humanos geralmente tem poucos filhos, e assim, devido a essa prole pequena, as proporções esperadas de 3:1 e 1:1 geralmente não são vistas, a menos que muitos heredogramas similares sejam combinados.

Distúrbio autossômicos recessivos

O fenótipo afetado por um distúrbio autossômico recessivo é herdado como um alelo recessivo. Assim, o fenótipo correspondente não-afetado deve ser herdado como o alelo dominante correspondente.

Distúrbio autossômico dominantes

Que padrões de heredogramas são esperados de distúrbio autossômicos dominantes? Aqui o alelo normal é recessivo, e o alelo defeituoso é dominante. Pode ser paradoxal que um distúrbio raro possa ser dominante, mas lembre que a dominância e a recessividade são simples propriedades de alelos que atuam nos heterozigotos e não são definidos em relação o quanto eles são comuns na população.

Distúrbios recessivos ligado ao X

Talvez o exemplo mais familiar de herança recessiva ligados ao X é o daltonismo. As pessoas nessas condições são incapazes de distinguir o vermelho do verde. Os genes para a visão em cores foram caracterizados em nível molecular. A visão em cores é baseada em três tipos diferentes de células-cone na retina, cada uma sensível aos comprimentos de onda vermelho, verde ou azul. Os determinantes genéticos para as células-cone vermelha e verde estão no cromossomo X. As pessoas com daltonismo têm uma mutação em um desses dois genes. Como em qualquer distúrbio ligados ao X, existem muito mais homens com o fenótipo do que mulheres.

Cap. 2 DISTRIBUIÇÃO INDEPENDENTE DOS GENES

Fazer um genótipo verdadeiramente superior, combinando tais alelos em uma linhagem, é claramente desejável. Para obter tal combinação as linhagens mutantes devem ser entrecruzadas duas de cada vez. Podemos reconhecer a distribuição independente e como o princípio da distribuição independente pode ser usado na construção de uma linhagem, tanto na agricultura quanto na pesquisa genética básica.

Lei de Mendel da distribuição independente

Em grande parte de seu trabalho original com ervilhas, Mendel analisou os descendentes de linhagem pura que diferiram em duas características. O seguinte simbolismo geral é usado para representar genótipos que incluem dois genes. Se os dois genes estão em cromossomos diferentes os pares de genes são separados por um ponto e vírgula - por exemplo: A/a; B/b. Se estão no mesmo cromossomo, os alelos em um homólogo são escritos adjacientemente, sem pontuação, sendo separados dos do outro homólogo por uma barra – por exemplo: AB/ab ou Ab/ aB. Não existe um simbolismo aceito para situações nas quais não se sabe se os genes estão no mesmo cromossomo ou em cromossomos diferentes.

Síntese de linhagens puras

As linhagens puras estão entre as ferramentas essenciais da genética. Por outro lado, apenas essas linhagens totalmente homozigotas expressarão alelos recessivos, mas a principal necessidade de linhagens puras é a manutenção de estoques para pesquisa. Os membros de uma linhagem pura podem ser entrecruzados com o tempo e, assim, agir como uma fonte constante de genótipo para uso em experimentos. Assim, para a maioria dos organismos-modelo, existem centros de estoques internacionais que são repositórios de linhagens puras. Centros similares de estoque fornecem linhagens de planta e animais para uso na agricultura.

Vigor Híbrido

Considerando-se a síntese de linhagens puras superiores para a pesquisa e para a agricultura.

As linhagens puras são convenientes, pois a propagação do genótipo de ano a ano é bastante fácil. Entretanto uma grande proporção de sementes comerciais que os fazendeiros usam, são chamadas de semente híbrida. Curiosamente, em muitos casos nos quais duas linhagens diferentes de planta são unidas em um híbrido F_1 . Essa superioridade geral de múltiplos

heterozigotos é chamada de *vigor híbrido*. Os motivos moleculares para o vigor híbrido são praticamente desconhecidos e ainda intensamente debatidos, mas o fenômeno é inegável e tem feito grandes contribuições para a agricultura. Um aspecto de usar híbrido é que, a cada estação, as duas linhagens parentais devem ser cultivadas separadamente, e então, entrecruzadas para fazer a semente híbrida para venda. Esse processo é muito mais inconveniente do que manter linhagens puras, que necessitam apenas deixar que as plantas se auto-fecundem; conseqüentemente, a semente híbrida é mais cara do que as de linhagem puras.

Base cromossômica da produção independente

Com a segregação igual, a distribuição independente de pares de genes em cromossomos diferentes é explicada pelo comportamento dos cromossomos durante a meiose. Considere um cromossomo, que poderemos chamar de 1; seus dois homólogos podem ser chamados de 1' e 1''. Se os cromossomos se alinham no equador, então 1' pode ir para o "norte" e 1 para o "sul", ou vice-versa. Similarmente, para o cromossomo 2 como 2 homólogos 2' e 2'', 2' pode ir para o norte e 2'' para o sul, ou vice versa. Assim, o cromossomo 2 ou 2'', dependendo de quais cromossomos foram levados na mesma direção.

Distribuição independente em organismos diploides

A base cromossômica da lei da distribuição independente é formalmente diagramada, que ilustra como o comportamento separado de dois pares de cromossomos diferentes dá a origem a proporções mendelianas de 1:1:1:1 dos tipos gaméticos esperados pela distribuição independente. A célula hipotética tem quatro cromossomos longos homólogos e um par de cromossomos homólogos pequenos. O genótipo dos meiócito é A/a; B/b e dois pares de alélicos A/a e B/b, são mostrados em dois pares de cromossomos diferentes.

Distribuição independentes em organismos haplóides

Nos fungos ascomicetos, podemos inspecionar os produtos de um único meiócito para mostrar diretamente a distribuição independente. Vamos usar o fungo filamentoso *neurospora crassa* para ilustrar esse ponto. O *neurospora crassa* misturando duas linhagens parentais haploides de tipo reprodutivo oposto. Em um modo similar ao de leveduras, o tipo reprodutivo é determinado por dois alelos de um gene, nessa espécie, chamados de MAT-A e MAT-a.

Herança Poligênica

Até agora, nossa análise enfocou diferenças monogênicas, com o uso de fenótipos bem contrastantes, tais como pétalas vermelhas *versus* brancas, sementes lisa *versus* rugosas. Entretanto uma grande proporção de variação em populações naturais tem forma de variação contínua que é tipicamente encontrada em características que podem ter algum valor mensurável de dois extremos. Altura, peso e intensidade de cor são exemplos de tais características métricas ou quantitativas. Tipicamente quando o valor métrico dessas características é plotado contra a frequência de uma população natural. A curva de distribuição tem forma de um sino é devida ao fato de que os valores médios soa os mais comuns, enquanto os valores extremos são raros.

Genes de Organelas

Até agora consideramos apenas genes nucleares. Embora o núcleo contenha a maior parte dos genes de um organismo eucariótico, um subgrupo distinto e especializado do genoma é encontrado nas mitocôndrias, e, nas plantas, também nos cloroplastos. Esse subgrupos são herdados independentemente do genoma nuclear, e assim eles consistem um

caso especial de herança independente, às vezes chamada de herança extra nuclear.

As mitocôndrias e cloroplastos são organelas especializadas situadas no citoplasma. Contém pequenos cromossomos circulares que levam a um subgrupo definido do genoma celular total. Os genes mitocondriais estão envolvidos na tarefa mitocondrial de produção de energia, enquanto os genes de cloroplasto são necessários para o cloroplasto desempenhar sua função de fotossíntese. Entretanto, nenhuma das organelas é funcionalmente autônoma, pois cada uma é baseada em grande parte dos genes nucleares para sua função.

Padrões de herança em organelas

Os genes de organelas apresentam seu próprio modo especial de herança chamado herança uni-parental: a prole herda genes de organela exclusivamente de um genitor; mas não de outro. Na maioria dos casos esse genitor é a mãe, um padrão chamado de **herança materna**. Porque só a mãe? A resposta está no fato de os cromossomos de organelas estarem situados no citoplasma e os gametas femininos não contribuem como o citoplasma igualmente para o zigoto. Com relação aos genes nucleares, ambos os genitores contribuem igualmente para o zigoto. Entretanto o ovócito contribui com a maior parte do citoplasma, enquanto o espermatozoide não contribui com praticamente nada. Assim como as organelas estão no citoplasma, o genitor feminino contribui com as organelas ao longo do citoplasma, e essencialmente nada do DNA da organela no zigoto vem do genitor masculino.

Segregação Citoplasmática

Em alguns casos, as células contém misturas de organelas mutantes e normais. Essas células são chamadas de *citohets* ou *heretoplasmons*. Nessas misturas, um tipo de segregação citoplasmática pode ser detectada, na qual os dois tipos se distribuem em células-filhas diferentes. O processo é baseado na repartição aleatória no curso da divisão celular. As plantas

fornece um bom exemplo. Muitos casos de folhas brancas são causados por mutações nos genes de cloroplastos que controlam a produção e deposição do pigmento verde clorofila. Como a clorofila é necessária para a planta viver; esse tipo de mutação é letal, e as plantas de folhas brancas não podem ser obtidas de cruzamentos experimentais. Entretanto, algumas plantas variegadas tendo como manchas verdes quanto brancas. Assim as plantas variegadas fornecem um meio para demonstrar a segregação citoplasmática.

Mutações citoplasmáticas em humanos

Existem mutações citoplasmáticas em humanos. Alguns heredogramas humanos apresentam a transmissão de raros distúrbios através de mulheres e nunca através de homens. Esse padrão sugere fortemente a herança citoplasmática e indica uma mutação no mtDNA como o motivo para o fenótipo. A doença MERRF (epilepsia mioclônica e fibras vermelhas anfractuadas) é um desses fenótipos, resultando da mudança de uma única base no mtDNA. É uma doença que afeta os músculos, mas os sintomas também incluem distúrbios oculares e auditivos. Em alguns casos, as células de um paciente contêm misturas de cromossomos normais e mutantes, e as proporções de cada passada para a prole podem variar como resultado de segregação citoplasmática. As proporções de uma pessoa também podem variar em tecidos diferentes ou com o tempo. O acúmulo de alguns tipos de mutações mitocondriais, com o tempo, tem sido proposto como uma possível causa de envelhecimento.

Cap. 4 Mapeamento de Cromossomos Eucarióticos pós Recombinação

A obtenção do mapa das posições dos genes nos cromossomos é uma tarefa que ocupou milhares de geneticistas nos últimos 80 anos. Existem vários motivos:

1. A posição do gene é uma informação crucial necessária para construir genótipos complexos necessários para fins experimentais ou aplicações comerciais.
2. Conhecer a posição ocupada por um gene fornece um modo de focar sua estrutura e função. A posição de um gene pode ser usada para defini-lo em nível de DNA. Por sua vez, a sequência de DNA de um gene tipo selvagem ou seu alelo mutante é uma parte necessária para deduzir sua função subjacente.
3. Os genes presentes e sua posição nos cromossomos são, em geral, ligeiramente diferentes em espécies correlatas.

Diagnósticos de ligação

Os mapas de recombinação dos cromossomos são geralmente montados com dois ou três genes de cada vez, com o uso de um método chamado análise de ligação. Quando os geneticistas dizem que dois genes são ligados, eles querem dizer que os *loci* desse genes estão no mesmo cromossomo, e assim, os alelos de qualquer homólogo estão fisicamente unidos, pelo DNA entre eles. O modo pelo qual os primeiros geneticistas deduziram a ligação é um meio útil de introduzir a maioria das ideias principais e procedimentos na análise.

Crossing Over

A ideia de que os recombinantes são produzidos por um tipo de troca material entre os cromossomos homólogos era tentadora. Mas era necessário experimentação para testar essa hipótese. Uma primeira etapa era encontrar um caso no qual a troca de partes entre os cromossomos seria visível ao microscópio.

O que podemos dizer sobre mecanismo molecular de troca cromossômica em *crossing*? A resposta simples é que o *crossing* resulta da quebra e união de DNA. Duas quebras cromossômicas parentais ocorrem na mesma posição, e então cada pedaço junta-se ao pedaço vizinho de outro cromossomo.

Qualquer par de cromossomos homólogos, duas, três ou quatro cromátides podem tomar partes em eventos de crossing em único meiócito.

Mapeamento por frequência de recombinação

A frequência de recombinantes produzidas pelo *crossing over* é a chave do mapeamento cromossômico. A análise de tétrades de fungos, mostra que para qualquer dois genes ligados específicos, os crossings ocorrem entre eles em alguns meiócitos, mas não em todos. Quanto mais distantes os genes estiverem, mais provavelmente ocorrerá um *crossing* e maior a proporção de produtos recombinantes. Assim a proporção de recombinantes é a chave para a distância que separa dois *loci* genéticas em mapa cromossômico.

O método básico do mapeamento de genes com o uso de frequências recombinantes foi desenvolvido por um estudante de Morgan. À medida que Morgan estudava mais os genes ligados, ele percebeu que a proporção de prole recombinante variava consideravelmente, dependendo de quais genes ligados estavam sendo estudados e ele pensou que tal variação na frequência de recombinantes podia indicar, de algum modo, as distâncias reais que separam os genes nos cromossomos. Morgan atribuiu a qualificação desse processo a um estudante de graduação. Alfred Sturtevant, que também se tornou um grande geneticista. Morgan pediu a Sturtevant que tentasse dar alguns sentidos aos dados de *crossing over* entre genes ligados diferentes.

O nível seguinte de complexidade é um cruzamento de um tribrido (tríplo heterozigoto) com um testador tripló recessivo. Esse tipo de cruzamento de um tribrido com um testador tripló recessivo. Esse tipo de cruzamento, chamado de **cruzamento teste de três pontos**, é comumente usado na análise de ligação. A meta é deduzir se os três genes estão ligados e, se estiverem, deduzir sua origem e suas distâncias de mapas entre eles.

Mapeamento com marcadores moleculares

A variação fenotípica baseada em alelos é uma parte da variação geral entre membros individuais de uma população. Um exame das sequências de DNA de indivíduos diferentes de uma espécie revela uma variação considerável.

As variações moleculares são tão comuns que muitos indivíduos são heterozigotos moleculares em vários loci diferentes no genoma.

Embora os marcadores moleculares de mapeamento com o uso dos que são efetivamente cruzamentos testes constituam o tipo mais simples de análise informativa, muitos cruzamentos envolvendo marcadores moleculares não são cruzamentos testes. Entretanto, como cada alelo molecular, tem sua própria assinatura, detectável mesmo em heterozigotos, tais cruzamentos, em geral, são informativos porque permitem a detecção de recombinantes e não recombinantes.

Loci de qualquer heterozigotose de DNA podem ser mapeados e usados como marcadores cromossômicos moleculares ou marcadores.

Poliformismos de comprimento de sequência simples

Uma das surpresas da análise genômica molecular é que a maioria dos genomas contém uma grande quantidade de DNA repetitivo. Além disso, existem muitos tipos de DNA repetitivo. Em uma ponta do espectro estão repetições múltiplas adjacentes de curtas sequências simples de DNA. A origem dessas repetições não está clara, mas a característica que a torna útil é que, em indivíduos diferentes, existem geralmente números diferentes de cópias. Assim, essas repetições são chamadas de **poliformismos de comprimento de consequência simples (SSLP)**. Elas também são chamadas, às vezes, **repetições em tandem de número variável ou VNTR**.

Mapeamento De Centrômero Com Tétrades Lineares

Os centrômeros não são genes, mas sim regiões do DNA da qual a reprodução ordenada do organismo vivos dependem absolutamente, e, portanto, são de

grande interesse em genética. Na maioria dos eucariontes, a análise de recombinação pode ser usada para mapear *loci* de centrômeros, pois eles não apresentam heterozigose que lhes permita serem usados como marcadores. Entretanto, nos fungos que produzem tétrades lineares, os centrômeros podem ser mapeados. Usaremos o fungo *Neurospora* como um exemplo. Lembre-se que o fungo *Neurospora* (um haploide), as divisões meióticas ocorrem ao longo do eixo do asco, e assim cada meiócito produz um arranjo linear de oito ascósporos, chamado de **octade**. Esses oito ascósporos constituem os quatro produtos da meiose (uma tétrade) mais uma meiose pós mitótica.

Uso de Valores de Lod para Avaliar a Ligação em Heredogramas Humanos

Os humanos têm milhares de fenótipos herdados autossomicamente, e o mapeamento dos *loci* dos genes que causam esses fenótipos pode parecer uma simples questão de usar recombinação. Entretanto, o progresso no mapeamento desses *loci* foi inicialmente lento por vários motivos. Primeiro, os cruzamentos controlados não podem ser feitos com seres humanos, e o geneticistas tiveram que tentar calcular frequências de recombinantes em diíbridos e ocasionais que foram produzidos ao acaso em reproduções humanas. As reproduções que eram equivalentes a cruzamentos-teste eram extremamente raras. Segundo, os seres humanos em geral produzem apenas um pequeno número de prole, dificultando a obtenção de dados suficientes para calcular distâncias de mapa estatisticamente confiáveis.

Computo de *Crossings* Múltiplos Não-vistos

Na discussão de cruzamento-teste de três pontos, algumas cromátides parentais resultam de *crossing* duplos. Esses *crossings*, inicialmente, não podiam ser contados na frequência de recombinantes, desviando os resultados. Essa situação levou a uma noção preocupante que todas as distâncias de mapa baseadas em frequência de recombinantes podem ser subestimativas de distâncias físicas porque os *crossing* múltiplos não-

detectados podem ter ocorrido, alguns de cujos produtos não seriam recombinantes. Vários enfoques matemáticos criativos foram criados para tornar o problema de *crossing* múltiplo.

Função de mapa

O enfoque desenvolvido por Haldane foi criar uma função de mapa, uma fórmula que relaciona um valor observado de frequência recombinante como uma distância de mapa corrigido para múltiplos *crossings*. O enfoque funciona relacionando FR ao número médio de *crossings*, m , que deve ter ocorrido nesse segmento cromossômico por meiose e então deduzindo que a distância de mapa esse valor m deve ter produzido.

Para encontrarmos a relação de FR com m , devemos primeiro pensar no resultado das várias possibilidades de *crossing*. Em qualquer região cromossômica, devemos esperar meioses com zero, um, dois, três, quatro ou mais *crossings*.

O uso de mapas baseados em recombinação em conjunto com Mapas Físicos

Os mapas de recombinação têm sido o principal tópico. Eles mostram os *loci* de genes para os quais alelos mutantes foram encontrados. As posições desse *loci* em um mapa são determinados com base na frequência de recombinantes na meiose. A frequência de recombinantes é considerada proporcional a distância que separa os dois *loci* no cromossomo. Assim, a frequência de recombinantes torna-se a unidade de mapeamento. Tal mapeamento, baseado em recombinação de genes com fenótipos mutantes conhecidos, vem sendo feito há quase um século. Vimos como os sítios de heterozigose molecular também podem ser incorporados em tais mapas de recombinação. Como qualquer sítio heterozigoto, esses marcadores moleculares são mapeados por recombinação e, então, usados para navegar por um gene de interesse biológico. Fazemos a suposição perfeitamente razoável de que um mapa de

recombinação representa o arranjo dos genes nos cromossomos, mas, como já foi dito, esses mapas são construções realmente hipotéticas. Em contraste os mapas físicos são o mais próximo do mapa genômico real que a ciência pode ter.

Cap. 5 A Genética de Bactérias e seus Vírus

Muito embora a genética de bactérias tenha tornado possível a genética molecular, esta nunca foi a meta das pesquisas. As bactérias são biologicamente importantes por si mesmas. São organismos numerosos em nosso planeta. Contribuem para reciclar nutrientes tais como nitrogênio, enxofre e carbono nos ecossistemas. Algumas são agentes de doenças humanas, animais e de plantas. Outras vivem simbioticamente dentro de nossas bocas e intestinos. Além disso muitos tipos de bactérias são úteis para a síntese industrial de uma ampla gama de produtos orgânicos. Assim, o ímpeto de dissecção genética das bactérias tem sido o mesmo que de organismos multicelulares, para compreender seu funcionamento biológico.

As bactérias pertencem a uma classe de organismos conhecidos como procariontes, que também incluem as algas cianofíceas. Uma característica fundamental para definir os procariontes é que seu DNA não é circundado dentro de um núcleo delimitado por uma membrana. Como outros organismos, as bactérias têm genes compostos de DNA disposto em uma série de um cromossomo. Entretanto, a organização de seu material genético é única sob vários aspectos. O genoma na maioria das bactérias é uma molécula de DNA bifilamentar sob a forma de um círculo fechado. Além disso, as bactérias na natureza em geral contêm elementos extras de DNA chamados de plasmídeos. A maioria dos plasmídeos também são círculos de DNA, mas são muito menores que o genoma bacteriano principal.

Trabalhando com microorganismos

As bactérias dividem-se rapidamente e ocupam pouco espaço; logo, são convenientes para usar como organismos modelo. Elas podem ser cultivadas em meio líquido ou em uma superfície sólida tal como gel de ágar, desde que os nutrientes básicos sejam fornecidos. Cada bactéria divide-se assexualmente em $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16$ células, e assim por diante, até que os nutrientes sejam esgotados ou até que os produtos tóxicos se acumulem em níveis que param o crescimento da população. Uma pequena quantidade de cultura líquida pode ser pipetada em uma placa de Petri contendo meio sólido de ágar e espalhar-se igualmente pela superfície com um espalhador estéril, em um processo chamado de plaqueamento. As células dividem-se, mas, como não podem viajar pela superfície do gel, todas as células ficam juntas em um aglomerado. Quando essa massa atinge mais de 10^7 células, ela se torna visível a olho nu como uma colônia. Cada colônia distinta em uma placa foi derivada de uma única célula original. Os membros de uma colônia que tem um único ancestral genéticos são conhecidos como um **clone celular**.

Conjugação Bacteriana

Os primeiros estudos de genética bacteriana revelaram o processo inesperado de conjugação bacteriana.

As bactérias possuem processos similares à reprodução sexual e recombinação? A pergunta foi respondida pelo trabalho experimental elegante de Joshua Lederberg e Edward Tatum, que, em 1946, descobriram o processo tipo sexual no que se tornou o principal modelo para a genética de bactérias. Eles estavam estudando duas linhagens de *E. coli* com conjuntos diferentes de mutações auxotróficas. A linhagem A só cresceria se o meio fosse suplementado com metionina e biotina; a linhagem B só cresceria se fosse suplementada com treonina, leucina e tiamina.

Mapeamento de cromossomos bacterianos

Mapeamento cromossômico de ampla escala usando o tempo de entrada Wollman e Jacob perceberam que a construção de mapas de ligação pelos resultados de reprodução interrompida seria fácil usando, como medida de distância, os tempos nos quais os alelos doadores primeiro apareciam após a reprodução. As unidades de distância de mapas nesse caso são minutos. Assim, se b^+ começa a entrar na célula F- 10 min após a^+ começa a entrar, então a^+ e b^- distam 10 unidades. Como os mapas eucarióticos baseados em *crossings*, esses mapas de ligação foram originalmente puras construções genéticas. Na época em que eles foram originalmente criados, não havia modo de testar sua base física.

Plasmídeo F que levam fragmento genômicos

O fator F em linhagens Hfr é geralmente bem estável em sua posição de inserção. Entretanto, ocasionalmente um fator F claramente sai de um cromossomo por uma reversão do processo de recombinação que o inseriu em primeiro lugar. As duas regiões homólogas de pareamento de ambos os lados fazem novo pareamento, e ocorre um *crossing over* pra liberar o plasmídeo F. Entretanto, às vezes a saída não é limpa, e o plasmídeo leva com ele uma parte do cromossomo bacteriano. Um plasmídeo F levando o DNA genômico bacteriano é chamado de **plasmídeo F' (F primo)**.

Plasmídeo R

Uma alarmante propriedade das bactérias patogênicas, primeiro veio a luz pós estudos em hospitais japoneses no ano 1950. Disenteria bacteriana é causada por bactérias do gênero *shigella*. Essa bactéria foi inicialmente sensível a uma ampla gama de antibióticos que foram usados para controlar a doença. Nos hospitais japoneses, entretanto, *shigella* isoladas de pacientes com disenteria mostrou-se simultaneamente resistente a muitas dessas drogas, incluindo penicilina, tetraciclina, sulfanilamida, estreptomicina e cloranfenicol. Essa

resistência a múltiplas drogas foi herdada como único pacote genético, e pode ser transmitido de modo infeccioso, não só para outras linhagens sensíveis a *shigella*, mas também para outras espécies de bactérias. Esse talento que se assemelha à mobilidade do plasmídeo F de *E.coli*, é extraordinariamente útil para as bactérias patogênicas porque a resistência pode se expandir rapidamente por uma população. Entretanto, suas implicações para a ciência medica são terríveis porque a doença bacteriana subitamente se torna resistente ao tratamento por uma grande gama de drogas.

Transformação bacteriana

Algumas bactérias podem captar fragmento de DNA do meio externo, e tal captação constitui outro modo pelo qual as bactérias podem trocar seus genes. A fonte do DNA podem ser outras células da mesma espécie. Em alguns casos, o DNA foi liberado de células mortas; em outros casos, o DNA foi secretado de células bacterianas vivas. O DNA captado integra-se ao cromossomo receptor. Se o DNA é de um genótipo diferente do da receptora, o genótipo da receptora pode tornar-se permanentemente alterado, um processo adequadamente chamado de **transformação**.

Mapeamento cromossômico usando transformação

A transformação pode ser usada para medir o quanto dois genes ligados estão próximos em um cromossomo bacteriano. Quando o DNA é extraído para experimentos de transformação, é inevitável alguma quebra de pedaços menores. Se dois genes doadores estão situados muito próximos no cromossomo, há uma boa chance de, eles serem levados no mesmo pedaço do DNA transformante. Assim ambos serão captados, causando uma transformação dupla.

Infecção de bactérias por fagos

A maioria das bactérias são suscetíveis ao ataque por bacteriófagos. Um fago consiste em um “cromossomo” de ácido nucleico (DNA ou RNA)

circulando por uma capa de moléculas de proteína. Os tipos de fagos são identificados não por nome de espécies, mas por símbolos. Durante a infecção um fago liga-se a uma bactéria e injeta seu material genético no citoplasma bacteriano, como diagramado. A informação genética do fago então comanda a maquinaria da célula bacteriana desligando a síntese dos componentes bacteriano se redirecionando a maquinaria de síntese de componentes da bactéria para fazer componentes do fago. As cabeças de fagos recém formadas são individualmente recheadas por replicas do cromossomo fago. Finalmente são feitos muitos descendentes do fago e são liberados quando a parede celular da bactéria é rompida. Esse processo de abertura é chamado de **lise**. A população de prole de fagos é chamada de **lisado de fagos**.

Transdução

Alguns fagos são capazes de captar genes bacterianos e levá-los de uma bactéria para a outra: um processo conhecido como transdução. Assim a transdução unta-ser como a bactéria de modos de transferir material genômico entre bactérias, juntamente com a transferência de cromossomo Hfr, transferência de plasmídeo F' e transformação.

Mapas físicos e Mapas de ligação comparados

Alguns mapas cromossômicos, muito detalhados, de bactérias foram obtidos combinando as técnicas de mapeamento de reprodução interrompida, mapeamento de recombinação, transformação de transdução. Hoje em dia, novos marcadores genéticos são tipicamente mapeados primeiro em segmento com cerca de 10 a 15 min. de mapa usando a reprodução interrompida. Marcadores adicionais aproximadamente ligados podem ser mapeados em uma análise escala fina com o uso de co-transdução de P1 ou recombinação.

Cap. 6 Interação Genética

No nível molecular, os organismos operam mais ou menos do mesmo modo que uma linha de montagem em uma fábrica, como uma série de vias químicas nas quais cada etapa é controlada por um produto gênico. Existem milhares de tais vias, de tamanhos diferentes e conectados de vários modos em redes ou sistemas. Os genes que interagem são membros da mesma via ou de uma via conectada. Para fins de discussão, podemos distinguir vários tipos importantes de vias, essas vias se superpõem vários graus. Primeiro, existem vias puramente biossintéticas, nas quais a molécula essencial é produzida em uma série de interconexões catalisadas por enzimas codificadas por genes. Segundo, existem vias de transdução de sinal que transmitem instruções de um sinal extracelular, como substância ambiental ou um hormônio de outra parte do corpo. Esse sinal ativa uma proteína celular que, por sua vez, ativa outra, e assim por diante em uma cascata de ativação, a qual geralmente termina na ativação de uma proteína reguladora que liga e desliga a transcrição de conjunto de genes. Terceiro, existem vias desenvolvimentais, um conjunto diverso de processos, muitos dos quais são controlados por genes, que promovem o crescimento e diferenciação do corpo de um organismo. Quando nós deduzimos tais vias por meio de pesquisas, chegamos perto de compreender o subgrupo de genoma que controla a propriedade que nos interessa.

Interação de alelos de um único gene: variação de dominância

Existem milhares de modos diferentes de alterar a sequência de um gene, produzindo uma mutação, embora alguns desses alelos mutantes pareçam em uma população real. Os mutantes conhecidos de um gene são chamados de **alelos múltiplos** ou uma **série alélica**.

Dominância completa e recessividade

O tipo mais simples de dominância é a dominância total ou completa. Um alelo completamente dominante será expresso quando apenas uma cópia está presente, como no heterozigoto, enquanto o alelo alternativo será totalmente recessivo. Na dominância completa, o homozigoto dominante não pode ser distinto do heterozigoto, isto é, em nível fenotípico, $A/A=A/a$. A fenilcetonúria (PKU), e muitas outras doenças humanas monogênicas, são totalmente recessivas, enquanto os alelos tipo selvagem são dominantes, embora, nesses casos, o alelo tipo selvagem seja recessivo.

Alelos Letais Recessivos

Um alelo que é capaz de causar a morte de um organismo é chamado de *alelo letal*. Na caracterização de um conjunto de alelos mutantes recém descobertos, uma mutação recessiva é, às vezes, descoberta como letal. Essa informação é potencialmente útil, pois mostra que o gene recém descoberto é essencial para a operação do organismo. De fato, com o uso da tecnologia do DNA, um alelo mutante nulo de um gene de interesse, agora, pode ser feito intencionalmente, e tornado homozigoto para ver se é letal, e sob quais condições ambientais. Os alelos letais também são úteis para determinar o estágio desenvolvimental no qual o gene normalmente atua. Nesse caso, os geneticistas investigam se a morte ocorreu por alelo mutante letal cedo ou tarde no desenvolvimento de um zigoto. O fenótipo associado à morte também pode ser informativo com relação à função do gene; por exemplo, se certo órgão parece ser anormal, o gene provavelmente se expressa nesse órgão.

Interação gênica em outros tipos de vias

A noção de que os genes interagem por meio de vias é poderosa e tem aplicação em todos os organismos. A via de arginina de *Neurospora* é um exemplo de uma via sintética, uma cadeia de conversões enzimáticas que produz nutrientes essenciais. Podemos ampliar essa ideia nivelmente para outro caso já introduzido, a doença fenilceturia (PKU), que é causada por um alelo autossômico recessivo. A PKU resulta da incapacidade de converter fenilalanina em tirosina. Conseqüentemente, a fenilalanina acumula-se e é, espontaneamente, convertida em um composto tóxico, o ácido fenilperúvico. O gene de PKU é parte de uma via sintética, como a via de arginina de *Neurospora*.

Interações gênicas interferentes

Como efetuar uma análise genética que revela os genes interagem para contribuir com uma propriedade biológica determinada? Resumidamente, o enfoque é o seguinte:

1. Tratar células com agentes causadores de mutação, tais como radiação ultravioleta. Esse tratamento produz um grande conjunto de mutantes com uma expressão anormal da propriedade de estudo. Cada mutante é verificado para confirmar a herança monogênica. É avaliado o efeito fenotípico de cada mutante no desenvolvimento da propriedade.
2. Testar esses mutantes para determinar o número total de *loci* gênicos que tomam parte e quais mutações são alelos do mesmo gene.
3. Combine as mutações par a par fazendo cruzamentos para formar mutantes duplos para ver se eles interagem. A interação gênica é deduzida do fenótipo do mutante duplo, essencialmente qualquer desvio da combinação simples de fenótipos monogênicos mutantes. Se os alelos mutantes interagem não podemos deduzir que os genes tipo selvagem também interagem normalmente.

Penetrância e Expressividade

A análise de herança monogênica, há uma tendência natural para escolher mutantes que produzem claras proporções mendelianas. Em tais casos, podemos usar o fenótipo para distinguir os genótipos mutantes e tipo selvagem com quase 100% de certeza. Nesses casos, dizemos que a mutação é 100% penetrante no fenótipo. Entretanto, muitas mutações mostram penetrância incompleta, isto é, nem todos os indivíduos com o genótipo expressam o fenótipo correspondente. Assim, a penetrância é definida como a percentagem de indivíduos com determinação alelo que exibem o fenótipo associado a esse alelo.

Cap. 7 DNA: Estrutura e Replicação

A história começa na primeira metade do século XX, quando o resultado de vários experimentos levou os cientistas a concluir que o DNA é o material genético, não outra molécula biológica tal como um carboidrato, proteínas ou lipídeos. O DNA é uma molécula simples feita apenas de quatro blocos estruturais (os quatro nucleotídeos). Assim, foi necessário pesquisar como essa molécula tão simples podia ser o mapa para a incrível diversidade para os organismos na terra.

O modelo de dupla hélice proposto por Watson e Crick foi feito com base nos resultados de cientistas anteriores a ele. Eles basearam em descobertas anteriores da composição química do DNA e proporções de sua base. Além disso, imagem de difração de raios X revelaram ao olho treinado que o DNA é uma hélice de dimensões precisas. Watson e Crick concluíram que o DNA é uma dupla hélice composta de duas cromátides de nucleotídeos ligados que se enrolam uma na outra.

A estrutura proposta do material hereditário imediatamente sugeriu como ele poderia servir como um mapa, e como esse mapa poderia ser transmitido ao longo das gerações.

A estrutura do DNA

Mesmo antes da estrutura do DNA ser elucidada, os estudos genéticos indicam que o material genético deve ter três propriedades principais:

1. Como essencialmente cada célula de um corpo de um organismo tem a mesma constituição genética, a replicação fiel do material genético em cada divisão celular é crucial. Assim, as características estruturais do DNA devem permitir uma replicação fiel.
2. Como ele deve codificar uma constelação de proteínas expressas por um organismo, o material genético deve ter conteúdo informacional. Como a informação codificada no DNA é decifrada para produzir proteínas.
3. Como as alterações hereditárias, chamadas mutações, fornecem a matéria prima para a seleção evolutiva, o material genético deve ser capaz de mudar em raras ocasiões. Entretanto, a estrutura do DNA deve ser estável de modo que os organismos possam se basear em sua informação codificada.

Replicação Semiconservativa

O mecanismo de cópia, ao qual Watson e Crick se referiram, é chamado de *Replicação Semiconservativa*. Os arcabouços açúcar fosfato são representados por fitas espessas, e a sequência de pares de bases é aleatória. Imaginemos que a dupla hélice é análoga a um zíper que se abre, começando em uma ponta. Poderemos ver que essa analogia com o zíper é válida, deslicoidização dos dois filamentos irá expor as bases em cada filamento. Cada base exposta tem o potencial para parear os nucleotídeos livres na solução. Como a estrutura do DNA impõe requisitos rígidos de pareamento, cada base exposta irá parear apenas com sua base complementar, A com T e

G com C. assim, cada uma dos filamentos irá agir como um molde, para dirigir para a montagem de bases complementares para reestruturar uma dupla hélice idêntica à original. Os nucleotídeos recém adicionados são supostos como vindos de um conjunto de nucleotídeos livres que devem estar presentes na célula.

DNA polimerase

Um problema confrontado pelos cientistas foi compreender como essas bases são trazidas para a dupla hélice molde. Embora os cientistas suspeitem que as enzimas tenham um papel, essa possibilidade não foi provada até 1959, quando Artur Kornberg isolou o DNA polimerase de E.coli e demonstrou essa atividade enzimática *in vitro*. Essa enzima desoxirribonucleotídeos à ponta 3' de uma cadeia crescente de nucleotídeos, usando como molde um único filamento de DNA que foi exposto pela deselicoidização localizada da dupla hélice. Os substratos para a DNA polimerase são as formas trifosfato de desoxirribonucleotídeos, dATP, dGTP, dCTP e d TTP.

Telômeros e Telomerase: Término da Replicação

A replicação da molécula linear de DNA em um cromossomo eucariótico ocorre em ambas as direções a partir de várias origens de replicação. Esse processo replica a maioria do DNA cromossômico, mas há um problema inerente em replicar as duas pontas das moléculas lineares de DNA, as regiões chamadas de Telômeros. A síntese contínua do filamento *leading* pode ocorrer até a ponta do molde. Entretanto, a síntese do filamento descontínuo (lagging) requer primeiro à frente do processo; logo, quando o último *primer* é removido, resta uma ponta unifilamentar em uma molécula-filha de DNA. Se o cromossomo filho com essa molécula de DNA fosse replicado novamente, o filamento faltando sequências na ponta seria uma molécula bifilamentar encurtada após a replicação. A cada ciclo subsequente de replicação, o Telômero continuaria a se encurtar, até que informações codificantes essenciais fossem perdidas.

Cap. 8 Transcrição e Processamento

Com a liberação da primeira sequência de rascunho, foi anunciado um vencedor. Surpreendentemente, o que entrou com a baixa estimativa, 25.947 genes, foi declarado o vencedor. Como pode o *Homo Sapiens*, com seu cérebro complexo e sofisticado sistema imune, ter apenas o dobro de genes que um verme nematelminto e o mesmo número e genes que o primeiro genoma de plantas sequenciado, a praga *Aradobdopsis Thaliana*? A resposta a essa pergunta tem a ver com a marcante descoberta feita no final dos anos 70. Nessa época, as proteínas de organismos superiores foram descobertas como sendo codificadas no DNA, não como trechos contínuos, mas em pedaços. Assim os genes de eucariontes superiores são geralmente compostos de pedaços chamados **éxons**, que codificam partes das proteínas, e pedaços chamados **íntrons**, que separam os éxons. Uma cópia de RNA contendo tantos éxons quanto íntrons é sintetizada de um gene. Uma máquina biológica (spliceossomo) remove os íntrons que une os éxons (recomposição do RNA) para produzir um RNA final que contém a informação contínua e necessária para sintetizar uma proteína.

Propriedades do RNA

O RNA é geralmente uma cadeia de nucleotídeos unifilamentares, não uma dupla hélice como o DNA. Uma consequência é que o RNA é mais flexível e pode formar uma variedade muito maior de formas moleculares tridimensionais complexas do que pode o DNA bifilamentar. Um filamento de RNA pode se dobrar de tal modo que algumas de suas próprias bases podem fazer par com

outras. Tal pareamento intramolecular de bases é um determinante importante da forma do RNA.

O RNA tem açúcar ribose em seus nucleotídeos, em vez da desoxirribose encontrada no DNA. Como os nomes sugerem, os dois açúcares diferem na presença ou ausência de apenas um átomo de oxigênio. O açúcar do RNA contém um grupo de hidroxila (OH) ligado ao átomo de carbono 2', enquanto o açúcar do DNA tem apenas um átomo de hidrogênio ligado ao átomo de carbono 2'.

Os nucleotídeos de RNA contêm bases adenina, guanina e citosina, mas a base pirimidínica (U) está presente no lugar de timina.

O RNA como as proteínas, mas não são como o DNA, pode catalisar reações biológicas. O nome ribozima foi criado para moléculas de RNA que funcionam como enzimas proteicas.

Classes de RNA

Os RNA podem ser agrupados em duas classes gerais. Uma classe de RNA codifica a informação necessária para fazer cadeias peptídicas (proteínas). Chamamos essa classe de **RNA mensageiro(mRNA)**, porque como um mensageiro, esse RNA serve como intermediários e passam a informação do DNA para a proteína. Chamamos as outras classes de **RNA funcionais** porque o RNA não codifica a informação para fazer proteínas. Em vez disso, o próprio RNA é o produto funcional final. Como o RNA é uma molécula tão versátil, ele pode atender muitos papéis funcionais e participar em uma variedade de processos celulares.

RNA mensageiro: as etapas pelas quais um gene influencia o fenótipo são chamados de expressão gênica. Para a grande maioria dos genes, o RNA transcrito é apenas um intermediário necessário para a síntese de uma proteína, que é o produto final funcional que influencia o fenótipo.

RNA funcional: à medida que sabemos mais sobre os detalhes íntimos da expressão gênica e regulação, torna-se aparente que os RNA funcionais caem

em uma variedade de classes e tem papéis diversos. Novamente, é importante enfatizar que os RNA funcionais são ativos como RNA; eles nunca são traduzidos em polipeptídeos. Duas classes de RNA funcionais são encontradas tanto em procariontes quanto eucariontes: RNA transportadores e RNA ribossômicos. **RNA transportador (tRNA):** são moléculas responsáveis por levar o aminoácido correto para o mRNA no processo de tradução. **RNA ribossômico (rRNA):** são moléculas dos principais componentes ribossomos, que são grandes máquinas macromoleculares que guiam a montagem da cadeia de aminoácidos pelo mRNA e rRNA.

Transcrição

A primeira etapa na transferência da informação do gene da proteína é produzir um filamento de RNA cuja sequência de bases de um segmento de DNA, às vezes seguido de modificação desse RNA para prepará-lo para seus papéis celulares específicos. Assim, o RNA é produzido por um processo que cópia a sequência de nucleotídeos do DNA. Como esse processo reminiscente da transcrição (cópia) de palavras escritas, a síntese do RNA é chamada de **transcrição**. O DNA é dito sendo transcrito em RNA, e o RNA é chamado de **transcrito**.

Estágios da transcrição

A sequência codificante de proteína em um gene é um segmento relativamente pequeno do DNA inserido em uma molécula de DNA muito longa (o cromossomo). Como seguimento apropriado é transcrito em uma molécula unifilamentar de RNA de tamanho e sequência de nucleotídeos corretos? Como o DNA de um cromossomo é uma unidade contínua, a maquinaria transcricional deve ser dirigida para o começo de um gene para começar a transcrever no local certo, continuar transcrevendo ao longo do gene, e finalmente parar de transcrever na outra ponta. Esses três estágios distintos da transcrição são chamados de **iniciação, alongamento e término**. Embora

esse processo geral de transcrição seja, marcadamente, similar, em procariontes e eucariontes existem diferenças importantes.

Cap. 9 Proteínas e sua Síntese

O uso excessivo de antibióticos em todo o mundo provocou a evolução de linhagens bacterianas resistentes. Por exemplo, a cada ano mais de 2 milhões de pacientes em hospitais nos USA contraem uma infecção que é resistente a antibióticos, e 90.000 morrem como resultado. Como a resistência desenvolveu-se tão rapidamente? Para responder essa pergunta os cientistas têm focado a maquinaria celular que é o alvo dos antibióticos. Mais de metade de todos os antibióticos em uso têm o alvo ribossomo bacteriano, o sítio da síntese de proteínas nos procariontes. Embora os ribossomos dos procariontes e eucariontes sejam muito similares, ainda existem pequenas diferenças. Devido a essas diferenças, antibióticos são capazes de ter como alvo ribossomos bacterianos, mas deixar intocáveis os ribossomos eucarióticos. Usando a cristografia de raio X, os cientistas tiveram sucesso em visualizar antibióticos ligados ao ribossomo. Por esses estudos, eles determinaram que as mutações no rRNA bacteriano e/ ou proteínas ribossômicas são responsáveis pela resistência antibiótica. Com esse conhecimento dos pontos de contato entre alguns antibióticos e o ribossomo, os projetistas de drogas estão tentando criar uma nova geração de antibióticos que, por exemplo, sejam capazes de se ligar a vários sítios vizinhos. A lógica da tal projeto de droga é que a resistência seria mais durável porque precisaria da ocorrência de duas mutações, o que é um evento muito improvável, mesmo para uma bactéria.

Estrutura das Proteínas

Quando o transcrito primário foi totalmente processado em uma molécula final mRNA, pode ocorrer a tradução em proteína. Antes de considerarmos

como as proteínas são feitas, precisamos compreender a estrutura da proteína. As proteínas são os principais determinantes da forma e função biológica dessas moléculas influenciam muito a forma, cor, tamanho, comportamento e fisiologia dos organismos. Como os genes funcionam codificando proteínas, a compreensão da natureza das proteínas é essencial pra a compreensão da ação gênica.

Uma proteína é um polímero composto de monômeros chamados de aminoácidos. Em outras palavras, uma proteína é uma cadeia de aminoácidos. Como os aminoácidos já foram chamados de peptídeos, a cadeia às vezes é chamada de **polipeptídeo**.

O código genético

Se os genes são segmentos de DNA se um filamento de DNA é apenas uma fileira de nucleotídeos, deve ditar de algum modo a sequência de aminoácidos nas proteínas. A simples lógica nos diz que se um nucleotídeo são “letras” em um código, então uma combinação de letras pode formar “palavras” representando aminoácidos diferentes. Primeiro, devemos perguntar como o código é lido. Então, devemos perguntar quantas letras do mRNA constituem uma palavra, o **códon**, e que códon ou códons representam cada aminoácido.

Números de letras no códon

Se uma molécula de mRNA é lida de uma ponta para a outra, apenas uma das quatro bases diferentes , A, U, G ou C, pode ser encontrada em cada posição. Assim, se as palavras que codificam aminoácidos tivessem uma letra de tamanho, apenas quatro palavras seriam possíveis. Esse vocabulário não pode ser o código genético, pois precisamos ter uma palavra para cada aminoácido comumente encontrado na proteínas celulares. Se as palavras tivessem duas letras de tamanho, então $4 \times 4 = 16$

palavras seriam possíveis; por exemplo: AU, CU ou CC. Esse vocabulário ainda não é grande o suficiente.

Se as palavras tivessem três letras de tamanho, seriam possíveis $4 \times 4 \times 4 = 64$ palavras. Por exemplo: AUU, GCG e UCG. Esse vocabulário fornece palavras mais do que suficientes pra descrever aminoácidos. Podemos concluir que a palavra código deve se constituir em pelo menos três nucleotídeos. Entretanto, se todas as palavras são trinca, então as palavras possíveis são em considerável excesso às 20 necessárias para nomear os aminoácidos comuns.

tRNA: o Adaptador

Após tornar-se conhecido que uma sequência de aminoácidos de uma proteína foi terminada pelos códons de trinca no mRNA, os cientistas começaram a imaginar como era feita essa determinação. Um modelo inicial, rapidamente descartado como muito simples e improvável, propôs que os códons do mRNA poderiam dobrar-se e formar 20 cavidades distintas que se ligam diretamente a aminoácido na ordem correta.

Os aminoácidos de fato estão ligados a um adaptador. Cada aminoácido torna-se ligado a um rRNA específico, que então leva esse aminoácido para o ribossomo, o complexo molecular que irá ligar o aminoácido a um polipeptídeo crescente.

Ribossomos

A síntese de proteínas ocorre quando o tRNA e as moléculas de mRNA se associam aos ribossomos. A tarefa dos tRNA e ribossomo é traduzir a sequência de códons de nucleotídeos em mRNA em uma sequência de aminoácidos na proteína. O replissomo, por exemplo, é uma máquina biológica que pode replicar o DNA com precisão e velocidade. O sítio da síntese de proteínas, o ribossomo, é muito maior e mais complexo do que as máquinas descritas até agora. Sua complexidade é devida ao fato de

que ele desempenha várias tarefas com precisão e velocidade. Por esse motivo, é melhor pensar no ribossomo como uma fábrica contendo muitas máquinas que atuam em conjunto. Vejamos como essa máquina é organizada para desempenhar suas várias funções.

Cap. 10 Regulação da Expressão Gênica em Bactérias e seus Vírus

A respeito da simplicidade da forma, as bactérias têm em comum com membros maiores e complexos de outros reinos a tarefa fundamental de regular a expressão de seus genes. Um dos principais motivos é que elas são oportunistas nutricionais. Considere como as bactérias obtêm muitos compostos importantes, tais como açúcares, aminoácidos e nucleotídeos, necessários ao metabolismo. As bactérias nadam em um mar de potenciais nutrientes. Elas podem adquirir os compostos que precisam do ambiente, ou produzi-los pela vias enzimáticas. A síntese das enzimas necessárias para essas vias gasta energia e recursos da célula; assim, dependendo da escolha, as bactérias obterão compostos do ambiente. Para serem econômicas, elas produzirão as enzimas necessárias para elaborar esses compostos apenas quando não há outra opção, ou seja, quando esses compostos não estão disponíveis em seu ambiente local.

As bactérias desenvolveram sistemas reguladores que acoplam a expressão dos produtos gênicos a sistemas sensores que detectam o composto relevante a um ambiente bacteriano local. A regulação das enzimas que tomam parte no metabolismo de açúcar são um exemplo. As moléculas de açúcar podem ser oxidadas para produzir energia ou podem ser usadas como blocos estruturais de uma grande gama de compostos orgânicos. Entretanto, existem muitos tipos diferentes de açúcares que a bactéria pode usar, incluindo a lactose, glicose, galactose e xilose. Uma importante proteína diferente é necessária para permitir que cada um dos açúcares entre na célula. Além disso, um conjunto diferente de enzimas é necessário para processar cada um dos açúcares.

Elas devem ser capazes de reconhecer condições ambientais nas quais elas devem ativar ou reprimir a transcrição de genes relevantes. Elas devem também, ser capazes de ligar ou desligar, como um interruptor, a transcrição de cada gene específico ou grupo de genes.

As bases da Regulação Transcricional Procariótica: interruptores genéticos

A regulação da transcrição depende regularmente de dois tipos de interação proteína-DNA. Ambas ocorrem perto do sítio no qual começa a transcrição gênica. Uma dessas interações DNA-proteína determina onde começa a transcrição. O DNA que participa dessa interação é o segmento de DNA chamado de **promotor**, e a proteína que se liga a esse sítio é a RNA polimerase. Quando a RNA polimerase se liga ao DNA promotor, transcrição pode começar algumas bases distantes do sítio promotor ou será transcrito. Outro tipo de interação DNA proteína decide se a transcrição ativada pelo promotor ocorre. Os segmentos de DNA, perto do promotor, servem como pontos de ligação para proteínas reguladoras específicas de sequências chamadas **ativadores e repressores**. Nas bactérias, a maioria dos sítios de ligação para os repressores são chamados de **operadores**.

Os genes estruturais *lac*

O metabolismo de lactose requer duas enzimas: (1) uma permease, para transportar lactose para a célula, e (2) β -galactosidase, para quebrar a molécula de lactose para produzir glicose e galactose. As estruturas da β -galactosidase e permease são codificadas por suas sequências adjacentes, Z e Y, respectivamente. Uma terceira sequência contígua codifica uma enzima adicional, chamada transacetilase, que não é necessária para o metabolismo de lactose. Chamaremos os genes Z, Y, e A de genes estruturais – em outras palavras, segmentos codificantes de proteínas.

Genes controlados juntos

Quando Jacob e Monod induziram a β -galactosidase, eles descobriram que também induziram a enzima permease, que é necessária para o transporte de lactose para a célula. A análise de mutantes indica que cada enzima era codificada por um gene diferente. A enzima transacelilase também era induzida junto com β -galactosidase e permease, e também mostrada depois sendo codificada por um gene separado. }Portanto, Jacob & Monod puderam identificar três genes controlados coordenadamente. O mapeamento de recombinação mostrou que os genes Z, Y e A eram proximamente ligados no cromossomo.

Mutações Polares

Algumas das mutações que foram mapeadas nos genes Z e Y foram vistas sendo polares, isto é, afetam genes “posteriores” ao operon. Por exemplo, as mutações polares Z resultam em um funcionamento nulo não só de z, mas também de Y e A. as mutações polares de Y também afetaram A, mas não Z. essa mutações polares forma observações genéticas que sugeriram a Jacob & Monod que os três genes eram transcritos de uma ponta como uma unidade. As mutações polares resultaram de códons de fim que faziam com que os ribossomos saíssem do transcrito. Isso deixava um trecho nu de mRNA que era degradado, inativando assim os genes posteriores.

Repressão Catabólica do Operon Lac. Controle Positivo

O sistema *Lac* existente é aquele que, por um longo processo evolutivo, foi selecionado para operar de modo ótimo para a eficiência de emergência da célula bacteriana. Supostamente, para maximizar a eficiência energética, duas condições ambientais devem ser satisfeitas para que as enzimas do metabolismo de lactose sejam expressas.

Uma condição é que uma lactose deve estar presente no ambiente. Essa condição faz sentido, pois seria ineficiente para a célula produzir as

enzimas metabólicas de lactose se não houvesse substrato a ser metabolizado. Já vimos que o reconhecimento da célula da presença de lactose é feito por uma proteína repressora.

Controle duplo positivo e negativo

Como no sistema lac, o controle da transcrição em bactérias não é nem puramente positivo, nem puramente negativo; tanto na regulação positiva quanto a negativa podem controlar óperons individuais. A regulação óperons de arabinose fornece um exemplo no qual uma única proteína de ligação ao DNA pode agir como um repressor ou um ativador, uma variação com tema geral de regulação transcricional por proteínas de ligação ao DNA.

Ciclos de vida bacteriófagos: mais reguladores óperons complexos

O bacteriófago λ é um chamado fago temperado que tem dois ciclos de vida alternativos. Quando uma bactéria normal é infectada por um afago λ tipo selvagem, pode ocorrer dois resultados possíveis: (1) o fago pode se replicar e, eventualmente, lisar a célula (**o ciclo lítico**) ou (2) o genoma do fago pode se integrar ao cromossomo da bactéria como um profago inerte (**ciclo lisogênico**). No estado lítico, a maioria dos 71 genes do fago são expressos em algum ponto, enquanto, no estado lisogênico a maioria dos genes estão inativos.

Anatomia molecular da mudança genética

Para entendermos como a decisão é executada em nível molecular, vejamos as atividades do repressor λ e Cro. O operador O_R fica entre os dois genes que codificam essas proteínas e contem três sítios, O_{R1} , O_{R2} e O_{R3} , que superpõe dois promotores postos P_R , que promove a transcrição

de genes líticos, e P_{RM} , que dirige a transcrição do gene cl . Os três sítios operadores são similares, mas não idênticos em sequência e, embora Cro e o repressor λ possam, cada um, se ligar a um dos operadores, eles fazem isso com afinidades diferentes: o repressor λ liga-se a O_{R1} com maior afinidade, enquanto Cro liga-se a O_{R3} com a mais alta afinidade. A ocupação do repressor λ de O_{R1} bloqueia a transcrição de P_R e, assim bloqueia a transcrição dos genes do ciclo lítico. A ocupação de Cro de O_{R3} bloqueia a transcrição de P_{RM} , que bloqueia a manutenção de transcrição de cl , e, assim, permite a transcrição dos genes para o ciclo lítico. A ocupação dos sítios operadores determina, portanto, os padrões líticos versus lisogênicos da expressão do gene λ .

Fatores Sigma Alternativos regulam grandes conjuntos de genes

Algumas respostas fisiológicas, tais como a formação de esporos em determinadas bactérias Gram-positivas, requerem a expressão coordenada de um grande grupo de genes não ligados por todo o genoma para causar marcantes mudanças fisiológicas e morfológicas. O processo de esporulação no *Bacillus subtilis* foi analisado em grande detalhe nas últimas décadas. Sob o estresse, a bactéria forma esporos que são muito resistentes ao calor e desidratação.

Cap.11 Regulação da Expressão Gênica em Eucariontes

Examinaremos a regulação gênica nos eucariontes, de muitos modos, nossa visão da regulação gênica será um estudo de contrastes. Nas bactérias, você aprendeu como as atividades das mudanças genéticas em geral eram governadas por proteínas ativadoras ou repressoras únicas, e como o controle de grupos de genes foi obtido por sua organização em óperons ou pela atividade de fatores σ específicos. As expectativas iniciais eram que a expressão gênica eucariótica seria regulada por meios

similares. Nos eucariontes, entretanto, a maioria dos genes não são encontrados em óperons. Além disso, veremos que as proteínas e as sequências de DNA que participam da regulação gênica eucariótica são mais numerosas. Em geral, muitas proteínas de ligação do DNA atuam em uma única mudança, com muitos “interruptores” separados por gene, e as sequências regulatórias desses interruptores quase sempre estão situadas longe dos promotores.

Uma importante diferença adicional entre bactérias e eucariontes é que o acesso aos promotores gênicos eucarióticos é restrito pela cromatina. A regulação gênica em eucariontes requer a atividade de grandes complexos de proteína que promovem ou restringem o acesso a promotores gênicos pela RNA polimerase.

A proteína Gal4 tem domínio de ligação ao DNA e ativação separáveis

Após Gal4 estar ligado ao elemento UAS, como é induzida a expressão de gene? Um domínio distinto da proteína Gal4, **domínio da ativação**, é necessário para a atividade reguladora. Assim, a proteína Gal4 tem pelo menos dois domínios: um para a ligação ao DNA e outro para ativação da transcrição. Uma organização modular similar foi encontrada como sendo uma característica comum também de outros fatores de transcrição de ligação ao DNA.

A organização modular da proteína Gal4 foi demonstrada em uma série de experimentos simples e elegantes. A estratégia foi testar a ligação ao DNA e a ativação gênica de formas mutantes da proteína nas quais partes haviam sido deletadas ou fundidas a outras proteínas. Desse modo, podia ser determinado se uma parte da proteína era necessária para determinada função. Para fazer esses estudos, os experimentadores precisaram de um meio simples de dosar a expressão enzimas codificadas pelos genes GAL. A expressão dos genes Gal e de outros alvos de fatores de transcrição é tipicamente monitorada usando um gene repórter cuja expressão é facilmente rastreada. Em geral, o gene repórter é o gene lacZ de E.coli, que

pode atuar em substratos cujos os produtos são facilmente avaliados por sua cor brilhante ou fluorescência. Outro gene repórter comum é o gene que codifica a proteína fluorescente verde da água-viva, que, como o nome sugere, é facilmente rastreada pela luz que ela emite. A região codificante de um desses genes repórter e um promotor são colocados posteriormente a um elemento UAS do gene Gal. A expressão repórter é então lida da atividade Gal. nas células.

Cromatina dinâmica e regulação gênica eucariótica

Um segundo mecanismo que influencia a transcrição gênica em eucariontes modifica a estrutura local da cromatina ao redor de sequências reguladoras gênicas. Para compreender totalmente como funciona esse mecanismo, precisamos primeiro rever a estrutura da cromatina e, então, considerar como ela pode mudar e como suas mudanças afetam a expressão gênica. O recrutamento da maquinaria transcrricional por ativadores pode parecer um tanto similar em eucariontes e bactérias, sendo a principal diferença o número de proteínas que interagem na maquinaria transcrricional. De fato, há menos de uma década, muitos biólogos interpretavam a regulação eucariótica, simplesmente, como uma versão bioquimicamente mais complicada do que havia sido descoberto em bactérias. Entretanto, essa visão mudou acentuadamente à medida que os biólogos consideraram o efeito de organização do DNA genômico nos eucariontes.

Mecanismo de ação acentuadora

O desenvolvimento de um organismo complexo requer que os níveis de transcrição sejam regulados em uma ampla gama. Pense no mecanismo de regulação como sendo um reostato em vez de um interruptor. Nos eucariontes, os níveis de transcrição são finalmente ajustáveis agrupando os sítios de ligação em acentuadores. Vários fatores de transcrição diferentes ou varia moléculas do mesmo fator de transcrição possa se ligar

a sítios adjacentes. A ligação desses fatores de sítios que estão separados pela distância correta leva a um efeito amplificado, ou superaditivo, em ativar a transcrição. Quando um efeito é maior que o aditivo, ele é chamado de **sinérgico**.

Imprinting genômico

O fenômeno *imprinting genômico* foi descoberto, há quase 20 anos, em mamíferos. No *imprinting genômico*, alguns genes autossômicos tem padrões incomuns de herança. Por exemplo, um alelo *igf2* é expresso em um camundongo apenas se for herdado do pai do camundongo, um exemplo de *imprinting* materno porque uma cópia de gene derivada da mãe é inativa. Contrariamente um alelo *h19* de camundongo só é expresso se for herdado da mãe. *H19* é um exemplo de *imprinting* paterno porque a cópia paterna é inativa. A consequência o *imprinting* paterno é que os genes imprintados são expressos como se fossem a única cópia do gene presente na célula, muito embora existam duas. Assim, o *imprinting* é um exemplo de **herança monoalélica**. Importante, nenhuma mudança é observada nas sequências de DNA de genes imprintados; isto é, o gene idêntico pode ser ativo ou inativo na prole, conforme tenha sido herdado da mãe ou do pai.

Domínios de cromatina e sua herança.

Até agora, vimos como os genes são ativados em um ambiente de cromatina. Entretanto, como visto no início deste capítulo, a maioria dos genes eucarióticos estão desligados na maior parte do tempo. Vejamos agora essas grandes regiões do genoma que são transcricionalmente inativas. Um dos modelos mais úteis para compreender os mecanismos que mantém a inatividade dos genes esta relacionado ao controle do tipo reprodutivo em levedura e a mudança do tipo reprodutivo.

Cap.12 O controle genético do desenvolvimento

Um zigoto transparente à medida que se desenvolve, é um dos objetos mais fascinantes no mundo dos seres vivos. A contínua mudança de forma que ocorre de uma hora para a outra nos desafia por sua simplicidade. Os padrões geométricos que se apresentam a cada mudança convidam a uma análise matemática... Esse aparato é um apelo irresistível aos lados emocional e artístico de nossa natureza.

Os principais catalisadores para compreender a formação dos animais de monstros genéticos, moscas mutantes com marcantes alterações de estruturas corpóreas. Nos primeiros dias da genética de *Drosophila*, mutantes raros surgiram espontaneamente ou como subproduto de outros experimentos com transformações espetaculares de pares de corpo. Em 1915, Calvin Bridges, então estudante de Morgan, isolou uma mosca com mutação que fazia com que pequenos halteres das asas da mosca-da-fruta lembrassem as grandes asas anteriores. Ele chamou o mutante de bithorax. A transformação em mutantes bithorax é chamada de homeótica, porque parte do corpo é transformada para se assemelhar à outra. Subsequentemente, muitos outros mutantes homeóticos foram identificados em *Drosophila*, tais como o marcante mutante Antennapedia, no qual pernas desenvolvem-se no lugar de antenas.

O enfoque genético do desenvolvimento

Por muitas décadas, o estudo do desenvolvimento embrionário envolveu a manipulação fisiológica dos embriões, células e tecidos. Foram estabelecidos vários conceitos principais sobre as propriedades de embriões em desenvolvimento por meio de experimentos nos quais, por exemplo, uma parte de um embrião de anfíbio em desenvolvimento para outra parte em um embrião receptor foi mostrado induzindo o tecido circulante para formar um segundo eixo corpóreo completo. Similarmente o transplante da parte superior de um membro de galinha em desenvolvimento para a anterior poderia induzir dedos extras, mas com polaridade revertida com relação aos dedos normais. Essas

regiões transplantadas do embrião de anfíbios e broto de embrião de galinha foram chamados de organizadores devido a sua marcante habilidade em organizar o desenvolvimento dos tecidos vizinhos. As células nos organizadores foram postuladas produzindo morfógenos, moléculas que induzem várias respostas no tecido vizinho de um modo dependente da concentração.

Classificação dos genes pela função desenvolvimental

Uma das primeiras tarefas após a execução de uma triagem genética para mutações é separar aquelas de interesse. Muitas mutações são letais quando hemi ou homozigotas porque as células não podem sobreviver sem os produtos afetados por essa mutação. As mutações mais interessantes são as que causam algum pequeno defeito no padrão corpóreo embrionário e/ou do adulto. Demonstrou-se útil agrupar os genes afetados por mutações em várias categorias com base na natureza de seus fenótipos mutantes. Muitos genes ferramentais podem ser classificados de acordo com sua função em controlar a identidade de partes do corpo, a formação de partes do corpo, a formação de tipos de células e organização dos eixos corpóreos primários.

Definição de todas as ferramentas

Os genes Hox são talvez os membros mais bem conhecidos das ferramentas, mas são uma pequena família em um grupo muito grande de genes necessários para o desenvolvimento dos números apropriados, formas, tamanhos e tipos de partes corpóreas. Pouco se sabia sobre os restos das ferramentas até final de 1970 e início dos anos 1980, quando Christine Nusslein-Volhard e Eric Wieschaus, que trabalhava no Max Planck Institute em Tübingen, Alemanha, encontraram genes necessários para a formação da organização segmentar do embrião e larva de *Drosophila*.

Regulação Espacial da Expressão Gênica no Desenvolvimento

Vimos que os genes ferramentais são expressos em relação à coordenadas no embrião. Mas como as coordenadas espaciais do embrião em desenvolvimento funcionam como instruções para genes, para ligá-los ou desligá-los. O controle fisiológico da expressão gênica em bactérias e eucariontes simples é finalmente governado por proteínas de ligação e sequências específicas de ligação do DNA agindo em elementos regulatórios de ação por cis. Similarmente, o controle espacial da expressão gênica durante o desenvolvimento é amplamente governado pela interação de fatores de transcrição com elementos regulatórios de ação cis. Entretanto o controle espacial e temporal da regulação gênica no desenvolvimento de um embrião multicelular requer a ação de mais fatores de transcrição em elementos mais numerosos e mais complexos de ação cis.

Regulação Pós-transcricional da expressão gênica no desenvolvimento

Embora a regulação transcricional seja um meio importante de restringir a expressão dos produtos gênicos para definir áreas durante o desenvolvimento, não é um meio exclusivo de fazer isso. A recombinação alternativa do RNA também contribui para a regulação gênica, e assim, e a regulação da tradução do mRNA em proteínas e microRNA (miRNA). Em cada caso as sequências regulatórias no RNA são reconhecidas por fatores de recomposição, proteínas de ligação ao mRNA ou miRNA, e controlam a estrutura do produto protéico, sua quantidade ou localização onde a proteína é produzida.

Desenvolvimento e Doença

As descobertas das ferramentas para os desenvolvimento de moscas, vertebrados e humanos também teve um profundo efeito no estudos das bases genéticas da doenças humanas, particularmente defeitos de nascimento e câncer. Um grande número de mutações de genes ferramentais foram identificadas afetando o desenvolvimento humano e a saúde. Enfocaremos aqui uns poucos exemplos que ilustram como a compreensão do

funcionamento gênico e regulação em modelos animais foi traduzida em uma melhor compreensão da Biologia humana.

Polidactilia

Uma síndrome relativamente comum em humanos é o desenvolvimento de dedos extras, parciais ou completos, nas mãos e pés. Essa condição, chamada polidactilia, surge em cerca de 5 a 17 de cada 10.000 nativos. Nos casos mais marcantes, a condição está presente tanto nas mãos quanto nos pés. A polidactilia ocorre amplamente nos vertebrados, em gatos, galinhas, camundongos e outras espécies.

Holoprosencefalia

As mutações na região codificante Shh também foram identificadas. As alterações consequentes na proteína Shh estão associadas a uma síndrome chamada Holoprosencefalia, na qual as anormalidades ocorrem no tamanho do cérebro, na formação do nariz e em outras estruturas da linha média. Essas anomalias parecem ser contrapartes menos graves dos efeitos desenvolvimentais observados em camundongos mutantes homocigotos Shh. De fato, as crianças afetadas vistas em clínica são heterocigotas. Uma cópia de um gene normal Shh parece ser insuficiente para o desenvolvimento da linha média normal. Os fetos humanos homocigotos para a perda de função Shh muito provavelmente morreram na gestação com mais defeitos graves.

Câncer como uma doença no desenvolvimento

Nos animais de vida longa, como nós mesmos e outros mamíferos, o desenvolvimento não termina ao nascimento ou ao final da adolescência. Os tecidos e vários tipos celulares estão constantemente sendo renovados. A manutenção de várias funções orgânicas depende do crescimento controlado e diferenciação de células que substituem as que foram descartadas ou, de outro

modo morreram. A manutenção de tecidos e órgãos geralmente é controlada por vias de sinalização. As mutações herdadas ou espontâneas nos genes que codificam os componentes dessas vias podem perturbar a organização tissular e contribuir para a perda de controle da proliferação celular. Como a proliferação celular descontrolada é uma característica do câncer, a formação de cânceres pode ser uma consequência. O câncer, portanto, é uma doença do desenvolvimento, um produto do processo normal de desenvolvimento que deu errado.

Cap.13 Genomas e Genômica

A genômica revolucionou como a análise é feita e abriu caminhos para investigações que não eram concebíveis até alguns anos atrás. A maioria das análises genéticas que consideramos até agora empregam um enfoque direto para análise genética e processos biológicos, isto é, a análise começa primeiro tirando mutantes que afetam algum fenótipo observável, e a caracterização desses mutantes acaba levando ao nível de gene e à função do DNA, RNA e sequências proteicas. Em contraste saber as consequências inteiras de DA do genoma de um organismo permitiu que os geneticistas atuassem em ambas as direções: direto do fenótipo ao gene e, ao reverso, do gene ao fenótipo. Sem exceção, as sequências genômica revelam muitos genes que não eram detectados pela análise mutacional clássica. Usando a chamada genética reversa, os geneticistas hoje podem estudar sistematicamente os papéis de tais genes antes não-identificáveis. Além disso, a falta de estudo genético clássico não é mais um impedimento para a investigação dos organismos. As fronteiras da análise experimental estão indo além do número modesto de organismos modelos longamente explorados.

Revolução genômica

Após o desenvolvimento da tecnologia do DNA recombinante nos anos 70, as pesquisas de laboratórios tipicamente fizeram a clonagem e o sequenciamento de um gene de cada vez, então, apenas após ter encontrado

primeiro algo interessante sobre esse gene a partir de uma análise mutacional clássica. As etapas consistem no procedimento de ter um mapa genético clássico de um locus para isolar o DNA codificante de um gene (clonagem) para determinar

Mapa de sequência genômica

Quando as pessoas encontram um novo território, uma de suas primeiras atividades é criar um mapa. Essa prática foi verdadeira para exploradores, geógrafos, oceanógrafos e astrônomos, e é igualmente verdadeira para geneticistas. Os geneticistas usam muitos mapas para explorar o terreno de um genoma. Os exemplos são mapas de ligação baseados nos padrões de herança de genes alelos e mapas citogenéticos baseados na localização de características microscopicamente visíveis, tais como pontos de quebra de rearranjos.

O mapa de maior resolução é a sequência completa do DNA do genoma, isto é, a sequência completa de nucleotídeos A, T, C e G de cada dupla hélice no genoma. Como fazer um mapa completo da sequência de um genoma é um trabalho imenso, nunca visto antes na Biologia, devem ser usadas novas estratégias, todas baseadas na automação.

Bioinformática

A sequência genômica é um código genético altamente criptografado contendo a informação para construir e manter um organismo funcional. O estudo do conteúdo de informação dos genomas é chamado de **Bioinformática**. Estamos longe de ler essa informação do começo ao fim do modo como poderíamos ler um livro. Muito embora saibamos que trinca codificam os aminoácidos nos segmentos codificantes de proteínas, na grande parte da informação contida em um genoma não é decifrável por mera inspeção.

Estrutura do genoma humano

Ao descrevermos a estrutura geral do genoma humano, devemos primeiro examinar sua estrutura repetida. Uma fração considerável do genoma, cerca de 45%, é repetitiva. Grande parte desses DNA repetitivo é composto de cópias de elementos de transposição. De fato, mesmo na cópia única do DNA restante, uma fração tem sequências sugerindo que podem descender de antigos elementos de transposição que são imóveis e acumularam mutações aleatórias, fazendo com que diverjam em sequência dos elementos de transposição ancestrais. Assim, grande parte do genoma humano parece composto de “caronas” genéticas.

Genômica funcional e genética reversa:

Os geneticistas têm estudado a expressão e interações de produtos gênicos nas últimas décadas. Entretanto esses estudos foram em pequena escala, considerando apenas um gene ou alguns genes de cada vez. Como o advento da genômica, temos uma oportunidade de expandir esses estudos a um nível global, usando enfoques de genoma total para estudar a maioria de todos os produtos gênicos sistematicamente e simultaneamente. Esse enfoque global para o estudo da função, expressão e interação dos produtos gênicos é chamado de genômica funcional.

Cap. 14 O genoma Dinâmico elementos de transposição.

O sequenciamento do DNA de genomas de uma variedade de micróbios, plantas e animais indica que elementos de transposição existem em praticamente todos os organismos.

Surpreendentemente, eles são, de longe, o maior componente do genoma humano, correspondendo a quase 50% de nossos cromossomos. Apesar

de sua abundância, o papel genético normal desses elementos não são conhecidos com certeza.

Em seu estudo, os cientistas são capazes de explorar habilidade de elementos de transposição de se inserirem em novos locais no genoma. Os elementos de transposição construídos no tubo de ensaio são instrumentos valiosos, tanto em procariontes quanto em eucariontes, para o mapeamento genético, criação de mutantes, clonagem de genes, e mesmo para a produção de organismos transgênicos.

Elementos de Transposição em Procariontes

A descoberta genética dos elementos de transposição levou a muitas dúvidas sobre com que tais elementos poderiam parecer no que concerne a sequência de DNA e como eles eram capazes de mover-se de um local para o outro no genoma.

Embora os elementos de transposição tenham sido primeiro descobertos em milho, os primeiros elementos eucarióticos a serem caracterizados molecularmente foram isolados de leveduras mutantes e genes de drosophila. Os elementos transponíveis eucarióticos enquadram-se em duas classes: classe 1 - de retrotransposons, e DNA classe 2 - de transposons. A primeira classe a ser isolada, os retroposons não eram como elementos IS procarióticos e transposons.

PRÁTICA Os elementos genéticos tornaram sua presença conhecida quando foram transpostos para um gene ou em sítios de quebra cromossômica ou rearranjo. Após o DNA de elementos de transposição ser isolados de mutações instáveis, os cientistas puderam usar esse DNA como sondas moleculares para determinar se havia mais cópias correlatas no genoma. Em todos os casos, pelo menos várias cópias do elemento sempre estavam presentes no genoma e, em alguns casos, até muitas centenas.

Cap. 15 Mutação, Reparo e Recombinação

Uma mudana de DNA dentro de um gene (mutao de ponto) geralmente envolve uma ou algumas bases. As substituies de um são par de bases pode criar códons de sentido trocado ou sem sentido (termino de transcrio). Uma purina substituída por outra purina (ou mais pirimida substituída por outra pirimida)   uma transio. Uma purina substituída por pirimida (ou vice e versa)   uma transverso. A adio ou deleo de um par de bases (indels) produz mudanas de matriz de leitura. Alguns genes humanos que contem repeties de trinucleotideos, especialmente as que são expressas no tecido neural, tornam-se mutadas pela expanso dessas repeties e podem, assim, causar doenas. A formao de repeties de mono cidos dentro dos polipeptídios codificados por esse genes   responsável pelos fenótipos mutantes.

As mutaes podem ocorrer espontaneamente como subproduto de processos celulares normais, tais como replicao do DNA ou metabolismo, ou podem ser induzidas por radiao mutag nica ou substâncias químicas. Os mutágenos geralmente resultam em um tipo específico de mudana devido a sua especificidade química. Por exemplo, alguns produzem exclusivamente transies G. C \rightarrow A. T; outros, exclusivamente mudanas de matriz de leitura. Embora as mutaes sejam necessárias para gerar diversidade, muitas mutaes estão associadas a doenas genéticas herdadas, tais como xeroderma pigmentoso. Além disso, as mutaes que ocorrem nas células somáticas são a fonte de muitos cânceres humanos. Muitas vias biológicas desenvolveram-se para corrigir o amplo espectro de mutaes espontâneas e induzidas. Algumas vias, tais como o reparo por excisão de base e nucleotídeo e o reparo de mau pareamento, usam a informao inerente à complementaridade de base para executar reparo livre de erro. Outras vias que usam polimerase de bypass para corrigir bases danificadas podem induzir erros na sequência de DNA.

A correção de quebras bilifilamentares é particularmente importante porque essas lesões podem levar a rearranjos cromossômicos desestabilizantes. A junção de pontas não homólogas é uma via que liga pontas quebradas, de modo que a forquilha da replicação parada não resulta da morte celular. Nas células em replicação, as quebras bilifilamentares podem ser reparadas de um modo livre de erro pela via de helicoidação de filamento dependente de síntese, que usa a cromátide-irmã para reparar a quebra.

Centenas de quebras bifilamentares programadas iniciam o crossing micótico não-irmãs como outras quebras bifilamentares, as quebras micóticas devem ser processadas rápida e eficientemente para evitar serias consequências, tais como morte celular e câncer. Ainda esta sendo estudado como esse reparo é feito. Um modelo atual, informado pela segregação de características na formação de esporos de fungos, cita o uso de cromátides não-irmãs de cromossomos homólogos como molde para reparar as quebras. De acordo com esse modelo, a maioria das quebras leva a produtos não-*crossing* e são provavelmente resolvidas por um mecanismo tipo SDSA. Entretanto, as quebras críticas para a formação de quiasmas levam a crossing seguindo a formação e resolução das junções duplas de Holliday.

Cap. 16 Alterações Cromossômicas em Larga Escala

A poliploidia é uma condição anormal na qual há um número maior do que de conjuntos cromossômicos. Os poliploides tais como os triploides ($3n$) e os tetraploides ($4n$) são comuns entre plantas, e são representados mesmo entre animais. Os organismos com o número ímpar de conjunto de cromossomos são estéreis porque nem todos os cromossomos têm um parceiro na meiose. Os cromossomos não pareados ligam se aleatoriamente aos pólos da célula na meiose, levando a conjuntos desbalanceados dos cromossomos nos gametas resultantes. Tais gametas desbalanceados não produzem prole viável. Nos poliplóides como número par de conjuntos, cada cromossomo tem um parceiro potencial de pareamento e, portanto, pode produzir gametas balanceados e

uma prole. A poliploidia pode resultar em um organismo de maiores dimensões; essa descoberta permitiu avanços importantes na horticultura e na criação de cultivos.

Nas plantas, os alopoliploides (poliplóides formados de combinações de conjuntos cromossômicos de espécies diferentes) podem ser feitos cruzando duas espécies relacionadas e então, duplicando os cromossomos da prole com o uso de colchicina ou pela fusão de células somáticas. Essas técnicas têm aplicações potenciais nos cruzamentos de cultivos porque os alopoliploides combinam as características de duas espécies parentais.

Quando acidentes celulares mudam partes de conjuntos cromossômicos, resultam os aneuploides. A aneuploidia em si em geral, resulta em um genótipo desbalanceado com um fenótipo anormal. Os exemplos de aneuploides incluem monossômicos ($2n-1$) e trissômicos ($2n+1$). As síndromes de Down (trissomia do 21), de Klinefelter (XXY) e de Turner (XO) são exemplos bem documentados de condições aneuploides em humanos. O nível espontâneo de aneuploidia em humanos é bem alto, e contribui com uma grande proporção de distúrbios geneticamente baseados em populações humanas. O fenótipo de um organismo aneuploide depende muito do cromossomo particularmente afetado. Em alguns casos, tais como na trissomia do 21 humana, há uma constelação altamente característica de fenótipos associados.

A maioria dos casos de aneuploidia resulta de má segregação cromossômica acidental na meiose (não-disjunção). O erro é espontâneo e pode ocorrer em qualquer meiócito na primeira e segunda divisão. Em humanos, um efeito de idade materna está associado à não-disjunção do cromossomo 21, resultando em uma maior incidência de síndrome de Down nos filhos de mães com mais idade.

A outra categoria geral de mutações cromossômicas compreende rearranjos estruturais, que incluem deleções, duplicações, inversões e translocações. Essas mudanças resultam ou de quebra de reunião incorreta, ou de *crossing over* entre elementos repetitivos (recombinação homóloga não-alélica). Os rearranjos cromossômicos são uma causa importante de problemas de saúde em populações humanas, e são úteis em construir linhagens especiais de

organismos para genética experimental e aplicada. Em organismos com um conjunto cromossômico normal mais um conjunto rearranjado (rearranjos heterozigoto), existem estruturas incomumente pareadas na meiose que resultam de forte afinidade de pareamento de regiões cromossômicas homólogas. Por exemplo, as inversões heterozigotas apresentam alças, e translocações recíproca mostram estruturas em forma de cruz. As segregações dessa estrutura resultam em produtos micóticos anormais únicos para o rearranjo.

Uma deleção é a perda de uma seção do cromossomo, seja devido a quebra cromossômica seguida de uma perda do segmento intercalar, seja devido à segregação em translocações heterozigóticas ou inversões. Se a região removida em uma deleção é essencial para a vida, a deleção homozigota é letal. As deleções heterozigotas podem ser letais devido ao desequilíbrio cromossômico ou porque revelam alelos deletérios recessivos, ou podem ser não-letais. Quando uma deleção em um homólogo permite a expressão fenotípica de alelos recessivos no outro, o desmascaramento dos alelos recessivos é chamado de pseudodominância.

As duplicações geralmente são produzidas por outros rearranjos ou por *crossing over* aberrante. Elas também desequilibram o material genético, produzindo um efeito fenotípico deletério ou a morte do organismo. Entretanto, as duplicações podem ser uma fonte de novo material para a evolução porque pode ser mantida em uma cópia, deixando a outra cópia livre para desenvolver novas funções.

Uma inversão é um giro de 180° de uma parte de um cromossomo. No estado homozigoto, as inversões podem causar pouco problema para um organismo. Menos que a heterocromatina cause um efeito de posição ou que uma das quebras perturbe um gene. Por outro lado, as inversões heterozigotas apresenta, alças de inversão na meiose, e o *crossing over* dentro das alças resulta em produtos inviáveis. Os produtos de *crossing* de inversões pericêntricas, que envolvem o centrômero, diferem das inversões paracêntricas, que não envolvem, mas ambas apresentam reduzida frequência

de recombinantes na região afetada e, geralmente, resultam em reduzida fertilidade.

Uma translocação move um segmento cromossômico para outra posição no genoma. Um exemplo simples é uma translocação recíproca, na qual partes dos cromossomos não homólogos trocam de posições. No estado heterozigoto, as translocações produzem duplicações e deleções meióticas, que podem levar a zigotos desbalanceados. Podem produzir novas ligações genéticas por translocações. A segregação aleatória de centrômeros em, uma translocação heterozigota resulta 50% de produtos meióticos desbalanceados e, assim, 50% de esterilidade (semi-esterilidade).

Cap.17 Genéticas de populações

O estudo das mudanças dentro de uma população, ou genética de populações, está relacionado a mudanças herdáveis nas populações ou organismos de processos individuais subjacentes e desenvolvimento. A genética de populações é o estudo da variação herdada e sua modificação no tempo e no espaço. A variação herdada identificável dentro das populações pode ser estudada examinando-se as diferenças em sequências de aminoácidos específicos de proteínas, ou mesmo pelo exame, mais recente, de diferenças nas sequências de nucleotídeos dentro do DNA. Esses tipos de observações revelaram que há um considerável poliformismo em muitos *loci* dentro de uma população. Uma medida dessa variação é a quantidade de heterozigose em uma população. Tipicamente, uma população é polifórmica para 25 a 33% do seus genes codificantes de proteínas, e um indivíduo é heterozigoto em cerca de 10% de tais *loci*. Quaisquer dois humanos diferem em cerca de três milhões de nucleotídeos. Os estudos populacionais mostraram que, em geral, as diferenças genéticas entre indivíduos dentro das raças humanas são muito maiores que as diferenças médias entre as raças.

A fonte principal de toda a variação é a mutação. Entretanto, dentro de uma população, a frequência quantitativa de genótipos específicos pode ser mudada

por recombinação, imigração de genes, eventos mutacionais continuados e pelo acaso.

Uma propriedade da segregação mendeliana é que as reproduções aleatórias resultem em uma distribuição de equilíbrio genótipos após uma geração. Entretanto, se houver endogamia, a variação genética dentro de uma população é convertida em diferenças entre populações, tornando cada população separada homocigota para um alelo escolhido aleatoriamente. Por outro lado, para a maioria das populações, é atingido um balanço entre endogamia, mutação de um alelo para outro e imigração.

Um alelo pode aumentar ou diminuir de frequência dentro de uma população pela seleção natural de genótipos com probabilidades mais altas de sobrevivência e reprodução. Em muitos casos, tais mudanças levam à homocigose em determinado *locus*. Por outro lado, o heterocigoto pode ser mais adaptável que ambos os homocigotos, levando a um polimorfismo balanceado.

Em geral, a variação genética é o resultado da interação de forças. Por exemplo, um mutante deletério pode nunca ser totalmente eliminado de uma população, porque a mutação continuará a reintroduzi-lo na população. A migração também pode reintroduzir alelos que foram eliminados por seleção natural.

A menos que alelos alternativos sejam intermediários em frequência, a seleção (especialmente contra recessivos) é muito lenta, precisando de muitas gerações. Em muitas populações, especialmente as de pequenos tamanhos, novas mutações podem tornar-se estabelecidas, muito embora não sejam favorecidas por seleção natural, ou podem ser eliminadas, muito embora sejam favorecidas, simplesmente por um processo de deriva genética aleatória.

Cap. 19 Genética Evolutiva

A teoria darwiniana da evolução explica as mudanças que ocorrem em populações de organismos como resultado de mudanças nas frequências relativas de variantes diferentes na população. Se não houver variação, dentro de uma espécie para alguma característica, não pode haver evolução. Além disso, essa variação deve ser influenciada por diferenças genéticas. Se as diferenças não forem herdáveis, elas não podem evoluir, pois a reprodução diferencial de variantes diferentes não pode ser levada por gerações de linhagens. Assim, todas as reconstruções evolutivas hipotéticas dependem criticamente se as características em questão são, de fato, herdáveis. Os processos que dão origem à variação dentro da população são causalmente independentes dos processos que são responsáveis pela reprodução diferencial dos vários tipos. É essa independência que é significativa quando se diz que as mutações são aleatórias. O processo de mutação fornece uma variação não-dirigida, enquanto o processo de seleção natural seleciona essa variação, aumentando a frequência dessas variantes que, por acaso, são mais capazes de sobreviver e se reproduzir. Muitas são colhidas, mas poucas são selecionadas.

A divergência evolutiva das populações no espaço e no tempo não é apenas uma consequência da seleção natural. A seleção natural não é um processo globalmente otimizado que encontra os melhores organismos para determinado ambiente. Em vez disso, ela encontra um conjunto de boas soluções alternativas para problemas adaptativos, e o resultado particular da evolução seletiva em determinado caso é sujeito a eventos históricos casuais. Fatores aleatórios tais como deriva genética e ocorrência casual ou perda de novas mutações, podem resultar em resultados radicalmente diferentes de um processo evolutivo mesmo quando a força da seleção natural é a mesma. A metáfora, geralmente empregada, é que há um panorama adaptativo de combinações genéticas, e que a seleção natural leva a população a um pico nesse panorama, mas apenas para um dos vários picos locais alternativos.

Nem toda a evolução é impulsionada pelas forças de seleção natural. Se a diferença seletiva entre duas variantes genéticas for suficientemente pequena, menos que o recíproco do tamanho da população, pode haver uma substituição de um alelo por outro puramente por deriva genética. Uma grande parte da evolução molecular parece ser a substituição de uma sequência de proteína por outra de função equivalente. A evidência dessa evolução neutra é que o número de diferenças de aminoácidos entre duas espécies diferentes em alguma molécula - por exemplo, a hemoglobina - é diretamente proporcional ao número de gerações desde sua divergência de um ancestral comum no passado evolutivo. Tal relógio molecular com uma taxa constante de mudança não seria esperado se a seleção das diferenças fosse dependente de mudanças particulares no ambiente. Além disso, seria esperado que o relógio andasse mais rápido para as proteínas tais como fibrinopeptídeos, nas quais a composição de aminoácidos não é crítica para a função, essa diferença na velocidade do relógio é de fato observada. Assim, não podemos supor sem evidência que as mudanças evolutivas são o resultado de seleção natural adaptativa.

Tanta evolução de sequências é efetivamente neutra que não há uma relação simples entre a quantidade de mudanças na sequência de DNA de um gene e a quantidade de mudança, se alguma, na função da proteína codificada. Algumas funções de proteínas podem mudar por uma única substituição de aminoácido, enquanto outras precisam de um conjunto de substituições. Uma restrição importante na evolução das sequências codificantes é o efeito pleiotrópico das mutações. Se uma proteína tem múltiplas funções em tecidos diferentes, as mutações nas sequências codificantes podem afetar todas as funções e ter consequências negativas para adaptabilidade. Os potenciais efeitos pleiotrópicos das mutações codificantes podem ser evitados por mutações em elementos regulatórios não-codificantes que podem mudar ou parte do corpo e não em outras. A evolução da sequência regulatória de ação cis é central para a evolução de características morfológica e a expressão dos genes ferramentais que controlam o desenvolvimento.

Novas funções geralmente surgem pela evolução de genes duplicados. Esse novo DNA pode surgir pela duplicação do genoma inteiro (poliploidia) seguida

de uma lenta divergência evolutiva do conjunto cromossômico extra. O que tem sido uma frequente ocorrência em plantas. Uma alternativa é a duplicação de genes isolados seguida de seleção da diferenciação. Outra fonte de DNA, recentemente descoberta, é a entrada no genoma de DNA de organismos totalmente não-relacionados por infecção seguida de interação do DNA exógeno no genoma nuclear; ou pela formação de organelas celulares extra-nucleares com seus próprios genomas. As mitocôndrias e os cloroplastos em organismos superiores surgiram por essa via.

A grande diversidade de formas de vida diferentes que existem é uma consequência das histórias evolutivas independentes de populações separadas. Para populações diferentes divergirem uma da outra, elas não devem trocar genes; assim, a evolução independente de grandes números de espécies diferentes requer que essas espécies sejam reprodutivamente isoladas umas das outras. De fato, definimos uma espécie como uma população de organismos que trocam gene entre si e que são reprodutivamente isolados de outras populações. Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem ser pré ou pós zigóticos. Os mecanismos de isolamento pré zigóticos são os que impedem a união de gametas de duas espécies. Esses mecanismos podem ser de incompatibilidade comportamental dos machos e fêmeas de espécies diferentes, diferenças na época ou local de sua atividade sexual, diferenças anatômicas que tornam impossível mecanicamente a reprodução, ou incompatibilidade fisiológica dos próprios gametas. Mecanismos de isolamento pós zigótico incluem a incapacidade de os embriões híbridos se desenvolverem até a vida adulta, a esterilidade dos adultos híbridos e a degradação das gerações posteriores de genótipos recombinantes. Na maior parte, as diferenças genéticas responsáveis pelo isolamento entre espécies proximamente relacionadas espalham-se por todos os cromossomos, embora em espécies com determinação cromossômica sexual possa haver uma concentração de genes de incompatibilidade no cromossomo sexual.

No geral, a evolução genética é um processo histórico que está sujeito a contingências históricas e ao acaso, mas é restrita pela necessidade dos

organismos de sobreviver e se reproduzir em um mundo em constante mudança.

Atividades

1. Uma proteína é um polímero composto de monômeros chamados de aminoácidos. Em outras palavras:

- a. Uma proteína é um cis
- b. Uma proteína é um gene
- c. Uma proteína é um gameta
- d. Uma proteína é uma estrutura do genoma
- e. Uma proteína é uma cadeia de aminoácidos e a cadeia às vezes é chamada de polipeptídeo.

2. Podemos dizer que a Bioinformática é:

- a. O estudo do conteúdo de informação dos genomas.
- b. A sequência genômica.
- c. A informação de um organismo funcional.
- d. A sequência de gametas.
- e. Estudo das diferenças genéticas.

3. Qual alternativa é a correta:

1. Se o DNA é de um genótipo diferente do da receptora, o genótipo da receptora pode tornar-se permanentemente alterado, um processo adequadamente chamado de transformação.

2.A teoria darwiniana da evolução explica as mudanças que ocorrem em populações de organismos como resultado de mudanças nas frequências relativas de variantes diferentes na população.

3.A respeito da simplicidade da forma, as bactérias não têm em comum com membros maiores e complexos de outros reinos a tarefa fundamental de regular a expressão de seus genes.

- a. As afirmações 1 e 2 estão corretas.
- b. As afirmações 2 e 3 estão corretas.
- c. As afirmações 1, 2 e 3 estão corretas.
- d. A afirmação 1 esta correta.
- e. Todas as afirmativas estão corretas.

4. Existem quatro tipos diferentes de bases nos nucleotídeos no DNA:

- a. Adenina (A), timina (T), guanina (G) e citosina (C)
- b. Adenina (A), guanina (G), citosina (C) e timinamida (T)
- c. Adenilina (A), guanitina (G), cis (C) e trinamina (T)
- d. Adenina (A), timina (T), guanina (G) e citosina (C)
- e. Adenina (A), timina (T), guanina (G) e cistosina (C)

5. Vírus: essas partículas simples não-vivas não têm toda maquinaria metabólica. Baseado nessa afirmação pode se dizer que:

- a. Um vírus infecta uma célula hospedeira e modifica seu aparelho biossintético para a produção de mais vírus, incluindo a replicação dos genes virais.
- b. Um vírus infecta apenas animais, que contenham células hospedeiras.
- c. Um vírus pode produzir mais vírus se o ser vivo não tiver aparelho biossintético.
- d. Um vírus pode apenas infectar humanos, levando-o a óbito.
- e. Um vírus pode ser considerado uma célula.

Gabarito:

1 e / 2 a / 3 c / 4 a / 5b

7. HICKMAN JR., Cleveland P.; ROBERTS, L. S.; LARSON, Allan. Princípios Integrados de Zoologia. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

ORIGEM E QUÍMICA DA VIDA

De acordo com o *big-bang*, o Sol e os planetas foram formados há, aproximadamente, 4,6 bilhões de anos, a partir de uma nuvem esférica de poeira cósmica e gases, a qual colapsou formando um disco rotatório.

Oparin e Haldane propuseram que a forma de vida mais simples apareceu pela combinação de pequenas moléculas em moléculas orgânicas mais complexas. Moléculas auto-replicáveis eram produzidas e formaram o conjunto de microrganismos vivos.

A evolução química no ambiente pré-biótico produziu compostos orgânicos simples, os quais formaram blocos de construção das células vivas.

Os carboidratos são compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Participam no protoplasto com função estrutural e como fonte de energia química. São sintetizados pelas plantas verdes a partir do gás carbônico e da água, com auxílio da luz solar (**fotossíntese**). O mais importante carboidrato é a glicose. Exemplos de carboidratos: açúcares, amidos, celulose. São divididos em: **monossacarídeos** (açúcares simples: 4, 5 ou 6 carbonos), **dissacarídeos** (açúcares duplos: ligação entre dois açúcares simples), **polissacarídeos** (açúcares complexos: muitas moléculas de açúcares simples unidas em polímeros). Exemplos de polímeros: amido (forma pela qual a maioria das plantas armazena o açúcar), glicogênio (forma mais importante de estocar açúcares nos animais).

Os lipídeos são compostos de moléculas de polaridade baixa, sendo insolúveis na água. Os três principais grupos são:

- **gorduras neutras** : principal combustível dos animais. Não têm função estrutural nas células. Incluem os triglicerídeos.

- **fosfolipídeos** : componentes importantes dos tecidos.

- **esteroides** : são alcoóis complexos. Ex: colesterol, vitamina D, hormônios sexuais.

Proteínas são moléculas compostas de aminoácidos. Os aminoácidos estão unidos por ligações peptídicas, onde o grupo carboxila de um aminoácido se liga ao grupo amina de outro, por ligação covalente e eliminação de água. As proteínas podem funcionar como enzimas (catalisadores biológicos).

Os ácidos nucleicos são substâncias complexas e fundamentais, que armazenam ordens para síntese de enzimas e outras proteínas. Dois tipos: **ácido desoxirribonucleico (DNA)** e **ácido ribonucleico (RNA)**, ambos formados por nucleotídeos.

Na década de 1860, experimentos de Pasteur convenceram cientistas de que os organismos não se originam da matéria inorgânica. Mais de meio século depois, Oparin e Haldane proporcionaram uma explicação para a pergunta “como um ancestral comum a todas as formas vivas poderia ter surgido de matéria não viva há mais de 4 bilhões de anos?”. A origem da vida aconteceu após um longo período de “evolução molecular abiogênica”, quando moléculas orgânicas acumularam-se lentamente em uma “sopa primordial”. A atmosfera da Terra era redutora, com pouco ou nenhum oxigênio livre presente. Radiação ultravioleta, descargas elétricas de relâmpagos ou energia de chaminés hidrotermais poderiam ter provido energia para a formação inicial das moléculas orgânicas. Miller e Urey mostraram a plausibilidade da hipótese Oparin-Haldane através de experimentos simples. A concentração de reagentes necessária para a síntese inicial de moléculas orgânicas possivelmente foi propiciada por superfícies úmidas, partículas de calcário, pirita ou outras condições. Provavelmente, o RNA foi a primeira molécula realizadora de funções codificantes da informação. Quando sistemas auto-replicantes se estabeleceram, a evolução provavelmente aumentou a sua diversidade e complexidade, por seleção natural.

A aparição da vida na Terra não ocorreria sem água, e depende também da química do carbono.

Os **heterótrofos** precisam obter seus suprimentos de alimento do ambiente. Supõe-se que os primeiros organismos foram heterótrofos, e não teriam sido obrigados à síntese do próprio alimento, pois havia estoque de nutrientes na sopa pré-biótica. A evolução posterior produziu organismos **autótrofos**, que sintetizam seu alimento a partir de fontes inorgânicas usando a luz ou outra fonte de energia. A **autotrofia** evoluiu para a forma

fotossintética, onde átomos de hidrogênio (obtidos da água) reagem com dióxido de carbono (retirado da atmosfera) para gerar açúcares (fonte de alimento) e oxigênio molecular (liberado para a atmosfera). O oxigênio produzido pela fotossíntese acumulou-se na atmosfera. Quando atingiu aproximadamente 1% de sua concentração atual, o ozônio começou a se acumular e absorver radiação ultravioleta. Com a acumulação de oxigênio atmosférico apareceu o **metabolismo (aeróbico) oxidante**. A maioria das formas de vida tornaram-se dependentes deste.

Atualmente, quase todo o oxigênio é produzido por cianobactérias, algas eucarióticas e plantas.

As bactérias são chamadas **procariotos**, as quais contêm uma única e longa molécula de DNA, localizado no **nucleoide**. Não apresentam organelas com membranas e seu DNA não está associado a histonas. Compreendem duas linhas de descendência distinta: **Eubacteria** e **Archae**. Diferem principalmente em relação ao metabolismo e ausência de ácido murâmico (nas Archae).

Os **eucariotos** apresentam células com núcleo circundado por membrana, contendo cromossomos compostos de cromatina. Geralmente são maiores que os procariotos e contêm muito mais DNA. Incluem animais, fungos, plantas e protozoários. Mitocôndrias e plastídeos têm seu próprio DNA (além do DNA do núcleo da célula)

Todos os tecidos e órgãos são compostos por células.

Protoplasma: termo introduzido por J. Purkinje para descrever o conteúdo celular. O interior de uma célula está composto por várias organelas celulares, com funções específicas.

A principal diferença entre células **procarióticas** e **eucarióticas** é a ausência de núcleo circundado por membrana nos procariotos e presentes nos eucariotos. Tanto procariotos quanto eucariotos tem DNA, usam o mesmo código genético e sintetizam proteínas.

Componentes das células eucarióticas

Estão envolvidas numa **membrana plasmática**, a qual tem permeabilidade seletiva (modelo mosaico fluido). O núcleo é ovoide, envolvido

por duas membranas, e contém cromatina (carrega a informação genética), complexo de RNA, histonas e não-histônicas. Os nucléolos levam cópias múltiplas da informação do DNA para sintetizar o RNA ribossômico. A região fora do núcleo chama-se **citoplasma**, onde existem várias organelas.

Modelo mosaico fluido: uma bicamada de fosfolipídios, com suas extremidades hidrossolúveis orientadas para fora, e lipossolúveis para dentro da membrana. A bicamada é líquida, permitindo flexibilidade à membrana. **Glicoproteínas** (proteínas ligadas a carboidratos) são essenciais.

O **retículo endoplasmático** (RE) é um complexo de membranas que separa alguns produtos celulares da maquinaria sintetizadora que os produz. As membranas do RE podem ser cobertas por ribossomos, conhecidas como **RE rugoso**, e quando os ribossomos estão ausentes podem ser chamados **RE liso** (função de síntese de lipídeos e fosfolipídeos).

O **complexo de Golgi** é composto por uma pilha de vesículas membranosas que armazenam e modificam produtos proteicos.

Lisossomos: envolvidos na quebra de material estranho.

As **mitocôndrias** são envolvidas por membrana dupla. Nela é produzido o **ATP** (trifosfato de adenosina), a molécula de transferência de energia mais importante. A mitocôndria autorreplica-se.

O **citoesqueleto** fornece suporte, mantém a forma e permite locomoção e translocação de organelas na célula. **Microfilamentos** são responsáveis pela habilidade da contração celular. São feitos de actina. **Microtúbulos** são compostos de tubulina, tendo papel no movimento dos cromossomos para as células filhas na divisão celular, sendo importantes também na organização e transporte celular. São gerados pelo **centrossomo**, os quais não são envolvidos por membranas, e no seu interior encontram-se os **centríolos**, também compostos de microtúbulos. Células de plantas não têm centríolos.

Superfícies celulares

Cílios ou **flagelos** varrem os materiais para longe das células. Os flagelos são o meio de locomoção para células reprodutivas masculinas na maioria dos animais e muitas plantas.

Muitas células se movem por movimento ameboide, através de pseudópodes.

Junção oclusiva: membranas de duas células podem fundir-se. Esse tipo de junção previne a passagem de moléculas entre as células. **Junções comunicantes:** funcionam como estrutura de comunicação intercelular, formando minúsculos canais entre as células.

Microvilos: pequenas projeções tubulares, que aumentam a superfície de absorção.

A membrana plasmática é muito importante para manter a integridade celular. Age como um porteiro, selecionando a entrada e saída de substâncias envolvidas no metabolismo celular.

Modos pelos quais uma substância pode atravessar a membrana celular: **difusão, sistema de transporte mediado e endocitose.**

Difusão: movimento de partículas de uma área de concentração alta para uma área de concentração baixa.

Se uma célula cercada por membrana é imersa numa solução com concentração mais alta de moléculas do que o fluido interno da células, forma-se um **gradiente de concentração.**

A água flui pela membrana da solução mais diluída para a mais concentrada. As moléculas movem-se no gradiente de concentração pela membrana onde as moléculas de água estão mais concentradas para a área onde estão menos concentradas, conhecida como **osmose.**

Transporte por mediação

As **permeases** formam uma passagem pequena pela membrana, permitindo que a molécula do soluto cruze a bicamada fosfolipídica.

Difusão facilitada: uma permease auxilia a difusão da molécula através da membrana.

O **transporte ativo** provê energia ao sistema transportador para mover moléculas em direção oposta a um gradiente de concentração. Envolve consumo de energia, pois os materiais são bombeados contra um gradiente de concentração.

Endocitose é a ingestão de material pelas células.

Exocitose: a membrana de uma vesícula funde-se com a membrana plasmática para expulsar seus conteúdos. Ocorre para remover resíduos não digeridos, secretar substâncias.

MITOSE E DIVISÃO CELULAR

Mitose é o processo de divisão nuclear para formar células somáticas. Distribui os cromossomos e seu conteúdo de DNA para a continuidade das gerações celulares. É o único mecanismo para transferência de informação genética do progenitor à progênie em animais com reprodução **assexuada**.

Estágios da mitose: **prófase:** os cromossomos replicados condensam-se em corpos reconhecíveis. Forma-se um fuso entre os centrossomos enquanto estes se separam em pólos opostos. **Metáfase:** as cromátides irmãs movem-se para o centro da célula. **Anáfase:** centrômeros dividem-se e cada uma das metades é puxada para os centrossomos pelas fibras cinetocóricas. **Telófase:** cromossomos posicionam-se no local do núcleo de cada nova célula. A membrana nuclear reaparece e ocorre a citocinese (divisão do citoplasma).

A replicação do DNA ocorre durante a interfase, na fase S. O período S é precedido pelo período G_1 (fase preparatória) e sucedido pelo G_2 . Na G_1 são sintetizados RNA de transferência, ribossomos, RNA mensageiro e enzimas. Existe ainda a fase G_0 , onde há inatividade (ex: neurônios, pois não se dividem).

METABOLISMO CELULAR

Leis da termodinâmica

A primeira lei afirma que a energia não pode ser destruída, embora possa mudar de forma. A segunda lei estabelece que a estrutura dos sistemas tende à desorganização total, ou aumento de entropia, conforme energia é dissipada. A energia solar capturada pela fotossíntese como energia química é

passada através das cadeias alimentares, onde é usada para **biossíntese** transporte ativo e movimento, antes de ser dissipada como calor.

Enzimas são proteínas que aceleram muito as taxas de reações químicas. Uma enzima liga seu reagente (substrato) a um centro ativo. As células usam energia estocada nas ligações químicas dos combustíveis orgânicos degradando-os através de passos controlados por enzimas. Esta energia é transferida para o ATP.

A glicose é uma importante fonte de energia para as células. Na respiração, a glicose, com seus carbonos, é quebrada em duas moléculas de ácido pirúvico com três carbonos. O ácido pirúvico é descarboxilado para formar acetil-coenzima A com dois carbonos, um intermediário estratégico conduzido ao ciclo de Krebs. A acetil-coenzima A pode ser derivada também da quebra de gordura. No ciclo de Krebs, a acetil-coenzima A é oxidada a dióxido de carbono em várias reações, fornecendo elétrons energizados, passados a moléculas receptoras de elétrons (NAD e FAD). No estágio final, os elétrons energizados são passados ao longo de uma cadeia transportadora de elétrons localizados nas membranas internas da mitocôndria. Um total líquido de 36 moléculas de ATP pode ser gerado de uma molécula de glicose.

Na ausência de oxigênio (glicólise anaeróbica), a glicose é degradada a duas moléculas com três carbonos de ácido láctico, fornecendo duas moléculas de ATP. Embora seja muito menos eficiente do que a respiração, a glicólise anaeróbica supre a energia essencial para a contração muscular quando um gasto excessivo de energia ultrapassa a capacidade do sistema de fornecimento de oxigênio de um animal, além de ser a única fonte de geração de energia para microrganismos que vivem em ambientes onde não há oxigênio livre.

PRINCÍPIOS DE GENÉTICA

Cada geração passa para a seguinte instruções necessárias para dar continuidade à vida, sendo o **gene** a unidade da herança.

Gregor Johann Mendel foi o primeiro a formular os princípios básicos da hereditariedade. As observações de Mendel baseavam-se em ervilhas de

jardins, pois eram linhagens puras, selecionadas cuidadosamente. Outro motivo para Mendel trabalhar com ervilhas, ocorria por apresentarem autofertilização, mas também capazes de fertilização cruzada. Ele trabalhava com caracteres únicos: plantas altas e plantas anãs, e sementes lisas e rugosas.

Mendel fez cruzamentos entre plantas com essas características, removendo o estame de uma flor, para impedir a autofertilização, e coloca o pólen da flor de uma planta com uma característica contrastante em seu estigma. A polinização das flores experimentais por insetos e vento era impedida. Quando a flor experimental produzia sementes, ele anotava o tipo de plantas produzidas através da semente plantada. Em seguida, cruzava esses híbridos entre si.

Cada célula do corpo possui dois cromossomos, onde os membros de cada um destes pares são chamados homólogos.

A **meiose** consiste em duas divisões do núcleo, onde os cromossomos dividem-se apenas uma vez. Assim, os gametas maduros têm número haploide de cromossomos. Quando os gametas se unem na fertilização, forma-se o zigoto (em humanos: diploide).

Formas alternativas de genes para um mesmo caráter são chamados **alelos**. A localização de um gene em um cromossomo é o **loco**.

Para determinação do sexo, foi descrito o tipo XX-XO, onde as fêmeas apresentam dois cromossomos X, e os machos apenas um (O é ausência de cromossomo). Em aves, mariposas, borboletas e alguns peixes, o macho tem 2 cromossomos X (chamados ZZ) e a fêmea, um X e um Y (chamados ZW). Nem todos os animais dioicos têm o sexo determinado por cromossomos. Em alguns, o sexo é determinado por fatores como a temperatura (ex: em tartarugas e alguns lagartos) e comportamento (alguns peixes).

Os genes determinam as características de um organismo, e são herdados. Os variantes alélicos podem ser dominantes, recessivos ou intermediários. O alelo recessivo no genótipo heterozigoto não se expressa no fenótipo e requer a condição homozigótica para se manifestar.

Primeira Lei de Mendel (lei da segregação): em um cruzamento monoíbrido envolvendo um alelo dominante e um recessivo (onde os pais são

homozigotos), a geração F_1 vai ser toda heterozigota. Na geração F_2 os genótipos seguirão a proporção 1:2: 1 e os fenótipos 3:1.

Segunda Lei de Mendel (lei da segregação independente): os heterozigotos apresentam fenótipos intermediários entre os fenótipos homozigotos. Os cruzamentos diíbridos (onde os genes para duas características situam-se em dois pares separados de cromossomos homólogos) mostram proporções fenotípicas de 9:3: 3:1, com caracteres dominantes e recessivos.

Pleiotropia: muitos genes têm mais de um efeito nos fenótipos.

Epistasia: um alelo em um loco pode mascarar ou impedir a expressão de um alelo de outro loco que atua sob o mesmo caráter.

Existem genes poligênicos, onde ao invés de originarem fenótipos alternativos discretos, os caracteres mostram uma variação contínua entre dois extremos, conhecida como **herança quantitativa**. Ex: grau de pigmentação em acasalamento entre raças humanas negra e branca.

A herança de alguns caracteres depende do sexo do progenitor e do descendente (**herança ligada ao sexo**). Ex: hemofilia e daltonismo, ambos determinados através de sua presença no cromossomo X. Expressam-se fenotipicamente quando ambos os genes para o defeito estão presentes na mãe, ou quando apenas um gene para o efeito está presente no pai.

O *crossing-over* é uma maneira de trocar genes entre cromossomos homólogos, aumentando a quantidade de recombinação genética.

Desvios estruturais e numéricos que afetam muitos genes de uma só vez são chamados **aberrações cromossômicas**. São chamadas de **euploidias** mudanças no número de cromossomos, quando há adição ou deleção de conjuntos de cromossomos e **aneuploidias** quando um único cromossomo é adicionado ou subtraído. O tipo mais comum de euploidia é a **poliploidia**. A aneuploidia é normalmente causada pela não-separação dos cromossomos. Isso resulta em um gameta possuindo $n - 1$ número de cromossomos, e outro com $n + 1$. Se o gameta com $n - 1$ é fertilizado por um gameta normal o resultado é um animal monossômico. Se o gameta com $n + 1$ é fertilizado com um gameta normal, ocorre uma trissomia.

O conceito de **gene** foi cunhado por W. Johannsen em 1909, referindo aos fatores hereditários de Mendel. Eles têm o código para produtos essenciais. São unidades de informação molecular que podem manter suas identidades por várias gerações e permitem que suas particularidades sejam copiadas. De forma mais abrangente um gene pode ser definido como uma sequência de ácidos nucleicos, que codifica um polipeptídeo funcional ou uma sequência de RNA.

As células contêm dois tipos de ácidos nucleicos: DNA (material genético) e RNA (atua na síntese protéica). Ambos são polímeros, constituídos por nucleotídeos. Cada nucleotídeo contém um açúcar, uma base nitrogenada e um grupamento fosfato. O açúcar é uma pentose, que no DNA é uma desoxirribose e no RNA uma ribose.

As bases nitrogenadas dos nucleotídeos são: pirimidinas (único anel com cinco membros) ou purinas (dois anéis ligados). As purinas no DNA e no RNA são adenina e guanina. As pirimidinas no DNA são a timina e a citosina, e no RNA a uracila e citosina.

O eixo da molécula de DNA é construído por ácido fosfórico e desoxirribose e as bases nitrogenadas ligam-se a este eixo. O DNA é composto de duas cadeias, ligadas transversalmente por pontes de hidrogênio específicas, entre as bases purínicas e pirimidínicas. O pareamento das bases é: adenina com timina (AT) e guanina com citosina (GC). O resultado é uma estrutura em forma de escada, torcida em dupla hélice. As fitas são antiparalelas.

Em relação à estrutura, o RNA é semelhante ao DNA, exceto por ter apenas uma cadeia de polinucleotídeos, ter ribose no lugar da desoxirribose e uracila no lugar da timina. Existem três tipos de RNA (mensageiro transportador e ribossômico).

Replicação: quando uma célula se divide, a estrutura do DNA deve ser copiada para as células filhas. As duas fitas da dupla hélice se separam, servindo como molde para sintetizar uma fita complementar. A DNA polimerase monta uma nova fita.

Transcrição: as trincas codificadas pelo DNA são transcritas na forma de RNA mensageiro (RNAm), onde a uracila substitui a timina. O RNA de transferência, ribossômico e mensageiro são transcritos diretamente do DNA. É

necessária a enzima RNA-polimerase. Apenas uma das fitas do DNA é utilizada como molde para a síntese de RNA, pois apenas uma contém o códon AUG, o qual inicia a mensagem.

Muitos genes são descontínuos, interrompidos por sequências de bases que não codificam o produto final. O RNAm transcrito a partir deles precisa ser editado, antes da tradução. Os segmentos intermediários são conhecidos como **íntrons** e os que codificam a parte do RNA que é madura, chama-se **éxons**. As sequências de bases em alguns íntrons são complementares a outras sequências de bases do mesmo íntron. Sendo assim, o íntron pode dobrar-se de maneira que as sequências podem se parear.

Tradução: ocorre nos ribossomos. O RNA ribossômico é composto por uma subunidade pequena e uma grande. As moléculas de RNAm se ligam aos ribossomos, formando um complexo RNA mensageiro-ribossomo. O RNAm se liga a diversos ribossomos de uma vez, formando o **polirribossomo**, o que permite que diversas moléculas do mesmo tipo de proteína sejam sintetizadas de uma única vez.

Para a montagem das proteínas é necessário o RNA de transferência (RNAt). As moléculas de RNAt capturam aminoácidos livres do citoplasma e os carregam até o polissomo, onde são montados, formando uma proteína. Cada RNAt é acompanhado por uma RNAt-sintetase específica, enzima essa necessária para escolher e ligar o aminoácido correto no final de cada RNAt, processo chamado de **carregamento**. Os códons são lidos e as proteínas são montadas ao longo do RNAm na direção da extremidade **5'** para a extremidade **3'**.

- **DNA recombinante**

As endonucleases de restrição cortam a dupla hélice do DNA em locais específicos. Muitas cortam os filamentos de DNA e deixam extremidades adesivas. Quando esses fragmentos de DNA são misturados com outros, que foram clivados pela mesma endonuclease, eles tendem a se ligar, sendo fixados em sua nova posição pela DNA-ligase. Se os filamentos de DNA ligados forem de duas fontes diferentes, o produto é o DNA recombinante. Por exemplo: um gene de um mamífero pode ser introduzido em células

bacterianas, através de plasmídeo, que então se multiplicam e expressam o gene.

- **Reação em cadeia da polimerase (PCR)**

É uma técnica utilizada para obter grandes quantidades de DNA a partir de amostras muito pequenas. No PCR, dois *primers* são sintetizados. Uma quantidade de cada *primer* é adicionado na amostra de DNA do organismo, e a mistura é aquecida para separar a dupla hélice. A mistura é resfriada, tendo uma maior probabilidade de cada filamento do gene de interesse se ligar a um *primer*. A DNA polimerase é adicionada, com os quatro desoxirribonucleotídeos trifosfatos. A mistura é reaquecida e esfriada novamente, permitindo que mais *primers* se liguem a filamentos originais e copiados. A cada ciclo da síntese do DNA, o número de cópias do gene é duplicado, e como cada ciclo pode durar menos que 5 minutos, o número de cópias de um gene pode aumentar de um milhão em menos de duas horas.

Mutações: são mudanças físicoquímicas nos genes, que resulta na alteração da sequência de bases do DNA. Uma mutação pode resultar da substituição de um códon (ex: anemia falciforme), envolver deleção ou inserção de bases, onde a tradução do RNAm vai ser deslocada, gerando aminoácidos incorretos.

PROCESSO REPRODUTIVO

Reprodução assexuada: produção de indivíduos sem envolver gametas, onde todos os descendentes têm o mesmo genótipo e são chamados de clones. Ocorre em bactérias, eucariotos unicelulares e em muitos filos de invertebrados. Tipos: fissão binária: o corpo do progenitor divide-se por mitose em duas partes, as quais crescem e se tornam indivíduos similares ao progenitor. Fissão múltipla: ocorre a divisão do núcleo, repetidamente, antes da divisão do citoplasma. Brotamento: o novo indivíduo surge como um broto, crescendo a partir do progenitor e posteriormente se separa. Ex: em cnidários. Gemulação: formação de um novo indivíduo a partir de um agregado de células

envolvidos por uma cápsula. Ocorre em muitas esponjas. **Fragmentação**: um animal multicelular fragmenta-se em duas ou mais partes e cada fragmento é capaz de tornar-se um indivíduo completo.

Reprodução sexuada: produção de indivíduos através de gametas. Tipos: 1. **Bissexuada**: envolve dois indivíduos separados. Indivíduos **dioicos**: têm sexos separados. Indivíduos **monoicos**: têm órgãos reprodutivos tanto de macho quanto de fêmea. **Óvulos** são produzidos pelas fêmeas, sendo grandes, sem mobilidade e produzidos em números pequenos. **Espermatozoides** são produzidos pelos machos, sendo pequenos, móveis e produzidos em grandes quantidades.

2. **Hermafroditismo** e 3. **partenogênese**: envolvem apenas um indivíduo. No hermafroditismo, animais possuem tanto órgãos reprodutores femininos quanto masculinos. Exemplo de hermafroditas: muitos invertebrados sésseis, subterrâneos ou endoparasitas e alguns peixes. Já a partenogênese é o desenvolvimento de um embrião a partir de um óvulo não fertilizado, ou num óvulo onde os núcleos feminino e masculino deixam de se unir após a fertilização. **Partenogênese ameiótica**: não ocorre meiose, o ovo é formado por divisão celular mitótica. **Partenogênese meiótica**: ovo haploide é formado por meiose.

Nos vertebrados, as **células germinativas primordiais** surgem no endodema do saco vitelino, migrando para as gônadas. Nos mamíferos uma gônada vai se tornar um testículo devido aos sinais masculinizantes do cromossomo Y. As estruturas reprodutoras da fêmea desenvolvem-se na ausência de sinais do cromossomo Y.

Chama-se **gametogênese** as transformações que resultam na formação de gametas maduros. Nos testículos, denomina-se **espermatoogênese** e nos ovários **oogênese**.

Espermatoogênese: as paredes dos tubos seminíferos contêm células germinativas em diferenciação, as quais se desenvolvem em contato com células de sustentação, as quais fornecem nutrição. A camada mais externa apresenta espermatogônias. Cada espermatogônia torna-se um espermatócito primário, o qual sofre uma divisão meiótica, originando os espermatócitos secundários. Cada espermatócito secundário sofre a segunda divisão meiótica,

e após as duas etapas da meiose, cada um origina quatro espermatídes (n). As espermatídes transformam-se em **espermatozoides**.

Oogênese: as **oogônias** (células germinativas iniciais) multiplicam-se por mitose e formam **oócitos primários**. Os cromossomos de cada oócito primário pareiam-se. O citoplasma divide-se. O **oócito secundário**, uma das células filhas, tem tamanho maior, a outra é muito pequena e chama-se **primeiro corpúsculo polar**. Na segunda divisão meiótica, o oócito secundário divide-se em uma **oótide** e um pequeno corpúsculo polar. A oótide desenvolve-se em **óvulo**. Os corpúsculos não são funcionais, e desintegram-se.

Animais **ovíparos**: depositam seus ovos no meio externo. A fertilização pode ser interna ou externa (fertilizado pelo macho). Ocorre na grande maioria dos invertebrados e muitos vertebrados. Os animais **ovovivíparos** retêm os óvulos em seu corpo. Ocorre em muitos invertebrados, peixes, répteis. Nos animais **vivíparos** os ovos desenvolvem-se no oviduto ou no útero. Ocorre principalmente em mamíferos e peixes elasmobrânquios.

Os invertebrados que transferem os espermatozoides dos machos para as fêmeas, com fertilização interna, necessitam de órgãos e canais para facilitar essa função. Já os sistemas reprodutores de invertebrados que liberam os gametas na água, são um pouco mais do que centros produtores de gametas.

- **Reprodução nos vertebrados**

Em machos de peixes e anfíbios o canal que sai dos rins também serve como duto espermático. Os canais abrem-se em **cloaca**, uma câmara única onde os canais intestinal, reprodutor e excretor convergem. A maioria dos mamíferos placentários não possui cloaca.

Sistema reprodutor masculino: inclui testículos (produção de espermatozoides), dutos eferentes, duto deferente (duto ejaculatório), glândulas acessórias e pênis (algumas aves e répteis, e em todos os mamíferos).

Sistema reprodutor feminino: inclui os ovários (contendo milhares de óvulos dentro de folículos), tubos uterinos (transporte dos óvulos), útero e vagina.

A natureza cíclica da reprodução tornou necessária a evolução de mecanismos hormonais que controlam a produção das células germinativas, sinalizam o momento para acasalar e preparam canais e glândulas para que os óvulos sejam fecundados.

Os centros neurosecretores do encéfalo secretam o hormônio liberador da gonadotrofina (GnRH), que estimula as células endócrinas da hipófise anterior a liberar o hormônio folículo-estimulante (FSH) e o hormônio luteinizante (LH), os quais estimulam as gônadas. Os estrógenos e a progesterona nas fêmeas, e a testosterona e a diidrotestosterona (DHT) nos machos, controlam o crescimento das estruturas sexuais acessórias e das características sexuais secundárias.

O estrogênio induz a proliferação inicial do endométrio uterino. A liberação de GnRH e LH na metade do ciclo induz a ovulação e faz com que o corpo lúteo secrete a progesterona, que completa a preparação do útero para a implantação. Se um óvulo é fertilizado, a gravidez é mantida por hormônios produzidos pela placenta e pela mãe. A gonadotrofina coriônica humana (hCG) mantém a secreção de progesterona e estrogênio do corpo lúteo, enquanto a placenta cresce e passa a secretar estrogênio, progesterona, hCG e lactogênio placentário humano (hPL). As glândulas mamárias serão estimuladas em preparação para a lactação pelo estrogênio, progesterona e hPL.

O nascimento ocorre devido à diminuição nos níveis de progesterona e aumento dos níveis de estrogênio. Nascimentos múltiplos em mamíferos podem ser resultados da divisão de um zigoto (produzindo gêmeos idênticos, monozigóticos), ou de zigotos separados (gêmeos não-identicos ou fraternos).

PRINCÍPIOS DO DESENVOLVIMENTO

Fecundação é a união dos gametas feminino e masculino, para formar o **zigoto**. Funções: recombina genes maternos e paternos, ativa o óvulo para iniciar o desenvolvimento. Porém, nem sempre o contato do espermatozoide ou genoma paterno são fatores essenciais para a ativação do óvulo.

Na **oogênese**, o óvulo prepara-se para a fecundação e início do desenvolvimento. O espermatozoide elimina seu citoplasma e condensa seu

núcleo no menor tamanho possível, e o óvulo aumenta de tamanho, acumulando reservas de vitelo.

Após o reinício da meiose, o óvulo elimina o excesso de material cromossômico sob forma de corpúsculos polares. Após atividade de síntese, o oócito está altamente estruturado, possuindo reservas importantes para manter as necessidades nutricionais do embrião e direcionar seu desenvolvimento pela clivagem.

A maioria dos invertebrados e vários peixes marinhos liberam seus gametas no oceano. Para aumentar a probabilidade de contato com um espermatozoide, os óvulos de várias espécies marinhas liberam um fator quimiotático, que atrai o espermatozoide.

No local de contato entre o espermatozoide e o envoltório vitelino do óvulo surge um cone de fecundação, onde penetrará a cabeça do espermatozoide. Deve ser evitada a **polispermia** (penetração de mais de um espermatozoide), pois prejudica o desenvolvimento.

O espermatozoide perde seu flagelo após a fusão das membranas do espermatozoide e do óvulo, e ocorre o rompimento de seu envoltório nuclear, permitindo a expansão da cromatina. O núcleo expandido do espermatozoide (pronúcleo) dirige-se para dentro do óvulo para unir-se ao pronúcleo feminino.

A fecundação origina várias modificações importantes no citoplasma do zigoto. Após, o zigoto inicia a clivagem.

O embrião divide-se várias vezes, transformando a massa citoplasmática em **blastômeros**. Há apenas subdivisão da massa, não há crescimento nessa fase.

A clivagem é afetada pela quantidade e distribuição de vitelo e por genes. Em relação à distribuição de vitelo:

- isolécitos: ovos com pouco vitelo, distribuídos uniformemente. A clivagem então é **holoblástica**, com a linha de clivagem estendendo-se por todo o ovo.
- mesolécitos: ovos com quantidade moderada de vitelo. Ex: ovos de anfíbios. A clivagem também é holoblástica.
- telolécitos: ovos com grande quantidade de vitelo. A clivagem é **meroblástica** (clivagem parcial). Ex: ovos de aves, répteis, muitos

peixes, alguns anfíbios, moluscos cefalópodes e mamíferos monotremados.

- **centrolécitos:** ovos com grande massa de vitelo localizada na região central. A clivagem do citoplasma limita-se a uma camada superficial do citoplasma livre de vitelo, o interior permanece não-clivado. Ex: insetos e artrópodes.

A quantidade de vitelo também afeta o modo de desenvolvimento dos embriões. **Desenvolvimento indireto:** quando o estágio de larva se interpõe entre o embrião e o adulto. Ex: invertebrados aquáticos, diversos anfíbios. **Desenvolvimento direto:** existe uma ligação placentária com a mãe, onde os embriões são nutridos durante a gestação. Ex: mamíferos, aves e répteis.

A clivagem resulta em um aglomerado de células, chamado de **blástula**.

Na **gastrulação**, as células da superfície do embrião movem-se para dentro formando folhetos germinativos (endoderma, ectoderma, mesoderma) e o plano corporal do embrião.

O início do desenvolvimento é governado pelos produtos do genoma materno, pois o córtex do ovo contém determinantes citoplasmáticos, depositados na oogênese, que guiam o desenvolvimento através da clivagem. Com a aproximação da gastrulação, o controle vai passando da mãe para o embrião.

Durante o desenvolvimento certas páginas do genoma de cada célula expressam-se, e o restante encontra-se desligado. **Genes homeobox** codificam proteínas reguladoras, que contêm regiões conservadas que se ligam ao DNA, denominadas **homeodomínios**.

Os **amniotas** desenvolveram membranas extra-embriônicas durante sua vida embrionária. São elas: âmnion (protege o embrião de choques mecânicos e adesões), alantoide (serve como depósito de rejeitos metabólicos), córion (envolve o resto do sistema embrionário) e saco vitelino.

Nos mamíferos, os embriões são nutridos pela placenta. Na gravidez ela torna-se um órgão nutritivo, endócrino e regulatório para o embrião.

Os folhetos germinativos formados na gastrulação diferenciam-se em tecidos e órgãos. O **ectoderma** origina a pele e o sistema nervoso. O **endoderma** origina o canal alimentar, faringe, pulmões e algumas glândulas. O **mesoderma** forma o sistema muscular, esquelético, circulatório e excretor.

PLANOS CORPÓREOS ANIMAIS

A **simetria** animal refere-se à correspondência em tamanho e forma das partes de lados opostos de um plano mediano. A **simetria esférica** significa que qualquer plano que passa através do centro do organismo divide seu corpo em metades equivalentes. Esse tipo de simetria é encontrado em algumas formas unicelulares, sendo rara entre os animais. A **simetria radial** é aplicada às formas que podem ser divididas em metades semelhantes por mais de dois planos que passam através do eixo longitudinal do organismo. A simetria radial ocorre, por exemplo, em esponjas, águas-vivas, ouriços-do-mar. Uma forma variante da simetria radial é a **simetria birradial**, na qual só dois planos que passam através do eixo longitudinal produzem metades equivalentes. A **simetria bilateral** se aplica aos animais que podem ser divididos em duas porções equivalentes ao longo de um plano sagital (as metades direita e esquerda).

CLASSIFICAÇÃO E FILOGENIA DOS ANIMAIS

A sistemática animal apresenta três principais objetivos: identificar todas as espécies de animais, avaliar os relacionamentos evolutivos entre as espécies animais e agrupar as espécies em uma hierarquia de grupos taxonômicos, que evidenciam relacionamentos evolutivos.

Táxons são organizados visando aumentar a inclusividade como: espécie, gênero, família, ordem, classe, filo e reino. Os nomes das espécies são binomiais, onde o primeiro nome designa o gênero ao qual a espécie pertence (deve ser escrito com a letra inicial maiúscula), seguida pelo epíteto de espécie (letra minúscula), ambos escritos em itálicos.

PROTOZOÁRIOS

Apresentam apenas uma célula eucariótica, mas são organismos completos funcionalmente. Precisam de umidade e vivem em *habitat* marinhos ou de água doce, solo, ou lugares com matéria orgânica em decomposição, plantas ou animais. Na maioria das vezes são microscópicos.

Muitos protozoários apresentam organelas (mitocôndria, retículo endoplasmático, corpo de Golgi, vesículas). Movimentam-se por cílios e flagelos e pseudópodes. Os cílios, em muitas espécies, auxiliam na alimentação, reprodução, excreção e osmorregulação. Existem várias formas de pseudópodes: **lobópodes**, **filópodes**, **reticulópodes**, **axópodes**.

Apresentam vacúolos, que provavelmente participam na osmorregulação. A excreção de resíduos metabólicos é quase totalmente feita por difusão.

Apresentam todos os tipos de nutrição: autotrófica (produção do próprio alimento através da fotossíntese), heterotrófica (dependem de outros animais ou plantas), saprozoica (uso dos nutrientes dissolvidos no ambiente ao redor), holozoica (por fagocitose)

Reproduzem-se assexuadamente por fissão, brotamento e cisto. E sexuadamente por conjugação (há troca de núcleos gaméticos entre os organismos) ou singamia (fecundação de um gameta por outro).

Filo Sarcomastigophora: inclui protozoários que se movem por flagelos (Mastigophora) e que se movem por pseudópodes (Sarcodina), mas essas características não são mutuamente exclusivas.

Filo Apicomplexa: todos os apicomplexa são endoparasitas. Apresentam complexo apical. Organelas locomotoras são menos evidentes. Pseudópodes ocorrem em alguns estágios intracelulares, e os gametas de algumas espécies são flagelados. O ciclo de vida geralmente inclui tanto reprodução assexuada quanto sexuada.

Filo Ciliophora: são estruturalmente complexos e diversamente especializados. A maioria é de vida livre, mas alguns são comensais ou parasitas. Todos possuem cílios, que batem de modo coordenado e rítmico. Os ciliados são sempre multinucleares, possuindo no mínimo um **macronúcleo** (responsável pelas funções de desenvolvimento e metabólicas, manutenção

das características visíveis) e um **micronúcleo** (participa na reprodução sexual e origina os macronúcleos). A maioria dos ciliados é holozoica e possui um citóstoma (boca). Um exemplo conhecido de ciliado é o paramécio, o qual apresenta forma de chinelo, sendo geralmente abundante em lagos e riachos com pouca correnteza e que contenham plantas aquáticas e matéria orgânica em decomposição.

MESOOZA E PARAZOA

FILO MESOOZA

Representam um nível extremamente simples de organização. Todos os mesozoários vivem como parasitas em invertebrados marinhos. Possui duas classes:

Os Rhombozoa vivem em rins de cefalópodes bentônicos. São alongados.

Os Orthonectida parasitam uma grande variedade de invertebrados.

FILO PLACOOZA

Contém uma única espécie: *Trichoplax adhaerens*. Apresenta corpo achatado, sem simetria, órgãos, sistemas muscular ou nervoso. Deslizam sobre o alimento, liberando enzimas digestivas e então, absorvem o produto.

FILO PORÍFERA

São as esponjas. Elas possuem um grande número de poros minúsculos e canais. São sésseis e dependem de correntes de água passando pelo seu sistema de canal para trazer comida e oxigênio, e para levar para o exterior os dejetos. Não possuem nenhum órgão ou tecidos verdadeiros. Não apresentam sistema nervoso ou órgãos dos sentidos desenvolvidos. Variam muito de tamanho, ocorrendo desde alguns milímetros e outras podendo chegar a mais de 2 m de diâmetro. Muitas espécies são coloridas. A maioria das esponjas são marinhas, mas existem também espécies de água doce.

Seus embriões são livre-natantes, porém os adultos são sempre fixos. O padrão de crescimento depende da forma do substrato, direção e velocidade das correntes de água, disponibilidade de espaço e condições ambientais.

Muitos animais vivem como comensais ou parasitas dentro ou sobre as esponjas. Porém, muitas esponjas também crescem sobre animais vivos

As aberturas corpóreas chamam-se **óstios**, e os maiores de **ósculos**. Essas aberturas são conectadas por sistema de canais, alguns formados por células flageladas (**coanócitos**). Os coanócitos mantêm a água em movimento, capturam e fagocitam as partículas alimentares trazidas pela água.

Tipos de sistemas de canais nas esponjas:

- **asconoides** (espongiocelos flagelados): organização mais simples. São pequenas e tubulares. A água entra por poros dérmicos microscópicos em uma grande cavidade, chamada **espongiocelo**, a qual é forrada por coanócitos.
- **siconoides** (canais flagelados): possuem corpo tubular e ósculo único. A parede contém **canais radiais**, forrados por coanócitos que desembocam na espongiocelo. Esta é formada por células epiteliais. A água entra através de óstios dérmicos nos canais inalantes, indo para os canais radiais pelas prosópilas. Nos canais radiais a comida é ingerida pelos coanócitos.
- **leuconoides** (câmaras flageladas): é a forma mais complexa. Associações de câmaras flageladas recebem água dos canais inalantes e descartam nos canais exalantes, que conduzem ao ósculo.

As células das esponjas estão organizadas em **meso-hilo** (matriz gelatinosa). No meso-hilo são encontradas várias células ameboides, fibrilas e elementos esqueléticos.

Células do tipo **pinacócitos** são do tipo epitelial. São um pouco contraídas. Células do tipo **coanócitos** forram os canais e as câmaras flageladas. São ovoides, com uma extremidade no meso-hilo e outra exposta. Os **arqueócitos** são células ameboides que se deslocam no meso-hilo. Podem fagocitar partículas e receber partículas para digestão.

Todas as atividades das esponjas dependem da corrente de água fluindo pelo seu corpo. A digestão é inteiramente **intracelular** (ocorre dentro das células), onde os coanócitos transmitem as partículas de alimento para os arqueócitos para a digestão. Não existem órgãos respiratórios.

Apresentam reprodução assexuada e sexuada. A reprodução assexuada ocorre por formação de brotos e pela regeneração. **Brotos externos** podem se

destacar da esponja parental e flutuar para formar novas esponjas, ou podem permanecer junto da esponja parental e formarem colônias. No caso dos **brotos internos** (ou gêmulas), os arqueócitos se juntam no meso-hilo e são envoltos por uma camada de espongina. Quando a esponja parental morre, as gêmulas sobrevivem e ficam dormentes. Após, as células das gêmulas saem pela **micrópila** e se desenvolvem em novas esponjas.

Em relação à reprodução sexuada, a maioria das esponjas é monoica (células sexuais masculinas e femininas num único indivíduo). Os espermatozoides surgem da transformação dos coanócitos. A maioria das esponjas é vivípara, onde após a fertilização o zigoto é retido e recebe nutrientes da esponja parental, até que é liberada uma larva ciliada. Os espermatozoides são liberados na água por um indivíduo e são capturados pelo sistema de canal de outro indivíduo. Os coanócitos desse último indivíduo fagocitam o espermatozoide e o levam até os oócitos.

Outras esponjas são ovíparas, onde os oócitos e os espermatozoides são expelidos na água.

As esponjas têm uma tremenda habilidade para reparar suas injúrias e restaurar as partes perdidas, conhecido como **regeneração**.

ANIMAIS RADIAIS (Filo Cnidaria; Filo Ctenophora)

FILO CNIDARIA

Assim chamado devido à presença de **cnidócitos**, células que podem conter organelas urticantes (**nematocistos**). Ocorrem em todos os habitats marinhos e alguns em água doce. Não há nenhuma espécie terrestre. São principalmente de locomoção lenta, porém são predadores bastante eficientes.

Os cindários, às vezes, vivem em simbiose com outros animais.

Apresentam dimorfismo: todas as formas de cnidários estão ajustadas a um entre dois tipos morfológicos: um **pólipo** (sudentário, sésil) e uma **medusa** (forma de água-viva, livre-natante). Os pólipos geralmente apresentem corpo tubular com uma boca cercada por tentáculos em uma extremidade. Podem viver isolados, ou em colônias. As medusas têm seus

corpos na forma de guarda-chuva ou sino, com simetria tetrâmera (partes do corpo organizadas em quartetos).

Os **nematocistos** são produzidos por um cnidoblasto e são enovelados dentro de uma cápsula. Quando disparados, alguns tipos de nematocistos penetram na presa e injetam veneno.

Apresentam rede nervosa com sinapses simétricas e assimétricas, alguns com órgãos sensoriais.

Classe Hydrozoa: a maioria dos hidrozoários é colonial e marinha. O ciclo de vida típico inclui um pólipó assexuado e uma fase de medusa sexuada. A maioria dos hidrozoários marinhos está na forma de uma colônia ramificada com muitos pólipos. As medusas de hidrozoários podem ser livre-natantes ou podem permanecer fixas às suas colônias.

Classe Scyphozoa: os cifozoários são águas-vivas típicas nas quais o medusoide é a forma corpórea dominante.

Classe Cubozoa: os cubozoários são predominantemente medusoides e incluem as perigosas vespas-do-mar.

Classe Anthozoa: os antozoários, ou “animais-flor”, são todos marinhos e polipoides, não há nenhuma fase medusoide. As ordens maiores possuem as anêmonas-do-mar (solitárias, sem esqueleto) e os corais pétreos (coloniais, exoesqueleto calcáreo).

FILO CTENOPHORA

Os Ctenophora são birradiais e nadam através de oito fileiras de pentes. Apresentam **coloblastos**, com os quais capturam pequenas presas. Apenas uma espécie apresenta nematocistos. Os corpos são frágeis e transparentes, mas são facilmente vistos à noite, quando emitem luz.

ANIMAIS BILATERAIS ACELOMADOS (Filo Platyhelminthes; Filo Nemertea; Filo Gnathostomulida)

São considerados três grupos: Platyhelminthes, Nemertea e Gnathostomulida. Apresentam apenas um espaço interno, a cavidade digestiva. São considerados animais **bilaterais acelomados**, pois não possuem celoma ou pseudocele. Apresentam sistema excretor.

FILO PLATYHELMINTHES

Variam em tamanho, existindo animais desde um milímetro, até muitos metros de comprimento (ex: tênias). Apresentam corpo achatado, na forma de folha, ou longo, em forma de fita. Incluem formas livres (classe Tubelaria somente) e parasitárias.

A superfície do corpo dos platelmintos turbelários é normalmente um epitélio celular, contendo células mucosas e **rabditos** que funcionam juntos na locomoção. Os membros de todas as outras classes de platelmintos estão cobertos por um tegumento **sincicial** (núcleos não são separados pela intervenção de membranas celulares) aciliado.

A digestão é extracelular e intracelular na maioria. Os céstodes precisam absorver nutrientes pré-digeridos através do seu tegumento, pois não apresentam sistema digestivo.

A osmorregulação ocorre através dos **protonefrídeos** de **células-flama**, sendo que a eliminação de restos metabólicos e a respiração acontecem através da parede do corpo.

Com exceção de Acoela (que possuem sistema difuso), apresentam sistema nervoso do tipo **escada-de-corda**, com neurônios de associação, motores e sensoriais.

A maioria é hermafrodita e a reprodução assexuada ocorre em alguns grupos.

A classe Turbellaria apresenta a maioria dos seus membros sendo carnívora e livre-natantes.

Os tremátodes digêneros têm um molusco como hospedeiro intermediário e quase sempre um vertebrado como hospedeiro definitivo. Os Digenea incluem vários parasitas importantes de humanos e animais domésticos.

Os céstodes (tênias) geralmente possuem um **escólex** (órgão de apreensão) em sua extremidade anterior, seguido por uma longa cadeia de **proglótides**, cada uma das quais possui um conjunto de órgãos reprodutivos de ambos os sexos. Os céstodes, quando adulto, vivem no trato digestivo de vertebrados, e as larvas encapsuladas são transmitidas pelas fezes.

FILO NEMERTEA

Seu nome refere-se à pontaria infalível da probóscide. Os membros dos Nemertea são normalmente menores que 20 cm de extensão e apresentam um sistema digestivo completo com um ânus e sistema circulatório verdadeiro. São de vida livre, capturando suas presas com **probóscide eversível** (se aloja na rincocele). Apresentam sistema vascular sanguíneo com dois ou três troncos longitudinais.

FILO GNATHOSTOMULIDA

Os Gnathostomulida são um filo com animais vermiformes marinhos, com 0,5 a 1 mm de comprimento, que vivem entre grãos de areia e silte. Não têm ânus.

ANIMAIS PSEUDOCÉLOMADOS (Filos: Rotifera, Gastrotricha, Kinorhyncha, Loricifera, Priapulida, Nematoda, Acanthocephala e Entoprocta)

Apresentam uma **pseudocele**, derivada da blastocele embrionária. Consiste em um espaço entre o intestino e os componentes mesodérmicos e ectodérmicos da parede do corpo e não é revestida por peritônio.

Nove grupos pertencem aos pseudocelomados: Rotifera, Gastrotricha, Kinorhyncha, Nematomorpha, Loricifera, Priapulida, Acanthocephala e Entoprocta. Antigamente, os cinco primeiros eram considerados como classes em um filo chamado Aschelminthes. Porém suas relações filogenéticas diferem tanto, que cada um está um filo diferente.

A maioria dos animais pseudocelomados é pequena. Todos têm uma parede de corpo de epiderme, uma derme e músculos que envolvem a pseudocele. O trato digestivo é completo (exceto em Acanthocephala).

O filo Rotifera é composto por organismos pequenos, principalmente de água doce, com uma **coroa de cílios** (de onde deriva o nome, pois parece uma roda girando ao bater), a qual cria correntes de água para trazer alimentos até a boca. A boca abre-se em uma faringe muscular (**mastax**), equipada com mandíbulas. São dioicos, e os machos normalmente são menores que as fêmeas.

Os Gastrotricha, Kinorhyncha e Loricifera são pseudocelomados minúsculos. Os Gastrotricha movem-se por cílios ou glândulas adesivas e os Kinorhyncha ancoram-se, puxando-se pelos espinhos de sua cabeça. Os Loricífera podem recolher seus corpos para dentro da lorica.

Os Priapulida são vermes marinhos encontrados principalmente em águas mais frias dos hemisférios. A maioria é predadora e escavadora. Apresentam uma probóscide eversível, usada para explorar o ambiente e capturar alimento. Os sexos são separados.

Os maiores e mais importantes deste grupo de filos são os nemátodes. São cilíndricos, afilando-se nas extremidades e cobertos por cutícula dura. Os músculos de sua parede do corpo são longitudinais e, para funcionarem bem para a locomoção, esta conformação tem de incluir um volume de fluido na pseudocele a uma alta pressão hidrostática. A maioria dos nemátodes é dioica e há quatro fases juvenis, separadas entre si por uma muda da cutícula. Quase todos os animais invertebrados e vertebrados e muitas plantas têm parasitas nemátodes. Outros nemátodes são de vida livre no solo e em *habitat* aquáticos. Algumas graves doenças em humanos e animais são causadas por nemátodes, como por exemplo o oxiúro, a lombriga (*Ascaris lumbricoides*), os vermes da ancilostomose.

Os Nematomorpha são vermes que possuem fases juvenis parasitas de artrópodes, seguidas por um adulto de vida livre, aquático e que não se alimenta.

Os Acanthocephala são parasitas do intestino de vertebrados quando adultos, e suas fases juvenis desenvolvem-se em artrópodes. Apresentam uma probóscide anterior invaginável com espinhos, os quais fincam na parede intestinal de seu hospedeiro. Como não possuem um trato digestivo, absorvem os nutrientes através do tegumento.

Os Entropocta são animais aquáticos, pequenos e sésseis. Apresentam uma coroa de tentáculos ciliados que circulam a boca e o ânus.

MOLUSCOS (Filo Mollusca)

O nome Mollusca indica uma de suas principais características: corpo mole. Este grupo inclui: quítons, lesmas, caracóis, borboletas-do-mar, mexilhões, ostras, lulas, polvos, náutilos e escafópodes. São encontrados numa ampla variedade de habitats. A maioria é marinha.

A maioria dos moluscos apresenta cabeça bem desenvolvida, a qual é portadora da boca e alguns órgãos sensoriais. No interior da boca situa-se a **rádula** (órgão linguiforme raspador). A rádula apresenta dentes diminutos e está presente em todos os moluscos, exceto nos bivalves e na maioria dos solenogastres.

O pé dos moluscos está adaptado para locomoção, fixação a um substrato ou combinação de funções. Geralmente é uma estrutura ventral, onde ondas de contração muscular promovem a locomoção por rastejamento.

O **manto** é uma bainha de epiderme que se estende a partir da massa visceral e pende de cada lado do corpo, protegendo as partes moles e criando um espaço chamado **cavidade do manto** (geralmente abriga brânquias). A superfície exposta do manto também auxilia nas trocas gasosas. Além disso, produtos dos sistemas digestivo, excretor e reprodutor são lançados para dentro da cavidade do manto. Para se protegerem, muitos moluscos podem recolher a cabeça ou o pé para dentro da cavidade do manto.

Quando presente, a **concha** nos moluscos é secretada pelo manto. A concha geralmente é constituída por três camadas: **perióstraco** (camada mais externa), **primástica** (camada mediana), **nacarada** (camada mais interna).

Há um sistema circulatório aberto. A maior parte dos cefalópodes apresenta um sistema circulatório fechado. O trato digestivo é complexo. A maioria dos moluscos tem um par de rins (**metanefrídeos**).

A maioria é dioica, embora alguns sejam hermafroditas. A primitiva larva dos moluscos é a **trocófora**, e muitos moluscos marinhos têm uma larva mais derivada, a **véliger**.

As classes Caudofoveata e Solenogastres constituem um grupo de moluscos vermiformes desprovidos de concha. A classe Scaphopoda (“dentes-de-elefante”) apresenta uma concha tubular, aberta em ambas as extremidades, e o manto envolve completamente o corpo.

A classe Monoplacophora é um grupo marinho univalve, exibindo pseudometamerismo.

Os Polycophora (quítons) são organismos marinhos comuns, com concha constituída por uma série de oito placas. São sedentários.

Gastrópoda é a maior classe de moluscos. Inclui: caracóis, lapas, lesmas terrestres e marinhas, búzios, litorinas, lebres-do-mar e borboletas-do-mar. Sua história evolutiva inclui a torção da extremidade posterior para anterior, de tal modo que o ânus e a cabeça situam-se na mesma extremidade; e o enrolamento, uma alongação da massa visceral, seguida do seu enrolamento em espiral. Essa torção levou a um problema de autopoluição, o que resulta na liberação de excretas sobre a cabeça e diante das brânquias. Esse problema é solucionado de várias maneiras entre os gastrópodes. Um exemplo de solução é a captação de água para dentro da cavidade do manto por um dos lados e escoamento pelo outro. Outra solução é um certo grau de destorção (opistobrânquios). Alguns também apresentam conversão da cavidade do manto em um pulmão.

Os Bivalvia são marinhos e de água doce. Apresentam concha dividida em duas valvas unidas por um ligamento dorsal, trazidas uma de encontro à outra, fechando-se por um músculo adutor. A maioria dos bivalves drena e filtra a água através de brânquias por ação ciliar. Os Bivalvia incluem os: mexilhões, vieiras, ostras e teredos.

Os membros da classe Cephalopoda são todos predadores e muitos podem nadar rapidamente. Incluem as lulas, polvos, náutilos e sibas. Apresentam tentáculos, os quais capturam as presas por secreções adesivas ou através de ventosas. Nadam expelindo água vigorosamente da cavidade do manto, fazendo-a passar através de um funil.

VERMES SEGMENTADOS (Filo Annelida)

O filo Annelida é constituído pelos vermes segmentados. Os mais familiares são as minhocas terrestres e de água doce, e as sanguessugas. Os anelídeos são celomados verdadeiros.

Apresentam o corpo dividido em anéis (segmentos), metamerizado. Com exceção das sanguessugas, a grande maioria apresenta cerdas. Cerdas curtas

auxiliam na ancoragem durante a locomoção. Cerdas longas auxiliam na natação de formas aquáticas.

Os poliquetos são anelídeos marinhos. Os oligoquetos e sanguessugas ocorrem principalmente no solo e em águas continentais.

Um anelídeo típico apresenta um **protostômio**, corpo segmentado e uma porção terminal onde se situa o ânus (**pigídio**). Exceto nas sanguessugas, o celoma dos anelídeos é preenchido por líquido, funcionando como um esqueleto hidrostático, muito eficaz para movimentos precisos de escavação e natação.

Os Polychaeta apresentam uma região cefálica bem diferenciada, portadora de órgãos sensoriais especializados. Em cada somito apresentam muitas cerdas implantadas em **parapódios**. Os parapódios incluem várias adaptações, incluindo a especialização para nadar, respirar, rastejar, promover o fluxo d'água no interior da galeria e auxiliar na tomada do alimento. Alguns poliquetos são predadores, possuindo uma faringe eversível como mandíbulas. Outros raramente deixam galerias onde vivem. São dioicos, apresentando um sistema reprodutor primitivo. Não apresentam clitelo, a fecundação é externa e a larva é do tipo **trocófora**.

A classe Oligochaeta inclui as minhocas e formas dulciaquícolas. Diferente dos Polychaeta, os Oligochaeta apresentam um número reduzido de cerdas por segmento e não possuem parapódios. O **sistema circulatório é fechado**, e o principal órgão propulsor é o vaso sangüíneo dorsal. As minhocas apresentam o sistema nervoso típico dos anelídeos: gânglios cerebroides dorsais conectados a um cordão nervoso ventral duplo com gânglios segmentares, que se estende por todo comprimento do corpo. São hermafroditas, com fecundação cruzada.

As sanguessugas (Hirudínea) são dulciaquícolas, porém, poucas são marinhas ou terrestres. Alimentam-se de fluídos. Muitas são predadoras, algumas são parasitas temporárias e outras parasitas permanentes. As hermafroditas apresentam fecundação cruzada, com formação de casulo pelo clitelo.

MANDIBULADOS AQUÁTICOS (Filo Arthropoda, Subfilo Crustacea)

Os crustáceos apresentam **dois pares de antenas**, principal característica que os difere dos outros artrópodes. Muitos apresentam carapaça. Apresentam na cabeça, além das antenas, um par de mandíbulas e dois pares de maxilas, seguindo-se um par de apêndices em cada segmento do corpo (**somito**). Em alguns crustáceos, nem todos os somitos apresentam apêndices.

Em muitos crustáceos a cutícula dorsal da cabeça pode estender-se posteriormente e ao redor das laterais do animal cobrir ou fundir-se com somitos torácicos e abdominais. Esta cobertura é denominada **carapaça**.

Os hábitos alimentares variam muito em Crustacea, havendo predadores, detritívoros, comedores de partículas em suspensão e parasitas.

A respiração ocorre pela superfície do corpo ou brânquias. A excreção ocorre através de glândulas antenais ou maxilares. A circulação ocorre através de um sistema aberto formado por seios (hemocele), e um coração tubular dorsal é o principal órgão bombeador.

Na classe Brachiopoda, quatro ordens são reconhecidas: **Anostraca** (sem carapaça. Ex: artêmia), **Notostraca** (carapaça forma uma grande concha dorsal), **Conchostraca** (carapaça bivalve) e **Cladocera** (carapaça envolve o corpo, exceto na região cefálica. Ex: pulgas-d'água). A maioria dos braquiópodes são dulcícolas. A reprodução dos Brachiopoda é muito interessante: no verão produzem só fêmeas partenogênicas, aumentando rapidamente a população. Ocorrendo condições desfavoráveis, alguns machos e ovos fertilizáveis são produzidos. Os ovos fertilizados são altamente resistentes ao frio e à dessecação.

Entre os representantes da classe Maxillopoda, os membros da subclasse Copepoda não apresentam carapaça nem apêndices abdominais. São abundantes e estão entre os mais importantes consumidores primários em muitos ecossistemas dulcícolas e marinhos. Muitos são parasitas. A maioria dos membros da subclasse Cirripedia (cracas) são sésseis quando adultos, secretam uma concha calcárea e filtram alimento através de seus apêndices torácicos.

A maior classe dos crustáceos é a Malacostraca, sendo suas ordens mais importantes: Isopoda (tatuzinhos-de-quintal, *Lígia*), Amphipoda (ex:

saltão-de-praia), Euphausiacea (*krill*) e Decapoda (lagostins, lagostas, siris, caranguejos, camarões). Os isópodes e Amphiopoda não apresentam carapaça. Os eupausiáceos são parte importante do plâncton oceânico. Os Decapoda apresentam cinco pares de patas ambulatórias.

8. KORMONDY, E. J.; BROWN, D. E. *Ecologia humana*. São Paulo: Atheneu, 2002.

PARTE 1 – EVOLUÇÃO: O ANTES E O AGORA

INTRODUÇÃO

Pode parecer estranho iniciar um livro sobre ecologia humana com uma discussão sobre evolução. Entretanto, para adquirir algum conhecimento sobre as formas nas quais as diferentes populações humanas se adaptaram aos seus diversos ambientes, é importante entender como ocorrem as adaptações. Mas também precisamos entender como populações humanas tão diferentes como os inuits do pólo norte e os tuareg do deserto do Saara apareceram. Assim, necessitamos de uma ideia de variação intra-específica e também da origem e evolução das espécies.

AS PRINCIPAIS TEORIAS EVOLUTIVAS

Para explicar o fenômeno da mudança constante dos organismos ao longo do tempo, alguns cientistas propuseram vários esquemas e mecanismos racionais, embora altamente especulativos. Devido às suas influências no passado e presente, apenas duas das mais importantes ideias são aqui rapidamente discutidas: a herança de caracteres adquiridos e a evolução por seleção natural.

A herança de caracteres adquiridos

Significa dizer que, quando o ambiente se torna muito diferente, produz, ao longo do tempo, modificações correspondentes na forma e organização dos organismos. Para o caso do aparecimento de novas características, devidas ao uso, em organismos, Lamarck se utilizava do caso dos pássaros que vivem em

ambientes aquáticos e que teriam separado seus dígitos a fim de movimentarem-se melhor na água. Antílopes, herbívoros ancestrais esticavam seus pescoços, línguas e pernas a fim de obterem a maior quantidade de folhas possível, conseqüentemente alongando essas estruturas. As porções corpóreas adquiridas, maiores, eram então sucessivamente passadas às gerações subseqüentes, as quais seguiam o mesmo processo, chegando às conhecidas girafas de pescoços, línguas e pernas alongadas.

Evolução pela Seleção Natural

Assim como indivíduos de uma dada espécie nascem em maior número que aqueles que podem possivelmente sobreviver; e como, conseqüentemente, há uma constante luta pela sobrevivência, segue que qualquer ser, se variante, mesmo que de forma sutil e benéfica para si próprio, sob as complexas e, às vezes, variáveis condições da vida, terá uma melhor chance de sobrevivência e, assim, ser *naturalmente selecionado*. A partir do forte princípio da herança, qualquer variedade selecionada tenderá a propagar sua nova e modificada forma.

A ORIGEM DAS ESPÉCIES

Isolamento Reprodutivo

Para continuar com a origem das espécies, precisamos inicialmente estabelecer o que uma espécie é. Para organismos de reprodução sexuada, uma **espécie** é uma população na qual os indivíduos se reproduzem, produzem descendentes férteis e não têm sucesso reprodutivo com outras populações.

A impossibilidade de uma população de se reproduzir com outras é conhecida como **isolamento reprodutivo** e pode ocorrer de diversas maneiras. Pode haver diferenças quanto à estrutura e função dos órgãos reprodutivos (por exemplo, diferenças do arranjo das porções florais que permitem a polinização por uma dada espécie de inseto em um caso e não em outro), as células sexuais podem ser incompatíveis (por exemplo, os ovos liberam uma substância química que atrai o esperma de uma população e repele o de outras), pode haver diferenças quanto ao período no qual a reprodução ocorre (primavera para uma população e verão para outra) ou pode haver diferenças comportamentais (por exemplo, a corte masculina atraindo fêmeas da própria população e não de outras).

Embora a maioria dos cientistas acredite que o isolamento geográfico é o principal mecanismo de especiação, há um crescente número de evidências de que novas espécies são formadas bem no meio da população parental.

Seleção direcional (algumas vezes chamadas de **seleção diversificadora**) resulta em mudanças mais ou menos regulares das respostas às alterações do meio ambiente ou até mesmo de um novo ambiente.

A **seleção sexual** ocorre quando há diferenças na aparência e/ou comportamento entre os dois sexos, um fenômeno especialmente dramático em muitos pássaros e mamíferos.

GRADUALISMO E INTERMITÊNCIA NA EVOLUÇÃO

O processo que descrevemos sugere, em geral, que tanto a origem quanto a subsequente evolução das espécies ocorre vagarosamente. **Gradualismo** é o termo mais bem aplicado a estas mudanças que resultam dos vários mecanismos de isolamento e seleção que já discutimos. Sequências fósseis de alguns grupos demonstram este fenômeno de modificação gradual ao longo do tempo.

Entretanto, o gradualismo falha ao explicar o substancial número de casos no registro fóssil nos quais novas espécies são morfologicamente distintas em seu primeiro momento de aparição, bem como nos casos de ausência de formas intermediárias em muitos grupos de animais.

De acordo com a teoria do equilíbrio intermitente, a maioria das mudanças morfológicas ocorre durante a especiação em processos tais quais o efeito fundador e a seleção direcional. Isto é, então, seguido por um período de seleção estabilizadora. Por exemplo, uma vez que apareceu, o casco do cavalo não demonstrou praticamente qualquer variação morfológica em 500 milhões de anos, a árvore ginkgo não demonstra nenhuma alteração há 200 milhões de anos e o opossum, há 70 milhões de anos. Estes organismos são exemplos de grupos em êxtase evolutivo, ou em equilíbrio.

Pode parecer que o acúmulo de evidências crescentemente apoia o conceito do equilíbrio pontuado como o principal modo de evolução. Entretanto, isso não destrói o conceito de gradualismo, mas sim fornece uma explicação alternativa para alguns eventos evolutivos. O gradualismo evolutivo realmente ocorre e foi muito bem documentado em muitas espécies; em outras, grandes saltos parecem ter ocorrido em períodos breves de tempo.

De qualquer forma, a seleção natural opera em ambos os modelos – rápida ou gradualmente.

ADAPTAÇÃO

A **adaptação** pode ser definida a partir de uma perspectiva evolutiva, como o desenvolvimento ou melhora de características estruturais, comportamentais e/ou fisiológicas que aumentam as chances de sobrevivência e de reprodução em um dado ambiente.

A ORIGEM DOS SERES HUMANOS

A teoria da savanização, para explicar a origem dos homínídeos, vem sendo seriamente questionada nos últimos anos.

Origens Humanas

Humanos são classificados como primatas, um grupo que apareceu aproximadamente 65 milhões de anos AP, mais precisamente durante o Paleoceno (datado entre 65 milhões e 54 milhões AP, simultaneamente a uma grande irradiação adaptativa dos mamíferos placentários). Evidências fósseis indicam que os primeiros primatas apareceram a partir de insetívoros pequenos, terrestres, noturnos e adaptados à vida sobre as árvores. Estes se tornaram os primatas primitivos, que deram origem ao que hoje conhecemos como prosímios, grupo no qual estão incluídos os lêmures, os lerises e, possivelmente, os tásios. Durante o Oligoceno (de 38 milhões a 25 milhões de anos AP), os primatas passaram por mais uma radiação adaptativa que levou, finalmente, aos três principais ramos de primatas antropóides geralmente reconhecidos: os macacos do novo mundo (Cebóides), os macacos do velho mundo (Cercopitécoides) e os símios/humanos (Homínídeos). E é neste último que a nossa atenção estará concentrada.

Os primeiros primatas superiores definitivamente aceitos datam de cerca de 35 milhões de anos AP (no Oligoceno), quando tanto os platirrinos do Novo Mundo (nariz achatado, com as narinas apontando para as laterais) quanto os catarrinos (nariz estreito, com as narinas apontadas para baixo) são encontrados. O *Aegyptopithecus* (símio do Egito), um representante dos catarrinos do Oligoceno, possuía o padrão da cúspide do molar de um símio (cinco cúspides em vez das quatro encontradas em macacos do Velho Mundo), a estrutura quadrúpede básica, um rabo externo de um macaco e o tamanho cerebral de um lêmur. O *Aegyptopithecus* é um candidato à posição de o mais antigo dos catarrhines.

Os Primeiros Hominídeos. A linhagem hominoide divergiu em algum momento entre 5 milhões e 8 milhões de anos AP, formando os pongídeos, grupo que inclui os gorilas e chimpanzés modernos e seus ancestrais, e os hominídeos, humanos modernos e ancestrais. Outros símios hominoides, como o gibão e o orangotango divergiram anteriormente. Os hominídeos caracterizam-se pela locomoção bípede, dieta onívora e, posteriormente, pela capacidade craniana aumentada e organização social, todas as três consideradas como adaptações a vida nos campos abertos das savanas em vez das florestas protegidas, como seus precedentes.

***Australopithecus afarensis*,** o mais antigo hominídeo conhecido, formado por ossos fossilizados apelidados de “lucy” por seu descobridor, Donald Johanson, datado em 3,1 milhões de anos, tinha apenas 1,1 metro de altura, pesava cerca de 30 kg e possuía uma mandíbula pronunciada e o cérebro semelhante ao de um chimpanzé. Lucy, com vinte e cinco anos, tratava-se claramente de um hominídeo quando era considerado seu andar ereto sobre pernas que podiam ser completamente estendidas.

***Ardipithecus ramidus*,** em 1992-1993, remanescentes fósseis da mais e remota espécie de hominídeos, possivelmente a raiz dessas espécies, forma descobertos na Etiópia e são conhecidos agora como *Ardipithecus ramidus*.

***Australopithecus anamensis*,** engordando a lista dos primeiros hominídeos, datado em 3,9 milhões de anos, é um excelente candidatos entre *A. Ramidus* e o *A. Afarensis*.

Ecotonos e os primeiros hominídeos. Estes primeiros australopitecíneos devem ter vivido nas áreas de transição entre florestas e savanas. Tais transições entre dois (ou mais) tipos de ambiente são conhecidos como ecotonos. É geralmente aceita a ideia de que a vida neste ecotono floresta – savana contribuiu para o desenvolvimento da bipedia, dos hábitos alimentares onívoros e da encefalização.

***Australopithecus africanos*,** A linhagem dos *africanos* é significativa, porque alguns cientistas acreditam que ela deu origem ao maior dos passos na evolução humana, o *Homo habilis*, entre 2 milhões e 2,5 milhões de anos AP, e, talvez, há outras linhagens, as quais incluiriam *Homo rudolfensis* e até o *Homo erectus*.

***Homo habilis*,** originou-se do *Australopithecus* há cerca de 2,5 milhões de anos AP e se extinguiu 1 milhão de anos depois, ele era muito semelhante ao seus ancestrais mais simiescos, exceto por ser mais alto e possuindo um crânio maior, parece ter feito suas ferramentas lascando as pedras a fim de dar-lhes um formato desejado.

Embora tenha existido durante apenas meio milhão de ano, *H. Habilis* possivelmente deu origem a uma nova espécie, o *Homo erectus*, da qual os primeiros esqueletos datam de aproximadamente 1,8 milhões de anos AP.

Homo erectus, medindo, em média, 1,7 metros de altura, reteve o crânio simiesco (testa achatada, toro supra-orbital pronunciado) e mandíbula (sem queixo) de seus predecessores, mas seu crânio havia aumentado em relação ao crescimento total do corpo, levando a um maior desenvolvimento cerebral, o que forneceu a plasticidade necessária para que se adaptasse aos diferentes ambientes e para sua ampla dispersão.

Homo sapiens, são divididos em dois grupos: arcaicos e modernos. Ambas as formas possuem cérebro grande, em média 1.350 cm³ (às vezes, alguns indivíduos primitivos superavam esta média). Formas arcaicas nas quais está inclusa a subespécie *Homo sapiens neanderthalensis*, são caracterizados por crânios longos e baixos e face robusta, com toro supra-orbital moderado e mandíbulas grandes. O *Homo sapiens* moderno caracteriza-se por um crânio mais arredondado e alto, presença de queixo, dentes e mandíbulas relativamente pequenas e uma face mais grácil (menos robusta) que a das formas arcaicas.

E foram as formas modernas de *Homo sapiens* que tiveram um extraordinário impacto sobre o seu meio ambiente. A elas tem sido atribuído um papel importante na extinção de muitas das espécies de mamíferos no final do Pleistoceno, bem como nas maiores modificações de paisagem iniciada pelo desenvolvimento e intensificação da agricultura e de outras atividades.

PARTE 2 – CONCEITOS BÁSICOS EM ECOLOGIA

INTRODUÇÃO

De uma derivação do grego, **ecologia** literalmente significa “o estudo da casa”. Mas, de forma mais ampla, esta palavra se refere ao estudo científico do ambiente, incluindo seus componentes orgânicos e inorgânicos. Na medida em que seus praticantes descrevem, classificam, criam hipóteses e atestam, a ecologia molda-se aos padrões científicos. Entretanto, graças ao seu envolvimento com a geologia, a física, a química e a matemática, suas fronteiras disciplinares são permeáveis; juntas, estas características fazem da ecologia um alvo para diferentes canais de questionamento científico, desde a abordagem reducionista, como o estudo das espécies individualmente, até a aproximação holística, que investiga a totalidade dos ambientes no planeta Terra.

DEFININDO ECOLOGIA

A ecologia tem recebido interpretações diferentes. Charles Elton (1927), um ecólogo britânico, a definiu como “história natural científica”, preocupada com a “sociologia e ecologia dos animais”. O ecólogo vegetal americano Frederick Clements (1905), considerou-a “a ciência da comunidade”, e o ecólogo alemão Karl Friederichs (1958), como “a ciência do ambiente”. Estes, de certa forma, diferentes focos tem sido abrangidos pelo conceito desenvolvido pelo ecólogo americano Eugene Odum, que definiu ecologia como “o estudo das estruturas e funções da natureza” e depois, como “o estudo da estrutura e funções dos ecossistemas”. Sendo esta definição operante e atual.

ECOSSISTEMA

Ecossistemas podem ser muito grandes, como uma floresta ou um deserto, ou muito mais circunscrito, como um aquário ou um tubo de ensaio. Determinar as fronteiras de um ecossistema é, de certa forma, arbitrário, mas não aleatório.

SISTEMAS

Consiste de dois ou mais componentes que interagem e que são cercados por um meio ambiente com o qual podem ou não interagir.

Componentes dos ecossistemas

No caso dos sistemas ecológicos, os dois principais componentes são o bióticos (vivos) e o abióticos (não vivos).

A ORGANIZAÇÃO DOS ECOSSISTEMAS

Produtores, Consumidores e Decompositores

Produtores são o primeiro passo de um movimento de energia através de um ecossistema. É este grupo de organismos, normalmente verdes e clorofilados, que capturam a energia radiante do sol, na verdade produtores não produzem energia: eles convertem ou a transmitem de uma forma, a radiante, a outra, química.

Um autótrofo (literalmente, “auto-alimentador”) é um organismo que captura energia e, subsequentemente, a utiliza para sintetizar moléculas que servem aos requerimentos nutricionais de seu próprio crescimento e metabolismo. Em contraste, um heterótrofo (literalmente, “alimentado por outro”) é um organismo cujas necessidades nutricionais são atingidas através da ingestão de outros organismos: heterótrofos são também conhecidos como *consumidores*.

Consumidores são organismos que derivam sua nutrição dos produtores: ou seja, são heterótrofos.

As correlações autótrofo-heterótrofo, ou produtor-consumidor primário e consumidor secundário, resultam em um movimento sequencial de energia conhecido como a cadeia alimentar.

Decompositores, basicamente bactérias e fungos, são heterótrofos que derivam sua nutrição a partir de produtores (a maioria dos fungos) e consumidores (principalmente as bactérias). Em vez de ingerir seu alimento, como no caso dos outros heterótrofos, os decompositores liberam enzimas de seu corpo capazes de digerir os tecidos animais e vegetais, em seguida, esses produtos processados são absorvidos.

NICHOS E HABITATS

Nicho

O fluxo energético e a ciclagem de nutrientes não ocorrem em um conjunto abstrato dos produtores, consumidores e decompositores. Estes termos que cada espécie possui um papel particular, senão único, em um dado ecossistema. A soma total destes atributos ecológicos é um **nicho** do organismo, seu papel nos processos ecológicos – o que ele faz, onde está e o que se faz a ele. Algumas espécies são uma fonte energética apenas para outras certas espécies, enquanto outras atendem a um maior e mais variado número de componentes.

Habitat

Qualquer lugar que seja seu nicho, a espécie vive e executa suas funções em algum lugar. Este lugar é seu *habitat*. O *habitat* de um rato canguru é o deserto, o de um urso polar é o Ártico; uma dimensão do nicho do rato canguru é a de um herbívoro, enquanto a de um urso polar é a de um carnívoro.

Espécie, Populações e Comunidades

Como foi observado, uma espécie é uma população de indivíduos que são e permanecem distintos porque normalmente não se reproduzem com outros indivíduos, ou seja, outra espécie. A população da espécie pode estar amplamente distribuída como no caso dos humanos.

Resumidamente, uma **comunidade ecológica** compreende seus componentes bióticos (plantas, animais e micróbios), de um dado ecossistema ou de uma subunidade dele.

PARTE 3 – ABORDAGENS EM ECOLOGIA HUMANA

A BASE ANTROPOLÓGICA

A **antropologia** pode ser definida como o estudo da diversidade biológica e comportamental humana, tanto geográfica como temporalmente. Diversidade, ou variação, em populações é um importante aspecto da evolução, assim, a evolução torna-se um dos principais pontos da antropologia. Os antropólogos estudam toda a variabilidade humana normal (e também as patologias) sobre a Terra tanto no presente quanto no passado. Neste último caso, a antropologia pode ser definida como o estudo da história natural da espécie humana.

Antropologia Ecológica

A **Antropologia Ecológica** estuda a ecologia de populações humanas ao redor do mundo, no passado e no presente. Seu objetivo é entender como a ecologia destas populações influencia, direta ou indiretamente, as características culturais associadas a cada grupo.

DETERMINISMO AMBIENTAL

Abordagens Pioneiras

A ideia de que características ambientais têm um efeito sobre a presença de traços culturais específicos é chamada de **determinismo ambiental**. Esta é provavelmente a mais antiga das abordagens à ecologia humana, já que ela claramente engloba a visão das relações humanos-ambiente de Hipócrates.

Áreas Culturais

Áreas culturais referem-se às regiões do mundo dentro das quais as condições ambientais e as culturas das populações humanas são similares. Exemplos de áreas culturais são a Polinésia e, tradicionalmente, as regiões das grandes planícies americanas.

Limitações do Determinismo

Uma grande desvantagem do determinismo ambiental é a maneira simplista de conectar as características ambientais com os traços culturais. O ambiente, de certa forma, é visto como “precedendo” a cultura e, assim, capaz de determiná-la. Muitos deterministas eram mais sofisticados em suas abordagens, notando certas complexidades nas relações ambiente/cultura.

POSSIBILISMO AMBIENTAL

O ambiente era importante apenas ao limitar as possibilidades de uma cultura – por isso o termo *possibilismo ambiental*. Para os possibilistas, culturas em uma mesma área cultural eram similares devido às conexões históricas, não por influências ambientais simplistas.

Similaridades entre o Determinismo Ambiental e o Possibilismo Ambiental

No possibilismo, as culturas escolhem entre as alternativas, com o ambiente determinado a variação das alternativas. Se as alternativas se limitam a uma única opção, o possibilismo é reduzido ao determinismo.

De acordo com os possibilistas, a cultura toma o papel principal de determinar as mudanças culturais posteriores na maioria dos ambientes, mas a causa da diversidade cultural começa com o ambiente e é essencialmente um processo de mão única.

ECOLOGIA CULTURAL

A essência de sua noção de **ecologia cultural** é que o meio de subsistência de um grupo (as principais maneiras de se obter alimentos) está diretamente relacionada com os outros aspectos de sua cultura. Ele se referia à

subsistência de um grupo, incluindo sua economia básica e tecnologia, como o **núcleo cultural**. O núcleo cultural influencia a organização cultural e social de um grupo.

Ecologia Sociológica

A **ecologia sociológica** é baseada primeiramente no uso de uma analogia entre os ambientes naturais e aqueles feitos humanos. Por exemplo, a partir dos trabalhos de Park, a sociedade urbana tem sido analisada com base em uma analogia ao ecossistema.

Abordagens Psicológicas

A **psicologia ecológica** tenta prever os comportamentos baseada em observações cuidadosas, geralmente quantitativas, do ambiente no qual o comportamento ocorre. Em outras palavras, o objetivo é entender as correlações entre os tipos de unidades ambientais e os comportamentos comuns, com a noção de que pelo menos algumas dessas unidades ambientais têm “grande poder de coerção sobre os comportamentos que ocorrem dentro delas”.

Abordagens da Arquitetura e do Planejamento Urbano

Certas abordagens da arquitetura e do planejamento aplicam algumas das ideias geradas pela sociologia e psicologia no estudo da ecologia humana, particularmente a noção de que os ambientes físicos artificiais podem ser muito influentes na determinação dos processos sociais e dos comportamentos individuais dentro deles.

ABORDAGENS BIOLÓGICAS E EVOLUTIVAS À ECOLOGIA HUMANA

A teoria evolucionária de Darwin levou a uma nova perspectiva sobre as relações dos humanos com seu ambiente. A noção de adaptação ao ambiente tornou-se um conceito importante no estudo da evolução humana, agrupando abordagens ecológicas e evolutivas. No final dos anos 40, ecólogos humanos começaram a integrar estas abordagens ao estudo das culturas humanas.

O Paradigma da “Nova Ecologia”

O **paradigma** da “nova ecologia” representa uma tentativa dos antropólogos culturais de “reintegrar as análises das adaptações culturais com os estudos gerais da ecologia”.

Problemas ambientais. Um tema central do paradigma da nova ecologia é a atenção aos problemas ambientais, seus efeitos sobre as populações humanas e as respostas das pessoas a eles.

Abordagem ecossistêmica. A Abordagem ecossistêmica da antropologia ecológica é baseada em uma simples premissa: as populações humanas devem ser vistas num contexto total dos ecossistemas nas quais vivem.

A Biologia de Populações Humanas

O principal objetivo é o de entender a adaptabilidade humana tanto populacional quanto individual, estimulando a integração das pesquisas em genética, demografia, crescimento e desenvolvimento, epidemiologia, fisiologia ambiental, aquisição de recursos e nutrição, bem como os processos comportamentais e culturais que se relacionam aos problemas ambientais. Assim, a Biologia de populações humanas, como o paradigma da nova ecologia, integra as abordagens socioculturais e biológicas da ecologia humana.

PARTE 4 – ECOLOGIA DE POPULAÇÕES

INTRODUÇÃO

Até mesmo a partir de suas observações mais triviais você, provavelmente, já sabe que há modificações em várias populações de animais e plantas em seu ambiente. Alguns tipos de plantas somente florescem na primavera e outras, no outono: árvores decíduas perdem suas folhas no outono e as recuperam na primavera: moscas varejeiras estão por toda parte praticamente ao longo de todo o ano, mas formigas e abelhas incomodam principalmente durante os meses de verão. Talvez você também tenha notado que, em alguns anos, pestes de animais como mosquitos são mais abundantes, flores não crescem tão bem, a menos pássaros cantando e menos peixes nos rios. Em um sentido muito geral, todas essas mudanças são manifestações da dinâmica do crescimento e da regulação das populações.

CRESIMENTO POPULACIONAL

Potencial Biótico e Resistência Ambiental

Inerente a características de população, sejam moscas varejeiras, elefantes, pardais ou humanos, é a capacidade de reprodução de uma dada taxa. Isso é geralmente conhecido como potencial biótico de uma espécie. Em oposição ao potencial biótico encontra-se a totalidade das forças ambientais, bióticas e abióticas, que impedem que o potencial máximo seja alcançado. Essas forças são conhecidas como resistência ambiental e são responsáveis pela manutenção dos números populacionais. Ambos os termos foram introduzidos pelo ecólogo americano Royal Capman (1928). Ocasionalmente, essas forças falham, o que resulta em explosões populacionais tais como as pragas bíblicas do deserto e outras mais recentes. Primeiro, consideraremos o potencial biótico das populações, um resultado da interação da taxa de nascimento, ou natalidade, e da taxa de mortes, ou mortalidade.

Mais sobre o Potencial Biótico

O potencial reprodutivo de uma espécie não é, entretanto, uma constante. Seu valor é diferente sob diferentes condições ambientais, abióticas ou bióticas. Fatores abióticos que influenciam o potencial reprodutivo incluem a temperatura, a umidade e a disponibilidade de nutrientes; fatores bióticos incluem o número de indivíduos da população presente em uma dada área, ou seja, a densidade da população, a idade dos indivíduos, a idade ativa, o final da idade reprodutora e o período da vida.

Taxa intrínseca do Crescimento Natural medido sob condições ótimas, potencial biótico de uma população.

Taxa Reprodutiva de Rede. Uma dimensão adicional do potencial reprodutivo, ou seja, o número de descendentes fêmeas que substitui cada uma das fêmeas da geração anterior.

MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA

Você já deve saber que o custo de um seguro de vida aumenta conforme a idade do segurado, já que as probabilidades de morte aumentam com esse fator. Para determinar a provável expectativa de vida de um comprador de seguros e, portanto, o custo da apólice o agente consulta uma tabela de riscos, acidente etc. esta tabela estatística apresenta a probabilidade de sobrevivência de certa idade baseada em fatores como idade, sexo e, às vezes, raça.

ESTRUTURA ETÁRIA

Implícita com resultado dos diferentes padrões de sobrevivência é a diferença estrutura etária de uma população, as proporções relativas entre jovens, meia idade e indivíduos mais velhos de uma população dependendo do tipo de padrão de sobrevivência característica de seu grupo.

Principais Faixas Etárias

Como foi proposto por Bodenheimer (1958), três faixas etárias são conhecidas em populações: a pré-reprodutiva ou em expansão, a reprodutiva ou estável e a pós-reprodutiva ou decrescente.

População e expansão: a taxa de nascimento é alta e o crescimento populacional pode ser exponencial.

População estável: quando a taxa intrínseca de nascimento natural se aproxima de 0 e a taxa reprodutiva de rede adquire valores próximos a 1, a taxa de crescimento é desacelerada e, então, se estabiliza.

População decrescente: é quando a taxa de nascimento é radicalmente reduzida.

REGULAÇÃO POPULACIONAL

Já demonstramos brevemente que dois grandes fatores do padrão de crescimento de uma população, a natalidade e a mortalidade, estão sujeitos as influencias ambientais bióticas e abióticas.

O Papel dos Fatores Abióticos

Nutrientes. Embora não seja sempre o caso, estudos envolvendo um bom número de espécies demonstraram que a quantidade e a disponibilidade de nutrientes particulares podem ter um papel crítico sobre a regulação da distribuição e do crescimento de uma população.

Fatores Físicos: caracterizados por gradações também têm um papel significativo sobre a regulação populacional de diferentes espécies (seca, enchentes, alimentos, clima).

O Papel dos Fatores Bióticos

Interações entre espécies envolvem um bom número de relações diferentes, todas podendo ser incluídas dentro do termo *simbiose*, o qual, a partir de suas origens gregas, significa simplesmente “vivendo junto”. Em alguns casos, as duas populações simbióticas não afetam uma a outra - “neutralismo”; na maioria dos casos há um grande ou pequeno impacto. A competição pode envolver uma inibição mútua ou um efeito indireto em situações nas quais um recurso comum (comida) é escasso.

Predação. Em diversos aspectos, as relações hospedeiro-parasita e presa-predador são similares: o parasita e o predador são beneficiados, enquanto o hospedeiro e a presa, respectivamente, são adversamente afetados em maior ou menor grau.

Competição interespecífica. Se duas populações de diferentes espécimes requerem um mesmo recurso (nutrientes, espaço, luz ou umidade), que é potencialmente limitado ou que assim se tornam, elas são ditas competidoras entre si.

PARTE 5 – A POPULAÇÃO HUMANA

CRESCIMENTO POPULACIONAL GLOBAL

Padrão de Crescimento

O crescimento total da população humana até agora tem sido exponencial: de fato, ele se parece assustadoramente com uma curva em forma de J.

O **tempo de duplicação** indica o número de anos de que a população necessita para que dobre em tamanho se as taxas de crescimento presentes forem mantidas.

Crescimento Populacional Regional. Enquanto a imagem global do crescimento populacional humano possui algumas características claras, aquelas das populações regionais ou locais são bem diferentes.

Estrutura etária regional. Essas grandes diferenças com relação aos padrões das curvas de crescimento são refletidas, como esperado, em suas estruturas etárias. Caracteristicamente, como você pode observar cerca de 40% da população encontra-se com menos de 15 anos de idade nos países em desenvolvimento.

Idade mediana. Embora as pirâmides de população mostrem a forma geral da estrutura etária, elas não provêem taxas ou medidas que possam ser

comparadas, ao longo do tempo, com outras populações. Entretanto, a idade mediana, a idade exata na qual metade é jovem e metade é velha, fornece tal medida. Em geral, sociedades em desenvolvimento possuem populações em crescimento rápido com baixas idades medianas, enquanto sociedades desenvolvidas possuem populações com baixo crescimento ou estabilizadas com idades medianas altas.

NATALIDADE E MORTALIDADE

Com o cenário do crescimento populacional mundial do passado e projeções futuras, podemos avaliar as duas forças por trás das mudanças: a natalidade, ou taxa de nascimentos, e a mortalidade, ou taxas de mortes. Tanto a natalidade quanto a mortalidade são calculadas sobre números por mil indivíduos por ano: assim, a natalidade é o número de nascimentos por mil pessoas por ano e a mortalidade é o número de mortes por mil indivíduos por ano.

Mudanças na Expectativa de Vida

Expectativa de vida é o tempo de vida estimado no momento do nascimento. A expectativa de vida mundial, por exemplo, aumentou de 61 anos em 1980 para 64 em 1990.

Mortalidade Global

As taxas de mortalidade infantil em 1980 variavam largamente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A Natalidade em uma Escala Global

A discrepância do declínio da natalidade e da mortalidade entre os países e regiões desenvolvidos e em desenvolvimento foi notada. Enquanto a mortalidade é semelhante para áreas desenvolvidas e em desenvolvimento, cerca de 10, a natalidade chega a ser o dobro, próxima a 30, em regiões de desenvolvimento e 15 para aquelas já desenvolvidas.

IMPLICAÇÕES DO CRESCIMENTO POPULACIONAL

Deveria ser intuitivamente evidente que a explosão de crescimento das populações humanas carrega consigo uma série de implicações culturais e ambientais. Mais pessoas criam a necessidade de mais moradias. Mais escolas e mais cuidados, bem como mais comida e uma melhor distribuição destes recursos, mais água; há mais lixo, a maior necessidade de combustível – mais, mais e mais. Mais pessoas em um dado espaço podem levar a um descontrole político e social e a emigração. Nesta época de interconexões globais, tais complicações em alguns locais causam problemas em outros.

ALIMENTANDO A POPULAÇÃO HUMANA

A Expansão da Fome e da Desnutrição

O banco mundial estimou que mais de 700 milhões de pessoas, cerca de 13% da população mundial, sofre com a falta de alimentos para uma vida ativa e saudável, com as maiores concentrações na Ásia e na África subsaariana.

A desnutrição resulta da falta de comida, uma deficiência de um ou mais nutrientes essenciais (proteína, cálcio e vitamina C) ou de doenças genéticas ou ambientais que interferem na digestão, absorção ou metabolismo.

A capacidade da Terra. A quantidade de terras aráveis e cultiváveis no mundo chega a quase metade da superfície, excluindo as porções cobertas de gelo da Antártica e da Groelândia. Menos da metade de toda terra arável e mais da metade da terra cultivável estão atualmente em uso.

DESERTIFICAÇÃO

A expansão da desertificação

Em um contexto geológico, a desertificação, processo de formação e expansão de desertos, tem sido resultado de alterações climáticas; em um contexto contemporâneo, a desertificação tem origens antrópicas. A história geológica é responsável pela presença dos grandes desertos do mundo: os hiperáridos, os áridos e os semi-áridos. Atividades agrícolas humanas são responsáveis pelo deserto de sal que hoje existem em regiões onde um dia florescia o vale dos rios Eufrates e Tigres.

Fatores causais da desertificação

Dentre os povos criadores, o pastoreiro é a principal causa da desertificação, particularmente em situações nas quais as secas prolongadas. O desmatamento de florestas para obtenção de combustível, removendo a proteção natural contra ventos é a fonte de uns do solo, é outro fator, o qual é extenuado pela necessidade das populações pelo produto. O cultivo e a irrigação, o pasto em excesso, o desmatamento, a mineração, a recreação e a urbanização são todos fatores envolvidos na desertificação.

PARTE 6 – O ESTRESSE E A FISIOLOGIA AMBIENTAL

O grupo humano deve ser capaz de perceber e avaliar fatores estressores, bem como as respostas. Precisam também equilibrar os custos e os benefícios de curto e longo prazo. Uma das tarefas do estudioso da ecologia humana é comparar um tipo qualquer de estratégia que seria ótima segundo as previsões de modelos teóricos de médio alcance com aquilo que o grupo na realidade faz. De fato, muitos modelos ecológicos têm como seu propósito a identificação da melhor, ou “ótima”, estratégia para um indivíduo ou população. Essas previsões tem pouco significado para o mundo real se os organismos na verdade não se comportarem de uma maneira ótima ou pelo menos próxima da ótima. Os estudiosos da ecologia humana têm minimizado estes problemas ao focalizarem muitos de seus estudos em populações sob estresses ambientais intensivos, situação em que sobra pouco espaço para respostas adaptativas deficientes.

Estudos ecológicos de como os organismos adaptam-se ao estresse adquiriram uma importância mais do que apenas acadêmica. A alta taxa de espécies em extinção é a subsequente perda na biodiversidade global é em parte uma decorrência de mudanças ambientais causadas pela humanidade. A taxa dessa perda pode acelerar-se devido às crescentes alterações introduzidas pelas atividades humanas, algumas atuando numa escala global. As ideias para conservação de espécies devem fundamentar-se em conceitos sólidos de resistência ao estresse biológico, além de outras considerações.

PARTE 7 – ADAPTAÇÃO HUMANA AO FRIO E AO CALOR

INTRODUÇÃO

Cada espécie possui uma capacidade de tolerância a temperatura ambiental, tanto as temperaturas quentes quanto as frias requerem processos adaptativos e apresentam limites, os quais limitam a capacidade funcional dos indivíduos. Estudos sobre os efeitos de condições macroambientais de calor e frio sobre humanos ilustram as similaridades e diferenças entre espécies humanas e outros animais quanto ao seu processo de adaptabilidade.

Troca de Calor

Condução se refere à transferência de calor entre dois objetos sólidos em contato físico.

Convecção se refere à troca de calor entre um objeto e um fluido (gás ou líquido), mais de uma vez devida a colisões moleculares.

A radiação se refere a troca de energia eletromagnética entre objetos “ao alcance” um do outro.

A evaporação se refere a perda de um objeto devido a conversão de um líquido em um gás em sua superfície.

MACROAMBIENTES FRIOS

Os humanos se adaptam a muitos tipos de macroambientes frios. Estes incluem condições noturnas de frio nos habitats tropicais e subtropicais áridos, noites frias em grandes altitudes e épocas frias encontradas no ártico e em muitas latitudes temperadas. Estas condições apresentam alguns perigos para humanos não protegidos, representando, porém, mais um desconforto do que ameaça a vida para os povos contemporâneos. Ambientes tropicais também possuem períodos de chuvas e ventos frios; entretanto, geralmente não são ameaças sérias para os humanos modernos.

Habitações

Habitações, ou abrigos em geral, são uma outra grande adaptação cultural ao frio dos macroambientes. Como as roupas, o fator crítico é a proteção, a qual minimiza a perda de calor pela radiação e convecção.

O Álcool e Outros Agentes

Os humanos também são conhecidos pela ingestão de álcool ou de outros agentes farmacológicos em sua ação contra o frio. O álcool fornece benefícios em curto prazo no frio: é metabolizado rapidamente, aumentando a geração de calor pelo corpo. A longo prazo, entretanto, ele é prejudicial pois estimula a dilatação das veias superficiais. A vasodilatação leva a um crescimento da taxa de perda de calor do corpo, diminuindo efetivamente a proteção biológica contra o frio.

Fogo

O benefício do uso do fogo em um ambiente frio são óbvios. Porém, eles tem um custo: combustível. Alguns ambiente gelados são localizados acima das regiões onde a madeira necessitando de combustível obtido a partir de outras fontes, como as lâmpadas alimentadas com óleo de foca utilizada pelos inuit e fogueiras de esterco usadas pelos quéchuas.

MICROAMBIENTES FRIOS

A maioria dos microambientes humanos podem ser descritas como tropical ou subtropical, apesar das mais diferentes condições macroambientais.

RESPOSTAS BIOLÓGICAS AO FRIO

Há duas formas principais de adaptação biológica ao estresse provocado pelo frio: o isolamento térmico e o metabolismo. A adaptação do isolamento térmico envolve o tamanho do corpo, sua forma e sua composição, bem como a regulação do fluxo sanguíneo. A adaptação metabólica envolve o metabolismo basal, bem como a geração de calor metabólico pela atividade muscular, tanto voluntária quanto involuntária.

MACROAMBIENTES QUENTES E SECOS

Há dois tipos principais de macroambientes quentes: os quentes e secos e os quentes e úmidos. Os problemas e as respostas adaptativas são tão diferentes nestes tipos de condições que os consideraremos separadamente.

Ambientes quentes e secos incluem os desertos e as savanas, ambos apresentando estas condições ao longo de todo ano, e também desertos e campos mais temperados os quais são sazonalmente quentes e secos. A aridez destes ambientes permite altas taxas de ganho de calor a partir da radiação solar devido ao ar seco e limpo, com temperaturas ao meio dia nos desertos atingindo até 57° C. O alto ganho de calor leva também ao movimento rápido do ar, aumentando o ganho convectivo de calor.

MICROAMBIENTES QUENTES SECOS

Adaptações culturais ao calor seco são efetivas ao proverem microambientes mais confortáveis durante boa parte do tempo. Todavia, as pessoas são expostas a macroambientes quentes e secos em algumas circunstâncias, particularmente quando precisam viajar ou trabalhar ou quando a água é escassa, nestas situações as pessoas dependem de suas repostas biológicas.

Respostas Biológicas

Transferência de calor. Os principais meios de lidar com o calor seco são o aumento da transferência de calor do interior a superfície do corpo e dela para o ambiente, bem como perder calor da superfície por evaporação.

Respostas vasculares. O fluxo sanguíneo superficial é aumentado pela estimulação do sistema nervoso simpático através da dilatação da veias superficiais, com as outras veias constritas, permitindo uma manutenção quase constante da pressão sanguínea.

Suor. A principal adaptação humana ao estresse provocado pelo calor é a habilidade de suar copiosamente.

Aclimatização. Os humanos que se aclimatizam ao calor aumentam sua taxa de suor máxima e também começam a suar em temperaturas de pele e interior mais baixa.

MACROAMBIENTES QUENTES E UMIDOS

Representados em seu extremo pelas florestas pluviais tropicais, diferem significativamente dos macroambientes quentes e secos em suas características de estresse provocado pelo calor. Devido a umidade do ar e

nuvens frequentes, o ganho de calor irradiado pelo sol é menor durante o dia. A perda de calor radiativo a noite é reduzida também, resultado de uma variação diurna da temperatura muito menor. Áreas úmidas nunca ficam tão quentes, nem tão frias, quanto as regiões áridas.

MICROAMBIENTES QUENTES E UMIDOS

O ar ambiente é raramente mais quente que o interior do corpo, adaptações culturais para modificar o ambiente são relativamente ineficientes. Assim, as pessoas são geralmente expostas ao estresse provocado pelo calor em climas úmidos, particularmente quando precisam se engajar em atividades musculares.

PARTE 8 – ADAPTAÇÃO À ALTITUDE, À ATIVIDADE INTENSA E A OUTROS ESTRESSORES FÍSICOS

INTRODUÇÃO

As populações humanas vem se confrontando com muitos outros fatores estressores físicos além dos extremos de temperatura. Este capítulo explorará brevemente como as pessoas lidam com alguns deles, incluindo **hipóxia** de grandes altitudes (níveis baixos de oxigênio), o estresse auto-induzido por níveis intensos de atividade e os perigos naturais, como tempestades, terremotos, tsunamis (vagalhões) e erupções vulcânicas.

A HIPÓXIA DE GRANDES ALTITUDES

A hipóxia em grandes altitudes é o resultado de uma baixa **pressão barométrica**. A pressão do ar em qualquer local é baseada amplamente na quantidade de ar sobre o mesmo; o peso do ar acima empurra para baixo o ar que está embaixo, criando um aumento de densidade das moléculas de ar e, assim, um aumento de pressão.

Adaptações Biológicas à Hipóxia

Nossas adaptações biológicas à hipóxia envolvem o aumento da eficiência e da efetividade do transporte de oxigênio para dentro de nossos corpos e tecidos,

onde ele é usado no metabolismo, bem como o ajuste das mudanças corpóreas que são efeitos colaterais das adaptações.

Transferência de Oxigênio para os Pulmões. Imediatamente à exposição a condições de hipóxia, há um aumento na **taxa de ventilação**, a quantidade total de ar se movendo para dentro e para fora dos pulmões em um dado período de tempo. Isto é conseguido tanto pelo aumento da taxa de respiração quanto pela sua força.

A transferência de Oxigênio dos Pulmões para o Sangue. A troca de oxigênio com o sangue ocorre em pequenos sacos de ar (**alvéolos**) nos pulmões. O movimento do oxigênio do alvéolo para os capilares sanguíneos adjacentes ocorre através de um processo passivo de difusão. A taxa de difusão é baseada em muitos fatores, incluindo a superfície do alvéolo e dos capilares, a espessura dos tecidos que separam o ar alveolar do sangue e a diferença das concentrações de oxigênio entre o ar alveolar e o sangue. Um outro fator importante é a capacidade de transporte de oxigênio do sangue; boa parte desta capacidade se deve à **hemoglobina**.

A circulação do sangue para todos os tecidos. Respostas circulatórias para a hipóxia de grandes altitudes são primariamente baseadas em modificações de distribuição. Há um aumento transitório na taxa cardíaca e no débito cardíaco sob exposição aguda, mas que rapidamente decai para os níveis preexistentes. Enquanto o aumento do débito cardíaco acelera a taxa na qual o sangue entrega oxigênio aos tecidos, há uma necessidade de demanda crescente de oxigênio para o músculo cardíaco, bem como um maior esforço de todo o sistema cardiovascular.

A transferência de sangue para os tecidos. O oxigênio é transferido do sangue capilar para as células dos tecidos por meios passivos e ativos. A difusão passiva é influenciada por fatores similares aos discutidos na aquisição de oxigênio pelos vasos dos pulmões.

A transferência de oxigênio é ativamente assistida por uma proteína dos tecidos, a mioglobina, a qual tem seus níveis elevados nos músculos de pessoas aclimatizadas às grandes altitudes.

Consequências Adaptativas ao Estresse Provocados pela Hipóxia

Há problemas especiais para as pessoas devido às condições hipóxicas de ambientes de montanhas altas, especialmente relacionadas à exposição inicial. O risco e a severidade dos problemas aumentam com a altitude alcançada e com a taxa de subida. Estes problemas incluem enjôo agudo, edemas pulmonares e cerebrais, enjôo subagudo em crianças e enjôo crônico.

Adaptações Populacionais. As pessoas se adaptaram aos ambientes de grandes altitudes independentemente em diversas regiões do planeta, incluindo as terras altas da Etiópia e do Tibete, os Andes e o Himalaia. Os locais do globo onde são encontradas as áreas de grande altitude. Dada a ampla distribuição destas regiões, não surpreende o fato de que os estudos demonstram algumas diferenças biológicas entre as populações quanto à forma com a qual os humanos se ajustaram.

NIVEIS DE ATIVIDADE ALTA

Já que a atividade é auto-administrativa e não uma força externa imposta pelo macroambiente, devemos considerar a adaptabilidade humana aos níveis de altos de atividade de uma forma um pouco diferente daquela com a qual abordamos os estressores descritos anteriormente. A grande atividade é ainda geralmente devida as causas ecológicas. Ela é necessária para obter recursos e proteção contra o estresse seja correndo para caçar uma presa, construindo um abrigo, plantando arroz ou alguma outra tarefa, agradável ou não, que as pessoas precisam executar a fim de sobreviver. As pessoas podem também se envolver em atividades extenuantes por diversão ou esporte.

Resposta Biológicas a Altos Níveis de Altitude

A resposta individual à exposição aguda. Quando as pessoas começam a se envolver em níveis altos de atividades física, elas se confrontam com uma necessidade de aumentar tanto a tolerância ao calor quanto a eficiência no uso de oxigênio. Níveis altos de atividade envolvem o aumento do metabolismo, o que, por sua vez, gera calor e uma necessidade de utilização mais rápida de oxigênio. A resposta inicial ao exercício envolve o aumento da taxa de ventilação através de uma taxa de respiração mais acelerada, o aumento da taxa de circulação através de batimentos cardíacos mais rápidos e fortes e o direcionamento do sangue preferencialmente para os músculos esqueléticos onde o metabolismo está ocorrendo. O sangue é redirecionado a partir de

áreas críticas, como a pele. Conforme o exercício continua e o calor do corpo aumenta, os vasos sanguíneos da pele são dilatados, permitindo uma liberação mais eficiente de calor para o ambiente a partir da área de superfície. O suor inicia quando a temperatura da pele chega a um nível crítico.

A forma física definida como a habilidade de manter condições homeostáticas durante grande atividade, ou de se recuperar rapidamente após o exercício, envolve dois processos gerais de adaptação biológica que já foram discutidas: a tolerância ao calor e o uso eficiente de oxigênio.

A capacidade aeróbia. A maior taxa na qual podemos consumir o oxigênio para o uso em nosso metabolismo é conhecida como a **capacidade aeróbica**; este é um importante componente da forma física.

Velocidade e força. A força muscular a qual é definida como a quantidade de força que um músculo pode fornecer, é baseada na área transversal de um músculo, com músculos mais espessos fornecendo mais força.

Consequências adaptativas da capacidade diferenciada de trabalho

A importância ecológica da variabilidade da capacidade de trabalho está na capacidade diferencial de indivíduos realizarem tarefas essenciais. As culturas humanas diferem quanto as suas expectativas de trabalho para as pessoas em geral e também nas formas como elas são divididas entre os grupos de uma sociedade.

A Unidade Econômica. A unidade econômica primária difere em diferentes grupos culturais, desde aqueles essencialmente individuais e auto-suficientes à aqueles que envolvem famílias extensas.

O impacto da modernização. A capacidade de trabalho, baseada nos níveis habituais de atividade, tem sido amplamente afetada pelo processo de modernização em muitas populações. Este processo geralmente envolve um decréscimo dos níveis de atividade física e, conseqüentemente, um declínio da força aeróbica.

PERIGOS NATURAIS

As populações humanas também precisam lidar com estressores físicos que são de difícil previsão em termos de tempo, de espaço, de local e de intensidade. Estes estressores, geralmente chamados de **perigos naturais**, incluem as tempestades, os terremotos, os tsunamis e as erupções vulcânicas.

Erupções Vulcânicas.

Alguns dos maiores estragos causados pelas erupções vulcânicas são relacionados aos terremotos e tsunamis associados a eles. Entretanto, os vulcões têm causado diretamente muito sofrimento. Solos vulcânicos nas encostas dos vulcões são muito ricos para propósitos agrícolas, o que leva a um grande aumento populacional nestas regiões. Erupções vulcânicas podem causar estragos através do movimento rápido de lava, pela poeira e pelo movimento de lama. Mesmo a lava que se move vagarosamente pode destruir de vez as estruturas permanentes.

Consequências adaptativas dos perigos naturais

Como já mencionado, os perigos naturais podem ter efeitos devastadores para as populações humanas. A tecnologia avançada de hoje permite planejamentos melhores de perigos como ciclones ou outras tempestades, erupções vulcânicas insipientes e tsunamis de longo alcance. A previsão de terremotos e de tsunamis gerados localmente ainda é problemática. Ironicamente, apesar da habilidade de prever alguns destes desastres, a quantidade de destruição parece continuar crescendo. Isto pode ser devido à pressão populacional que obriga as pessoas a viverem em fase de maior risco.

Comparados aos outros fatores estressores discutidos até agora, os desastres naturais parecem apresentar os maiores problemas para as populações humanas. Isto se deve à maior previsibilidade dos outros estressores. Assim, se for dada às pessoas a chance de se preparar para problemas como o frio, o calor e a hipóxia de grandes altitudes, elas podem sobreviver. Quando um grande fator estressor ambiental não pode ser previsto, ela apresenta um desafio muito maior às capacidades adaptativas humanas. Na verdade, as pessoas consistentemente subestimam a importância dos riscos mais bem

conhecidos. Este pode ser um meio de fatorar a importância da previsibilidade na preparação para enfrentar circunstâncias estressoras.

PARTE 9 – ADAPTAÇÃO A FATORES ESTRESSANTES BIÓTICOS:

MÁ NUTRIÇÃO E DOENÇAS INFECCIOSAS

Além dos fatores estressantes físicos em seu ambiente, os humanos também precisam lidar com problemas de base biológica. Este capítulo trata de problemas de cadeia alimentar humana, ou seja, como as pessoas se adaptam às circunstâncias nas quais elas ou não conseguem obter alimentos de seus recursos, ou quando organismos (patógenos) tentam usá-las como fonte de comida. Estes dois problemas estão, na verdade, inter-relacionados.

MÁ-NUTRIÇÃO: O PREÇO DA FALHA

A má nutrição pode ser definida como qualquer tipo de nutrição desbalanceada, incluindo a ingestão de muita ou pouca comida. O foco será dado, principalmente, à subnutrição, na qual a quantidade tanto de alimentos em geral quanto de nutrientes específicos requeridos por uma dieta são inadequados.

MÁ-NUTRIÇÃO PROTÉICO-CALÓRICA

Uma das principais formas de má-nutrição é causada pela deficiência de conteúdo energético da comida, medido em kcal (Kilocalorias), e/ou deficiências proteicas.

Deficiência Proteicas

As proteínas são necessárias para o crescimento, reprodução e sobrevivência diária; nenhum organismo pode sobreviver muito tempo sem a habilidade de produzir as proteínas necessárias.

As proteínas precisam ter uma ordem precisa de seus aminoácidos para manter sua função. Se um tipo de aminoácido falta, os humanos e outros

organismos não conseguem de maneira correta, produzir suas proteínas necessárias; isso forma o “menor denominador comum” da síntese proteicas a partir de seus aminoácidos constituintes.

A Qualidade Proteicas dos Alimentos. Ingerir proteínas não é o suficiente para evitar a má-nutrição: devem ser ingeridas proteínas que contenham a taxa apropriada de aminoácidos essenciais para as necessidades humanas. A **qualidade proteicas** se refere ao grau no qual um dado tipo de proteína da dieta combina com a taxa de aminoácidos essenciais requerida pelos humanos.

O Cenário da Deficiência Proteicas. A deficiência proteica é uma das principais formas de má-nutrição. Ela é particularmente comum em países em desenvolvimento, especialmente em regiões tropicais onde os alimentos comuns tendem a ser ricos em carboidratos e pobres em proteínas.

Efeitos Biológicos da Má-Nutrição Proteicas. A maioria dos casos de má-nutrição proteicas ocorre quando a ingestão de proteínas é, de certa forma, menor que os valores requeridos a longo prazo. A má-nutrição severa durante a infância leva a uma doença de deficiência chamada de **kwashiorkor**, uma palavra derivada da linguagem Ga da África e que significa “doença que ocorre quando se é substituído da mama por outra criança”. Os sintomas da doença incluem a atrofia muscular, a falha do crescimento, as irritações de pele, os edemas e, em alguns casos, a perda dos pigmentos da pele e do cabelo.

Subnutrição Total: Deficiência de Proteínas e de Calorias

Reservas Energéticas Biológicas Humanas. Como uma fonte de energia de curto prazo, as pessoas dependem do glicogênio, o amido estocado no fígado e nos músculos. Quando os níveis sanguíneos se encontram altos, um hormônio chamado *insulina* é secretado e estimula a **glicogênese** (a síntese de glicogênio a partir da glicose, um açúcar simples). Quando os níveis sanguíneos estão baixos, como ocorre na subnutrição, o hormônio glucagon é liberado e estimula a **glicólise** (a quebra do glicogênio em glicose). O glicogênio é utilizado na manutenção de níveis de açúcar mais ou menos estáveis no sangue, independentemente da ingestão de açúcares na

alimentação. O açúcar é a principal fonte de energia a curto prazo no corpo humano, garantindo um fornecimento constante de energia.

O Ciclo de Cori. Enquanto a gordura é a principal das fontes de energia, há problemas quanto ao seu uso, já que os músculos esqueléticos e cérebro humanos não se utilizam diretamente da gordura como fonte de energia, dependendo, na verdade, da glicose. O **ciclo de Cori**, um processo adaptativo de conservação de glicose, envolve uma mudança para o metabolismo anaeróbico no tecido muscular, no qual a glicose é quebrada em lactose em vez de moléculas pequenas de dióxido de carbono e água. A quebra de glicose libera energia no músculo.

Efeitos da Má-Nutrição Protéico-Calórica. Em adultos, a má-nutrição protéico-calórica tem muitos efeitos negativos. O efeito mais óbvio é a grande perda de peso corpóreo. Enquanto a maior parte desta perda é oriunda da queima de gordura, há uma perda considerável de proteínas, particularmente das que se encontram na massa de músculo esquelético. A capacidade física de trabalho também decai, porém, somente após um longo período de deficiência protéico-calórica.

Os efeitos da má-nutrição protéico-calórica são muito maiores sobre as crianças, podendo levar a uma doença chamada **marasmo**.

DEFICIÊNCIAS DE VITAMINAS

Além dos principais componentes nutricionais dos alimentos – carboidratos, gordura e proteínas -, a comida contém muitos micronutrientes (componentes necessários apenas em pequenas quantidades) indispensáveis para a saúde e a função humanas. Dentre os micronutrientes estão minerais, como o iodo e o zinco, e fatores alimentares acessórios, as vitaminas.

Deficiência da Vitamina A

A vitamina A (retinol) é encontrada em vegetais verdes e amarelos, no leite, na manteiga e no queijo; ela também pode ser sintetizada no corpo a partir do beta-caroteno, o qual é encontrado em muitos alimentos vegetais. É armazenada no fígado, mas o mau funcionamento do órgão pode acabar com as reservas, contribuindo para a deficiência.

Deficiência de Tiamina

A tiamina, também conhecida como vitamina B, funciona no metabolismo dos carboidratos e, dessa forma, a sua deficiência é particularmente problemática quando as dietas contêm pouca vitamina e são ricas em carboidratos. Embora a tiamina seja encontrada em quase todos os tipos de alimentos, incluindo a carne de porco, o fígado, os grãos e legumes, as deficiências são observadas em populações que dependem do arroz como base de sua dieta.

Deficiência de Niacina

A niacina, também conhecida como vitamina B, é encontrada em baixas quantidades no milho, e as doenças relacionadas à sua deficiência sempre estão ligadas a populações com dietas baseadas no milho. Entretanto, ela é encontrada no fígado, na carne, em grãos e nos legumes. O aminoácido triptofano pode ser convertido em niacina pelo corpo, mas ele também é relativamente escasso no milho.

Deficiência de Vitamina C

O ácido ascórbico funciona como um caminho bioquímico no qual o aminoácido prolina é convertido em colágeno, O colágeno, por sua vez, funciona como um químico que se liga às células nos tecidos do corpo, notavelmente à cartilagem, aos ossos e aos dentes. Assim, a deficiência de vitamina C está associada ao enfraquecimento da capacidade de cicatrização e ao rompimento de feridas antigas. O resultado é a hemorragia (sangramento), geralmente interna, que leva a ferimentos graves de juntas, entre outros sintomas.

Deficiência de Vitamina D

A vitamina D pode ser obtida a partir da dieta (por exemplo, ovos), mas também pode ser sintetizada dos esteróides encontrados no alimento. A síntese, que envolve a radiação ultravioleta do sol na reação, ocorre nas camadas superficiais da pele (Cavalli-Sforza,1981). A pele clara favorece a reação, enquanto roupas bloqueiam a luz, inibindo-a. Em regiões de radiação solar intensa, a reação produz vitamina D suficiente mesmo quando a cor da pele é bem escura. Na verdade, alguns antropólogos sugeriram que a pele clara evoluiu, em parte, como uma adaptação à síntese de quantidades adequadas de vitamina D em povos que habitavam as latitudes norte com doses pequenas de radiação solar, enquanto a pele mais escura foi e é vista

como uma adaptação para filtrar a radiação ultravioleta e evitar a hipervitaminose D (muita vitamina D) (Loomis, 1967).

A vitamina D é necessária para a absorção do cálcio no intestino e para seu uso subsequente na formação de ossos e dentes. A doença da deficiência na infância associada à vitamina D é conhecida como **raquitismo**. Ela é caracterizada pela curvatura dos ossos, pelo atraso da erupção dos dentes (em crianças) e pelo desenvolvimento precário do esmalte dentário (Adair, 1987). **Osteomalácia** é o termo para a mesma doença quando manifestada em adultos.

DEFICIÊNCIAS MINERAIS

Deficiência de Ferro

“Embora o ferro ocorra naturalmente em ovos, carnes, legumes, grãos e vegetais verdes, a deficiência de ferro foi chamada de o mais prevaiente problema nutricional dos dias atuais” (Scrimshaw, 1991, p.46). Estimativas para os países em desenvolvimento vão desde 67% das crianças e 33% das mulheres em fase reprodutiva com algum tipo de deficiência de ferro. Porém, a deficiência é mais encontrada em países subdesenvolvidos, particularmente entre as mulheres. A maioria do ferro no corpo é utilizada na proteína hemoglobina, a qual carrega oxigênio e gás carbônico no sangue. Uma deficiência severa de ferro pode levar à **anemia**, conforme a produção de hemácias se torna defectiva devido à falta de hemoglobina. A anemia provoca muitos efeitos danosos às pessoas, desde a diminuição da capacidade de trabalho até o empobrecimento da performance intelectual.

Deficiência de Iodo

O iodo é um elemento químico importante dos hormônios da tireoide e a deficiência deste mineral pode levar a uma redução do trabalho da glândula. A glândula tireoide geralmente incha na tentativa de aumentar a produção dos hormônios. Esta situação é chamada de **bócio**. Em casos extremos, o bócio desfigura o indivíduo e pode até mesmo causar pressão sobre a traqueia caso fique muito grande.

Deficiência de Cálcio

As síndromes de deficiência de cálcio estão geralmente relacionadas aos problemas causados pela deficiência da vitamina D, já que ela é importante na utilização do cálcio pelo corpo. O mineral é importante para a formação dos ossos e dos dentes, durante o desenvolvimento e para sua manutenção. O cálcio também é responsável pelo bom funcionamento do sistema nervoso. Este mineral encontra-se em altas concentrações em itens da dieta como derivados do leite e vegetais verdes como brócolis.

A deficiência de cálcio pode levar ao crescimento vagaroso dos ossos e à **osteoporose**. A osteoporose torna os ossos muito susceptíveis à fratura.

ADAPTAÇÃO E MÁ-NUTRIÇÃO

Muitas das respostas humanas à má-nutrição podem não ser adaptativas. Respostas comportamentais podem não ser apropriadas e podem, até mesmo, aumentar a severidade da má-nutrição. Mudanças biológicas associadas a ela podem simplesmente ser respostas fisiológicas à ausência ou falta de alguns nutrientes necessários. Entretanto, parece haver alguns mecanismos preparados para algumas das deficiências nutricionais que servem para atrasar as consequências mais devastadoras.

Alimentos versus Nutrientes

Em todas as populações humanas, uma diferença pode ser encontrada entre *alimento* e *nutrientes*. Alimento é um conceito culturalmente definido, incluindo todas as substâncias consideradas comestíveis. Nutrientes são compostos químicos necessários ao corpo e incluem carboidratos, lipídios, proteínas, vitaminas e minerais.

Adaptação Biológica à Má-Nutrição

Problemas nutricionais não podem ser vistos isoladamente. Eles afetam a habilidade de uma população para lidar com muitos outros estressores, bem como sua habilidade para obter recursos/ podem, por exemplo, diminuir a capacidade de trabalho. A má-nutrição, portanto, afeta todas as outras áreas da ecologia da população. Em nenhum outro domínio este impacto é mais fortemente sentido do que na habilidade das pessoas de resistirem a doenças infecciosas.

DOENÇAS INFECCIOSAS COMO ESTRESSORES BIÓTICOS

Uma Nota sobre “Taxas” de Doenças

“Taxas” de doenças podem significar muitas coisas para um epidemiologista. Duas das principais formas de determinar o quão comum é uma doença em uma população se dão a partir da medição do número de fatalidades, devidas à doenças, dividido pelo tamanho da população, o que é chamado de **taxa de mortalidade** da doença em relação ao tamanho da população, o que é chamado de **taxa de morbidez**.

Há duas formas comuns de medir a taxa de morbidez: através da prevalência de uma doença ou através de sua incidência. A **taxa de prevalência** de uma doença é o número de casos de uma doença em um dado momento do tempo. A **taxa de incidência** de uma doença é definida como o número de novos casos que aparecem durante um dado período de tempo.

Relações Hospedeiro/Parasita

Os parasitas e seus hospedeiros tendem a coevoluir em uma “coexistência pacífica” em muitos casos. Ou seja, parece haver uma seleção evolutiva tanto em favor dos hospedeiros que não morrem ou que não ficam muito doentes, fazendo com que o sucesso reprodutivo diminua, quanto em favor dos parasitas que não matam seu hospedeiro (o “ganso de ouro”). Há alguma evidência de que esta coevolução de hospedeiros e parasitas resulta em menos virulência.

A variabilidade genética da população de hospedeiros, particularmente dos genes relacionados ao sistema imune, pode ser muito importante ao permitir que a população de hospedeiros rapidamente se adapte ao novo agente da doença.

A seleção natural contra a virulência de parasitas ocorrerá somente se houver uma vantagem aos parasitas relacionadas à manutenção da vida do hospedeiro. Para parasitas que podem facilmente mudar de hospedeiro, talvez não haja nenhuma modificação acerca de sua virulência ao longo do tempo.

DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES

Vetores são os veículos pelos quais os parasitas são transferidos de um hospedeiro infectado para um susceptível. Eles geralmente são artrópodes, um

grande grupo biológico que inclui insetos, aranhas e camarões, dentre outros. Vetores podem ser considerados em dois grupos: agentes biológicos ou mecânicos. Como um agente mecânico, o vetor simplesmente transfere os parasitas através de contato externo (por exemplo, moscas carregam germes em suas patas quando pousam em excrementos, então, pousam na comida, onde os germes são depositados). Como um agente biológico, o próprio vetor se torna infectado (com ou sem sintomas). Em alguns casos, o parasita é obrigado a passar parte de seu ciclo de vida em um vetor específico. Em geral, doenças transmitidas por vetores podem ser facilmente transmitidas mesmo quando o hospedeiro já está doente e, dessa maneira, estas doenças tendem a se manter virulentas mesmo após longa associação com humanos.

Doenças transmitidas por vetores têm, sem dúvida, afetado a humanidade ao longo de toda a evolução dos hominídeos, e algumas delas tiveram um impacto muito grande sobre a ecologia e a Biologia humanas. Dois exemplos de doenças carregadas por vetores serão discutidos brevemente aqui: a malária e a oncocercose. Estes exemplos foram escolhidos para dar uma ideia de como as doenças transmitidas por vetores podem afetar a ecologia humana.

Malária

A **malária** tem sido, provavelmente, o maior assassino de humanos dos últimos milênios. Há cerca de 300 milhões a 500 milhões de casos de malária em qualquer momento do tempo e, aproximadamente 2,7 milhões de pessoas morrem desta doença a cada ano (Nussenzweig e Long, 1994). Ela é causada por diversas espécies de protozoários do gênero *Plasmodium*, particularmente o *P. vivax*, o *P. malarie* e o *P. falciparum*.

Protetores Biológicos Contra a Malária. Os humanos desenvolveram algumas adaptações biológicas especiais contra a malária que envolvem variantes genéticas da hemoglobina. O caso mais bem conhecido de resistência genética à malária é o **caractere falsiforme da célula**. A célula falsiforme representa uma pequena mutação do gene que determina a molécula da hemoglobina. Esta mutação faz com que uma molécula de hemoglobina tenda a aderir a outra, particularmente quando a molécula se encontra na forma desoxigenada (ou seja, após o descarregamento de oxigênio da hemoglobina para os tecidos) (Edelstein, 1986). O complexo da molécula de hemoglobina pode formar grandes estruturas fibrosas dentro das hemácias, com estas estruturas algumas vezes distendendo as células em uma forma falsiforme característica.

Oncocercose

A **oncocercose** é uma doença filarial (um tipo de verme parasita) transmitida pela mosca preta (vetor). O parasita desta doença é o *Onchocerca volvulus* e o vetor, *Simulium damnosum*. Embora esta doença não seja geralmente fatal, os parasitas se movem pela corrente sanguínea até o olho, onde frequentemente causam cegueira. Já que cada fêmea é capaz de botar cerca de 2.000 microfíliarias ao dia e pode residir no corpo humano por décadas (Desowitz, 1981), as vítimas podem sofrer uma sobrecarga parasítica. As moscas pretas tipicamente se reproduzem em áreas de água altamente oxigenada, sendo as rochas constantemente banhadas seu sítio de preferência. Devido a essa característica, a oncocercose é, muitas vezes, chamada de “cegueira do rio”.

DOENÇAS TRANSMITIDAS ATRAVÉS DO CONTATO DIRETO

Doenças de contato direto são geralmente transmitidas pela rota dos perdigotos, quando tossidas, espirros ou contato simples com a respiração das vítimas podem servir para passar os agentes causadores da doença. Muitas das doenças transmitidas por esta rota são específicas dos humanos, embora este não seja sempre o caso.

Muitas doenças de contato direto apareceram em associação ao surgimento da agricultura intensiva e à resultante alta densidade humana em regiões diferentes do planeta (McKeown, 1988). Estas doenças são transmitidas para outras populações humanas quando o contato é feito e elas podem se mostrar devastadoras para novas populações hospedeiras.

Epidemias em Populações Virgens

Quando uma doença é introduzida pela primeira vez, nenhum indivíduo possui imunidade prévia e, assim, todos se encontram susceptíveis à infecção. Estas epidemias, chamadas de **epidemias em solo virgem**, podem ser calamitosas, com estimativas de até 90% de mortalidade em populações expostas a diversas novas doenças após o contato com povos de culturas cosmopolitas e urbanas, onde muitas doenças de contato direto são endêmicas. Estimativas altas para a mortalidade depois do contato com determinados tipos de doenças (sendo a varíola e o sarampo citados como os principais assassinos).

DOENÇAS TRANSMITIDAS PELA VIA SANITÁRIA

Doenças transmitidas por rotas sanitárias têm sido problemas de pessoas pobres, já que elas se dispersam através da ingestão de alimentos e de água contaminados. Um dos principais meios de transmissão de tais doenças é a “rota fecal-oral”, na qual os parasitas são passados de uma pessoa a outra através da contaminação da água e dos alimentos. Tal contaminação pode ocorrer através de vetores mecânicos, como moscas que pousam em alimentos, ou através da mistura de excrementos com a água que será bebida, como ocorre quando uma população depende de uma única fonte de água para diversos propósitos.

DOENÇAS TRANSMITIDAS ATRAVÉS DE CONTATO ÍNTIMO

Doenças transmitidas através do contato íntimo consistem principalmente de doenças sexualmente transmissíveis, mas também de doenças transmitidas através de fluidos corpóreos em geral, sejam eles sangue, saliva ou sêmen, ou através do contato direto com a pele. Assim, estas doenças são muito influenciadas pelas morais sexuais, bem como por outros tipos de comportamento relacionados com a troca de fluidos corpóreos, tais como o compartilhamento de agulhas no uso de drogas ilícitas, a esterilização imprópria de equipamentos médicos ou até mesmo o transplante de órgãos do corpo.

Treponematoses

Treponematoses consistem de diversas condições patológicas causadas por espiroquetas (um tipo de bactéria) do gênero *Treponema*. Espécies diferentes de *Treponema* são acusadas de causar diferentes condições, mas há dúvidas se eles são realmente espécies diferentes ou se, na verdade, as doenças são causadas por bactérias variadas (Wood, 1979). Em geral, as treponematoses são doenças de pele, embora possam envolver outros tecidos. Quatro formas principais de treponematoses são a sífilis venérea, a bolba, a pinta e a sífilis não-venérea (ou endêmica), algumas das quais são mortais.

AIDS

O agente da AIDS é conhecido como vírus da imunodeficiência adquirida (HIV). O HIV é um **retrovírus**, o que significa que sua informação genética é carregada em uma molécula de RNA, em vez de DNA. A informação do RNA é copiada na molécula de DNA através da utilização de uma enzima especial chamada de transcriptase reversa, e o DNA resultante incorpora-se ao DNA do hospedeiro. Este DNA, em algum momento, se replica em moléculas de RNA que se tornam parte de novos vírus ou decodificam proteínas necessárias à replicação do HIV (Stine, 1993).

Os Efeitos da AIDS. O HIV infecta células do corpo humano que contêm certos tipos de proteínas, chamadas de CD4 ou de receptor de antígenos T4, em sua superfície. As principais células que possuem este tipo de receptor de membrana são as T4, ou ajudantes T. Estas células são um elemento importante do sistema imunológico, ajudando a reconhecer vírus, fungos e outros parasitas. Infecções longas levam à destruição das células T4 e a vítima se torna susceptível a muitos patógenos que estas células ajudam a combater. Assim, o indivíduo sofre de uma deficiência de seu sistema imunológico, sucumbindo a uma ou muitas infecções oportunistas.

CONCLUSÃO

Os dois estressores discutidos foram, e são, grandes forças seletivas sobre a populações humanas. Os médicos, felizes, proclamaram a chegada do final das doenças infecciosas, iludidos pelo sucesso dos antibióticos e das vacinas. A evolução da resistência aos antibióticos em patógenos humanos e as flutuações genéticas que derrubam nossas tentativas de criar vacinas efetivas causaram a emergência de velhas doenças no mundo desenvolvido.

Os efeitos da má-nutrição e de doenças parasíticas que exacerbam os efeitos da subnutrição podem ser especialmente prejudiciais para as crianças. Há evidências abundantes de que a má-nutrição crônica em crianças pode ter efeitos sérios sobre o desenvolvimento mental, com as habilidades intelectuais inibidas por toda a vida (Brown e Pollitt, 1996). É possível que tal debilitação mental possa causar dificuldade quanto à obtenção de recursos quando o indivíduo for um adulto, o que cria o cenário para a má-nutrição da próxima geração.

A fome e a peste continuam sendo dois cavaleiros do apocalipse, cavalgando muito perto de seus outros colegas cavaleiros, a guerra e a morte. Os humanos se adaptaram a estes dois estressores montados tanto comportamental quanto biologicamente, mas se confrontam com adversários vivos que também se

adaptaram aos humanos. É uma “corrida” evolutiva na qual a adaptação pode ser vista como um processo, em vez de um estado perfeito.

PARTE 10 – MODERNIZAÇÃO, ESTRESSE E DOENÇAS CRÔNICAS

A adaptação humana foi apresentada até aqui envolvendo a criação de microambientes mais agradáveis e dependendo de respostas biológicas somente quando o estresse macroambiental não é totalmente resolvido através dos meios comportamentais. Para o ambiente urbano moderno, com o qual a maioria de nós lida diariamente, esta aproximação à adaptabilidade humana é inadequada. Na verdade, muitos dos estressores com os quais temos de lidar são nossas próprias criações. O microambiente urbano possui muitos estressores, desde a poluição, o crime, os engarrafamentos até as provas pelas quais os estudantes têm de passar, que estão muito pouco relacionados ao macroambiente no qual nosso ambiente urbano se localiza. Enquanto estes estressores podem diferir daqueles que foram considerados nos capítulos anteriores, eles são, todavia, estressores, e a permanência da espécie humana a longo prazo depende de nossa habilidade de lidar com estes desafios ambientais auto-induzidos.

PRINCIPAIS DOENÇAS CRÔNICAS EM POPULAÇÕES MODERNIZADAS

A prevalência de grandes doenças crônicas aumenta em populações que mudam de um modo de vida tradicional para um modernizado.

Câncer

Câncer é o termo utilizado para uma condição na qual há um crescimento incontrolado de células do corpo. Há muitas formas de câncer, com muitas causas diferentes. Em geral, entretanto, as células se tornam cancerosas devido a mutações que alteram os genes que controlam o crescimento e a reprodução celulares. Essas mutações podem “ligar” alguns genes (chamados de oncogenes) ou “desligar” outros (genes supressores do câncer).

Hipertensão

Causas da Hipertensão. A **hipertensão** é mais um sintoma do que uma doença, definida como a persistência de alta pressão arterial. A hipertensão pode ser causada por doenças, tais como os problemas de deficiência dos rins. Entretanto, para a vasta maioria dos casos de hipertensão, geralmente classificados de primários, ou “essenciais”, nenhuma causa específica é conhecida. Em geral, qualquer fator que aumente o volume de sangue ou que diminua o volume interno dos vasos sanguíneos, aumentará a pressão sanguínea. Isso representa um número enorme de fatores possíveis, desde a ingestão de fluidos e eletrólitos até a transpiração, a temperatura ambiental, a atividade física e a ativação do sistema nervoso simpático, dentre muitos outros. A hipertensão está relacionada ao seguinte: idade, sexo (homens apresentam um risco maior), situação socioeconômica (pessoas mais pobres apresentam mais risco), hereditariedade, dieta, peso e quantidade de gordura corpórea, estresse e mudanças sociais abruptas.

Doenças do Coração

As doenças do coração, em todas as suas formas, são a principal causa de mortes nos Estados Unidos e no mundo desenvolvido como um todo. A principal forma de doença do coração é aquela das artérias coronárias, os vasos que fornecem sangue ao músculo cardíaco. A doença da artéria coronária envolve lesões ateroscleróticas dos vasos. A **aterosclerose** se refere à existência de depósitos duros de lipídios, chamados de **placas**, na parede interior das artérias. Estas placas podem aumentar e causar coágulos em sua superfície, levando a uma oclusão parcial ou total do vaso sanguíneo. Quando a oclusão ocorre nas artérias coronárias, o fornecimento de sangue para uma porção do coração pode ser bloqueado, levando a um ataque do coração.

Diabete Melito

A **diabete melito** é uma desordem que envolve a incapacidade do corpo de metabolizar carboidratos de uma maneira normal. Esta incapacidade é devida à falta de habilidade de produzir e utilizar o hormônio insulina. A **insulina** é produzida por células beta no pâncreas, sendo a produção estimulada pelo aumento dos níveis de açúcar no sangue. A insulina é liberada na corrente sanguínea, por onde é transportada para todo o corpo, ligando-se a receptores químicos localizados na porção externa das membranas das células em todos os tecidos. A entrada de açúcar nas células leva ao declínio dos níveis do açúcar no sangue e ao término do estímulo para a produção de insulina. Finalmente, boa parte da insulina circulante é retirada do sangue através do fígado.

A Modernização e as Doenças Crônicas

As evidências que acabamos de apresentar mostram somente que as taxas de doenças crônicas são aumentadas em populações que vivem em ambientes modernizados, mas este fato sozinho não identifica os fatores verdadeiros envolvidos nas causas das doenças. Agora nos voltaremos para alguns dos fatores em condições modernizadas que, possivelmente, apresentam um papel causal sobre o desenvolvimento de doenças crônicas. Especificamente, consideraremos brevemente três fatores: a poluição, o estresse generalizado e a adiposidade.

POLUIÇÃO

Uma definição preliminar de **poluição** é um recurso que está “fora de lugar” no ambiente, em grande ou pequena quantidade a partir da perspectiva de comunidades ecológicas específicas. Uma das principais conexões entre população e doença parece estar na exposição a grandes concentrações de certos produtos químicos elaborados em processos industriais e altas taxas de certas formas de câncer. Três das principais formas de poluição são: ar, água e lixo sólido.

ESTRESSE GENERALIZADO E DOENÇAS CRÔNICAS

Uma Definição do Estresse Generalizado

Segundo esta visão, o estresse generalizado é uma variável cognitiva, quando as percepções do indivíduo sobre um dado estímulo determinam se a reação biológica ao estresse ocorrerá (Pearson et al., 1993). Alguns acreditam que o estímulo deva ser visto como uma ameaça de algum tipo difícil de lidar (Lazarus, 1966, 1993) e, assim, cria-se uma demanda por adaptações. Uma ameaça neste contexto é qualquer coisa que possa atrapalhar a homeostase, o funcionamento normal do corpo. O que é percebido pelo corpo. O que é percebido pelo corpo como estressor para um indivíduo não necessariamente o é para outro, já que as pessoas diferem quanto ao que é visto como ameaça e ao que é visto como fácil ou difícil de lidar.

Estresse Generalizado e o Ambiente Urbano

Sempre se assumiu que a vida urbana em ambientes modernizados está associada a grandes quantidades de estresse generalizado. Psicólogos e fisiólogos modelaram os estressores urbanos em pesquisas de laboratório (conforme Frankenhaeuser, 1973; Glas e Singer, 1972) e demonstraram que os problemas relacionados ao ambiente modernizado, desde o barulho até burocracias, levam a respostas biológicas ao estresse sofrido pelos indivíduos.

Pesquisas que se concentram diretamente em pessoas e suas vidas diárias normais em condições modernizadas são menos comuns, em parte devido à dificuldade de criar projetos que tenham significado científico e que ofereçam a possibilidade de controle sobre a miríade de fatores que podem levar às respostas ao estresse.

ADIPOSIDADE E DOENÇAS CRÔNICAS

Outro risco à saúde associado aos ambientes modernizados é a tendência de aumento da **adiposidade** (quantidade de gordura corpórea). Na verdade, em muitas populações modernizadas, uma grande porcentagem de pessoas é obesa (muito gorda), embora isto não seja verdade para todas as populações (Baker, 1984).

CONCLUSÃO

A evidência nos persuade de que a modernização leva ao aumento sério das taxas de doenças crônicas, sendo os aumentos relacionados à poluição, ao estresse generalizado e à adiposidade. Este aumento das doenças pode refletir a falha das adaptações humanas devido à rapidez das mudanças ambientais representada pela modernização. Talvez realmente habitemos corpos adaptados à vida na idade da pedra, como caçadores-coletores ou como agricultores primitivos. Certamente, dado o longo tempo de geração dos humanos, os poucos milênios de vida em centros urbanos ainda não forneceram tempo suficiente para grandes mudanças genéticas. Quando se considera que muitas mudanças da modernização poder ser medidas em períodos de anos em vez de séculos e milênios, é razoavelmente possível que algumas adaptações genéticas tenham se tornado obsoletas. A reação do “lute ou fuja” nos ajuda a fugir de um leão, mas ela nos ajuda a lidar com o tráfego urbano? O aumento do esforço cardiovascular não possui função quando entramos em um automóvel e pode levar ao aumento do risco de desenvolvimento de doenças.

A rapidez da modernização pode também superar a habilidade de uma população de modificar suas adaptações comportamentais. Para os indivíduos, os comportamentos e valores aprendidos na infância podem não ter mais significado em uma sociedade modificada quando eles atingem a maturidade. Pode-se imaginar também que as adaptações biológicas de desenvolvimento podem se tornar perigosas para os indivíduos quando seus ambientes se modificam rapidamente. A mudança rápida em qualquer ambiente leva a dificuldades sérias para a comunidade biológica residente. Não é surpresa que os humanos necessitem lidar com as mudanças ambientais através da mudança de seus próprios meios básicos de adaptação. Com a modernização, a mudança rápida parece ser a única constante e, portanto, as habilidades adaptativas humanas podem enfrentar desafios sérios no futuro.

PARTE 11 – RECURSOS NATURAIS E ECOLOGIA DE COMUNIDADES

Todos os organismos precisam de substâncias, chamadas de recursos naturais, obtidas do meio ambiente, a fim de sobreviver e reproduzir-se. Esses recursos naturais incluem alimento, água e, frequentemente, algum tipo de proteção contra agentes de estresse do meio ambiente, sejam eles físicos, tais como temperaturas extremas, ou biológicos, predadores ou parasitas. Pode-se incluir, também, entre recursos naturais, os parceiros sexuais, os materiais ou o território necessário para fins de reprodução, abrangendo desde a sedução de um (a) parceiro (a) até a proteção da prole.

EFICIÊNCIA E RISCO NO USO DE RECURSOS

Recursos Naturais Renováveis e Não-Renováveis

Ao lidar com populações humanas, precisamos distinguir entre recursos naturais **renováveis** e **não-renováveis**. Como está implícito nos próprios termos, um recurso renovável pode ser repostado (por exemplo, o oxigênio), ao passo que o não-renovável não pode (por exemplo, combustível fóssil). Essa distinção é um pouco artificial, uma vez que todos os recursos são renováveis, se lhes for concedido tempo suficiente. Combustíveis fósseis, em geral vistos como não-renováveis, na verdade são renováveis, caso se queiram esperar os milhões de anos necessários para criar petróleo novo.

O Papel da Tecnologia e o Uso dos Recursos Naturais

A tecnologia é um ponto central quando nos confrontamos com o uso e o abuso dos recursos naturais. A tecnologia atual pode permitir o uso de recursos naturais anteriormente impossíveis de serem obtidos. Na verdade, a maior diferença entre os povos tradicionais e os grupos modernizados, no que se refere ao abuso dos recursos naturais, parece ser a escala em que se processam as atividades humanas; populações modernizadas são de tamanho muito maior e dispõem de tecnologia mais complexa, e por essa razão são capazes de causar maiores danos que as populações tradicionais, isso tanto no passado como no presente.

PRINCIPAIS TIPOS DE PADRÕES DE SUBSISTÊNCIA HUMANA

Comida é um recurso natural essencial para todas as populações humanas e tem merecido atenção especial por parte dos estudiosos da ecologia humana, em particular dos ecólogos culturais. Os sistemas de subsistência podem ser divididos em quatro tipos principais: o forrageio, o pastoralismo, a horticultura e a agricultura intensiva. No interior de cada uma dessas categorias maiores encontram-se diversas atividades de subsistência, havendo, porém, relacionados ao uso humano dos recursos naturais, alguns pontos que são comuns aos quatro tipos principais.

Forrageio

O **forrageio** refere-se a atividade de subsistência que dependem de recursos alimentares não cultivados para formar a parte principal do suprimento alimentar. Usualmente, isto implica uma combinação de coleta de plantas não cultivadas com atividades de pesca ou de caça a animais selvagens. Até cerca de 12 mil AP, todos os humanos eram caçadores-coletores; agora, porém, só uma minúscula proporção de humanos pode ainda ser classificada nesse tipo de subsistência.

Pastoralismo

O termo pastoralismo refere-se à dependência do pastoreio de animais domesticados como a principal fonte de recurso alimentar de uma sociedade. Assim como os caçadores-coletores, os pastoralistas contemporâneos apresentam uma larga diversidade cultural e são encontrados em muitos ambientes diferentes. A exemplo dos caçadores-coletores, os pastoralistas

modernos são mais encontrados em ambientes um tanto marginais, onde as colheitas de alimentos não são tidas como certas ou não podem ser produzidas em quantidade suficiente para dar conta das necessidades de recursos naturais do grupo. Esses ambientes incluem pastagens áridas, montanhas altas e algumas regiões subárticas.

Horticultura

A agricultura de subsistência com o uso de ferramentas simples e sem o emprego de técnicas complexas de irrigação e fertilização é denominada **horticultura**. Embora os ecólogos culturais usualmente se refiram à horticultura como um dos principais tipos de subsistência, diferente da agricultura intensiva, em que comumente se faz uso de ferramentas sofisticadas, irrigação e fertilização, a diferença entre esses dois tipos de subsistência baseia-se mais em grau do que em uma clara distinção qualitativa. Há diferenças de ordem geral, no entanto. As práticas horticultoras ocorrem em áreas menores de terra do que as da agricultura intensiva – em roças, não em campos. Um lote de terra usado para horticultura fica esgotado por longos períodos após ter sido usado, ao passo que as técnicas da agricultura intensiva permitem que os períodos de esgotamento e renovação sejam mais curtos ou mesmo inexistentes. Os horticultores em geral trabalham menos arduamente do que o fazem os agricultores intensivos, a menos que estes últimos possam usar combustíveis fósseis para fazer parte do trabalho para eles, mas os horticultores não conseguem produzir a mesma quantidade de comida numa dada área de terra. Isto não significa que os horticultores sejam preguiçosos, ignorantes ou ineficientes. Pelo contrário, os horticultores têm mantido atividades de agricultura em regiões onde as técnicas intensivas se mostraram desastrosas.

Agricultura Intensiva

Agricultura intensiva representa um impacto humano muito maior sobre o meio ambiente natural. Tecnologia e trabalho são usados para criar sistemas ecológicos artificiais, com plantas e animais domesticados chegando a suplantam a comunidade nativa, e o uso humano de fertilizantes e de sistemas de irrigação suplantando os ciclos nutrientes naturais. Na verdade, em alguns lugares, toda a paisagem foi redesenhada pela população, com a criação de terraços, elevações de níveis, construção de diques e outras mudanças significativas para a geografia natural de uma região.

ECOLOGIA DE COMUNIDADES

Em ecossistemas, as necessidades de recursos naturais formam a base para importantes conexões entre as populações. Especificamente, a necessidade de organismos em cadeias alimentares num ecossistema é dada em uma forma fundamental: comem ou são comidos uns pelos outros. Esses tipos de interações também ligam organismos em comunidades biológicas. A estrutura e a forma das comunidades biológicas são estudadas no campo chamado **ecologia de comunidades**.

A Natureza de uma Comunidade Ecológica

Uma **comunidade ecológica** pode ser vista como um conjunto de populações de espécies que possuem um potencial para interação. Mais precisamente, uma comunidade pode ser definida como uma reunião interativa de espécies ocorrendo no interior de uma área geográfica; um conjunto de espécies cujas funções e dinâmicas ecológicas são de alguma maneira interdependentes (Putman, 1994). Essas interações incluem as de competição aberta e as relações de alimentação, bem como manifestações mais sutis, tais como a dependência de plantas por animais para polinização e para dispersão das sementes, ou de animais por plantas para fornecimento de hábitat (abrigo). Como seria então de se esperar, as comunidades ecológicas existem em todos os tamanhos, formas e graus de interação de suas populações constituintes.

A Forma e a Estrutura das Comunidades Ecológicas

A forma e a estrutura, ou **fisionomia**, de uma comunidade pode ser descrita em um sem-número de maneiras, cada uma avaliando aspectos um tanto diferentes, cada uma tendo certas vantagens e limitações, e, como se poderia esperar, cada uma tendo seus defensores nos círculos ecológicos.

Formas de Crescimento. Talvez a mais recente caracterização técnica da estrutura de uma comunidade, particularmente quando aplicada a plantas, emprega **formas de crescimento** comumente reconhecidas, tais como árvores perenes e decíduas, arbustos herbáceos, ervas e assim por diante.

Formas de Vida. Uma variação na forma de crescimento de uma planta, recebendo a denominação de **forma de vida**, foi desenvolvida no início do século XX pelo botânico dinamarquês Raunkiaer (1934), com base na relação entre a superfície do solo e o tecido embrionário ou regenerativo (meristemático) da planta.

Estratificação. Tanto a forma de vida como a forma de crescimento das plantas enfatizam a altura. Até numa olhadela casual, dada a uma comunidade de plantas, observamos diferenças nas alturas, ou **estratificação vertical**, de seus componentes. Árvores são em geral mais altas do que arbustos, que são usualmente mais altos que as ervas, e estas últimas são mais altas do que os musgos e os líquenes. As florestas tropicais caracterizam-se tipicamente por uma estratificação vertical marcante, especialmente em áreas onde o toldo protetor do topo das árvores é quebrado.

Zoneamento. Mudanças horizontais no meio ambiente físico se refletem em alterações nos componentes vegetais e animais das comunidades ecológicas. Pode ser encontrado em situações terrestres onde as características do solo variam, por exemplo, de condições mais úmidas para condições mais secas.

Dispersão Horizontal. A ocupação horizontal do espaço, ou **dispersão**, de plantas e animais também pode ser usada para descrever a estrutura de uma comunidade ecológica. Três são os padrões básicos de dispersão: aleatório, uniforme (ou regular) e agrupado (ou contagioso); dois padrões podem ser adicionados pela combinação aleatório/agrupado e uniforme/agrupado.

Estrutura Trófica. Outra categorização produtiva da estrutura da comunidade é o uso dos níveis tróficos (relacionados com a nutrição).

Composição Filogenética. Talvez uma das maneiras mais óbvias e fáceis de compreender uma comunidade seja pela identificação dos conjuntos de espécies que a constituem. Assim, uma comunidade florestal pode ser descrita por sua **filogenia** (os relacionamentos de grupos de organismos de acordo com a sua história evolutiva), como abeto, bordo ou carvalho, e uma comunidade animal como microartrópodes do solo, peixes bentônicos, insetos voadores e assim por diante.

ASPECTOS FUNCIONAIS DAS COMUNIDADES

Por consistirem de organismos vivos, as comunidades não são entidades estáticas. Como as espécies que as compõem, as comunidades são dinâmicas e sofrem mudanças mais ou menos constantes da fisionomia e composição devido a mudanças tanto no meio ambiente como nas características dos ciclos de vida dos próprios organismos.

Mudanças Sazonais

Por causa da mudança na inclinação do eixo da terra em relação ao sol, ao longo de 12 meses, a radiação solar total recebida em uma dada latitude geográfica varia em diferentes épocas do ano.

VARIABILIDADE TEMPORAL AFETANDO OS RECURSOS NATURAIS

As comunidades mudam ao longo do tempo. Essas mudanças, possivelmente, se devem - a cataclismos raros tais como erupções vulcânicas ou a fatores estressantes menos raros, porém difíceis de prever, como incêndios nas florestas, furacões ou estressores antropogênicos; ou a mudanças periódicas no meio ambiente, tais como mudanças sazonais, assim como modificações induzidas pela própria comunidade. Tomadas isoladamente, as comunidades tendem a seguir padrões de mudança bem previsíveis, chamados de **sucessão**.

PERTURBAÇÕES E SUCESSÃO

As séries de mudanças em comunidades observadas em ambientes recentemente criados, tais como novas ilhas, são denominadas **sucessão primária**. **Sucessão secundária** é o termo usado para as mudanças sequenciais que ocorrem quando uma comunidade ecológica estabelecida é perturbada e subseqüentemente passa por mudanças em sua estrutura e função. Se a seqüência secundária segue o padrão da primária, depende de uma série de fatores abióticos ou bióticos tanto de agentes da perturbação quanto de componentes da comunidade em "re-desenvolvimento". Entre os primeiros estão os incêndios, tempestades de gelo, inundações, secas, ventanias, deslizamento de terras e grandes ondas. Entre os fatores bióticos

estão interações diretas tais como transformação em pasto, caça predatória, competição, infecção (doença) e os efeitos indiretos da modificação causada no hábitat por atividades como a escavação de tocas por vermes da terra e roedores ou o represamento de cursos de água por castores. Muitas ações humanas têm consideráveis consequências: terraplanagem, construção e poluição.

MUDANÇAS PERIÓDICAS EM COMUNIDADES ECOLÓGICAS

Mudanças Sazonais em Recursos Naturais

Muitos organismos, sejam eles migratórios ou não, apresentam padrões sazonais de mudanças no uso de recursos naturais. De fato, a estrutura comunitária pode mudar significativamente no curso de um ano. No extremo, os organismos irão abandonar ou reduzir grandemente sua aquisição de recursos naturais em certas épocas do ano, passando a viver dos recursos estocados. Isto pode ser visto em animais que consomem seus estoques biológicos – tal como o tecido adiposo – em associação com torpor ou hibernação para reduzir suas necessidades de recursos naturais.

Mudanças Sazonais no Modo de Obter Recursos Naturais

É óbvio que quando a fonte que um organismo possui de um dado recurso natural muda de acordo com a estação do ano, o organismo muitas vezes terá de mudar a maneira pela qual obtém esse recurso. No entanto, mesmo quando o organismo não muda sazonalmente, as características do recurso ou do *habitat* podem mudar, e assim animais devem mudar seus comportamentos para obter os recursos necessários.

Verticalidade dos Recursos Naturais e Ecologia Humana

As populações humanas precisam lidar com a distribuição vertical e também com a horizontal de recursos naturais do macroambiente. Esta é uma

consideração fundamental para as populações que vivem nos ecossistemas de florestas tropicais. Exceto em áreas recentemente perturbadas, muitos dos recursos naturais comestíveis das florestas tropicais, incluindo folhas, frutos e os animais que os comem, situam-se bem acima do chão, no dossel.

Sazonalidade na Ecologia Humana

Migração Humana. Muitos grupos humanos precisam mover-se para seguir seus recursos naturais. Esse deslocamento encontra-se comumente entre os coletores e os pastoralistas, ao passo que as populações que fazem colheitas tendem a uma possibilidade menor de migração. No entanto, a migração individual ocorre em muitos grupos agricultores, como pode ser visto em trabalhadores migrantes de fazendas nos Estados Unidos e entre pessoas que se engajam na onda sazonal de empregos. **Nomadismo** é um termo reservado para o deslocamento envolvendo grupos sociais inteiros, devido à necessidade de recursos naturais. **Transumância** é outra forma de migração, encontrada em alguns grupos de pastores, na qual apenas uma parte do grupo social move-se para seguir as manadas, enquanto os outros membros do grupo permanecem em acampamentos permanentes.

Mudança Sazonal nos Recursos Naturais Entre Populações Humanas. Muitos grupos humanos que são não-migratórios precisam ainda fazer ajustes em relação às mudanças sazonais na disponibilidade de recursos naturais. As mudanças podem ter a ver com variabilidade temporal tanto na quantidade como no tipo de recursos. Para caçadores-coletores, isso envolve ajustar-se a mudanças sazonais nos recursos vegetais e animais para a dieta. Muitas dessas mudanças têm relação com os ciclos reprodutivos de plantas e animais, inclusive insetos. Para os agricultores, os ciclos sazonais giram em torno de estações de plantio e de colheita. Nos países em desenvolvimento, muitas pessoas nas áreas rurais têm de encarar a diminuição de alimentos nos meses imediatamente anteriores à colheita, o que provoca perda de peso corporal devido ao uso das reservas biológicas (Ferro-Luzzi e Branca, 1993). As populações humanas têm muitas estratégias para lidar com a sazonalidade dietária, incluindo a estocagem dos alimentos, relações de comércio com outros grupos (Messer, 1989) e um calendário de plantio que supra o cambiante tempo do início das colheitas (Huss-Ashmore, 1993). A sazonalidade dos recursos alimentares também provoca mudanças sazonais em outras atividades econômicas (Harrison, 1988), levando a diferentes padrões de atividade física. As mudanças sazonais de atividade podem provocar alterações na necessidade de alimentos no decorrer de um ano.

CONCLUSÃO

Os humanos precisam equilibrar entre si a efetividade, a eficiência e o risco na obtenção de recursos naturais, mas têm também de equilibrar considerações de curto e de longo prazo. As grandes populações e a tecnologia complexa dos povos modernos levaram a um enorme aumento no uso dos recursos naturais, com a taxa de uso frequentemente excedendo a taxa de renovação dos recursos no meio ambiente. Por toda a história e pré-história da humanidade, o desafio tem sido obter uma quantidade suficiente dos vários recursos essenciais. Podemos estar alterando o desafio ecológico para transformá-lo em prevenção do superconsumo.

De modo claro, estão na ordem do dia os apelos para estratégias de uso dos recursos naturais que maximizem os ganhos sustentados. Essa mudança da otimização de ganhos de curto prazo para ganhos de longo prazo precisa de alterações que vão para além da ecologia humana: vai requerer a criação de sistemas econômicos sustentáveis (Owen e Chiras, 1995). Mudar para sistemas sustentáveis implica alterações políticas e socioculturais (Bennett, 1976), assim como uma mudança de valores referente ao relacionamento entre humanos e a natureza (Owen e Chiras, 1995), ao menos para a maioria das pessoas. A questão é se os humanos podem fazer essas mudanças antes que a degradação a longo prazo de extensas áreas da biosfera aconteça.

Apesar de serem desencorajadoras as observações de que até mesmo grupos de caçadores-coletores tendem a optar por ganhos de curto prazo, as pesquisas de opinião pública nos anos 90 mostraram que a maioria das pessoas apoia os esforços ambientalistas em geral. As provas do sucesso de programas ambientalistas nos países desenvolvidos começam a se acumular, com ar e água mais puros, assim como taxas rebaixadas de aumento no uso per capita de alguns recursos naturais entre os anos 60 e 90 (Easterbrook, 1995). Assim, o uso humano contemporâneo dos recursos naturais se nos apresenta com uma combinação de otimismo e preocupação. Os humanos modernos estão começando a mudar para uma visão de longo prazo do uso dos recursos naturais, mas devemos imaginar se a mudança pode ocorrer suficientemente rápido para contrabalançar a rapidez de nosso crescimento populacional e a crescente capacidade tecnológica para explorar o meio ambiente em detrimento de nós mesmos.

PARTE 12 – BIOMAS E POPULAÇÕES HUMANAS

INTRODUÇÃO

Há duas maneiras comuns pelas quais os ecólogos humanos classificam as populações humanas. O primeiro método, baseado na ecologia cultural. Os inuit e os mbuti são, ambos, exemplos de forrageadores, porém, é muito complicado argumentar quanto às similaridades entre suas adaptações ecológicas.

Os **biomas** são os grandes ecossistemas terrestres do mundo que ocorrem nas principais áreas regionais ou subcontinentais. Desertos, florestas pluviais e savanas são exemplos de biomas, bem como o são florestas tropicais e decíduas. Ao classificarmos as populações humanas a partir de seus biomas, a ideia é de que grupos humanos em um dado bioma necessitam lidar com as mesmas espécies de problemas ecológicos.

CARACTERÍSTICAS E ORGANIZAÇÃO DE BIOMAS

Embora alguns ecólogos reconheçam dez ou mais biomas, iremos nos concentrar em seis: a tundra, a floresta boreal ou de coníferas, a floresta decídua, os cerrados e savanas, o deserto e a floresta pluvial tropical. Esta sequência segue, mais ou menos, uma direção ao sul, desde o pólo norte até o equador.

Em montanhas altas, tais como as Rochosas americanas, os Andes e o Himalaia, as linhas de divisão entre os biomas são de altitude e não de latitude. Os biomas encontrados em uma dada altitude também variam em relação às suas latitudes.

O Papel do Clima e do Solo na Distribuição dos Biomas

O clima, ou seja, a interação da temperatura e das chuvas que prevalecem por períodos longos de tempo, tem o papel mais significativo sobre a determinação da localização dos biomas. Como você bem sabe, a temperatura está associada diretamente à latitude, sendo o norte mais frio e o sul, mais quente, no hemisfério norte, com o reverso ocorrendo no hemisfério sul. Grandes padrões de ventos, os quais estão associados às latitudes, são os responsáveis, em larga escala, pela distribuição das precipitações. O tipo de solo também tem um papel principal, mas menos crítico, sobre a distribuição dos biomas, primariamente graças à interação com as plantas na ciclagem dos nutrientes.

OS PRINCIPAIS BIOMAS DO MUNDO

Tundra

A Ecologia da Tundra Ártica. A **tundra**, que significa “planície pantanosa”, fica, em sua maior parte, ao norte da latitude 60 N e constitui cerca de 20 % da América do Norte, incluindo ao redor de 2,5 milhões de Km² da Groenlândia e 0,3 milhões de Km² do Alasca (Bliss, 1988). Ela parece a cobertura de um sorvete sobre o norte da Europa e da Ásia. Embora haja diferenças consideráveis de clima, cobertura de gelo, solos, tamanho da flora e composição das comunidades vegetais, a tundra ártica pode ser caracterizada pela ausência de árvores, pela predominância de plantas anãs (de 5-20 cm de altura) e pela camada superior do solo, muito poroso e distinto, como resultado dos congelamentos e drenagens desta terra pobre.

O Bioma da Floresta Boreal

Ecologia do Bioma da Floresta Boreal. O bioma da **floresta boreal**, ou de coníferas, também é conhecido como **taiga** e como “as grandes florestas do norte”. Ela se localiza amplamente entre as latitudes 45°N e 57°N, mas se estende para o sul em uma porção mais alta da do leste dos Estados Unidos e em outros locais. Ela ocupa uma porção substancial do norte da Europa e cerca de 80% do que antes era conhecido como a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas na Ásia.

O clima vai de frio a gelado, como invernos longos e verões curtos, sendo que a média de temperatura mensal varia de -10°C, no inverno, até 15°C, no verão. As precipitações são maiores que aquelas observadas na tundra e ocorrem, principalmente, no verão; a média anual é de cerca de 60 cm.

O Bioma das Florestas Temperadas Decíduas

Ecologia do Bioma das Florestas Temperadas Decíduas. O bioma de **florestas decíduas** é o mais afetado pela habitação humana, primariamente porque, dentro de seus limites, ele confinou a maior parte das populações por milênios, como consequência do clima mais favorável. Este bioma ocupa a

maior parte da metade leste dos Estados Unidos e da Ásia e praticamente toda a Europa.

Embora o clima do bioma das florestas decíduas varie consideravelmente de norte a sul e de leste a oeste, ele é geralmente moderado, com verões frios e quentes, com um período definido de inverno, caracterizado pela neve e pelo congelamento no norte, e pelo frio e pela chuva nas porções mais ao sul. A média anual de chuvas é de 80 cm a 150 cm. As temperaturas mais quentes do verão resultam em uma decomposição mais rápida, assim, menos “serrapilheira” é acumulada no chão da floresta e o solo é mais rico em nutrientes do que nos biomas de floresta boreal e ártico.

O Bioma do Deserto

Ecologia do Bioma do Deserto. O **deserto** é tipicamente caracterizado por terras permeadas de arbustos nos quais as plantas encontram-se dispersas com muito solo nu entre elas. O “creosote bush”, a planta dominante dos desertos do sudoeste dos Estados Unidos, pode se apresentar em intervalos de espaço de 5 a 10 metros. Os desertos ocupam cerca de um quinto da superfície da Terra e são encontrados em todos os continentes. Para comparações de tamanho, o deserto do Saara tem aproximadamente o tamanho dos Estados Unidos, e o grande deserto de Gobi, na Ásia, é ainda maior.

A aridez, em vez da temperatura, descreve melhor o clima dos desertos. A precipitação é baixa e errática, geralmente menor que 25 cm por ano, sendo que a maior parte ocorre nos meses de inverno. Em níveis mais extremos, o Saara recebe menos de 15 cm de chuva ao ano; sua porção central e o deserto ao norte do Chile recebem menos que isso. A partir de uma perspectiva da temperatura, há desertos frios e quentes: os quentes incluem o Saara, o Negev e o deserto arábico do Oriente Médio, o deserto da Austrália e os de Mojave e Sonora, na América do Norte. O deserto da Grande Bacia norte-americana e as porções ao norte do deserto de Gobi são exemplos de desertos frios. Em ambos os tipos de desertos, as temperaturas do ar e do solo demonstram diferenças dramáticas entre a noite e o dia. A temperatura do ar em um deserto quente pode chegar a 15°C à noite e a 40°C ao meio-dia, enquanto a temperatura da superfície, no mesmo período, pode variar de 0°C a 65°C.

O Bioma das Florestas Tropicais

A Ecologia do Bioma de Floresta Tropical. As florestas tropicais pluviais ocorrem a 10° ou mais ao norte ou ao sul do equador nas Américas Central e do Sul, na África central e oriental, no sudeste asiático, no leste indiano e no nordeste australiano, além de ilhas oceânicas, geralmente dentro destas mesmas latitudes. Cerca de 40% da massa tropical e subtropical da Terra é dominada por florestas abertas e fechadas: destas, 42% são florestas secas, 33% são florestas úmidas e somente 25% são de florestas tropicais pluviais (Murphy e Lugo, 1986).

As florestas tropicais pluviais estão entre os ecossistemas mais antigos. Evidências fósseis na Malásia e em muitos outros locais sugerem que elas têm existido continuamente por mais de 60 milhões de anos (Richards, 1973). Elas possuem uma considerável significância ecológica devido à sua influência sobre o clima, ao balanço de carbono e de poluentes atmosféricos e aos seus diversos conjuntos de espécies, que representam grande potencial como novas fontes de alimentos, de fibras e de produtos medicinais e industriais (Jordan, 1985).

CONCLUSÃO

O uso de biomas como ferramenta de classificação pela ecologia de comunidades se provou útil. Há generalizações dentro dos biomas com relação ao clima e às estruturas fundamentais das comunidades. Os biomas também são úteis para a classificação de desafios ecológicos impostos às populações humanas. Entretanto, devemos ser cuidadosos para não transformar a ferramenta em algo heurístico (ou, em português claro, não devemos assumir que uma ferramenta classificatória, criada para simplificar um mundo complexo, de alguma forma se tornou uma representação do mundo real). Apesar de acreditarmos que o “demônio vive nos detalhes” e, portanto, de usarmos exemplos específicos, também temos a crença de que o conhecimento requer generalizações.

PARTE 13 – ENERGÉTICA ECOLÓGICA

INTRODUÇÃO

O fluxo energético unidirecional em ecossistemas é um dos princípios ecológicos mais fundamentais. A energia proveniente do sol é captada pela

clorofila (e alguns outros pigmentos) de algas verdes e de plantas em um processo conhecido por fotossíntese. Estes receptores de energia são coletivamente conhecidos como produtores. Parte da energia por eles capturada é usada em seu próprio metabolismo, desenvolvimento e reprodução, e parte é repassada aos consumidores, diretamente para os herbívoros e, indiretamente, destes para os carnívoros. Os consumidores também se utilizam de parte desta energia em seu metabolismo, desenvolvimento e reprodução/ uma porção de sua energia, junto com parte da energia dos produtores, é passada aos decompositores (bactérias e fungos). Este fluxo unidirecional de energia reflete-se na cadeia alimentar. Associados ao fluxo energético, os nutrientes se movem nos ecossistemas, porém, de maneira cíclica. Nutrientes como o carbono e o nitrogênio são caracterizados por seus ciclos gasosos, enquanto outros, como o fósforo e o enxofre, possuem gases sedimentárias de curta ou longa duração.

RADIAÇÃO SOLAR

A **radiação solar** produz diretamente o aquecimento da Terra, bem como o ponto de partida do fluxo energético em ecossistemas através do processo de fotossíntese. Sua qualidade (por exemplo, o comprimento de onda ou sua cor), intensidade e duração são fatores críticos para a atividade biológica.

Energia Solar

O sol é, essencialmente, um reator termonuclear que converte o hidrogênio em hélio, um processo que libera uma quantidade tremenda de energia radiante na forma de ondas eletromagnéticas. Estas emissões variam desde as de alta frequência, como os raios gama e X (ambos de ondas curtas), até as de baixa frequência, como as ondas do rádio (longas). Embora a energia se espalhe por este espectro amplo, 99% dela se encontra entre os raios ultravioleta e infravermelho (comprimentos de onda de 0,136 até 4,0 micra); somente cerca da metade desse valor é visível a nós (0,38 a 0,77 micra), a porção mais crítica para a maioria dos seres vivos.

Do total energético liberado pelo sol, somente 0,2 milionésimos dessa quantia atingem a atmosfera da Terra, o resto é dissipado no espaço. E a porção de

energia que chega na atmosfera do planeta atinge sua superfície de maneira diferenciada devido a diversos fatores. Primeiro, a rotação da Terra resulta em variações diárias que chamamos de dia e noite; segundo, devido à inclinação da Terra no plano de seu eixo do equador com relação a seu plano orbital., o fluxo de energia varia sazonalmente com a latitude; e, terceiro, mais da metade da energia solar é perdida conforme passa pela atmosfera, principalmente devido à reflexão causada pelas nuvens e pela poeira e à absorção por gases tais como o ozônio, o oxigênio e o vapor d'água, ou através da dispersão difusa.

Mudanças de Intensidade e de Qualidade

Intensidade. A temperatura está diretamente relacionada ao grau, ou intensidade, da radiação solar. Quanto maior o grau de radiação, maior a temperatura; assim, mudanças da intensidade da luz do sol afetam diretamente tanto a temperatura quanto a atividade biológica.

Qualidade. As mudanças mais dramáticas da qualidade da luz solar ocorrem quando a luz penetra na água, tendo, nesse momento, sua intensidade reduzida pela absorção e pela difusão.

Mudanças Diárias. Já que uma grande quantidade de calor é necessária para aquecer a água (a quantidade de calor requerida para elevar a temperatura de uma dada substância em uma quantidade determinada é tecnicamente conhecida como calor específico), as mudanças de temperatura diárias são mínimas em ambientes aquáticos, tipicamente na ordem de 1°C a 2°C. Em contraste, as mudanças de temperatura do dia para a noite na terra podem ser bem consideráveis. A variação na superfície do solo vai de 18°C às 3 h e 30 min. até 65°C às 13h e 30 min., uma mudança de 47°C. E, embora a temperatura do ar a 120 cm de altura varie de cerca de 15°C a 38°C ao longo do dia, a temperatura a 40 cm sob o solo se mantém constante em cerca de 30°C.

ENERGIA SOLAR E PRODUTORES

Medindo a Captura de Energia Solar

Nos estudos de fluxo energético, o ecólogo está interessado tanto na taxa quanto na quantidade de fotossíntese que ocorre em um dado período de tempo em um ecossistema. A massa total de matéria orgânica que é produzida em tais condições recebe o nome de **produção** e sua taxa, **produtividade**. (Obviamente, estes termos têm seus paralelos na economia). A produção e a produtividade dos produtores são conhecidas como **produção primária** e **produtividade primária**, respectivamente; os consumidores recebem o prefixo *secundário* ou *terciário*, *herbívoro* ou *carnívoro*.

Produtividade Bruta e Líquida

A diferença entre a produtividade bruta e a líquida é, como já foi notado, uma reflexão da quantidade da energia expendida na automanutenção, no crescimento, na transpiração (a evaporação da água) e na reprodução.

Fatores que Influenciam a Produção e a Produtividade

Como você poderia esperar, muitos fatores influenciam as taxas e as quantidades de fotossíntese em qualquer ecossistema. Em adição à disponibilidade dos componentes químicos básicos da fotossíntese, mudanças de fatores físicos e biológicos exercem influência, assim como as modificações diárias e sazonais, sobre a luz, a temperatura e a umidade.

FLUXO ENERGÉTICO ATRAVÉS DE CONSUMIDORES E DECOMPOSITORES

Ecossistemas de Detritos

Os **ecossistemas autotróficos**, tais como o lago do pântano Cedar, dependem diretamente do influxo da radiação solar. Eles são caracterizados por uma dependência da captura de energia pelos autótrofos fotossintetizantes e, secundariamente, pelo movimento da energia capturada através do sistema realizado pelos herbívoros e pelos carnívoros. Um grande número de ecossistemas funciona desta forma e numerosos herbívoros, carnívoros e onívoros, incluindo os humanos, são, mais ou menos, completamente dependentes de tais ecossistemas autotróficos.

Decomposição. A decomposição de matéria orgânica ocorre em uma variedade de formas, dentre elas a lixiviação (por exemplo, com a água percorrendo o material orgânico e dissolvendo seu conteúdo mineral) e a

fragmentação (a pulverização do material em partículas pequenas). Entretanto, ela ocorre primariamente através da atividade de organismos que podem, por sua vez, facilitar tanto a lixiviação quanto a fragmentação. Os agentes primários dos últimos estágios da decomposição são os micróbios (principalmente bactérias, em animais, fungos, plantas) através dos processos de seu próprio metabolismo. Para atingir suas necessidades metabólicas, os decompositores liberam enzimas digestivas em seu ambiente imediato; estas enzimas quebram alimentos complexos em compostos simples que podem ser prontamente absorvidos pelo fungo ou pela bactéria.

CADEIAS E REDES ALIMENTARES

Implícito nos diagramas e nas discussões sobre o fluxo energético, seja ele através de herbívoros/carnívoros ou através da decomposição de detritos, há uma conexão entre os organismos cuja existência depende de outros, no nível trófico próximo mais baixo. Tais ligações são geralmente nomeadas de *cadeias alimentares*.

O Tamanho das Cadeias e das Redes Alimentares

Também implícito no fluxo energético através de um ecossistema é que o número de níveis tróficos é limitado devido à diminuição da disponibilidade de energia resultante das ineficiências quanto à transferência de energia de um nível trófico para o outro. Se este é o caso, então, uma hipótese intuitiva que abrange o tamanho da cadeia alimentar é a de que as cadeias são maiores em ecossistemas com maior produtividade primária. Esta hipótese é conhecida como a “hipótese energética” (Hutchinson, 1959). Baseado em uma revisão dos estudos sobre os ecossistemas pobres e os altamente produtivos, entretanto, Pimm (1982) concluiu que não há evidências suficientes que sustentem a hipótese da energética.

Eles concluíram, entretanto, que as dimensões espaciais de um ecossistema estão relacionadas ao tamanho das cadeias alimentares, sendo que ambientes tridimensionais possuem cadeias maiores do que os bidimensionais. Os ambientes bidimensionais foram considerados essencialmente achatados, como a tundra, os campos, o mar, o fundo de um lago ou um ambiente intermarés; ambientes tridimensionais foram considerados sólidos, como o dossel de uma floresta ou uma coluna de água em oceano aberto.

PARTE 14 – A ADAPTAÇÃO HUMANA E O FLUXO ENERGÉTICO

Para sobreviver, as populações humanas precisam “invadir” os sistemas naturais de fluxo energético nos ecossistemas onde residem. A energia é um dos componentes principais da dieta, mas suas necessidades energéticas vão muito além das preocupações da dieta. Na verdade, a maioria das atividades humanas estão relacionadas, de alguma maneira, com a energia (Harrison, 1982). Muitos antropólogos, liderados por Leslie White (1959, 1969), sugeriram que a capacidade crescente de aquisição e de utilização de energia de nossa espécie tem sido um dos principais fatores da mudança de grupos caçadores-coletores para as sociedades modernizadas.

Estudos sobre o fluxo energético em grupos humanos examinam como a população se apropria da energia de que necessita – incluindo a comida ou o combustível – a partir do ambiente. Nesse aspecto, os humanos são muito parecidos com os demais organismos vivos, exceto pelo componente combustível. As medidas de energia em populações humanas têm três tipos (Thomas, 1974): produção, perda e consumo. A produção **energética** mede quanta energia pode ser obtida por um grupo e é equivalente à produção secundária medida para outros consumidores nas cadeias alimentares. A **perda energética** mede quanta energia o grupo usa, ou gasta, em suas diversas atividades. Ela é, geralmente, quantificada através da medida do consumo de oxigênio, o qual está relacionado com a perda energética, porque o gasto energético humano é baseado no metabolismo aeróbico. O **consumo energético** refere-se à quantidade de energia que um grupo usa, seja ela através da aquisição através da dieta ou do consumo de combustíveis. Ele é baseado, em parte, nos estudos sobre aquisições nutricionais, bem como nas medidas de consumo de combustíveis.

MEDINDO A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM POPULAÇÕES HUMANAS

Já que a energética humana é uma moeda corrente de recursos em uso, os ecólogos humanos devotaram muito tempo às medições de como os humanos obtêm e usam energia. Eles utilizam diversas técnicas para medir sua produção e seu consumo.

A Medida da Produção Energética Humana

A produção energética é geralmente medida para um grupo, em oposição a medidas individuais, já que a maioria das pessoas coopera para obter os recursos energéticos. Um grupo pode ser chamado de uma unidade doméstica, um grupo de procura ou de outra forma de unidade social. A produção de energia per capita pode ser obtida através da média de produção do grupo, mas a participação de um indivíduo em muitos grupos e exemplos de desigualdade na divisão tornam esses cálculos mais difíceis.

Ecólogos humanos devem considerar a variabilidade sazonal da produção energética em suas medições. Observações sobre uma população em um período não podem ser extrapoladas para o ano todo. Assim, estudos sobre a energética humana, convencionalmente, duram um ano inteiro de atividade.

A Medida do Consumo Energético Humano

A medição do consumo energético em indivíduos da população geralmente se refere ao valor calórico da dieta para todos os seus membros em um dado período de tempo e, portanto, às quantidades de alimento consumidas. Para obter valores precisos, todos os alimentos ingeridos por um indivíduo em um dado período de tempo devem ser pesados separadamente antes do consumo. Então, o valor calórico de cada item alimentar é derivado de uma tabela de nutrientes.

Outro método para a determinação do consumo energético é, simplesmente, pesar as pessoas em dois momentos distintos. Uma diferença de peso significa uma diferença entre o consumo energético e o gasto energético durante o período de tempo entre as medições; assim, uma das medidas pode ser calculada se a outra for conhecida (Himes, 1991). Este método não é muito preciso, mas é útil na identificação de balanços energéticos, positivos ou negativos, em populações humanas.

Eficiência Energética

Para as populações humanas, a eficiência energética é geralmente calculada como a energia produzida dividida pela energia gasta em um dado período de tempo ou em uma determinada atividade. A eficiência é uma medida do ganho energético em rede em uma dada atividade; ou seja, ela mede quanta energia um ser precisa gastar a fim de adquirir algum recurso que contenha energia.

CONCLUSAO: A UTILIDADE DOS ESTUDOS SOBRE O FLUXO ENERGÉTICO PARA A ECOLOGIA HUMANA

Os estudos sobre fluxo energético vão além das contribuições ao conhecimento sobre o uso de recursos, eles podem fornecer informações necessárias para entender a fertilidade, os padrões de crescimento físico, a variabilidade do tamanho corpóreo adulto, a capacidade de trabalho dos indivíduos e os padrões de morbidez e de mortalidade de pessoas de diversas populações (Baker, 1974). Mais amplamente, a energia é fundamental para a estrutura e para a troca de informações (Odum, 1971; Adams 1974). Assim, os estudos sobre o fluxo energético podem ser extrapolados em considerações sobre o “fluxo de informações”, o que permite o conhecimento de processos culturais que ocorrem dentro de populações (Odum, 1971). Os estudos sobre fluxo energético humano vão além da simples descrição dos caminhos da energia – eles são ferramentas para o entendimento da dinâmica adaptativa das populações humanas.

PARTE 15 – CICLAGEM DE NUTRIENTES EM ECOSISTEMAS

INTRODUÇÃO

A importância dos nutrientes e de sua ciclagem através dos ecossistemas tem sido discutida inúmeras vezes. Agora, é apropriado reconhecer, mais detalhadamente, os padrões cíclicos desses nutrientes, buscar os prováveis padrões existentes entre eles e, subsequentemente, considerar os efeitos resultantes das interações inadvertidas e propositais dos humanos com eles. Mas, inicialmente, uma breve introdução sobre a natureza e a importância dos nutrientes será apropriada na construção do cenário necessário para o conhecimento da importância dos processos cíclicos.

NUTRIENTES

Embora os carboidratos possam ser fotossintetizados a partir do hidrogênio, do carbono e do oxigênio existentes na água e no dióxido de carbono, os compostos orgânicos mais complexos necessitam de elementos adicionais tanto em quantias consideráveis, como no caso do nitrogênio e do fósforo, quanto em quantidades mínimas, como no caso do zinco e do molibdênio. Além disso, a fotossíntese e outras reações metabólicas, tanto em plantas

quanto em animais, ocorrem na presença de enzimas que, em si mesmas, contêm uma variedade de elementos traço.

Aqueles elementos que são necessários em quantidades relativamente grandes são conhecidos como **macronutrientes**.

Macronutrientes

Os macronutrientes podem ser classificados em dois grupos: (1) aqueles que constituem mais de 1% do peso orgânico seco – carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e fósforo; e (2) aqueles que constituem de 0,2 a 1% do peso orgânico seco – enxofre, cloro, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro e cobre. Em humanos, há apenas 4 macronutrientes: o hidrogênio – 63%; o oxigênio – 25,5%; o carbono – 9,5%; e o nitrogênio – 1,4% (Frieden, 1972).

Micronutrientes

Os micronutrientes conhecidos incluem o alumínio, o arsênio, o boro, o brometo, o cromo, o cobalto, o flúor, o gálio, o iodo, o manganês, o molibdênio, o níquel, o selênio, o silicone, o estrôncio, o estanho, o titânio, o vanádio e o zinco. Na verdade, alguns destes micronutrientes podem ser considerados macronutrientes em algumas espécies, ao passo que alguns macronutrientes, o sódio e o cloro nas plantas, por exemplo, podem ser micronutrientes para outras espécies.

Interação de Nutrientes

A presença ou a ausência de um nutriente essencial pode afetar adversamente a disponibilidade ou a atividade de outro nutriente.

O Efeito Estufa. O dióxido de carbono tem um papel crítico sobre o controle do clima da Terra porque, como um aerossol, ele absorve, reflete e espalha a radiação que chega do sol; entretanto, ele absorve e torna a emitir a radiação de volta para o espaço. Este último fenômeno resulta no que é conhecido popularmente como **Efeito Estufa**, uma analogia ao que ocorre em uma estufa de plantas.

Entretanto, esta analogia não é perfeita. Os vidros de uma estufa e os gases, como o dióxido de carbono no efeito estufa, permitem a passagem da luz do sol até a superfície e mantêm o calor do lado de dentro. A diferença é que, em uma estufa, todo o calor fica preso; em contraste, os gases do efeito estufa

prendem apenas a radiação infravermelha. Em ambos os casos, as temperaturas da estufa e da Terra aumentam.

Poluição: uma Definição

“Tornar ou deixar algo sujo; tornar impuro; desrespeitar; profanar”- este é o significado do verbo poluir de acordo com o dicionário *Webster New Collegiate*.

A poluição ambiental é a alteração desfavorável de nossos arredores, principalmente como um subproduto das ações do homem, através de efeitos diretos ou indiretos de modificações dos padrões energéticos, dos níveis de radiação, das constituições físicas e químicas e das abundâncias dos organismos. Estas mudanças podem afetar o homem diretamente, ou afetar suas reservas de água e de produtos agrícolas ou de outra natureza, seus objetos pessoais e suas possessões ou suas oportunidades de recreação e de apreciação da natureza.

PARTE 16 – POPULAÇÕES HUMANAS E OS CICLOS DE NUTRIENTES

INTRODUÇÃO

Os humanos, como outros organismos, utilizam materiais dos ciclos naturais de nutrientes e, dessa forma, tornam-se, eles mesmos, parte desses ciclos. As pessoas necessitam praticamente dos mesmos nutrientes requeridos pela maioria dos organismos, embora, em alguns casos, as proporções sejam diferentes. Para a maioria dos animais, boa parte dos nutrientes é obtida a partir dos alimentos, embora sejam usadas algumas fontes alternativas, tais como a água oriunda de fontes na superfície e o sal a partir do mar. No caso dos humanos, os nutrientes são, geralmente, encontrados em fontes não consideradas como alimentos (pelo menos, não tradicionalmente), desde os laboratórios químicos das grandes corporações fabricantes de alimentos “processados” até os campos de petróleo que fornecem os fertilizantes necessários ao cultivo.

Há diversos nutrientes que devem ser considerados quando lidamos com a ecologia humana. As necessidades humanas de energia podem ser supridas, através de nossos alimentos, pelos carboidratos e pelas gorduras, moléculas compostas de três elementos diferentes: o carbono, o hidrogênio e o oxigênio. Na verdade, necessitam de fontes de água, mesmo sendo ela composta por

hidrogênio e oxigênio, dois elementos constantemente encontrados nas fontes alimentares.

POPULAÇÕES HUMANAS E O CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico envolve considerações globais sobre a precipitação, a evaporação e a drenagem da água da superfície da terra até o oceano; e a adição de água, a longo prazo, à biosfera a partir de fontes geológicas profundas através de erupções vulcânicas, bem como fontes extraterrestres, os cometas. Os oceanos de hoje são, em larga escala, o resultado destas últimas duas fontes agindo ao longo de bilhões de anos e, assim, a vida na Terra depende dos “cuspes” dos vulcões e do “suco” dos cometas.

Os humanos influenciam o ciclo hidrológico global, principalmente através de seus efeitos sobre os padrões de drenagem. O fluxo de água em direção aos oceanos foi acelerado nos locais onde as pessoas construíram cidades de concreto e estradas sobre grandes áreas de terra. Isso efetivamente reduziu a volta de água para a superfície, o que diminuiu a quantidade dela disponível para o uso. As pessoas também têm usado bombas para trazer a água do subsolo à superfície. Embora isso tenha aumentado a disponibilidade de água nos ecossistemas de superfície, em alguns casos levou ao desgaste total de diversos reservatórios subterrâneos.

A Economia da Escassez de Água

A Água como Moeda Corrente. Assim como o que ocorre com a energia, quando a água é escassa, ela é um fator principal da economia de uma população. Foi notado que a energia é geralmente utilizada como substituta ao dinheiro nas quantificações das atividades ecológicas humanas. Em regiões onde a água é escassa, ela pode ser utilizada da mesma maneira. Na verdade, como regra geral, qualquer recurso escasso e limitante em uma sociedade serve como a mais útil moeda na determinação de cálculos ecológicos. De forma similar à energia, a água pode ser convertida em outras unidades de interesse para a ecologia.

Para aos países áridos, a água pode ser tão desejada quanto abundante se quiserem pagar o seu preço. O preço pode ser através da compra e do transporte direto a partir de outras nações, ou através do deslocamento de icebergs das regiões polares. Infelizmente, o custo da água – em energia, em unidade monetária ou em qualquer outro tipo de valor que se queira usar – é, geralmente, muito alto.

Irrigação

A agricultura intensiva requer grandes quantidades de água por unidade de terra utilizada nas plantações. Estes requerimentos, inevitavelmente, levam o fazendeiro a fornecer água à sua plantação em quantidades maiores do que as fornecidas pela chuva. As práticas de irrigação resultantes variam extensivamente pelo mundo, tomando a forma de mudança de cursos de rios, ou o fornecimento de água para os campos a partir de poços artificiais.

A irrigação, muitas vezes, implica o manejo, em larga escala, de fontes hídricas, sendo a água transportada através de aquedutos, tubulações ou canais, por longas distâncias. Há diversos exemplos de projetos de grandes construções utilizadas para o transporte de água.

REQUERIMENTOS POR SAL E A ADAPTABILIDADE HUMANA

O sal é outro nutriente requerido pelas populações humanas, bem como por outros organismos. O sal é obtido diretamente a partir do sal seco, de salinas em água potável e a partir de fontes de alimento. Os problemas de excesso de salinidade podem constituir um grande desafio para os agricultores que se utilizam da irrigação.

Requerimentos por sal não influenciaram tanto a ecologia humana como outros nutrientes; porém, em regiões específicas, nas quais o composto é escasso, ele foi um importante fator econômico.

Densidade Populacional e Recursos Protéicos

Enquanto as proteínas e demais nutrientes necessários podem ser encontrados em uma dieta vegetariana razoavelmente balanceada, a disponibilidade de proteínas de origem animal e de alta qualidade tem sido associada à densidade populacional em muitas regiões do mundo.

RETORNANDO OS NUTRIENTES PARA AS PLANTAS: POPULAÇÕES HUMANAS E O USO DE FERTILIZANTES

A interação humana com os ciclos de nutrientes vai além da ingestão destes. A vasta maioria das populações humanas depende da agricultura como a maior fonte de alimento e, portanto, precisam capacitar suas plantas cultivadas a obter os nutrientes necessários a partir de seus ambientes. Na verdade, os ciclos de nutrientes naturais são, geralmente, interrompidos pelas atividades agrícolas, e os humanos, usualmente, aplicam nutrientes, na forma de fertilizantes, em suas plantações a fim de obter a produção adequada. Há uma grande diversidade tanto na maneira quanto no grau em que as populações humanas utilizam os fertilizantes em suas plantações.

A Irrigação como um Transportador de Nutrientes

A água de irrigação geralmente carrega consigo argila contendo nutrientes que podem ser assimilados pelas plantas cultivadas. Em alguns locais, este processo ocorre sem que haja muita intervenção humana. Muitas pessoas utilizaram ciclos de enchentes sazonais dos rios tanto para irrigar quanto para fertilizar seus campos.

A irrigação através de meios artificiais também carrega nutrientes para as plantações. Por exemplo, a água de irrigação do arroz carrega muitos nutrientes para estas plantas. Também cianofíceas, que crescem na água de irrigação aquecida, fixam o nitrogênio, adicionando, portanto, nutrientes à mesma (Geertz, 1963).

O Uso Humano de Fertilizantes Orgânicos

Fertilizantes orgânicos “naturais” – de origem animal e humana – têm sido utilizados por agricultores há milênios. Práticas compostas, utilizando tais fertilizantes orgânicos, foram muito importantes na sustentação de sistemas agrícolas intensivos em muitos lugares por todo o mundo.

CONCLUSÃO

Os humanos sempre foram parte dos ciclos naturais de nutrientes, mas eles adicionaram complexidade a esses ciclos. Além dos alimentos, os humanos utilizam materiais para suas vestimentas, abrigos, ferramentas e combustíveis.

Estes incluem materiais orgânicos e inorgânicos. Em tempos recentes, um novo tipo de material se tornou importante: o sintético (usualmente derivado de fontes de combustíveis fósseis). A maioria deste material é renovável, e o uso prudente permite sua reposição. Alguns materiais não são renováveis e, portanto, precisam ser reutilizados se os humanos desejarem continuar a usá-los no futuro (Brown, 1970). Dos materiais a serem reutilizados, alguns são parte dos ciclos naturais de nutrientes, enquanto outros são parte de sistemas de reciclagem unicamente humanos.

O uso humano de recursos não-renováveis aumentou dramaticamente desde a revolução industrial. A mineração de metais e de combustíveis fósseis se tornou mais cara conforme recursos mais facilmente obtidos se acabaram. Precisamos fazer escolhas muito sérias entre a reciclagem e a exploração de novos recursos. Claramente, a adaptação humana em longo prazo depende de nossa habilidade de realizar escolhas inteligentes quanto ao uso de nossos materiais.

PARTE 17 – MODELOS DE OTIMIZAÇÃO NA ECOLOGIA HUMANA

A SOCIOBIOLOGIA E OS MODELOS DE SUCESSO REPRODUTIVO

A **sociobiologia** (algumas vezes chamada de socioecologia) lida com a seleção natural de caracteres sociais comportamentais (Wilson, 1975). Ela se baseia na noção de que o comportamento é, em sua maioria, determinado geneticamente (ou, pelo menos, lida com componentes comportamentais sob forte influência genética), e que tais comportamentos estão sujeitos à seleção evolutiva (Trivers, 1985). Os efeitos dos comportamentos sociais são medidos em termos do sucesso reprodutivo relativo – os cálculos são realizados através da razão custo/benefício, tanto para o ator (o indivíduo que apresenta o comportamento) quanto para o recipiente (o indivíduo, da mesma espécie, para quem o comportamento é dirigido). Há quatro possibilidades: ambos ganham (definido como **comportamento cooperativo**); o ator ganha, mas há um custo para o recipiente (definido como **comportamento cooperativo**); o ator ganha, mas há um custo para o recipiente (definido como **comportamento egoísta**); o ator confere um benefício ao recipiente com algum custo (chamado de **comportamento altruísta**) e ambos sofrem um custo (definido como **comportamento malicioso**).

Muito do interesse da sociobiologia reside na noção de que os organismos não possuem interesse idênticos em suas interações. Se a seleção evolutiva determinou seu comportamento, cada um deles deve se comportar de uma

maneira que tenderá a maximizar seu sucesso reprodutivo; assim, passarão o material genético, relacionado a tais comportamentos, para seus filhos, que, por sua vez, irão se comportar de maneira similar. Dessa forma, pode-se conceber uma “corrida armamentista”, na qual os indivíduos irão interagir socialmente a fim de aumentar seu próprio sucesso reprodutivo, mesmo com o prejuízo de outros.

Comportamentos Sociais Estudos pela Sociobiologia

Cooperação. Em casos de comportamento cooperativo, a seleção evolutiva favorece ambos os indivíduos ou espécies. Entretanto, os sociobiólogos, algumas vezes, consideram vantagens relativas de caráter cooperativista a longo prazo, ou seja, eles reconhecem que um indivíduo pode ser relativamente mais beneficiado do que outro.

Comportamento Egoísta. No comportamento egoísta, o ator é beneficiado, enquanto há um custo para o recipiente. A seleção natural, operando sobre o ator, pode favorecer atos egoístas, mas se espera que sejam selecionados os recipientes que evitem estes custos. Pode-se conceber uma luta evolutiva entre a tendência a realizar atos egoístas e a tendência de evitá-los.

Altruísmos. No comportamento altruísta, o ator tem um custo, enquanto o recipiente ganha a partir da interação. Isso faz pouco sentido em termos evolutivos, a não ser que o conceito de desempenho inclusivo seja invocado. Na verdade, há três formas nas quais a seleção natural pode favorecer o altruísmo: parentesco (desempenho inclusivo), reciprocidade e parasitismo.

Comportamento Malicioso. No comportamento malicioso, tanto o ator quanto o recipiente sofrem. Pode parecer que a seleção natural agiria contra este tipo de comportamento. Mas ele ocorre algumas vezes e pode estar relacionado ao desempenho inclusivo. Ou seja, você pode ferir um competidor (sexual ou outro) mais do que você é ferido.

A Sociobiologia Aplicada ao Comportamento Humano

Uma das grandes questões acerca da sociobiologia envolve tentativas de aplicá-la aos humanos. Enquanto algumas preocupações têm suas raízes no

uso supersimplificado da sociobiologia, sugerindo que todos os comportamentos humanos são inatos (determinados biologicamente) e, portanto, imutáveis (por exemplo, Ardrey, 1961; Lorenz, 1963), há também considerações em trabalhos de cientistas notáveis, tais como E. O Wilson (Lumdsen e Wilson, 1981). Controvérsias e discordâncias ocorreram entre antropólogos, geneticistas e outros cientistas (por exemplo, Sahlins, 1976; Alexandre, 1977) . Uma das questões se refere aos aspectos genéticos versus os aspectos ambientais (aprendizado) dos comportamentos. A sociobiologia assume que os comportamentos são determinados (ao menos a maioria deles) pela genética e, portanto, são susceptíveis à seleção natural.

ESTRATÉGIAS DE FORRAGEIO ÓTIMO

Modelos de forrageio ótimo que foram aplicados às populações humanas incluem aqueles usados na explicação de escolhas de dieta, de seleção de locais para caça, de decisões acerca de quanto tempo gastar no forrageio em determinado local, a relação dos padrões humanos de assentamento com os padrões de distribuição das caças e explicações dos padrões de divisão de alimentos.

Modelos de Divisão de Alimentos

A divisão de alimentos com parentes próximos é facilmente explicada pelos princípios da sociobiologia; é quando a divisão ocorre além dos limites da família que a explicação se torna muito mais complicada. Uma explicação concentra-se no uso do comércio, através do qual um indivíduo negocia um recurso de pouco valor por outro mais valioso (Kaplan, e Hill, 1985). Aqui, o valor depende das percepções e das circunstâncias de um indivíduo.

PARTE 18 – A ECOLOGIA HUMANA E A ECOLOGIA DOS HUMANOS

Os Desafios Enfrentados pela Ciência da Ecologia Humana

Os problemas que confrontam os ecólogos humanos precisam ser multiplicados diversas vezes para que sejam entendidos os desafios aos quais eles são submetidos. Aqui, um entendimento de todas as incertezas acerca do comportamento humano deve ser adicionado às complexidades das interações

ambientais entre espécies, antes que seja possível uma compreensão completa da ecologia humana. Esta compreensão pode ser impossível de ser atingida.

O Ambientalismo e a Ecologia Humana. Da mesma forma que a confusão entre o ambientalismo e a ciência da ecologia humana é comum, o ambientalismo tem substituído ainda mais a ciência objetiva da ecologia humana.

A Degradação dos Ecossistemas

Os humanos, quando se adaptam a um ecossistema, tendem a otimizar para o imediato, em vez de pensar em longo prazo, no qual foi demonstrado que os modelos ecológicos para o comportamento humano parecem mais preciso quando os ganhos em curto prazo são focalizados. Isso implica que os comportamentos que maximizam a produtividade de recursos, com o efeito da degradação dos ecossistemas, serão adotados pelas populações humanas.

A Conversão de Florestas em Campos. Um dos exemplos mais claros da degradação antropogênica é a existência dos desertos “verdes” do sudoeste asiático. Estas áreas vastas apresentam gramíneas *imperata*, em locais onde antes cresciam florestas pluviais, resultado de mau gerenciamento de agricultura de coivara no passado.

Erosão. A erosão é outro sério efeito da degradação antropogênica dos ecossistemas. Um dos exemplos mais claros vem das ilhas do Pacífico, tais como o leste da Polinésia e o Havaí, onde a erosão não somente levou à perda de superfície nas terras altas, mas também à cobertura das terras baixas com solo depositado.

Ameaças à Biodiversidade

Um dos mais graves impactos das atividades humanas recentes tem se dado sobre a **biodiversidade**, o número de abundância de espécies, através de extinções globais em massa.

Extinções Antropogênicas no Passado. Acredita-se que as contribuições humanas às extinções tenham uma longa história. Por exemplo, especula-se que a extinção em massa ocorrida no final do Pleistoceno, a qual, diferentemente dos demais eventos, foi restrita aos animais terrestres, particularmente aos grandes mamíferos, deve-se, principalmente, às atividades de caça de grupos humanos.

Extinções Antropogênicas no Presente. Os tempos modernos trouxeram consigo uma habilidade aprimorada dos humanos em afetar o ambiente. As atuais extinções antropogênicas em massa são causadas por diversos fatores, incluindo as superplantações (como os exemplos de caça desenfreada ocorridos no passado), a destruição ou alteração do *habitat* físico, a substituição por espécies introduzidas, a poluição e a hibridização com outras espécies e subespécies devido às atividades humanas (Wilson, 1992).

VALORES PARA A NATUREZA

O Valor Econômico da Natureza

A natureza é, fundamentalmente, um sistema de suporte de vida para todos os organismos, um sistema que desprezamos até que haja um grande colapso, como um terremoto, um tornado ou uma enchente. Os produtos e processos naturais que ocorrem nos ecossistemas são os componentes deste sistema de suporte: eles são críticos para a sobrevivência e, portanto, possuem um valor econômico e em outros termos.

Os produtos naturais dos ecossistemas dos quais os humanos dependem incluem grãos, vegetais, alimentos marinhos, caça e outros animais, madeira para combustíveis, produtos farmacêuticos, dentre muitos outros. Como produtos, eles possuem valor econômico.

CONCLUSÃO

Ninguém pode deixar de se impressionar com o sucesso adaptativo de nossa espécie. Desde o início dos hominídeos no ambiente mosaico das florestas e savanas africanas, há quatro milhões de anos, os humanos habitaram praticamente todos os biomas de superfície da Terra. Fomos realmente frutíferos e nos multiplicamos. Os humanos crescentemente direcionaram os

recursos do planeta, mais e mais, para suas próprias necessidades, incluindo o uso de recursos para evitar, ou ao menos para proteger, a si mesmos, dos muitos estressores ambientais pelos quais eles uma vez foram afligidos.

A questão é: somos agora vítimas de nosso sucesso? Neste, e em outros capítulos, vimos que muitos ecólogos acreditam que estamos enfrentando problemas ambientais muito sérios causados por nossas atividades. O problema é que, em praticamente todos os casos, as limitações de nosso conhecimento sobre a ecologia, especificamente a humana, não nos permitem muita precisão em nossas constatações, quanto menos “consertar” os erros. Nossas constatações sobre a ciência da ecologia humana e a ecologia dos humanos, portanto, são conectadas. Melhorias na primeira são necessárias para que o mesmo ocorra com a segunda. Nossa maior esperança é a de que um dos leitores deste texto irá desenvolver um aumento de interesse no estudo da ecologia humana e melhorar nestes tempos perplexos.

Nós, humanos, somos mais bem vistos como uma espécie incrivelmente adaptável; parte desta adaptação deve ocorrer devido a mudanças causadas por nosso próprio comportamento. Vimos que nossa adaptação consiste de ganhos balanceados de efetividade e de eficiência com reduções de risco. Os riscos potenciais, delineados aqui, são tão grandes que não obrigam a tomar medidas para reduzi-los, mesmo não estando muito certos acerca de sua magnitude. Ainda está para ser visto se poderemos continuar nos adaptando às mudanças que causamos em nosso próprio “jogo” evolutivo.

QUESTIONÁRIO

1. Na organização de ecossistemas, defina e descreva os principais grupos de organismos.

Produtores são o primeiro passo de um movimento de energia através de um ecossistema. É este grupo de organismos, normalmente verdes e clorofilados, que capturam a energia radiante do sol, na verdade produtores não produzem energia: eles convertem ou a transmitem de uma forma, a radiante, a outra, química.

Um autótrofo (literalmente, “auto-alimentador”) é um organismo que captura energia e, subsequentemente, a utiliza para sintetizar moléculas que servem aos requerimentos nutricionais de seu próprio crescimento e

metabolismo. Em contraste, um heterótrofo (literalmente, “alimentado por outro”) é um organismo cujas necessidades nutricionais são atingidas através da ingestão de outros organismos: heterótrofos são também conhecidos como *consumidores*.

Consumidores são organismos que derivam sua nutrição dos produtores: ou seja, são heterótrofos.

As correlações autótrofo-heterótrofo, ou produtor-consumidor primário-consumidor secundário, resultam em um movimento sequencial de energia conhecido como a cadeia alimentar.

Decompositores, basicamente bactérias e fungos, são heterótrofos que derivam sua nutrição a partir de produtores (a maioria dos fungos) e consumidores (principalmente as bactérias). Em vez de ingerir seu alimento, como no caso dos outros heterótrofos, os decompositores liberam enzimas de seu corpo capazes de digerir os tecidos animais e vegetais, em seguida, esses produtos processados são absorvidos.

2. Quais são as causas da desertificação?

Dentre os povos criadores, o pastoreiro é a principal causa da desertificação, particularmente em situações nas quais as secas prolongadas. O desmatamento de florestas para obtenção de combustível, removendo a proteção natural contra ventos é a fonte de erosão do solo, é outro fator, o qual é extenuado pela necessidade das populações pelo produto. O cultivo e a irrigação, o pasto em excesso, o desmatamento, a mineração, a recreação e a urbanização são todos fatores envolvidos na desertificação.

3. O que causa a deficiência de Vitamina A?

A vitamina A é necessária para o funcionamento normal de certas células epiteliais do corpo. A deficiência pode causar a “cegueira noturna”, deixar a pele seca e escurecer a córnea. Se a deficiência é prolongada, a cegueira permanente pode ocorrer.

4. Defina poluição.

Uma definição preliminar de **poluição** é um recurso que está “fora de lugar” no ambiente, em grande ou pequena quantidade a partir da perspectiva de comunidades ecológicas específicas. Uma das principais conexões entre população e doença parece estar na exposição a grandes concentrações de certos produtos químicos elaborados em processos industriais e altas taxas de certas formas de câncer. Três das principais formas de poluição são: ar, água e lixo sólido.

5. Qual é o principal recurso natural essencial ao homem?

Comida é um recurso natural essencial para todas as populações humanas e tem merecido atenção especial por parte dos estudiosos da ecologia humana, em particular dos ecólogos culturais.

9. KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.

Prática de ensino de Biologia

Tendência do ensino de Biologia no Brasil

Introdução

No estágio atual do ensino brasileiro, a configuração do currículo escolar dos ensinos médio e fundamental deve ser objeto de intensos debates, para que a escola possa desempenhar adequadamente seu papel na formação de cidadãos. Como parte desse processo, a Biologia pode ser uma das disciplinas mais relevantes e merecedoras da atenção dos alunos, ou uma das disciplinas mais insignificantes e pouco atraentes, dependendo do que for ensinado e de como isso for feito.

Admite-se que a formação biológica contribua para que cada indivíduo seja capaz de compreender e aprofundar as explicações atualizadas de processo e de conceitos biológicos, a importância da ciência e da tecnologia na vida moderna, enfim, o interesse pelo mundo dos seres vivos. Esses conhecimentos devem contribuir, também, para que o cidadão seja capaz de usar o que aprendeu ao tomar decisões de interesse individual e coletivo, no contexto de um quadro ético de responsabilidade e respeito que leve em conta o papel do homem na biosfera.

O significado da ciência e da tecnologia na sociedade contemporânea merece a atenção especial do professor de Biologia, para que se evite tanto posturas de respeito temeroso alienante como uma atitude de desconfiança que atribui aos cientistas muitos dos atuais problemas da humanidade.

Um conceito, cada vez mais presente nas discussões dos educadores, é o da “alfabetização biológica”, referindo-se a um processo contínuo de construção de conhecimentos necessário a todos os indivíduos que convivem nas sociedades contemporâneas.

Um dos modelos desse conhecimento admite quatro níveis de alfabetização biológica:

1. **Nominal** – quando o estudante reconhece os termos, mas não sabe seu significado biológico.
2. **Funcional** – quando os termos memorizados são definidos corretamente, sem os estudantes compreenderem seu significado.
3. **Estrutura** - quando os estudantes são capazes de explicar adequadamente, em suas próprias palavras, e baseando-se em experiências pessoais, os conceitos biológicos.
4. **Multidimensional** – quando os estudantes aplicam o conhecimento e as habilidades adquiridas, relacionando-os a conhecimentos de outras áreas, para resolver problemas reais.

Espera-se que, ao concluir o ensino médio, o aluno esteja alfabetizado e, portanto, além de compreender os conceitos básicos da disciplina, seja

capaz de pensar independentemente, adquirir e avaliar informações, aplicando seus conhecimentos na vida diária.

Biologia no ensino fundamental

Nas primeiras quatro séries do ensino fundamental, cada classe tem um professor responsável por todas as áreas de conhecimento. Nas quatro últimas séries, Biologia faz parte da disciplina Ciências, que engloba também tópicos de Física e Química. A análise das propostas curriculares das várias unidades federadas indica que apenas um período de 12% a 15% do tempo de escolaridade é dedicado ao aprendizado de ciências, com uma média de três aulas por semana.

Embora cada unidade federada tenha liberdade para a elaboração do currículo, o padrão mais comum dos tópicos selecionados – no Brasília e durante as quatro primeiras séries – é o seguinte:

- Ser humano;
- Sistemas do corpo humano;
- Órgãos dos sentidos;
- Necessidades vitais;
- Alimentação – fontes de alimento;
- Seres vivos; classificação - animais e vegetais;
- Relação entre os seres vivos;
- Equilíbrio ecológico;
- Ser humano e ambiente;
- Modificações físicas e biológicas dos ser humano.

Da 5ª à 8ª série do ensino fundamental, os temas comumente ensinados são os seguintes:

- Plantas – solo e clima – agricultura;
- Distribuição de animais e plantas;
- Organismos e reações químicas;
- Nutrição, respiração, excreção;

- Sistema nervoso - hormônios – comportamentos;
- Produção de alimentos;
- Vida e energia – fotossíntese e cadeias alimentares – ecossistemas;
- Reprodução e estrutura celular

Em geral, não se nota preocupação com aspectos importantes, como as relações que dinamizam o conhecimento, os métodos e os valores das ciências biológicas. São apresentados e cobrados conhecimentos factuais, muitas vezes irrelevantes e desconexos em relação à outras áreas da disciplina ciências e às demais disciplinas do currículo.

Biologia no Ensino Médio

Valor educativo ou formativo, relacionado com o desenvolvimento do educando; valor cultural, consistindo na contribuição para os grupos sociais; valor prático, referindo-se à aplicação de conhecimentos e objetivos utilitários.

A estruturação do programa de história natural, então em vigor nas escolas brasileiras, refletia claramente a grande influência exercida pelo ensino europeu, tanto por meio de livros que aqui eram usados como pelos professores estrangeiros que vieram trabalhar nas escolas superiores brasileiras, notadamente na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. A tendência de ensino nesse período era de tratar os assuntos considerando os vários grupos de organismos separadamente e suas relações filogenéticas. As aulas práticas tinham como meta principal ilustrar as aulas teóricas.

Na década de 1960 a situação de modificou por ação de três grupos de fatores: o progresso da Biologia, a constatação internacional e nacional da importância do ensino de ciências como fator de desenvolvimento, e Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional de 20 de dezembro de 1961, que

descentralizou as decisões curriculares, até então de responsabilidade da administração federal.

A explosão do conhecimento biológico provocou uma transformação na tradicional divisão, botânica e zoologia, passando do estudo das diferenças para análise de fenômenos comuns a todos os seres vivos. Essa análise feita em todos os níveis de organização, da molécula à comunidade, teve como consequência incluir nos currículos escolares a um novo e amplo espectro de assuntos, indo da ecologia e genética de populações até a genética molecular e bioquímica.

Na década de 1970, o projeto nacional da ditadura militar que estava no poder era o de modernizar e desenvolver os países. O ensino de Ciências era considerado importante componente para a preparação de um corpo qualificado de trabalhadores, conforme foi estipulado na Lei de Diretrizes e Bases da Educação, promulgada em 1971. Esse período foi caracterizado por uma série de fatores contraditórios, pois, ao mesmo tempo em que o texto legal valorizava as disciplinas científicas, elas eram profundamente prejudicadas pelo atravancamento do currículo por disciplinas que pretendiam ligar o aluno ao mundo do trabalho (como zootecnia, agricultura, técnica de laboratório), sem que os estudantes tivessem base para aproveitá-las. A formação básica foi danificada sem que houvesse um correspondente benefício para a profissionalização (Krasilchik, 1987).

Nas salas de aula, a crise e a massificação do ensino provocavam um aviltamento das condições de trabalho do professor. A população escolar passou também por profundas mudanças: de uma composição majoritárias de crianças e jovens, predestinados a frequentar cursos universitários, ela passou a ser formada também por jovens trabalhadores, muitos deles alunos de cursos noturnos.

Nesse período, vários projetos nacionais de ensino, incluindo uma extensa variedade que ia desde livros para o mero repasse de informações até currículos oriundos de estreito relacionamento com a comunidade, foram preparados abrangendo uma ampla gama de concepções sobre o ensino de Biologia (Krasilchik).

Com relação ao início da década de 1990, os programas determinantes de Biologia do Ensino Médio da escola brasileira estão discriminados a abaixo:

1ª série:

- A origem da vida
- Características dos seres vivos
- Citologia – estrutura
- Metabolismo
- Teoria celular – histórico
- Histologia – animal e vegetal.

2ª série.

- Taxionomia
- Critérios de classificação
- Morfisiologia animal
- Morfisiologia vegetal
- Embriologia
- Reprodução e desenvolvimento humano
- Genética mendeliana
- Genética de populações
- Evolução – teorias, mecanismos.

3ª série.

- Ecologia
- Populações
- Relações ecológicas
- Regiões ecológicas
- O homem e o meio ambiente

Verifica-se assim a manutenção da tendência descritiva, já identificada em pesquisas anteriores. Isso é evidenciado quando se nota que o assunto “estrutura celular” predomina, aparecendo em 96%, e o estudo do metabolismo celular, em cerca de 70% das propostas curriculares.

A diversidade dos seres vivos aparece nas descrições Morfisiológicas dos vários grupos, sem que se estabeleçam relações entre eles. A análise diversificada e as tentativas de construir sistemas abrangentes, que são bases essenciais para a compreensão do procedimento científico, aparecem raramente.

A forma de apresentação dos grupos é muito variada. Em alguns casos, trata-se das funções, considerando-se os processos comuns a animais e vegetais. Em outros, é mantida a divisão tradicional entre botânica e zoologia, descrevendo-se mais ou menos detalhadamente cada grupo.

O conceito de Biologia como ciência só aparece em 50% dos programas. A relação entre ciência, tecnologia e sociedades aparece ainda menos, indicando a falta de análise das implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico, tão presente, por sua importância, nos currículos das disciplinas científicas.

No final dos anos 1990, o Ministério da Educação produziu e difundiu Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental, considerando que o “papel das Ciências Naturais é o colaborador para a compreensão do mundo e suas transformações, situando o homem como indivíduo participativo e parte integrante do Universo” (PCN, 2001, p. 15).

A divulgação desse documento evidencia um esforço reiterado de implantar um currículo nacional, embora haja ressalvas informando que não é um “modelo curricular homogêneo e impositivo”.

No âmbito de ciências em geral, e Biologia, em particular, pretende-se enfatizar, nos temas comumente incluídos (ambiente, ser humano e saúde), aspectos práticos e do cotidiano dos alunos. Alguns desse tópicos são retomados nos chamados temas transversais – que, segundo os PCN, “as

disciplinas convencionais não suprem totalmente no sentido de discutir questões sociais e valores para o pleno exercício da cidadania”.

Os temas transversais escolhidos foram: ética, pluralidade cultural, meio ambiente, saúde, orientação sexual, muitos dos quais são normalmente discutidos pelos professores de ciências.

No ensino médio, os PCN têm o “duplo papel de difundir os princípios da reforma curricular e orientar o professor na busca de novas abordagens e metodologias” (PCN, 1999, p 13).

Os tópicos de Biologia são incluídos em conjunto denominados “Área das Ciências da Natureza, matemática e suas tecnologias” e pretende-se desenvolver competências e habilidades resumidas na tabela seguinte:

Representação e comunicação:

- Descrever processos características do ambiente ou de seres vivos, observados em microscópios ou a olho nu.
- Perceber e utilizar os códigos intrínsecos da Biologia.
- Apresentar suposições e hipóteses acerca dos fenômenos biológicos em estudo.
- Apresentar de forma organizada, o conhecimento biológico aprendido, através de textos, desenhos, esquemas gráficos, tabelas, maquetes, etc.
- Conhecer diferentes formas de obter informações (observação, experimento, leitura de texto e imagem, entrevista), selecionando aquelas pertinentes aos temas de estudo.
- Expressar dúvidas, ideias e conclusões acerca dos fenômenos biológicos.

Investigação e compreensão

- Relacionar fenômenos, fatos, processo e ideias em Biologia, elaborando conceitos, identificando regularidades e diferenças, construindo generalizações.
- Utilizar critérios científicos para realizar classificações de animais, vegetais etc.
- Relacionar os diversos conteúdos conceituais de Biologia (lógica interna) na compreensão de fenômenos.
- Estabelecer relações entre parte e todo de um fenômeno ou processo biológico.
- Selecionar e utilizar metodologias científicas adequadas para a resolução de problemas, fazendo uso, quando for o caso, de tratamento estatístico na análise de dados coletados.
- Formular questões, diagnósticos e propor soluções para problemas apresentados, utilizando elementos da Biologia.
- Utilizar noções e conceitos da Biologia em novas situações de aprendizado.
- Relacionar o conhecimento das diversas disciplinas para o entendimento de fatos ou processos biológicos.

Contextualização sociocultural

- Reconhecer a Biologia como um fazer humano e, portanto, histórico, fruto da conjunção de fatores sociais, políticos, econômicos, culturais, religiosos e tecnológicos.
- Identificar a interferência de aspectos místicos e culturais nos conhecimentos de senso comum relacionado a aspectos biológicos.
- Reconhecer o ser humano como agente e paciente de transformações intencionais por ele produzidas no seu ambiente.
- Julgar ações de intervenção, identificando aquelas que visam à preservação e a implementação da saúde individual, coletiva e do ambiente.
- Identificar as relações entre o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico, considerando a preservação da vida, as condições de vida e as concepções de desenvolvimento sustentável.

Na década de 1990, documentos oficiais dividem o que se pretende dos alunos em duas categorias difíceis de serem definidas e diferenciadas: competências e habilidades. Embora não haja um sentido consensual para as expressões, considera-se que competências são, de forma geral, ações da inteligência, as quais usamos para estabelecer relações entre objetos, situações, fenômenos e pessoas. As habilidades são decorrentes das competências adquiridas, e confluem para o saber fazer. Essas habilidades se aperfeiçoam e se articulam por meio das ações desenvolvidas, possibilitando nova reorganização das competências.

O impacto dos PCN foi relevante no currículo teórico laborado por entidades oficiais e autores de livros, entre outros. O reflexo em sala de aula ainda está por se avaliar, embora dados preliminares indiquem os professores criticam tanto a tentativa da homogeneização, como o seu distanciamento das discussões da elaboração do material de um projeto amplo que envolva todas as ações da escola.

Vimos que a Biologia, como é apresentada nas escolas de ensino médio e fundamental, ainda hoje, reflete o momento histórico do grande desenvolvimento científico das décadas de 1950 e 1960, da esperança depositada na ciência para a solução dos problemas da humanidade e, paradoxalmente, dos problemas decorrentes do uso da ciência e da tecnologia. No entanto, a partir dos anos de 1970, eclodiram enormes problemas sociais demonstrando que, pelo menos em parte, essas esperanças eram infundadas e produziram mudanças de documentos legais, embora o ensino nas classes pouco tenha mudado.

Muitos educadores, diante desse novo quadro, admitem que a Biologia, além das funções que já desempenha no currículo escolar, deve passar a ter outra, preparando os jovens para enfrentar e resolver problemas, alguns dos quais com nítidos componentes biológicos, como o aumento da produtividade agrícola, a preservação do ambiente, a violência, etc. de acordo com essa concepção, os objetivos do ensino de Biologia são: aprender conceitos básicos, analisar o processo de investigação científica e

analisar as implicações sociais da ciência e da tecnologia para tanto, várias dimensões devem ser consideradas no tratamento dos vários tópicos:

- **Ambiental** – motivando o aluno a analisar o impacto da atividade humana no meio ambiente e a buscar soluções para os problemas decorrentes;
- **Filosófica, cultural e histórica** - levando o estudante a compreender o papel da ciência na evolução da humanidade e sua relação com religião, a economia, a tecnologia, entre outras.

As visões de mundo relacionadas ao papel da espécie humana no conjunto da biodiversidade e o conceito de evolução resultaram em modificações fundamentais na forma de pensar da humanidade e não podem ser desconhecidas dos alunos:

Médica – prevenção e cura de doenças e a compreensão de conceitos biológicos básicos estão estreitamente relacionados.

Recentes descobertas em medicina e em genética humana são excelentes possibilidades de vincular aspectos científicos à vida dos alunos.

- **Ética** – a presença crescente de problemas individuais e sociais e a sua divulgação pelos meios de comunicação de massa tornam essencial que os alunos possam justificar e defender posições em relação a tópicos como aborto, eutanásia, biodiversidade e relações internacionais, propriedade das descobertas, por exemplo.

Cap. 2 O Aprendizado de Biologia

Comportamentalismo

Nas décadas de 1950 a 1970, as teorias baseadas no condicionamento tiveram grande impacto na educação, principalmente por intermédio da

ideias do condicionamento operante. Essas ideias admitiam que as consequências agradáveis de um evento funcionassem como “reforçadoras” e as desagradáveis como “aversivas”. O comportamento humano seria modelado por procedimentos de controle, recompensa e punição, e revelado por conhecimentos, atitudes e habilidades observáveis e mensuráveis.

O professor planejava suas atividades de forma a obter o controle de aprendizado dos alunos, modificando, eliminando ou introduzindo comportamentos.

Na década em que as ideias comportamentalistas de aprendizagem tiveram preponderância, desenvolveu-se bastante a tecnologia educacional apoiada nas máquinas de ensino foi a ênfase na necessidade de estabelecer objetivos educacionais.

A tarefa de preparação de objetivos educacionais dos cursos, obrigatória durante a fase de planejamento em certas escolas, foi reduzida a um formalismo sem nenhum resultado efetivo, demonstrando que o próprio sistema desenvolveu um processo homeostático de ajustamento diante de uma exigência exagerada e sem significado.

Cognitivismo

Este termo engloba teorias que dão ênfase aos processos mentais dificilmente observáveis, enfatizando a possibilidade de o aluno adquirir e organizar informações. O conhecimento seria o produto da interação do homem como o seu mundo.

Como influências cognitivas preponderantes no ensino de ciências devem ser mencionados o psicólogo norte-americano Jerome Bruner (1963) e o biólogo que formou escola na Suíça, Jean Piaget, devido ao interesse de ambos para que os alunos lidassem com objetos e realizassem experiências para melhor aprender.

A influência de Bruner resultou do seu trabalho com os autores dos projetos circulares da década de 1960, defendendo as ideias de que o estudante é um solucionador de problemas e aprende pela descoberta. Foi um dos que valorizaram o desenvolvimento de habilidades intelectuais, colocando o aluno face às chamadas situações discrepantes, que provocariam a necessidade de solução. Sua teoria enfatiza o papel da curiosidade e a possibilidade de aceitar várias formas de resolver as questões propostas. Ao analisar essas soluções, o professor deve dar informações aos estudantes sobre sua apreciação das mesmas, como fonte de motivação.

Considerou ainda que cada tópico deve ser estruturado de forma a ser entendido pelos alunos. Admite que toda ideia ou campo de conhecimento pode ser apresentado para que qualquer estudante tenha a possibilidade de entender. A seguir, elaborou a concepção de currículo em espiral, em que as mesmas ideias reapareçam com complexidade crescente nos vários níveis de ensino. É importante adquirir e desenvolver certas habilidades de elementos estruturados. Assim, a criança primeiro conhece o mundo pela ação, depois por imagens e representações simbólicas, principalmente pela linguagem.

No Brasil a obra de Bruner teve importância relativa. Já os trabalhos de Piaget, tanto aqui, como nos EUA foram muito mais influentes. Lá os interessados em projetos de ensino de ciências promoveram nos anos 1960 conferências denominadas “Piaget Rediscovered”, introduzindo as ideias desse importante cientista no meio educacional americano. Tais ideias são tão importantes e significativas que até hoje fundamentam muitas discussões sobre o ensino de ciências.

Além das ideias sobre a psicogênese dos conceitos, Piaget revolucionou a metodologia da pesquisa usando, em lugar de grandes amostras, entrevistas e testes com alunos observados individualmente, modalidade do chamado método clínico. Considera também o aprendizado um processo ativo em que as estruturas cognitivas resultam da interação dinâmica entre o organismo e o ambiente por processos de assimilação, equilíbrio e auto-regulação.

Admite ainda que fatores que influenciam no desenvolvimento de estruturas mentais e na maturação do ser humano são as relações como o ambiente e com o meio social.

Por meio de entrevistas e para verificar em que fase se encontrava em relação ao conceito de conservação, foram preparadas provas em que os alunos deveriam realizar certas tarefas como, por exemplo: o professor apresenta duas esferas de massa de modelar e, em seguida, faz, com que uma delas, um cilindro longo e pede ao estudante que identifique aquela que tem mais massa.

Piaget identificou quatro **estágios de desenvolvimento**:

1. **Sensório-motor** – desde o nascimento até cerca de 2 anos. Período não-verbal caracterizado por atos reflexos, exploração como os sentidos, imitação e permanência dos objetos, o que significa que a criança esquece-se do objeto este é removido de sua presença.
2. **Pré-operatório** – dos 3 anos até cerca de 7 ou 8 anos - A criança é egocêntrica e nessa fase ocorre o desenvolvimento da linguagem. Nessa fase ela já é capaz de representar mentalmente e simbolicamente objetos, mesmo na sua ausência, e classificá-lo com base em uma característica. Desenvolve também a capacidade de lidar com novos objetos e eventos.
3. **Concreto-operacional** – idade 7 a 12 anos - Nesta etapa os alunos ordenam, classificam, estabelecem relações causais e espaços-temporais. Realizam operações lógicas com objetos concretos; portanto, a manipulação é muito importante, tendo consequências claras para o ensino de Ciências. Também a capacidade de classificar é um pré-requisito para o desenvolvimento de conceitos como plantas, folha, raiz, fruto, etc.

4. **Operatório-formal** – crianças acima de 14 anos - Os estudantes são capazes de analisar desde situações concretas até hipotéticas. Desenvolve o raciocínio proporcional, probabilístico, correlacional e controle de variáveis.

Nas atividades, a interação social entre alunos é um fator importante para provocar discussões e dúvidas que ajudem a resolver problemas e a esclarecer questões.

Sociocultural

Uma importante contribuição à concepção de aprendizagem foi a do pesquisador russo Vygotsky, que enfatizou a importância sociocultural no processo de aprendizagem da criança. Seus estudos foram fundamentados na observação das crianças no seu dia-a-dia, incluindo a escola e a família. Segundo Vygotsky, a relação com os mais velhos é uma poderosa força no desenvolvimento mental da criança. Por meio de diálogos entre pessoas e, mais enfaticamente, graças ao papel do professor, os jovens passam a conhecer o mundo simbólico. Assim, no ensino de ciências é importante não só o contato com os objetos, mas também com os esquemas conceituais vigentes, que lhe são apresentados pelo representante dessa ciência que com ele interage: o professor.

As ideias básicas de Vygotsky são:

- O objetivo maior da escola é desenvolver a personalidade dos alunos;
- A personalidade humana está vinculada a seu potencial criativo;
- O processo de ensino e aprendizagem é a atividade pessoal do aluno;
- O professor dirige e guia essa atividade individual;

- Os métodos de ensino e de aprendizagem correspondem às suas particularidades individuais e, portanto, os métodos não podem ser uniformes.

Construtivismo

A partir do trabalho e da metodologia dos cognitivistas, desenvolveram-se outras linhas de pesquisas e teorias para explicar como os alunos adquirem, interpretam e usam informações construindo o conhecimento. Essa é a ideia básica da vertente de análise do aprendizado denominada “construtivismo”, que admite ser o conhecimento edificado pela própria pessoa, e, portanto não é transmitido nem revelado.

Admite-se que todo aluno possui um acervo de conhecimento e que muitas palavras diferentes são usadas para identificar e interpretar esse acervo: ideias, crenças, significados, concepções, estruturas qualificadas como erradas, alternativas, pessoais, intuitivas, ingênuas, espontâneas, infantis. Nessas expressões, com frequência pressupõe que os alunos já trazem para a aula ideias próprias, mas inadequadas, que influem fundamentalmente e criam dificuldades não só no aprendizado do conteúdo, mas também no de habilidades como a de observação, tão essencial em Biologia.

Existem **seis aspectos** importantes apontados por autores numa **visão construtivista**:

- Os resultados da aprendizagem dependem não só do ensino ministrado, mas dos objetivos, da motivação e dos conhecimentos que o aluno traz para a escola.
- O aprendizado envolve a construção de significados para cada um dos alunos.
- Uma vez construídos os significados, cada aluno faz sua avaliação e os aceita ou rejeita.

- A responsabilidade do aprendizado é dos estudantes, ou seja, deles depende a atenção dada à tarefa de construir e avaliar determinadas ideias.
- É possível identificar regularidades nos significados construídos pelos alunos.

Dados obtidos no Brasil, por meio de pesquisas, confirmam muitas dessas ideias.

Admite-se também que o conhecimento de história e filosofia é um instrumento para os jovens compreenderem como as descobertas contribuíram para o progresso da humanidade e da qualidade de vida. Os efeitos da ciência e da tecnologia na vida moderna oferecem vantagens e causam problemas, e uma análise histórica permitira aos alunos compreenderem seu significado no momento atual. De outro lado, o progresso científico e tecnológico nos últimos anos vem levantando problemas éticos sociais que devem ser relacionados a visões de mundo que fundamentaram os processos de descobertas e guiaram a utilização de seus resultados.

Essa vertente justifica a introdução de história e filosofia na preparação para a cidadania, auxiliando na tomada de decisões, principalmente em relação à institucionalização e ao suporte da própria ciência.

O trabalho dos professores, também é influenciado pela sua concepção de escola, ensino, aprendizado; e pelo conhecimento dos conteúdos que deve ensinar. Assim, uma postura construtivista implica em criar situações e envolver os alunos em atividades que promovam o aprendizado de Biologia. Um vez instalada a dúvida, o professor deve apresentar novas ideias que sejam mais aceitáveis e expliquem um maior número de situações, do que as preexistentes.

Um primeiro passo para conseguir a mudança é fazer com que os estudantes tenham dúvidas sobre a correção e propriedade de seus conceitos, não porque uma autoridade impõe, mas porque uma real dúvida e insatisfação se instalem neles por meio do professor, pelo colegas ou por algum evento.

A tarefa dos docentes está muito relacionada a investigar como e por que o aluno aprende, deixando de limitar-se a uma apresentação de conteúdos, temas e atividades listadas em proposta curricular e expostas discursivamente em livros de texto.

Os corolários pedagógicos da aceitação de diferentes objetivos para o ensino de Biologia ou da adesão a um modelo de cognição devem dar resultados muito diferentes. Quando decisões sobre currículos não se baseiam em convicções firmes bem fundamentadas, podem resultar em programas desconexos, de resultados duvidosos.

Cap. 3 Planejamento Curricular

Introdução

O currículo é um caminho a seguir, ou seja, é feito por uma instituição que assume também a responsabilidade de colocar em prática uma proposta educacional e avaliar seus resultados. De acordo com essa concepção, o currículo compreende inicialmente um plano, elaborado pelos responsáveis por uma escola, uma declaração de intenções, que podemos chamar de currículo teórico. Esse plano, ao ser realizado, sofre uma série de alterações em função das contingências de sua aplicação, de tal forma que a percepção que dele tem os professores e alunos se difere bastante uma da outra. Essas diferenças resultam tanto das experiências de aprendizagem planejadas, que compõe o currículo aparente, como de experiências de aprendizagem não planejadas ou não explicitadas, que compõe o currículo latente. Esse currículo latente se revela, em ação, nem sempre com as intenções expressas no currículo teórico. Assim, embora em grande parte dos currículos escolares a finalidade explícita do ensino de Biologia seja “desenvolver capacidade de pensar lógica e criticamente”, a realidade de um ensino diretivo, autoritário, em que toda a iniciativa e oportunidade de discussão dos alunos é coibida, indicará que se deseja na verdade apenas “transmitir conhecimentos”. Portanto o professor de

Biologia deve estar consciente de que entre suas responsabilidades estão incluídas tomar decisões na fase de planejamento e agir de forma correspondente, para haver harmonia entre o que se diz ou escreve nas propostas curriculares e o que de fato se faz.

Objetivos

Alguns problemas básicos no planejamento curricular são a escolha de objetivos e sua formação, para que sejam plenamente compreendidos por aqueles que têm responsabilidade por sua execução e avaliação.

No entanto mais do que forma, algumas perguntas são essenciais para a escolha dos objetivos, como por exemplo, (Vandervoort, 1988):

- Por que ensinar Biologia?
- Qual a participação da Biologia no currículo escolar?
- Que tipo de Biologia deve ser ensinada?
- Qual a importância social do ensino de Biologia?

Muitas tentativas foram feitas pra classificar as várias tendências curriculares e identificar as forças que atuam nas decisões tomadas pelos sistemas educacionais, por administradores e por professores.

Os governos e as associações de classe têm um papel importante no nível de decisão mais geral da construção curricular. No nível execução, o tipo de escola, o estilo administrativo, a clientela formada pelos alunos e suas famílias, também exercem importante influência nas escolhas e nas ações do professor que, finalmente, é quem põe em práticas o que vai sendo proposto nas várias instancias decisórias.

Desenvolvimento de progresso cognitivo

Outra tendência valoriza o desenvolvimento intelectual do aluno, a capacidade de buscar informações e de usá-las em situações novas.

Os modelos pedagógicos são centrados na solução individual de problemas ou em atividades de grupos interativos.

O professor tem como responsabilidade criar situações que auxiliem a aprendizagem, a qual transcorre de forma autônoma, respeitando-se as características individuais e os estilos próprios de cada um.

Exige do docente um conhecimento amplo dos grandes conceitos da disciplina e também a capacidade de criar situações que demandem uma atitude de investigação.

Os adeptos dessa linha vêem o ensino de Biologia como uma forma de desenvolver um repertório de habilidades intelectuais, que ajudam o aluno a resolver problemas por meio da capacidade de buscar dados, analisá-los, propor hipóteses, organizar investigações para testá-las e avaliar soluções.

Sociorreconstrucionista

Para alguns ainda, o objetivo da escola – e, portanto do ensino de Biologia – é alcançar mudanças da sociedade, a fim de que esta possa melhor atender aos interesses individuais e coletivos.

Conteúdo

O conteúdo, na realidade, é a preocupação mais presente entre os professores ao fazerem planejamento curricular, tendo que tomar decisões de três tipos: o que ensinar, em que sequência e como relacionar e integrar os assuntos aos outros tópicos da mesma disciplina e das outras disciplinas.

Abrangência do conteúdo

A delimitação do escopo do seu currículo é, para o professor de Biologia, um problema cada vez mais sério por várias razões: o conhecimento esta se expandindo enormemente e, em consequência, as próprias ciências biológicas vem sofrendo transformações em sua organização. De uma ciência que se concentrava na descrição e nos conhecimentos qualitativos, como o desenvolvimento na bioquímica e na biofísica, de processos experimentais e de mensuração, bem como da análise estatística, a Biologia passou a se um campo de conhecimento com leis gerais, o que alargou e aprofundou suas dimensões, tornando muito difícil ao professor decidir o que deve ser fundamental, portanto incluídos em seu curso e o que deve ser acessório, podendo conseqüentemente ser deixado de lado. Essas mudanças, que ocorreram no cenário educacional internacional e brasileiro, puderam ser constatadas consultando-se, periodicamente, professores de Biologia sobre a importância que atribuem aos diferentes tópicos do currículo.

Considera-se, hoje, fundamental a compreensão de conceitos como o de biosfera – uma camada de vida entrelaçada numa teia que envolve a Terra. Esse conjunto extremamente variado compõe a biodiversidade dos seres vivos, que chegou ao estado atual por uma gradual mudança denominada evolução.

O papel do homem, nesse conjunto, exemplifica bem o processo evolutivo morfofisiológico, agregando porem um componente – evolução da cultura.

Essa cultura permitiu ao homem viver e ocupar diferentes *habitat*, expandir sua população e afetar o ambiente de forma a exigir cuidados para nos comprometer a sobrevivência de outras espécies e sua própria.

Os livros didáticos, em geral, também continuam apresentando as subdivisões clássicas e os professores acabam se acomodando a um tipo de programa por ser mais familiar, embora não seja por eles menos considerado o melhor.

Sequência

Uma vez que tenha decidido o que ensinar, o professor enfrenta outro problema: como ordenar os vários subtópicos? A organização pode ir dos assuntos mais simples aos mais complexos; dos aspectos práticos aos teóricos, dos conhecimentos fundamentais aos periféricos.

Em discussões sobre o assunto é frequente que a resposta a essa pergunta seja:

“na ordem lógica”. Na verdade, há muitas ordens lógicas. A demonstração mais conhecida desse fato foi a decisão do grupo de autores do Biological Science Curriculum Study (BSCS) quando, admitindo que um currículo deveria ter flexibilidade para adaptar-se a diferentes situações, atender à diversidade de gosto dos professores e, ao mesmo tempo, cobrir tópicos importantes, resolveu elaborar uma série de módulos que cada um organizaria da forma que melhor lhe conviesse. No entanto, consultados os professores e as editoras, o grupo concluiu que essa solução não era muito prática. Para chegar a um consenso que resguardasse a necessidade de atender à variabilidade das situações e da semelhança dos tópicos fundamentais, a comissão responsável pela escolha do conteúdo dos livros do BSCS decidiu elaborar três versões diferentes que, embora tivessem características diferentes. Essas versões ficaram conhecidas como Versão Azul, Versão Verde e Versão Amarela. Cada um desses projetos reflete uma forma de tratamento dos mesmos tópicos, porém diferentemente ordenados. Na versão azul, a sequência se inicia com as unidades menores de organização, como átomos e partículas, seguindo para níveis mais complexos, como o nível de célula, de tecido. De organismo, de comunidade até ecossistema. A versão verde usa um critério de organização, que vai das inter-relações entre os organismos nos ecossistemas, comunidades e populações até as unidades básicas de organização, como células, partículas e moléculas. A versão amarela, que tem a organização mais tradicional, por sua vez, parte de um nível intermediário: a célula. Analisa seus constituintes e funções e suas formas de organização em tecidos, órgãos e indivíduos.

Outra variação do mesmo assunto seria partir de problemas referentes à aplicação da Biologia à vida diária, usando tópicos de higiene,

microbiologia, genética e agricultura, e daí, seguir para a análise dos fenômenos no vários níveis de organização: mutabilidade, população, indivíduo, órgão, tecido, célula etc. Ainda outro caminho, já explorado por vários autores, seria o estudo de casos grandes descobertas científicas para analisar os fenômenos biológicos.

Vemos assim, que há possibilidades de um grande número de arranjos de um mesmo conteúdo para a apresentação a alunos de qualquer nível de ensino. Numa tentativa de sintetizar os vários princípios que regem a sequência do conteúdo, Possner e Strike (1979) elaboraram um esquema de classificação. Simplificadamente, as categorias definidas por eles são:

a. **Sequências relacionadas ao mundo:** são aquelas em que a organização do conteúdo e as relações entre os fenômenos são ordenadas como ocorrem realmente. Por exemplo, os elementos são ordenados de acordo com seu arranjo físico ou espacial. Inclui-se nesse caso a análise dos componentes celulares na ordem: membrana, citoplasma e núcleo; dos órgãos da planta na ordem: raiz, caule e folha. Ou então quando se apresenta em ordem cronológica o aparecimento das várias teorias de evolução: lamarckismo, darwinismo e neodarwinismo;

b. **Sequências relacionadas ao conceito:** refletem a organização do conhecimento, são exemplos os currículos que se baseiam na estrutura da disciplina e tem como tema central seus conceitos fundamentais.

c. **Sequências relacionadas à investigação:** esta categoria inclui dois aspectos sobre desenvolvimento da pesquisa, baseando-se em descrições da maneira como os cientistas realmente trabalharam, em que contexto operam, levando em consideração os fatores sociais e psicológicos, entre outros, que influem no processo.

d. **Sequências baseadas no conhecimento sobre a psicologia da aprendizagem:** incluem-se, nesta categoria, as propostas de currículo que tomam como base teorias da aprendizagem para organizar o conteúdo, usando, por exemplo, os estágios do desenvolvimento cognitivo, com base nos estudos da escola piagetiana; muitos currículos de ciências foram

elaborados na sequência em que os conceitos possivelmente podem ser aprendidos pelos alunos.

e. **Sequência baseada na utilização do conhecimento:** a organização dos conteúdos é feita de acordo com a necessidade futura dos alunos, prevista em termos pessoais e profissionais. Por exemplo, apresentar elementos de estatística como introdução à genética, apresentar vidraria e ensinar a usar a balança no início dos cursos de Química.

Relação da Biologia com as outras disciplinas

A integração de conteúdos depende da natureza da própria disciplina, das características dos alunos e das condições em que o processo ensino-aprendizagem deve transcorrer. Pode referir-se às relações entre vários elementos de uma mesma disciplina, integração intradisciplinar, ou entre várias disciplinas que são apresentadas simultaneamente ou, em sequência, integração interdisciplinar. As relações entre Biologia, física e química, tanto como parte da disciplina ciências no ensino fundamental como na categoria de disciplinas independentes na escola de ensino médio, tem sido tradicionalmente objeto de reflexão e discussão na organização dos currículos das escolas de ensino médio e fundamental. Mais recentemente, com a relação cada vez mais estreita entre as ciências biológica e as ciências humanas.

A integração das várias disciplinas exige a ruptura dessas barreiras pelo trabalho comum de vários professores e a união dos laboratórios e bibliotecas para o desenvolvimento de temas gerais. Esses temas podem representar conceitos centrais como o de energia, ou problemas práticos como a poluição e exigem a participação de um grupo de docentes que compartilhem recursos, instalações e responsabilidades.

Cap. 4 A comunicação entre professor e aluno

Introdução

Professores e estudantes transmitem mensagens por via oral, ou por meio de textos ou figuras, e os educadores estão cada vez mais conscientes das dificuldades próprias desse vários tipos de comunicação. Muitas são as possíveis explicações para essas dificuldades: as diferenças entre professores e alunos são obstáculos para a compreensão de códigos e valores peculiares aos dois grupos: os meios de comunicação de massa limitam a capacidade de expressão dos jovens.

Comunicação oral

Provavelmente, todos os obstáculos citados acabam influenciando de alguma forma no resultado final: os alunos têm problemas para compreender e comunicar ideias. Nas aulas de Biologia do ensino médio, foram arrolados alguns problemas específicos relativos à comunicação ora:

Incompreensão do vocabulário: os alunos não acompanham as aulas porque são usadas palavras desconhecidas, ou porque eles atribuísem aos termos e significados diferentes dos atribuídos pelo professor.

Excesso de vocabulário técnico: o excesso de vocabulário técnico que o professor usa em suas aulas leva muitos aluno a pensar que Biologia é só um conjunto de plantas, animais, órgãos, tecidos e substancias que devem ser memorizadas.

O uso inadequado da terminologia científica esta estreitamente ligado ao processo de formação de conceitos. Schaefer (1979) admite que um conceito seja formado por três partes:

1. **O núcleo lógico**, que é a estrutura constante, representativa de uma classe de objetos ou eventos.
2. Associado ao núcleo lógico há um **nome** que serve tanto como veículo para comunicação entre os indivíduos como de referência para efeito de memorização pelo próprio indivíduo.
3. Envolvendo o núcleo lógico e o nome associado há uma **rede compacta de relações** que formam a **moldura de associações**.

A palavra só passa a ter significado quando o aluno tem exemplos e oportunidades suficientes para usá-las, construindo sua própria moldura de associações. Como, às vezes, os termos apresentados são desnecessários, já que nunca mais voltarão a ser usados, o professor deve tomar cuidado para não sobrecarregar a memória dos alunos com informações inúteis.

Falta de interação professor-aluno.

O ensino informativo, centrado no professor, representado pela aula expositiva, pode ser transformado pela introdução de discussões na sala de aula, chamadas de **exposições dialogadas**. As perguntas intercaladas na exposição motivam o aluno, servem para controlar e ganhar sua atenção, auxiliam no raciocínio e expõem o aluno e muitas ideias em lugar de limitá-lo a ouvir apenas o professor.

No entanto, os professores não usam o recurso do questionamento em classe porque temem que, de alguma forma, sua autoridade seja abalada e haja perda de segurança e do poder assegurados pelas aulas expositivas.

Quando resolvem incentivar a discussão, tem que tomar certos cuidados para garantir o pleno êxito da atividade, que depende essencialmente de uma genuína disposição para promover um debate franco e aberto nas aulas. Portanto, a primeira preocupação deve ser a de criar um clima de liberdade na aula, em que os professores ouvem e levam em consideração diferentes pensamentos e opiniões. Após os alunos verificarem que a participação é bem vinda, certos comportamentos que podem ser

coercitivos no início do curso, quando o professor não é bem conhecido, passam a não ter mais esse efeito porque todos já se conhecem.

É bom lembrar que a interação do professor com o aluno ocorre também por meio de gestos, e que é possível demonstrar desagrado ou ironia por um olhar, um movimento ou uma expressão facial. Interrupções das respostas dos alunos também produzem uma diminuição da participação.

Informação visual

Uma parcela muito importante das informações em Biologia é obtida por meio da observação direta dos organismos ou fenômeno ou por meio de observação de figuras, modelos, etc.

Ouvir falar sobre um organismo é, em geral, muito menos interessante do que ver diretamente a realidade, o que justifica aulas práticas, excursões e demonstrações.

Ao usar ilustrações, os professores nem sempre consideram as dificuldades para a compreensão de representações simbólicas, o que requer dos alunos treino especial. Nas aulas de Biologia, alguns problemas específicos nesse campo foram identificados:

- Os alunos têm dificuldades de imaginar, a partir de figuras representadas no plano, uma estrutura em três dimensões. Fica difícil para os jovens vendo, por exemplo, esquemas de células ou de fases de desenvolvimento embrionário em corte ou microfotografias eletrônicas. Para avaliar ou desenvolver o aprendizado, é interessante que os alunos façam também o exercício inverso: a partir da observação, reconstruir a estrutura em três dimensões, desenhando ou construindo um modelo.
- Relacionar a representação simbólica esquemática à realidade requer treinamento. À medida que vão se familiarizando, nas aulas com os símbolos adotados, passam a usar convenção apresentada nos livros e nas aulas.

- Os estudantes têm dificuldades para usar a representação simbólica da química: frequentemente, nas aulas de Biologia, são feitas representações de equações, modelos autônomos e diagramas moleculares antes que os alunos tenham tido a chance de aprender o que significam nas salas de aula. Verificar se os estudantes dominam esses pré-requisitos é essencial no planejamento dos cursos.
- **Gráficos:** é impossível, hoje, que o aluno faça um bom curso de citologia, fisiologia ou ecologia sem saber construir gráficos, interpretá-los, interpolar e extrapolar dados. Como frequentemente chegam aos cursos do ensino médio, sem que tenham aprendido a fazê-lo, é necessário investigar qual é o seu conhecimento do assunto no início, pois caso não tenham aprendido a trabalhar com gráficos, o assunto deveria ser incluído na propagação.
- **Escala:** quando o estudante começa a fazer observações ao microscópio, dificilmente relaciona o que vê ao tamanho real do objeto e compreende as diferenças de aumento nos vários campos de observação. A essa dificuldade acrescenta-se a de relacionar o objeto real à escala de representação e, além desse treinamento durante o aprendizado, é essencial usar escala ou objeto em tamanho real para que o observador tenha a noção do grau de aumento na representação.

Recursos audiovisuais

Embora seja amplamente reconhecido o potencial dos recursos audiovisuais no ensino de Biologia, os dados disponíveis indicam que são pouco e mal usados. De acordo com relatos, nem mesmo no tradicional quadro de giz são feitos esquemas, desenhos, demonstrações, de forma que a expressão pejorativa “aulas de saliva e giz” atualmente está mais reduzida, com a eliminação do giz, ficando a aula restrita apenas à fala do professor ou à leitura do livro didático.

O quadro de giz, um recurso inestimável, é cada vez menos usado e mais ineptamente usado. Em certas aulas, é colocado, antecipadamente, na lousa todo o esquema da aula que vai ser seguido pelo professor. Os

alunos passam então a copiar o que foi escrito, em lugar de acompanhar o assunto e, segundo os jovens, usam-no como referência para contar o tempo que falta pra acabar a aula. Esse erro é de fácil solução, desde que os professores utilizem o quadro de giz para construir o roteiro da aula, passo a passo, para que o aluno possa ir acompanhando o raciocínio desenvolvido. Dessa forma, o recurso é usado, dinamicamente, permitindo que o estudante tenha alguma participação, mesmo em aulas expositivas.

Comunicação escrita

A comunicação escrita entre professor e aluno é hoje feita, basicamente, por um mediador: o livro didático. São três tipos mais comuns de livros didáticos de Biologia: o **texto do aluno**, **manual de laboratório** e o **guia do professor**.

O **texto do aluno** deve apresentar de forma organizada, lógica e didática, conhecimentos atualizados e relevantes, e o manual de laboratórios deve orientar os procedimentos e atitudes dos alunos nas aulas práticas. O guia do professor visa a auxiliar os docentes na utilização dos materiais elaborados para os alunos, informando os usuários das intenções de seus autores.

Livro didático

Livro didático tradicionalmente tem tido, no ensino de Biologia, um papel de importância, tanto na determinação do conteúdo dos cursos como na metodologia usada em sala de aula, sempre no sentido de valorizar um ensino informativo e teórico.

Guia do professor

A crescente importância do manual do professor, que acompanha os textos didáticos, está estritamente ligada às condições de trabalho e à formação dos docentes, que ficam cada vez mais dependentes do livro como peça central de seus cursos. Muitos dos guias de professor, existentes no mercado, constam apenas do livro do aluno acrescido das respostas aos

exercícios, estrutura obviamente insatisfatória. Consulta feita pelos docentes revela tópicos que devem prioritariamente ser incluídos num guia do professor.

- Objetivos do curso
- Questões adicionais que não constem do livro-texto
- Lista de material para atividades
- Bibliografia complementar

Em seguida, na lista de prioridades, vêm os seguintes quesitos: complementação teórica; respostas complementadas às questões do livro do aluno, modelos de perguntas para a prova.

Utilização dos textos

O livro deve ser base para a discussão em classe, e não apenas fonte de informação inerte. Para tanto, professor deve desenvolver a capacidade crítica e avaliação a partir da leitura dos textos.

Como os alunos dependem de nota em sala de aula, professor poderá aproveitar-se desse fato para ensiná-lo a compor resumos a compor resumos com os pontos principais de cada assunto.

Computadores

Cada vez mais os computadores fazem parte do nosso dia a dia. O seu uso de forma adequada nas escolas vem preocupando os educadores que buscam elaborar atividades que desenvolvam o raciocínio e facilitem o aprendizado.

Com a intensificação do uso dos computadores torna-se necessário evidenciar as possibilidades de influência da cultura impressa na escola, e da cultura digital, que permite maior interação e participação do aluno na produção do conhecimento.

Cap. 5 Modalidades Didáticas

Introdução

A escolha da modalidade didática, por sua vez, vai depender do conteúdo e dos objetivos selecionados, da classe a que se destina, do tempo e dos recursos disponíveis, assim como dos valores e convicções do professor.

As modalidades didáticas podem ser classificadas segundo vários critérios. Segundo Ascher (1966), podem ser agrupadas de acordo com as atividades que os professores desenvolvem, tais como: falar – aulas expositivas, discussões, debates: fazer – simulações, aulas práticas, jogos, projetos e mostrar – demonstrações, filmes etc.

Podemos ainda separar as diversas modalidades didáticas de acordo com sua possibilidade de melhor servir aos objetivos do ensino de Biologia:

- Para **transmissão** de informações: aulas expositivas, demonstração
- Para realizar **investigação**: aula prática, projetos;
- **Para analisar as causas e implicações do desenvolvimento da Biologia**: simulações, trabalho dirigido.

Uma grande classificação é agrupar diversas **modalidades didáticas** e de acordo com o tamanho do **grupo de alunos**:

- Atividades para **grandes grupos**; aulas expositivas, demonstrações
- Atividades para **pequenos grupos**; seminários, aulas
- Trabalhos **individuais**, projetos.

A própria existência de várias classificações indica que nenhuma delas é totalmente satisfatória, principalmente porque é difícil uma apreciação fora do contexto em que a aula se coloca.

Aulas expositivas

É uma modalidade didática mais comum no ensino de Biologia – tem como função informar os alunos. Em geral os professores repetem só livros

didáticos, enquanto os alunos ficam passivamente ouvindo. Argumentos de ordem pedagógica podem ser invocados para justificar o uso de aulas expositivas em certos momentos de um curso: elas permitem ao professor transmitir suas ideias, enfatizando os aspectos que considera importantes, impregnando o ensino com o entusiasmo que tem pela matéria.

A passividade dos alunos representa uma das grandes desvantagens das aulas expositivas, pois gera uma série de inconvenientes: a retenção de informações é pequena, porque há decréscimo de atenção dos alunos.

Essa constatação cria a necessidade de se encontrarem formas de trabalho que permitam a manutenção de um alto nível de atenção durante todo o período da aula.

Outro problema vem da falta de interação entre professor e aluno. E os professores, pretendem dar mais conteúdo do que é possível no tempo disponível, eles não estabelecem relações casuais e as aulas podem ser mal preparadas.

Aulas práticas

A principal função das aulas práticas, reconhecidas na literatura sobre o ensino de ciências, é:

- Despertar e manter o interesse dos alunos
- Envolver os estudantes em investigação científica
- Desenvolver a capacidade de resolver problemas
- Compreender conceitos básicos
- Desenvolver habilidades

As seguintes funções para as aulas de laboratório também são arroladas por outros grupos:

- Formular, elaborar métodos para investigar e resolver problemas individualmente ou em grupo.

- Analisar cuidadosamente, com companheiros e professores, os resultados e significados de pesquisas
- Distinguir observação de inferência, comparar crenças pessoais, compreensão científica e teorias.

As aulas de laboratório têm um lugar insubstituível nos cursos de Biologia, pois desempenham funções únicas: permitem que os alunos tenham contato direto com os fenômenos, manipulando materiais e observando organismos.

O envolvimento do aluno depende da forma de propor o problema e das instruções e informações fornecidas pelo professor aos estudantes. O mesmo assunto pode ser usado em um exercício que apenas vise à confirmação de uma teoria, ou usado como objeto de pesquisa.

Excursões

A maioria dos professores de Biologia considera de extrema valia os trabalhos de campo e as excursões; no entanto, são raros os que as realizam. Os principais obstáculos à organização das excursões são: complicação para obter a autorização dos pais, da direção da escola que não querem ceder seu tempo de aula, o medo de possíveis acidentes, a insegurança e o temor de não reconhecer os animais e plantas que forem encontrados, os problemas de transporte.

Porém, as excursões têm uma importante dimensão cognitiva e também apresenta que Eisner (1979) chamou de resultados expressivos que, embora não possam ser previstos com antecedência, são experiências estéticas e de convivência muito ricas e que variam de indivíduo para indivíduo.

A **organização** de uma excursão inclui:

- Uma etapa de preparação em que é feito o reconhecimento do local escolhido para o trabalho e a identificação dos problemas que serão investigados
- Elaboração do roteiro de trabalho contendo as instruções para o procedimento dos alunos e as perguntas que eles devem responder
- Trabalho de campo propriamente dito
- Trabalho em classe para a organização dos dados e exame do material coletado
- Discussão dos dados para a elaboração de uma descrição geral do sítio visitado e uma síntese final

Projetos

São atividades executadas por um aluno ou por uma equipe para resolver um problema e que resultam em relatório, modelo, coleção de organismos, enfim, um produto final concreto. A função do professor é orientar, auxiliar a resolver as dificuldades que forem surgindo.

Portanto quando os alunos têm interesse por algum problema específico, cabe ao professor verificar o andamento do projeto.

De forma geral, são conhecidas as seguintes fases para o desenvolvimento de um projeto:

- Seleção do problema a ser investigado
- Elaboração do plano de trabalho
- Execução do plano elaborado
- Muitos professores consideram parte essencial do projeto a obtenção de produto final. Em muitos casos um projeto pode ser bem sucedido em termos educacionais mesmo sem chegar a um resultado concreto como um relatório, um modelo, uma coleção, etc.

Quando o projeto fica pronto, o professor tem ainda uma tarefa difícil, a de julgar os seus resultados e avaliar o que é mais importante o produto final ou o processo de execução. Como tarefa tem por fim, mais do que a

aquisição de informações, disciplina e aceitação devem ser levados em conta na avaliação.

Tecnologias educacionais

Qualquer que seja a modalidade didática que o professor escolha e use, ela pode se complementar, com vantagem, por recursos tecnológicos como vídeo, retroprojeter, filmes, programas e ferramentas tecnológicas, entre muitos outros.

O computador, como já vimos, serve pra fornecer dados e permitir a participação do aluno na solução de problemas.

É preciso que o professor auxilie o aluno a analisar e a decodificar as mensagens, tanto no material preparado para a escola como programas de rádio, televisão e na leitura de jornais e revistas para o público em geral.

Cap. 6 O ambiente

Introdução

Em algumas escolas onde a concepção de ensino inclui atividades que aumentam a interação aluno-professor e aluno-aluno, os arranjos tradicionais cedem lugar a outro tipo de disposição: o local de trabalho do professor não ocupa posição dominante no conjunto formado por mesas e carteiras móveis, que podem ser combinadas de várias formas, adequadas ao trabalho individual ou em grupo. Os estímulos a projetos individuais de pesquisa é revelado pela existência de locais para o trabalho e a manutenção de experimentos, que podem ser usados pelos estudantes fora do horário de aula.

Portanto, como em qualquer outra etapa do planejamento curricular, o planejamento das instalações para as aulas de Biologia deve levar em conta, prioritariamente, as atividades que ali serão realizadas, em função dos outros determinantes específicos, como densidade dos alunos, as condições de luz, de água, gás etc. E ainda a localização do laboratório no prédio da escola.

Laboratório de Biologia

A rigor, é possível dar um bom curso prático, mesmo não dispondo de recursos especiais, quando não se tem à mão espécimes de animais e plantas. No entanto, poderá ser tanto mais eficiente quanto melhores forem as instalações e o material disponíveis, sendo um direito e um dever dos docentes pleitear a luta pela conquista de instrumentos que lhes permitam trabalhar melhor.

Organização de trabalho no laboratório

Para as atividades práticas darem o melhor resultado possível, o comportamento de estudantes e professores deve ser estruturado, para que possa ser aproveitado o Máximo de tempo possível:

Ao professor cabe:

- Preparo material com antecedência
- Realizar o experimento antecipadamente, para verificar se seu funcionamento é previsto
- Dar aos alunos instruções de forma clara e precisa, sempre que possível, combinando uma explicação oral com a distribuição do material

Cuidados com as substâncias químicas:

- Soluções concentradas de ácido e base só devem ser transportadas por alunos com o professor. As substâncias químicas do laboratório não devem ser colocadas na boca.

- As soluções devem ser pipetadas com bulbo de sucção, nunca na boca.
- Frascos contendo substâncias orgânicas voláteis ou ácidos não devem ficar próximos à chama ou expostos ao sol.
- Não se deve adicionar água a nenhuma solução concentrada de ácido. Para preparar uma solução, o ácido deve ser acrescentado, lentamente, à água.

Cuidados no trabalho com seres vivos:

- Animais e plantas não devem ser mantidos nos laboratórios, se não puderem se adequadamente alimentados e limpos em fins de semana e nas férias.
- Verifique a legislação existente em seu Estado sobre as restrições relativas ao trabalho com animais.

Saindo da escola

Os objetivos gerais do trabalho fora da escola são coletar dados e informações, ver exemplos de princípios e fatos mencionados nas aulas, encontrar problemas para a investigação, desenvolver a percepção e aumentar a interação professor-aluno.

Mais recentemente, com a preocupação sobre as implicações sociais do conhecimento biológico, houve uma expansão das atividades fora da escola:

- Desenvolver programas comunitários
- Intensificar vínculos com a tecnologia
- Desenvolver responsabilidades de cidadania.

É preciso dar aos alunos liberdade de observação e análise daquilo que veem e considerar o tipo de bioexposição na hora da análise e discussão da visita.

O guia deve orientar os alunos para resolver problemas. Por exemplo, quando os espécimes estão depositos de acordo com sua classificação, pode se pedir aos alunos que relacionem suas características e tipo de alimentação. Quando os espécimes são agrupados de acordo com o *habitat* que ocupa, os alunos poderão relacionar aspectos de genética, evolução e ecologia, observando as adaptações comuns.

Cap. 7 Avaliação

Introdução

Para fazer um planejamento adequado da avaliação de um curso, é importante lembrar que as provas ocupam um lugar central em todo o processo escolar, desempenhando inúmeros e variados papéis:

- Servem para classificar os alunos em “bons ou maus”; para decidir se vão ou não passar
- Informam os alunos do que o professor realmente considera importante
- Informam o professor sobre o seu trabalho
- Informa a escola sobre os resultados do trabalho de alunos e professores
- Informam os pais
- Forçam os alunos a estudar
- Criam problemas entre professores e alunos, pais e diretores (Krasilchik, 1985)

Em decorrência, surge uma série de subprodutos dos quais alguns são:

- Tensão emocional
- Mudança de comportamento
- Estimulo à competição
- Alteração de julgamento

A partir da década de 1970, estudos comparativos buscaram avaliar o aproveitamento dos estudantes em vários países. Os resultados desses trabalhos tiveram ampla repercussão não só na mídia como provocaram medidas visando mudar a situação em países e regiões que tiveram resultados considerados desfavoráveis.

Um desses estudos foi feito em 1970 pela *International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)*, analisando o aproveitamento em ciência, inclusive Biologia, dos estudantes de 19 países. Esse estudo foi repetido em meados de 1980, com a participação de 24 países ou sistemas educacionais (IEA 1988).

Para verificar o perfil dos alunos que saem do ensino médio, foi instituído no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Pretende-se, através do Enem, analisar: o domínio da língua portuguesa, das áreas de matemática, artística e científica; a aplicação de conceitos para a compreensão de fenômenos naturais, de processos histórico-geográficos; a produção tecnológica e as manifestações artísticas (MEC – Política e Resultados – 1995-2002. Brasília, 2002).

Planejamento da avaliação

Vários fatores que devem ser levados em conta no planejamento da avaliação de um curso ou unidade de estudo:

- Periodicidade das provas: é essencial prever e comunicar ao alunos, no início dos trabalhos escolares, o número de provas a que serão submetidos e o intervalo entre elas.
- Tempo: quando o planejamento não inclui um período suficiente para a execução dos trabalhos previstos para a avaliação, os resultados serão prejudicados.
- Instrumentos: sem dúvida, esse é um fator da maior importância para que a avaliação forneça os dados que o professor busca seu trabalho e sobre seus estudantes.

Análise das provas

No processo de avaliação, a fase de interpretação dos dados obtidos tem tanta importância quanto as fase de escolha e elaboração dos instrumentos de avaliação.

Os requisitos básicos de uma prova são:

- Validade do conteúdo, ou seja, o instrumento serve para obter um amostra que represente adequadamente os objetivos que o professor tem para seu curso.
- Validade de construção: verificar se as questões que constituem a prova estão bem elaboradas.
- Fidedignidade: ou seja, o instrumento de avaliação garante que diferentes observadores atribuam notas iguais a um mesmo trabalho, em diferentes correções.

A escolha do tipo de questão que deve compor uma prova está estreitamente relacionada à necessidade de fidedignidade. Quando os grupos são numerosos e a importância das notas é muito grande, é preciso garantir que não haja variações no critério de correção das provas, ou pelo uso de provas objetivas, ou de perguntas de resposta livre cujos parâmetros para a correção sejam bem estabelecidos.

Critérios para análise dos resultados das provas

A literatura revela hoje três tendências para a interpretação dos resultados de avaliação:

- O desempenho do aluno é comparado a um parâmetro estabelecido, como padrão aceitável.
- O desempenho do aluno é comparado aos de outros estudantes da mesma classe ou mesma população.
- O desempenho do aluno é comparado ao resultado que ele mesmo obteve, em avaliações anteriores.

Cap. 8 O Professor na sala de aula

Introdução

Os estágios são uma forma de introduzir o licenciado na escola, com o auxílio de guias experientes que possam orientá-lo e auxiliá-lo na solução das dificuldades que venham a surgir.

O estágio é um canal de comunicação ligando as escolas de ensino superior às escolas de ensino médio e fundamental, daí levando informações de suas necessidades à universidade, que deve responder às escolas de nível primário e médio com um influxo de novas ideias.

A extrema importância dos estágios é indiscutível, bem como as dificuldades para excutá-los de forma que atinjam plenamente suas funções nos programas de formação de professores. Uma dessas dificuldades reside nas relações entre os dois grupos de instituições envolvidas.

Condições para realizar um estágio de qualidade

Há uma tendência em considerar os estágio como forma de interferência no trabalho dos professores, que se sentem constrangidos na presença dos universitários que observam suas aulas.

Na verdade, os estágios só poderão servir plenamente a seus fins se os estagiários passarem a sentir-se elemento da escola e não estranhos nela.

Os professores monitores, obviamente, têm papel preponderante na orientação dos licenciados, desde que possam trabalhão de comum acordo com os professores de prática de ensino e encarar sua atividade não como fonte de sobrecarga de trabalho, mas sim como uma oportunidade de instruir e ajudar jovens e colegas, com quem será possível trocar ideias e opiniões sobre os cursos que estão ministrados e sobre problemas do ensino.

Tipos de estágios

Estágio de **observação**: são aqueles em que o estagiário está presente sem participar diretamente da aula. A condição de futuro professor, ele deve ver a escola de um ângulo muito diverso do que viu na condição de estudante, precisando de instruções e orientações sobre o que buscar e focalizar. Geralmente acaba verificando que há muitos aspectos que merecem análise e pesquisa mais detida.

Estágios de **participação**: é aquele em que o aluno auxilia o professor, sem contudo assumir a total responsabilidade pela aula. Geralmente nos estágios de participação, os estudantes ajudam o professor monitor nas aulas práticas.

Estágios de **regência**: aquele em que o estagiário tem a responsabilidade da condução da aula. São várias modalidades de estágio de regência: execução de atividades de regência esparsas durante o curso regular, execução de uma unidade durante o curso regular, minicursos, recuperação, atividades extraclasse e aulas para turmas-piloto.

Relação aluno-professor

As relações democráticas dependem das possibilidades do aluno expressar suas ideias, sentimentos, e da clareza de que o professor também lhe dirá, com honestidade, o que pensa e será justo cumprindo suas promessas.

Nada mais enganoso do que pensar que o silêncio é ordem. Disciplina implica a aceitação mútua de normas de conduta e não de sua imposição autoritária. Nunca desistir. É bom lembrar que as pessoas reagem diferentemente às mesmas soluções, dependendo de sua classe, e do meio cultural a que pertencem.

Cap. 9 Perspectivas do ensino de Biologia

A expansão da rede de ensino público, provocou a elitização do ensino médio pois, se houve um aumento de vagas na escola pública, o ensino nelas ministrados da menores possibilidades a seus estudantes de entrarem na universidade. Conseqüentemente os alunos com melhor situação financeira passaram a frequentar escolas particulares muitas das quais organizam seus currículos para atender às exigências do vestibular.

O livro didático é um poderoso estabilizador desse estado de coisas, coibindo a função do professor como planejador e executor do currículo.

Além das dificuldades para dar um ensino experimental, tem dificuldades de acesso a informação e atualização.

Mudanças necessárias

Diante da situação presente do ensino de Biologia, salientam-se além das já propostas anteriormente, várias mudanças:

Enfoque naturalístico – biodiversidade: o significado científico, econômico e ético do estudo da diversidade biológica deve ser compreendido pelos alunos, não só como análise de espécimes mas entendendo que a observação e sistematização do observado é uma atividade científica relevante que se consolida nos sistemas de classificação e na taxionomia.

Biologia aplicada: a compreensão dos objetivos e procedimentos usados para a solução de problemas tecnológicos deve fazer parte da educação dos jovens. Nesse sentido, o primeiro passo é sempre identificar uma necessidade: em seguida, propor algumas alternativas para o seu atendimento, das quais se escolhe a melhor, que será implementada. Na análise para a escolha da melhor solução para um problema tecnológico entram fatores que normalmente não são cogitadas nas análises feitas pelos professores, quando tratam de problemas científicos, tais como custo da produção, potencial de uso, eficácia, etc.

Multicultural idade: a diversidade cultural no Brasil é um fenômeno sempre lembrado nos livros de história. Diferenças regionais manifestadas por culinárias diferentes, forma de utilização do ambiente, relações com os

seres vivos são características que estão muito presentes na literatura, e nos meios de comunicação, exigindo dos professores um senso de oportunidade para promover discussão, em dimensão global, de muitos dos assuntos tratados nas aulas de Biologia

Implicações sociais: a limitação dos currículos à tradicional visão da ciência apenas como atividades para busca do saber ignora o contexto em que ocorre a produção do conhecimento científico e a responsabilidade cívica frente às questões referentes às pesquisas científicas e tecnológicas. Os professores de Biologia não podem se acomodar diante dessas facilidades e fugir da responsabilidade de ajudar seus alunos a desenvolver as habilidades necessárias.

Problemas biológicos na espécie humana: a sociobiologia que procura oferecer explicações científicas para o comportamento social, incluindo o do homem, tem significados explícitos que devem ser tratados em profundidade e cuidado com os alunos.

Educação ambiental: órgãos dedicados à proteção do meio ambiente, tanto da esfera federal como estadual, envolveram-se em projetos de educação ambiental. No entanto, apesar de ter havido uma multiplicidade de iniciativas, revelando a premência da solução dos problemas ambientais. A educação ambiental deverá ter um enfoque global e integrado, não podendo ser reduzida a uma disciplina escolar.

Os professores de Biologia têm obrigação de se incorporarem ao processo, tanto discutindo os princípios biológicos necessários para compreender os problemas ambientais, nas aulas de seus cursos regulares, como participando, sendo membros de uma equipe interdisciplinar na escola ou no grupo de trabalhos comunitários, sendo para discutir e levar a cabo medidas de proteção ao meio ambiente.

Futuro:

As projeções sobre a situação do ensino de Biologia, nos próximos anos, indicam que a mudanças previstas vão exigir dos professores um profundo

envolvimento nos processo decisório e um ajustamento para que eles sirvam de elemento de ligação entre a escola e a comunidade.

Atividades

1. Da 5ª à 8ª série do ensino fundamental, os temas comumente ensinados são os seguintes:

- a. Ser humano
- b. Sistemas do corpo humano
- c. Reprodução e estrutura celular
- d. Plantas
- e. Fisiologia animal

2“Enfatizou a importância sociocultural no processo de aprendizagem da criança. Seus estudos foram fundamentados na observação das crianças no seu dia-a-dia, incluindo a escola e a família.” . baseado nessa informação, podemos dizer que, quem fez essa conclusão, foi:

- a. Vygotsky
- b. Piaget
- c. Marx
- d. Gardner
- e. Bruner

3. Sobre cognitivismo, podemos afirmar, que:

- a. Este termo engloba teorias que dão ênfase aos processos mentais dificilmente observáveis, enfatizando a possibilidade de o aluno adquirir e organizar informações.
- b. Interação do homem como o seu mundo
- c. Produto dos relacionamentos

- d. Prática do ensino adquirido
- e. Produto da capacidade de conviver em sociedade

4. Contextualização sociocultural é:

- a. Conviver bem com o seu ambientes
- b. Reconhecer a Biologia como um fazer humano e, portanto, histórico, fruto da conjunção de fatores sociais, políticos, econômicos, culturais, religiosos e tecnológicos.
- c. Reconhecer a Biologia como um fator fundamental.
- d. Adaptar-se ao *habitat*.
- e. Valorizar somente a cultura.

5. Quais estágios que Piaget identificou no desenvolvimento:

- a. Sensório-motor, pré-operatório, concreto-operacional e operatório-formal.
- b. Sensório-motor e pré-operatório
- c. Concreto operacional
- d. Operatório formal e sensório
- e. Concreto-operacional e sensório motor

Gabarito

1c / 2a/ 3a / 4b /5a

10. MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

INTRODUÇÃO

Este livro versa sobre a superfície viva do Planeta Terra. Um catálogo da diversidade da vida. Apresenta um sistema de classificação completo, tendo em vista a literatura variante, fragmentada e, frequentemente inconsistente, de onde a nossa informação foi retirada.

Os biólogos estudam organismos individuais, ou parte de populações, comunidades ou ecossistemas. Estes organismos são classificados – com base na forma do corpo, similaridade genética, metabolismo, padrão de desenvolvimento, comportamento e todas as suas características – junto com organismos semelhantes num grupo denominado de espécie. Os cientistas estimam que pelo menos três milhões, e talvez 30 milhões, de espécies de organismos vivos existam agora. Um número ainda maior tem se tornado extinto.

O esforço para discernir ordem, nesta incrível variedade, deu origem à Sistemática, a classificação do mundo vivo. Os modernos sistematas agrupam espécies proximamente aparentadas em gêneros, os gêneros em famílias, as famílias em ordens, as ordens em classes, as classes em filos e os filos em reinos. Esta hierarquia conceitual cresceu gradualmente.

SISTEMA MOLECULAR

A sistemática molecular, ou evolução molecular como é também chamado, é responsável por duas inovações. A primeira é a decifração da sequência linear e geneticamente determinada dos monômeros componentes nas macromoléculas, tais como proteínas e ácidos nucleicos. A segunda é a manipulação baseada em computador destas imensas quantidades de dados. Somente computadores de alta velocidade, adequadamente programados, podem organizar e comparar de forma significativa estas enormes quantidades de dados.

OS REINOS DA VIDA

Até meados do século XX, praticamente todos classificaram os organismos do mundo vivo em dois reinos: **plantas** ou **animais**. Contudo, muitos cientistas

notaram que certos organismos, tais como as bactérias e os mofos-de-lodo, diferiam das plantas e dos animais mais do que plantas e animais diferiam entre si. O terceiro e quarto reinos para acomodar estes organismos anômalos foram propostos diversas vezes. Ernst Haeckel, o proponente fez várias propostas para um terceiro reino de organismos. As fronteiras do novo reino de Haeckel, o reino Protista, variaram durante o curso de sua longa carreira, mas seu persistente objetivo era colocar os organismos mais primitivos e ambíguos separados das plantas e dos animais. Contudo, a maioria dos biólogos ignorou as propostas para reinos adicionais além das plantas e animais ou as considerou curiosidade sem importância, um pleito especial de excêntricos.

As opiniões em relação aos reinos da vida começaram a mudar na década de 1960, principalmente devido ao conhecimento obtido pelas novas técnicas bioquímicas e da microscopia eletrônica. Entre estas, um sistema de cinco reinos (plantas, animais, fungos, protoctistas e bactérias).

A única ameaça seria para qualquer dos esquemas de cinco reinos é o sistema de três domínios dos microbiólogos. Usando critérios moleculares, especialmente sequências nucleotídicas de RNA ribossômico, esses microbiólogos advogam por três grandes grupos: dois domínios (Archaea e Bactéria) consistindo em células procarióticas, e um domínio (Eukarya) contendo todos os outros organismos. Os fungos, as plantas e os animais são três dos reinos do domínio Eukarya, da mesma forma como eles estão no nosso esquema de cinco reinos. Contudo, dentro de cada um dos três domínios há numerosos reinos adicionais – muitos correspondentes aos filos no esquema de cinco reinos.

HISTÓRIA DA DISTINÇÃO PROCARIOTA – EUCARIOTA

Esta distinção fundamental é mantida no nível de super-reino: o Super-reino Prokarya contém os procariotas e somente procariotas, a grande diversidade de organismos com uma organização do tipo daquela das células bacterianas. Os membros dos outros quatro reinos são todos eucariotas.

Tanto em estrutura quanto em bioquímica, os eucariotas e os procariotas diferem muito mais do que a presença ou ausência de um núcleo celular. As células procarióticas são usualmente mais simples em estrutura (mas não necessariamente em química) e menores do que as células eucarióticas. A distinção entre procariota e eucariota é imediata e definitiva a partir de micrografias eletrônicas, que mostram estruturas múltiplas dentro das células eucarióticas. Qualquer estrutura visível dentro de uma célula é uma organela. Os procariotas as têm (carboxomas ou vacúolos de gás, por exemplo), mas as

células eucarióticas contêm organelas únicas herdadas, algumas delas separadas por suas próprias membranas do citoplasma. As mitocôndrias, organelas ovoides que se especializam em produzir energia pela oxidação enzimática de compostos orgânicos simples, são encontradas em praticamente todos os eucariotas. Os procariotas não possuem mitocôndrias, mas enzimas associadas às suas membranas podem catalisar as oxidações.

SEXO E REPRODUÇÃO: PROKARYA E EUKARYA

Reprodução é o aumento do número de células ou organismos, sejam eles unicelulares ou multicelulares. **Crescimento** é um aumento no tamanho. Todas as espécies de organismos crescem e se reproduzem. **Sexo**, a recombinação de genes de dois ou mais indivíduos, de fato ocorre nos procariotas, mas o sexo procariótico não é diretamente exigido para reprodução.

Células bacterianas – *procariotas* – nunca se fundem. Em vez disso, os genes do meio fluido, de outra espécie, de um vírus ou de onde quer que seja penetram nas células bacterianas por si próprios.

As **células eucarióticas** se reproduzem por mitose. Elas formam cromossomos – pacotes de genes densamente enrolados, mantidos juntos por proteínas e anexados às membranas internas do núcleo.

Todos os animais se reproduzem por fertilização de um óvulo por um espermatozóide menor, para formar o ovo fértil – zigoto – que se divide por mitose para produzir um embrião rudimentar. O primeiro estágio embrionário é chamado de blástula.

Todas as plantas formam esporos que, por si próprios, crescem em uma de duas formas de gametófitos (plantas que formam gametas): ou um macho e formação de espermatozóide, ou uma fêmea e formação de óvulo.

Os fungos reproduzem-se por meio de esporos fúngicos, propágulos capazes de gerar – de um único genitor, assexuadamente – o organismo fúngico inteiro novamente. Alguns fungos entram na sua fase sexuada somente quando o ambiente não favorece mais a reprodução assexuada.

Os protistas apresentam uma grande variabilidade nas suas características de ciclo de vida – mas nenhum se encaixa na descrição de animal, planta ou fungo. O reino protista inclui os eucariotas microbianos (unicelulares ou de poucas células) e seus descendentes diretos multicelulares. “Protistas” se referem aos menores protistas, mas algumas pessoas usam o termo para todos eles.

VÍRUS

Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), o descobridor do mundo microbiano. O vírus, compostos de DNA (ácido desoxirribonucléico) ou RNA (ácido ribonucléico), envolvidos por uma capa de proteína, são muito menores do que as células. Embora se repliquem, eles só podem fazer isso, entretanto, numa célula e usando os dispositivos de vida desta. Fora da célula, os vírus não podem reproduzir-se, alimentar-se ou crescer. Alguns vírus podem mesmo se cristalizar, como minerais. Neste estado, podem sobreviver por anos sem transformação – até que entrem em contato com tecidos vivos específicos dos quais necessitam.

LENDO ESTE LIVRO

Reconhecemos e descrevemos dois super-reinos: Prokarya (todas as bactérias) e Eukarya (todos os organismos nucleados), nestes dois maiores, os táxons mais internos são os reinos. O Super-reino Prokarya contém o Reino Bactéria (equivalente aos Prokaryota, Procariota, ou Monera em outros esquemas) com seus dois sub-reinos, Archaea e Eubacteria. O Sub-reino Archaea contém dois filios: B-1, o Euryarchaeota, ou os metanogenes e extremos halófilos, e o B-2, o Crenarchaeota, ou extremos termófilos. O Sub-reino Eubacteria contém 12 filios. No Reino Eukarya (Protoctista, Animalia, Fungi e Plantae) estão 30 filios protoctistas, 37 filios animais, 3 filios fúngicos e 12 filios vegetais. Dentro de cada Reino de Eukarya, os filios estão organizados numa ordem adequada, das formas mais simples (presumivelmente, os que devem ter evoluído mais cedo) até as formas mais complexas (presumivelmente, os mais recentes). Como regra, os **táxons mais altos** dentro de um reino, os **filios** e as **classes**, representam as divergências evolutivas mais antigas; os **táxons mais baixos**, os **gêneros** e as **espécies**, representam as mais recentes. Contudo, isso não é uma regra absoluta, porque as relações evolutivas de muitos grupos são desconhecidas. Os organismos estão agrupados no mesmo táxon somente por enquanto, porque eles têm alguns atributos claramente distintos em comum (por exemplo, as hastes radiais dos actinópodes), independentemente de seus ancestrais comuns terem sido documentados.

SUPER-REINO PROKARYA

Sistemas genéticos limitados por uma única membrana: nucleoides, síntese proteicas em pequenos ribossomos, recombinação somente no nível do DNA. Sem fusão nuclear; ausência de fusão citoplasmática e nuclear (isto é, fertilização), implicando ausência de genética mendeliana.

Apresentam transferência gênica unidirecional e, em observação microscopia, ausência de motilidade intracelular visível. Reprodução por fissão binária, brotamento, brotamento de filamentos, fissão do parental sésil para produzir uma descendência flagelada, crescimento polar (de ponta a ponta), ou fissão múltipla.

Super-reino Prokarya – Reino Bacteria – Sub-reino Archaea (Arqueobacteria) – Sub-Reino Eubacteria

CAPÍTULO UM – BACTERIA

O Reino Bacteria compreende todos os organismos com estrutura celular procariótica: eles têm pequenos ribossomos no entorno dos seus nucleoides, mas não possuem núcleos envolvidos por membrana. Em termos de atividade e potencial para um crescimento explosivo, as bactérias são imbatíveis entre os organismos vivos.

As bactérias são os mais resistentes dos seres vivos. Algumas podem sobreviver a temperaturas muito baixas, bem abaixo do congelamento, por anos; outras vicejam em fontes de água fervente; e outras ainda, crescem até em ácidos muito fortes (*hot acid*), ou vivem retirando hidrogênio e dióxido de carbono das rochas. Por meio da formação de propágulos, tais como os esporos – partículas de vida viajantes que contém pelo menos uma cópia de todos os genes de um organismo – muitas toleram água em ebulição ou uma total dessecação. As bactérias são as primeiras a invadir e colonizar novos habitat: terra que foi queimada, solos vulcânicos ou ilhas recentemente formadas.

No entanto, não se tem conhecimento de nenhum organismo – nem mesmo a mais resistente das bactérias – que seja capaz de completar seu ciclo de vida suspenso no ar ou em qualquer outro gás.

Devido a sua limitada morfologia e à escassez de registros fósseis, as bactérias têm relações evolutivas que são excessivamente difíceis de apurar.

Embora sejam pequenas, as bactérias que são extremamente numerosas e de crescimento rápido, são cruciais para a saúde dos sistemas digestivos, para a manutenção do solo na agricultura e arboricultura, e para a existência do ar que respiramos.

A maioria das bactérias nunca é patogênica. Os patógenos são simplesmente bactérias (ou, ocasionalmente, protoctistas ou fungos) capazes de causar doenças infecciosas em animais ou plantas. As bactérias podem curar tanto quanto causar doenças.

As bactérias são morfologicamente bastante simples: esféricas (cocos), em forma de bastão ou em forma de espiral. As mais complexas sofrem mudanças de forma durante o seu desenvolvimento: bactérias simples podem reproduzir-se gerando populações que se metamorfoseiam em estruturas alongadas, gerando filamentos longos ou ramificados, ou formando corpos altos que liberam microcistos na forma de esporos. Algumas produzem colônias altamente móveis. As bactérias são facilmente agrupadas por propriedades da parede celular, distinguidas por um procedimento de coloração. Um teste diagnóstico de bactérias, universalmente aplicado, é se elas se coram de púrpura ou rosa com o teste de Gram, um método de coloração desenvolvido pelo médico dinamarquês Hans Christian Gram (1853-1938). Os organismos gram-positivos (que se coram de púrpura profundo) diferem daqueles gram-negativos (que se coram de rosa-claro). A química das suas paredes celulares – a presença de uma membrana extra nas bactérias gram-negativas – é a base para classificação.

Embora algumas moléculas muito complicadas sejam feitas por certas plantas e fungos, os padrões biossintéticos e degradativos – a química do uso do alimento e da geração de energia – são marcadamente similares em todas as plantas e células fúngicas. Os animais e os protoctistas apresentam até mesmo uma variação menor nos seus repertórios químicos. Em resumo, o metabolismo dos eucariotas é bastante uniforme; seus padrões de fotossíntese, respiração, quebra da glicose e síntese dos ácidos nucléicos e proteínas são fundamentalmente os mesmos em todos os organismos eucariotas. As bactérias, por outro lado, são não apenas metabolicamente diferentes dos eucariotas, mas também diferentes entre si.

A superfície da Terra – seu regolito, sedimentos e águas – é rica não somente em bactérias vivas, pequenos animais, protistas, leveduras e outros fungos, mas também em complexos compostos orgânicos que produzem. Os substratos menos tratáveis, como ácidos tânicos, lignina e celulose, tendem a se acumular, enquanto orgânicos muito mais ativamente metabolizados, tais como açúcares, amido, compostos organofosforados e proteínas, são produzidos e removidos mais rapidamente. Todos estes compostos orgânicos são, direta ou indiretamente, os produtos da quimiossíntese ou da fotossíntese,

processos que usam energia química ou luz do Sol, respectivamente, para converter o dióxido de carbono do ar em compostos orgânicos dos quais obtemos óleo, gás e carvão.

A quimiossíntese é limitada a certos grupos de bactérias. A fotossíntese, que muitas vezes é erradamente atribuída somente às algas e plantas, é executada por muitos grupos de bactérias. A quimiossíntese e a fotossíntese são frequentemente, mas não sempre, correlacionadas com os processos que usam químicos inorgânicos ou luz, respectivamente, para gerar energia para elaborar compostos orgânicos. Ambos os tipos de síntese são formas de nutrição autotrófica estrita, uma síntese de todo o alimento e a obtenção da energia exclusivamente de fontes inorgânicas.

A fotossíntese, o processo, começou nas bactérias anaeróbias há mais de 3 bilhões de anos. As bactérias que obtinham sua energia da luz do Sol, seu carbono do CO_2 , do ar e seus elétrons do H_2 , H_2S , H_2O ou outras fontes inorgânicas, são chamadas bactérias fotolitoautotróficas. Elas “se alimentam” de luz do Sol.

A noção de que a teia alimentar começa com as plantas, seguida pelos herbívoros e termina com os animais carnívoros é por demais simplista. O zooplâncton dos mares se alimenta dos protoctistas: protoctistas não-fotossintetizadores se alimentam de bactérias; bactérias (e fungos necrófagos) decompõem as carcaças de animais, plantas e algas, liberando de volta para a solução elementos como o nitrogênio e o fósforo, exigidos pelo fitoplâncton. Como “filo” significa “planta”, e nenhuma planta flutua no oceano aberto, preferimos o termo fotoplâncton para nos referirmos às bactérias e algas flutuadoras que fotossintetizam no mar e nos lagos. As bactérias, por serem comidas por outros, facilitam teias alimentares inteiras. Os caminhos pelos quais nós e outras formas de vida dependemos das bactérias, e nos desenvolvemos a partir delas, serão explicados nas descrições dos filos. A vida na Terra desapareceria muito mais rapidamente se os organismos do reino Bacteria se tornassem extintos do que com a extinção dos organismos de qualquer outro dos reinos. Acreditamos que a vida bacteriana no nosso planeta floresceu muito antes que os grandes organismos, que se desenvolveram por simbiose a partir de comunidades bacterianas, aparecessem.

SUB-REINO ARCHAEA

As características distintas das arqueobactérias se referem principalmente às sequências de genes (DNA) que determinam as sequências de pequenas subunidades ribossomais de RNA (RNAr). As arqueobactérias são mais

aparentadas umas com as outras do que com as eubactérias. Os ribossomos arqueobacterianos são mais semelhantes na ultra-estrutura aos ribossomos eucarióticos do que aos ribossomos eubacterianos. Os grandes lipídios de arqueobactérias são éteres conectados com cadeias laterais de fitanol. Em outras bactérias e nos eucariotas, os grandes lipídios são ligados por ésteres. As arqueobactérias não possuem camadas glicopeptídicas características das paredes celulares das eubactérias. As arqueobactérias incluem as metanogênicas, halófilas e termoacidofílicas. Todas as outras bactérias – isto é, a maioria – são eubactérias.

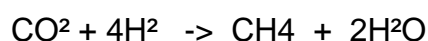
Chamamos a atenção para os ambientes antigos, dos quais membros dos dois filios arqueobacterianos – Euryarchaeota e Crenarchaeota – tendem a ser encontrados: embora se tenha pensado que os habitats de arqueobactérias eram típicos da superfície da Terra durante o Éon Arqueano, há mais de 3 bilhões de anos (isto é, ambientes tectonicamente ativos), estudos recentes tem mostrado que as arqueobactérias estavam dispersas na água do mar, lago, solos e outros ambientes não sujeitos a condições extremas.

B-1 EURYARCHAEOTA

O Filo Euryarchaeota compreende dois grupos muito estranhos e diferentes da arqueobacterias, as metanogenes e as halófilas. Elas estão agrupadas juntas, com base na similaridade na sequência de RNAr. As metanogenes podem ser gram-positivas ou gram-negativas, com motilidade (através de flagelos) ou sem. Todas as três formas clássicas de bactérias – bastonete, espiral e coco – estão representadas: as metanogenes variam de bastonetes curtos e cocos irregulares até espirais, grandes cocos em grupos, e filamentos. Até o momento, nenhuma metanogene com filamentos ramificados ou com flagelos internos (periplasmáticos) foi descoberta. A maioria das espécies pode tolerar temperaturas moderadas ou altas. As metanogenes são encontradas em todo o mundo nos esgotos, nos sedimentos marinhos e de água doce, e nos tratamentos intestinais de animais – tanto nos ruminantes quanto nos insetos comedores de celulose. Formalmente, os gêneros reconhecidos são distinguidos pela morfologia e fisiologia. Todos têm nomes pré-fixados por “metano-”: *Methanosarcina*, *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanobacillus* e *Methanotherix*.

As halófilas vivem em ambientes externos, salgados ou alcalinos, e não formam esporos. Antes do uso das técnicas filogenéticas moleculares, o parentesco próximo entre as halófilas e as metanogenes era desconhecido.

As bactérias metanogênicas não podem usar açúcares, proteínas ou carboidratos como fontes de carbono e energia. De fato, a maioria pode usar somente três compostos como fontes de carbono: formiato, metanol e acetato. As metanogênicas são caracterizadas por sua forma extraordinária de obter energia: elas formam metano (CH₄) através da redução do dióxido de carbono (CO₂) e da oxidação do hidrogênio (H₂), uma comodidade rara. Como obtém ambos estes gases do ar à sua volta e não podem tolerar oxigênio, sua distribuição é limitada. Além de usar H₂, algumas usam formiato, metanol ou acetato como uma fonte de elétrons para redução do CO₂. A reação metabólica geral característica é:



As halófilas são aeróbios que respiram oxigênio, diferentes das metanogenes, intolerantes a este gás. As bactérias que demandam sal são incapazes de produzir metano, mas, como as metanogenes, são adaptadas a condições ambientais extremas e nenhuma forma de esporos. As halófilas sobrevivem em diversos ambientes hipersalinos recentemente descobertos, assimilando como alimentos diversos compostos de carbono. Alguns exemplos incluem as bactérias em forma de bastonete, como *Halobacterium salinarium*, que vive em peixes salgados; *H. sodomense*, que requer altas concentrações de magnésio; e a consumidora de açúcar e tolerante ao sal *H. saccharovorum*. As células em forma de disco achatado ou de cálice são membros do gênero *Haloferax*, enquanto as halófilas triangulares e retangulares são usualmente associadas ao gênero *Haloarcula*. A maioria das halófilas tem metabolismos aeróbicos obrigatórios e motilidade.

As halófilas vivem em ambientes de alta força iônica. Notavelmente, a maioria das halófilas estudadas resistem a soluções saturadas de cloreto de sódio das salinas em todo o mundo. Elas produzem carotenóides rosa-brilhantes e podem mesmo ser visualizadas a partir de aviões de satélites orbitais como espuma rosa sobre planícies de sal. Muitas de suas proteínas têm modificações que as permitem funcionar somente em altas concentrações de sal. Suas paredes celulares são bastante diferentes das outras bactérias, no sentido de que elas não têm derivados de ácidos diaminopimélicos e murâmicos. As membranas comuns de lipoproteínas se rompem ou se desfazem em altas concentrações de sal, mas os lipídios especiais das halobactérias incluem derivados de diéster glicerol que estabilizam as membranas sob altas concentrações de sal.

B-2 CRENARCHAEOTA

As arqueobactérias do Crenarchaeota são encontradas em fontes quentes por todo o mundo. Habitam fontes geotérmicas na Islândia, gêiseres do Parque Nacional de Yellowstone, fluidos de erupções vulcânicas submarinas e outros habitat com condições muito quentes, muito ácidas e muito ricas em enxofre e pobres em oxigênio, condições que são muito mais familiares para as eubactérias. As termoacidófilas estudadas, tais como *Thermoproteus* e *Sulfolobus*, têm paredes celulares fortes e resistentes a ácidos, compostas de um material glicoprotéico arranjado num padrão de subunidades hexagonais. A *Thermoplasma*, como os micoplasmas do Filo B-9, dois quais é aparentada, não possui nenhuma parede.

As células do gênero *Sulfolobus*, que crescem em água a 90°C e valores de pH de 1 a 2 (a acidez de ácido sulfúrico concentrado), foram primeiro isoladas em cultura em 1972. Algumas morrem de frio em temperaturas abaixo de 55°C. A *Sulfolobus acidocaldarius* tem um nome bem adequado, pois crescem em ambientes que vão de um pH de 0,9 a 5,8, preferindo águas ácidas num pH de 2 a 3, tem paredes celulares sem glicopeptídios e são autotróficas facultativas.

As termoplasmas são os únicos procariontes conhecidos que contém DNA coberto com proteínas básicas semelhantes às histonas, as proteínas cromossômicas da maioria dos eucariotas. Acredita-se que a cobertura proteica protege seu DNA da desnutrição no ácido quente. A *Methanothermus*, uma metanogênica, também tem sua cobertura de proteína no seu DNA. A *Thermoplasma* pode ser relacionada com o ancestral do núcleo-citoplasma dos eucariotas.

SUB-REINO EUBACTERIA

Todas as bactérias que não são arqueobactérias são eubactérias. Este último grupo, que compreende a grande maioria das bactérias descritas na literatura, é extremamente diverso em morfologia e metabolismo. Todas as bactérias multicelulares com estruturas complexas, ou capacidade para diferenciação celular, pertencem a este grupo, assim como todas as bactérias que retiram energia diretamente da luz do sol e do carbono do ar (isto é, bactérias fototróficas). Todas as células, incluindo as bactérias, devem manter uma membrana celular intacta todo o tempo, e a parede celular está sempre do lado de fora desta membrana celular intacta (ou plasma) (que é também o envelope da célula): assim, os procariontes são classificados pelos bacteriologistas de acordo com suas paredes. A classificação é baseada em paredes não é

necessariamente consistente com aquela baseada no RNAr 16S; a classificação consistente e abrangente deste livro reconciliou as visões e os dados publicados por tantos biólogos quanto possível, numa forma mais viável para os estudantes seguirem.

As várias classificações para paredes celulares de eubactérias são: paredes gram-negativas (Filo B-3 até B-8), sem paredes (Filo B-9) e paredes gram-positivas (Filo B1-10 até B-14). A reação de coloração gram-negativa se correlaciona com a presença de uma camada externa de lipoproteína da parede celular, e uma fina camada interna de glicopeptídios (unidades de peptídio anexadas a açúcares nitrogenados) ligada ao lado de dentro pela membrana do plasma. As paredes gram-positivas estão associadas com certas proteínas ligadas à parede. As três divisões eubacterianas são Firmicutes, Gracilicutes e Tenericutes.

A divisão Firmicutes (do latim *firmus*, forte durável) inclui todas as eubactérias gram-positivas, que tendem a ter paredes glicopeptídicas frequentemente espessas que não possuem camadas lipoproteicas externa.

A divisão Gracilicutes (do latim *gracilis*, delgado, fino) inclui todas as eubactérias gram-negativas que, mesmo que tenham uma membrana lipoproteicas externa, têm geralmente paredes celulares mais finas.

A divisão Tenericutes (do latim *tener*, suave, delicado) compreende as eubactérias que não possuem paredes celulares e são geneticamente incapazes de sintetizar precursores de glicopeptídios. Baseados nas suas moléculas de RNA e outras características, a maioria das eubactérias, sem parede, evoluíram de membros da Firmicutes, as eubactérias gram-positivas.

DIVISÃO: GRACILICUTES

B-3 Proteobacteria (Bactérias púrpuras)

Os membros deste grande grupo de eubactérias são classificados por dados de RNAr 16S, pela morfologia e pelo metabolismo.

B-4 Spirochaetae

Do latim *spira*, espiral; e do grego *khaite*, pêlo longo

As espiroquetas se parecem muito com serpentes helicoidais. Diferente de outras bactérias moveis, elas tem de 02 a mais de 200 flagelos internos (filamentos axiais ou endoflagelos), no espaço entre a membrana interna

(plasma) e a membrana celular externa da parede celular gram-negativa, isto é, os flagelos estão na parede celular.

B-5 Cyanobacteria (verde, cloroxibactéria e bactéria azul-esverdeada)

Do grego *kyanos*, azul-escuro

Estes dois grupos de bactérias fotossintetizadoras dependentes de oxigênio diferem em cor e pigmentação. De longe o maior grupo, com talvez mil gêneros, estão as azul-esverdeadas. Somente uns poucos gêneros, recentemente descritos, de bactérias verdes fotossintetizadora, as cloroxibacterias, são conhecidas: *Prochlorococcus*, *Prochloron* e *Prochlorothrix*.

B-6 Saprospirae (Deslizadores de fermento)

Do grego *sapros*, apodrecido, decomposto; *spira*, rosca, espiral

A sequência gênica da pequena subunidade da molécula RNAr 16S revelou esta linhagem de eubactérias gram-negativas. Os bacteróides e seus parentes, fermentadores anaeróbios, formam um subgrupo; o outro, subgrupo de flavobactérias, unifica um conjunto de respiradores de oxigênio que se movem por deslizamento: *Capnocytophaga*, *Cytophaga*, *Flexibacter*, *Microscilla*, *Saprospira* e *Sporocytophaga*.

B-7 Chloroflexa (Fotótrofas verdes não-sulfurosas)

Do latim *flexus*, curvo; e do grego *chloro*, verde

Novos conhecimentos, especialmente da sequência de nucleotídeos nos seus genes RNAr 16S, levaram a separação por completo dessas bactérias fototróficas de outras bactérias fototrófica verdes de enxofre, com as quais tinham sido agrupadas.

B-8 Chlorobia (Bactérias verdes anoxigênicas sulfurosas)

Do grego *chloro*, verde; *bios*, vida

Nem todos os organismos fotossintetizadores são fototróficos. Qualquer forma de vida que usa a luz para síntese de material celular é fotossintetizadora, mas somente aqueles organismos que não precisam fixar compostos orgânicos no meio são fototróficos.

DIVISÃO: TENERICUTES

B-9 Aphragmabacteria (Mycoplasmas)

Do grego *a*, sem; *phragma*, parede

Todas as células, incluindo as das eubactérias sem parede, os micoplasmas, são limitadas por uma membrana celular de sua própria fabricação, que permite a passagem de água, íons de sais e pequenos compostos orgânicos.

DIVISÃO: FIRMICUTES

B-10 Endospora (Formação de endósporo e bactérias gram-positivas de baixa relação G + C)

Do grego *endos*, dentro; *spora*, semente

As *Endospora* incluem anaeróbios fermentadores obrigatórios e aeróbios facultativos ou obrigatórios, a maioria das quais se coram como células gram-positivas com parede, e todos pertencem ao grupo RNAr 16S de baixo GC de eubactérias.

B-11 Pirellulae (Bactérias de paredes proteicas e seus parentes)

Denominação baseada no gênero *Pirelulla* (do latim *pirus*, pêra)

Este novo e diverso grupo foi revelado por informação de sequência de RNAr 16S. pelo menos dois destes gêneros – *Pirelulla* e *Planctomyces* (e provavelmente *Gemmata*) – tem paredes celulares não-glicopeptídicas e proteicas.

B-12 Actinobacteria (Actinomicetos, actinomicotas; e bactérias gram-positivas com alta relação G + C)

Do latim *aktis*, raio; *bakterion*, bastonete

Este Filo, unificando bactérias semelhantes determinadas pelos critérios da morfologia, fisiologia e RNAr 16S, inclui as bactérias conformes e actinobactérias filamentosas.

B-13 Deinococci (Bactérias gram-positivas resistentes ao calor ou resistentes à radiação)

Do grego *deino*, terrível, estonteante; do latim *coccus*, grão

Deinococci, um novo Filo, baseado principalmente na única identificação da sequência de gene RNAr 16S, compreende bactérias gram-positivas, altamente resistentes, heterotróficas, que exigem oxigênio para o seu crescimento.

B-14 Thermotogae (Fermentadores termofílicos)

Denominação baseada no gênero *Thermotoga* (do grego *Thermo*, calor; do latim, *toga*, roupa de cidadão romano)

Estas bactérias recentemente descobertas são tão impressionantemente diferentes nas suas sequências de RNAr de todas as outras, que garantiram para si próprias um novo Filo.

SUPER-REINO EUKARYA

Organismos compostos de células que se reproduzem por mitose, cada uma contendo mais que dos cromossomos. Na mitose, núcleos circundados por membranas contendo poros se dissolvem total ou parcialmente, e se refazem como dois novos núcleos descendentes. Apresentam fusão nuclear e citoplasmática viável e seus processos recíprocos (por exemplo, duplicação citoplasmática e cromossomial com subsequente conteúdo meiótico ou redução equivalente de conteúdo citoplasmático; desta forma, genética mendeliana). Células com citoesqueletos de tubulina-actina capazes de mobilidade intracelular. Não possuem transferência unidirecional de genes (DNA desprotegido).

Super-reino Eukarya

Reino Protocista

Reino Animalia

Reino Fungi

Reino Plantae

PROTOCTISTA

Do Grego *protos*, primeiro; *kristos*, estabelecer

Microorganismos nucleados e seus descendentes, exclusivos de fungos, animais e plantas; evoluídos a partir da integração de simbiontes microbianos anteriores. Meióticos ou não-meióticos, com variações no círculo de fertilização da meiose. Os registros fósseis se estendem desde a era Proterozoica Média Inferior (cerca de 1,2 bilhão de anos atrás) até o presente.

O Reino Protoctista compreende os microorganismos eucarióticos e seus descendentes imediatos: todas as algas, incluindo as ervas-do-mar (*seaweeds*), mofos-de-água undulipodiados (flagelados), os mofos-de-lodo (*slime molds*) e os *slime nets*, os tradicionais protozoários e outros organismos aquáticos ainda mais obscuros. Seus membros não são animais (que se desenvolvem de uma blástula), nem plantas (que se desenvolvem de um embrião), nem fungos (que não possuem undulipódios e se desenvolvem de esporos). Nem são protoctistas procariotas. Todas as células protoctistas têm núcleos e outros atributos caracteristicamente eucarióticos. Muitos fotossintetizam (têm plastídios) muitos são aeróbios (têm mitocôndrias) e muitos têm undulipódios [9(2)+2], com as suas bases de cinetossomo em algum estágio do seu ciclo de vida. Todos os protoctistas se desenvolveram por simbiose dentre pelo menos dois tipos diferentes de bactérias – em alguns casos, dentre muito mais do que dois. À medida que os simbiontes se integraram, um novo nível de individualidade surgiu.

Os perfis de pigmentação fotossintética, essenciais à função do cloroplasto, são critérios importantes, também empregados pelos taxonomistas para resolver a desconcertante diversidade do Reino Protoctista.

Os undulipódios estavam presentes nos ancestrais comuns de todos os filios, mesmo antes das mitocôndrias, dado que os arqueoprotistas anaeróbicos os carregavam. Seu comportamento durante a mobilidade e a reprodução está relacionado com a divisão celular mitótica.

Os protoctistas são aquáticos: alguns marinhos, alguns de água doce, alguns terrestres em solos úmidos e alguns parasitas ou simbióticos em tecidos úmidos de outros. Aproximadamente todos os animais, fungos e plantas – talvez todos – têm protoctistas associados. Os filios, tais como Microspora (Filo Pr-2) e Apicomplexa (Filo Pr-9), incluem milhares de espécies, todas as quais vivem em tecidos de outros.

Com uma reverência à diversidade protoctista, um reconhecimento da sua herança eucariótica comum e um senso de humildade tanto em relação à sua complexidade quanto à nossa ignorância, apresentamos nossos 30 filios protoctistas.

Pr-1 Archaeoprotista

Do grego *karyon*, núcleo, centro; *blastos*, botão, broto

Embora a vasta maioria de organismos nucleados – de fato, todos eles, exceto aqueles neste filo e outro – sejam aeróbios com obrigação de assimilar oxigênio atmosférico, os ancestrais dos eucariotas eram originalmente anaeróbios, mortos pelo oxigênio.

Pr-2 Microspora (Microsporida)

Do grego *mikos*, pequeno; *spora*, esporo

Os micrósporos, o segundo filo de amitocondriados, são micróbios heterotróficos, que não possuem mitocôndria e produzem algum tipo de filamento ou cordão polar.

Pr-3 Rhizopoda (Amebas amastigotas e mofos-de-lodo celulares)

Do grego *rhiza*, raiz; *pous*, pé

Como definido aqui, os membros do Filo Rhizopoda – amebas amastigotas – são amebas que tem mitocôndrias e não possuem undulipídios em nenhum dos estágios de suas histórias de vida.

Pr-4 Granuloreticulosa

Do latim *granulum*, grão pequeno, semente; *reticulum*, rede

Granulorreticulosanídeos (*granuloreticulosans*) são facilmente definidos: estes organismos possuem reticulópodes, células que se fundem para formar redes, nas quais o movimento bidirecional (de mão dupla) pode ser visto.

Pr-5 Xenophyophora

Do grego *xenus*, estranho; *pherein*, carregar para adiante, gerar; *pherein*, portar

Habitantes bentônicos (do fundo do mar) grandes e mesmo abissais, estes protoctistas enigmáticos são objeto de grande curiosidade

Pr-6 Myxomycota (Myxogastria, mofos-de-lodo primordiais)

Do grego *myxa*, muco; *mykes*, fungo

Os xomicetos gozam de muitos nomes, incluindo mixomicetos, micetozona, mofos-de-lodo plasmodianos, mofos-de-lodo verdadeiros, Myxomycotina e outros. Como os mofos-de-lodo celulares – formam um estágio amebóide que não possui paredes celulares, e se alimentam de bactérias engolfando-se com pseudópodes – por exemplo, fagocitose.

Pr-7 Dinomastigota (Dinoflagellata, Dinophyta)

Do grego *dinos*, retorção, rotação, convolução; *mastigio*, chicote

Dinomastigotas, Ciliophora e Apicomplexa são classificadas juntas como alveoladas porque todas tem alvéolos de superfície, ou fossas, e sequências comuns de RNA ribossômicos. Investigações posteriores podem levar aos seus reposicionamentos como três classes de um novo filo, “Alveolata”.

Pr-8 Ciliophora (Ciliados)

Do latim *cilium*, cílio, pálpebra inferior; do grego *pherein*, portar

A maioria dos ciliados que estão entre os protoctistas mais bem conhecidos, são células únicas bacterívoras. Os ciliados são caracteristicamente cobertos com cílios – curtos undulipódios com cinetos somos embutidos num córtex duro externo fibrilar (camada celular proteicas) da célula.

Pr-9 Apicomplexa (Sporozoa, Telosporidea)

Do latim *apex*, picol *complexus*, uma envoltória, revestimento

A Apicomplexa compõe simbiótrofos unicelulares modificados para penetrar tecidos e obter alimento de animais. Todos formam esporos. Diferente dos esporos bacterianos, os esporos dos apicomplexos não são resistentes ao calor e à dessecação.

Pr-10 Haptomonada (Prymnesiophyta, Haptophyta, coccolitoforídeos)

Do grego *haptain*, apertar; *phyton*, planta

As haptomônadas planctônicas, pequeninas têm sido vistas pelos biólogos marinhos e paleontólogos como dois tipos diferentes de organismos: algas douradas e com mobilidade, semelhantes a crisomônadas planctônicas e coccolitoforídeos cobertos com coccolita. Os cocólitos, estruturas microscópicas em forma de disco, de carbono de cálcio, de renome para os paleontólogos, são produzidos por coccolitoforídeos, que as carregam como placas de superfície empacotadoras.

Pr-11 Cryptomonada (Cryptophyta)

Do grego *kriptos*, escondido; do latim *monas*, unidade; *phyton*, planta

As criptomônadas são as células nadadoras, elípticas e achatadas. São heterotróficas e fotossintéticas, e encontradas em todo o mundo nos lugares úmidos.

Pr-12 Discomitochondria (Flagelados, zoomastigotas, zooflagelados)

Do grego *zoyon*, animal; *mastix*, chicote

Até que detalhes de suas relações com o resto do mundo protoctista sejam revelados, este novo grupo convenientemente retém quatro subgrupos bem definidos de mastigotas unicelulares, moveis bacterívoros ou osmotróficos, nadadores, e suas colônias derivadas.

Pr-13 Chrysomonada (Crisófita)

Do grego *chrysus*, dourado; *phyton*, planta

Um novo agrupamento do Filo Pr-13 até Pr-12, de crisomônadas até hipoquitrídeas, foi estabelecido com base na similaridade das sequências de genes RNA ribossômico, o que sugere que elas tem um ancestral em comum.

Pr-14 Xanthophyta

Do grego *xanthos*, amarelo; *phyton*, planta

As xantofitas, como as eustigmatófitas, são verde-amareladas. Contudo, a organização única de suas células, a sua tendência a formar colônias estranhas, sugere que elas são aparentadas com as eustigmas somente por pigmentação.

Pr-15 Eustigmatophyta

Do grego *eu*, verdadeiro, original, primitivo; *stigma*, marca colocada num escravo (em referência a um sinal), marca, ponto; *phyton*, planta

As eustigmatófitas foram originalmente agrupadas junto com as xantófitas, com as quais se assemelham, devido a ser verde-amareladas, formarem células vegetativas cocoides imóveis e se propagam por meio de zoósporos assexuadas alongados e móveis.

Pr-16 Diatomáceas (Bacilariófita)

Do latim *bacillus*, graveto; do grego *phyton*, planta

Belos protistas aquáticos – talvez cerca de 10.000 espécies vivas – as diatomáceas são unicelulares, ou formam colônias ou filamentos simples. Cerca de 250 gêneros destes fantásticos protocistas são usualmente descritos, e os especialistas reconhecem a enorme quantidade de 100.000 espécies, incluindo aquelas de 70 gêneros fósseis.

Pr-17 Phaeophyta (Alga parda)

Do grego *phaios*, escuro, pardo; *phyton*, planta

As feófitas são as algas-do-mar pardas: praticamente todas são marinhas. Elas são os maiores protocistas. As *kelps* gigantes, por exemplo, chegam até 10m. Cerca de 900 espécies em 250 gêneros já foram descritas, todas elas fotossintéticas.

Pr-18 Labyrinthulata (*Slime nets* e traustoquitrídeos)

Do latim *labyrinthulum*, pequeno labirinto

Estudos moleculares de RNA ribossômico têm confirmado a relação entre as duas classes deste filo: os traustoquitrídeos e as *slime nets*, ou labitintulídeos.

Pr-19 Plasmodiophora

Do latim moderno *plasmodium*, massa multinucleada de protoplasma não dividida em células; do grego *pherein*, portar

Os plasmodióforos, 10 gêneros e 29 espécies, todos micróbios osmotróficos, são simbiótros obrigatórios. A maioria das espécies vive dentro de plantas.

Pr-20 Oomycota (Oomicetos)

Do grego *oion*, ovo; *mykes*, fungo

Os oomicetos saem distinguidos de outros protoctistas semelhantes aos fungos pelos cinetídeos e outros detalhes da estrutura do zoósporo, e também pela natureza de seus ciclos de vida sexual.

Pr-21 Hyphochytriomycota

Do grego *hyphos*, teia; *chytra*, pequeno pote de cozimento de barro; *mykes*, fungo

Os hifoquitrídeos, com quitrídeos e oomicetos, têm sido tradicionalmente considerados fungos. Estes osmótrofos aquáticos de fato se assemelham aos fungos no seu modo de nutrição, que pode ser simbiotrófico ou sapróbico.

Pr-22 Haplospora

Do grego *haplo*, único, simples; do latim *spora*, esporo

A evolução convergente que levou a estruturas simbiotróficas, pequenas e escuras em tecidos animais unifica este filo, assim como também o Filo Pr-23 e Pr-24 – três filios de parasitas em forma de propágulos (por exemplo, formadores de cisto) – com um filo alveolado, o Apicompleca, e outro “protozoário parasítico” na categoria “Sporozoa”.

Pr-23 Paramyxa

Do grego *para*, ao lado de; *myxa*, muco

Anteriormente ignorados ou agrupados com os “esporozoários”, os paramixanos simbiotróficos são imediatamente distinguidos de todos os outros organismos pelo seu comportamento de “células de aninhamento”.

Pr-24 Myxospora (Myxozoa, mixosporídeos)

Do grego *myxa*, muco; do latim *spora*, esporo

Este filo consiste nos tradicionais mais bem conhecidos “esporozoários”, organismos multicelulares que alguns acreditam serem animais. Estes formadores de “esporos” aeróbicos são frequentemente confundidos com microscópios amitocondriados, devido a membro de ambos os grupos terem filamentos polares, embora seus respectivos filamentos difiram grandemente em estrutura e função.

Pr-25 Rhodophyta (Alga vermelha)

Do grego *rhodos*, vermelho; *phyton*, planta

Os organismos sexuais deste filo e do Gamófito provavelmente desenvolveram seu sistema de acasalamento de conjugação peculiar independentemente de qualquer outro, e independentemente dos fungos, a maioria dos quais apresenta comportamento similar.

Pr-26 Gamophyta (Conjugaphyta, algas verdes de conjugação)

Do grego *gamos*, casamento; *phyton*, planta

As gamófitas são algas verdes que não possuem undulipódis em todos os estágios de sua história de vida. Sem espermatozóides móveis, qualquer outro espermatozóide ou outros meios de locomoção, elas normalmente entram em processos sexuais.

Pr-27 Actinopoda

Do grego *actinos*, raio; *pous*, pé

Os protistas marinhos que Ernst Haeckel tradicionalmente chamou de “radiolarianos” e outros plânctons superficialmente semelhantes protistas grandes com alguma simetria radial, são agrupados como classes no Filo Actinopoda por conveniência e didática.

Pr-28 Chlorophyta (Algas verdes)

Do grego *chloros*, verde-amarelado; *phyton*, planta

As clorófitas são algas que tem cloroplastos verdes, circundados por duas membranas, e que formam zoósporos ou gametas com undulipódios, normalmente pelo menos dois, de igual tamanho.

Pr-29 Chytridiomycota

Do grego *chytra*, pequeno pote de barro de cozinhar; *mykes*, fungo

Dados recentes de sequência genética de RNA ribossômico reforçaram a hipótese de que os quitrídeos evoluíram, pela perda de undulipódios, nos ancestrais da linhagem dos fungos.

Pr-30 Zoomastigota (Zoomastigotas, zooflagelados)

Do grego *zoion*, animal; *mastix*, chicote

Os zoomastigotas são unicelulares fagotróficos ou nadadores aeróbicos osmotróficos. Antigos membros amitocondriados foram removidos para o Archaeoprotista. Aqueles com mitocôndrias achatadas e cristadas estão agora na Discomitochondriates, deixando aqui uma miscelânea de unicelulares.

ANIMALIA

Do latim *anima*, respiração, alma

Organismos diploides que se desenvolvem de embriões (blástulas) e que se formam por fusão (fertilização: citogamia e cariogamia) de óvulos e espermatozoides haploides (anisogametas). A meiose de gametas produz anisogametas.

Na classificação de dois reinos (animais e plantas) – mais antiga e não usada neste livro – os animais compostos de muitas células (multicelulares) eram referidos como Metazoa para distingui-los dos Protozoa (animais unicelulares). No nosso sistema, não há animais unicelulares: os protozoários tradicionais estão colocados no Reino Protocista. Definimos animais como organismos heterotróficos, diploides, multicelulares, que normalmente (exceto as esponjas) se desenvolvem a partir de uma blástula. A blástula, um embrião multicelular que se desenvolve do zigoto diploide, produzido pela fertilização de um grande óvulo haploide por um pequeno espermatozoide haploide, é única aos animais.

Os detalhes de desenvolvimento embrionário posterior diferem largamente de filo para filo. Contudo, padrões de desenvolvimento comuns proporcionam pistas para as relações entre os filios. Em muitos filios, os detalhes do desenvolvimento são conhecidos para muito poucas espécies até o momento; em alguns filios, para nenhuma das espécies.

A multicelularidade não é única aos animais; organismos multicelulares são abundantes em todos os reinos. Exemplos incluem a maioria das Cyanobacteria (Filo B-5) e Actinobacteria (Filo B-12) no Reino Bacteria; Phaeophyta (Filo Pr-17), Oomycota (Filo Pr-20) e Rhodophyta (Filo Pr-25) no Reino Protocista; a maioria dos membros do Reino Fungi; e todos os membros do Reino Plantae.

A maioria dos animais ingere nutrientes. Muitos animais levam o alimento para dentro de seus corpos através de uma abertura oral e então os engolfam partículas sólidas em células digestivas por fagocitose (“comer células”), ou gotas de líquido por pinocitose (“beber células”), ou absorvem as moléculas de alimento através de membranas celulares. Os parasitas, tais como os ortonectídeos (Filo A-8) e vermes-de-górdio (Filo A-11), frequentemente não possuem sistemas digestivos. Animais movidos a luz solar, tais como *Convoluta paradoxa* (um platelminto, Filo A-5) e *Elysia* (um molusco, Filo A-26), adquirem simbiontes, fotossintetizadores, como os proctotistas que se tornaram plantas (Filo Pr-28).

De todos os organismos, somente os animais foram bem-sucedidos em invadir ativamente a atmosfera. Representantes de todos os cinco reinos (por exemplo, esporos de bactérias, fungos e plantas) gastam frações significantes de seus ciclos de vida suspensos na atmosfera, mas nenhum em qualquer reino gasta toda sua história de vida no ar. O vôo ativo evoluiu somente nos animais. A locomoção dos animais através do ar evoluiu de forma independente diversas vezes, mas em somente dois filios: Mandibulata, classe Insecta, e Craniata, Classes Aves (aves), Mammalia (morcegos) e Reptilia (diversos dinossauros voadores extintos).

Por muitos anos, e mesmo agora, alguns biólogos associam animais a um de dois grandes grupos: os invertebrados – animais sem espinhas dorsais, e os vertebrados – animais com espinha dorsal. Todos os animais, exceto os membros do próprio filo, Craniata, são invertebrados. Hoje em dia, cerca de 98% de todos os animais vivos são invertebrados. Esta dicotomia, invertebrado-vertebrado, considera de forma significativa a nossa perspectiva distorcida. Nossos animais de estimação, bestas de cargas e fontes de alimento, couro e ossos – isto é, animais terrestres mais próximos do nosso tamanho e mais familiares – são membros do nosso próprio filo. De um ponto de vista menos antropocêntrico, os atributos que não há ausência de uma espinha dorsal são melhores indicadores da divergência evolutiva primitiva. Preferimos descrever estes animais, na maioria marinhos, por seus atributos únicos a diferencia-los coletivamente como invertebrados.

Resumos amplos de sistema orgânicos que executam circulação, respiração, digestão, sustentação e reprodução serão discutidas na descrição de cada filo. Certos organismos têm circulação sanguínea aberta em pelo menos parte dos seus corpos em vez de veias, artérias e capilares. Em outros, o sangue está confinado em artérias, capilares e veias, as quais são referidas como um sistema circulatório fechado. Um sistema circulatório transporta gases dissolvidos – oxigênio e dióxido de carbono – enquanto um sistema excretor funciona para livrar um organismo de rejeitos tóxicos como, por exemplo, algumas espécies são monoicas (uma casa, hermafrodita), tendo ambos os sexos em um único organismo individual; outras são dioicas (duas casas), com organismos machos e fêmeas separados. Os organismos monoicos podem ser hermafroditas simultâneos ou hermafroditas sequenciais – primeiro macho e depois fêmea e depois macho.

É provável que os filios animais, com exceção dos poríferos, especialmente os eumetazoários, tiveram ancestrais entre os proctotistas.

A-1 Placozoa (Trichoplax)

Grego *plakos*, plano; *zoion*, animal

Somente uma espécie, *Trichoplax adhaerens*, é conhecida neste filo. Macia e tão pequena a ponto de ser dificilmente visível a olho nu. *T. adhaerens* está entre os animais mais simples.

A-2 Porifera (Esponjas, poríferos)

Latim *porus*, poro; *ferre*, portar

Os poríferos, as esponjas, recebem esse nome por causa dos seus poros. A maioria das esponjas tem milhares de poros pelos quais a água flui: assim suas formas corporais contribuem em grande parte para o fluxo de água corrente induzido através de seus corpos.

A-3 Cnidaria (Cnidários, hidras)

Grego *knide*, urtiga

As anêmonas-do-mar, as “águas vivas”, as hidras e os corais entre as 9.400 espécies de cnidários. Estes invertebrados radialmente simétricos são os membros com menos complexos morfologicamente do Sub-reino Eumetazoa, os metazoários verdadeiros.

A-4 Ctenophora (“Geléias-de-pente”)

Grego *kteis*, pente; *pherein*, portar

Os corpos dos ctenóforos são flexíveis e móveis, com a consistência de uma geléia num saco membranoso. Placas de geléia com a forma de um remo (ctenas), únicas aos ctenóforos, impulsionam estes invertebrados translúcidos, com simetria birradial, através do mar.

A-5 Platyhelminthes (Vermes-chatos)

Grego *platys*, chato; *hēlmis*, verme

Os platelmintos são os vermes chatos em forma de fita e de folha. O corpo macio do verme chato tem simetria bilateral. As estruturas para capturar e consumir as presas estão localizadas na extremidade anterior, exceto nos vermes chatos turbelarianos, nos quais a boca está localizada ventralmente.

A-6 Gnathostomulida (Vermes-de-presa)

Grego *gnathos*, mandíbula; *stoma*, boca

Os gnatostomulídeos são vermes-de-presa translúcidos, caracterizados por presas únicas, dentadas, próximas às suas bocas ventrais. Estes vermes de vida livre estão em fungos, bactérias e protoctistas entre os grãos da areia do mar.

A-7 Rhombozoa (Rombozoários)

Grego *rhombus*, um topo torcido; *zoion*, animal

Dois grupos de invertebrados – Rhombozoa e Orthonectida – eram designados antigamente como duas classes – Rhombozoa (diciemídeos e heterociemídeos) e Orthonectida (ortonecnídeos) – dentro do Filo Mesozoa.

A-8 Orthonectida (Ortonectídeos)

Grego *orthos*, reto; *nektos*, natação

Os ortonecnídeos, como os membros do Filo Rhombozoa, eram anteriormente considerados uma classe do Filo Mesozoa. Uma observação mais detalhada elevou os ortonecnídeos ao *status* de filo, baseado em suas características únicas.

A-9 Nemertina (Vermes-de-fita, Nemertinos, Nemertes, Rinocelos)

Grego *Nemertes*, uma ninfa do mar

Nemertina é um filo que consiste na maioria em vermes de vida livre encontrados em habitats marinhos, de água doce e de solo. Seu nome comum de verme-de-fita se refere a seus corpos chatos e aos padrões de cores brilhantes.

A-10 Nematoda (Nematódeos, “vermes-de-cordão”, “vermes-redondos”)

Grego *nema*, fio

Os nematódeos são vermes pseudocelomados não-segmentados, não percebidos até que eles chamem nossa atenção infestando nossas plantas, nossos animais ou a nós mesmos.

A-11 Nematomorpha (“Vermes-de-górdio”, “vermes-de-crina”, nematomorfos)

Grego *nema*, fio; *morphe*, forma

Os nematomorfos são comumente chamados de “vermes-de-crina”. Seus nomes de originam da crença de que estes vermes macios e cilíndricos, observados em lavagens de cocheiras tinham origem nas crinas dos cavalos.

A-12 Acanthocephala (Vermes-de-cabeça-espinhosa)

Grego *akantha*, espinho; *kephale*, cabeça

Os vermes-de-cabeça-espinhosa (“vermes-de-espinho”), ou acantocéfalos, são parasitas que vivem no intestino de vertebrados e – no seu ciclo de vida inicial – dentro de invertebrados. A probóscide protrátil com espinhos é globular ou cilíndrica; o corpo também pode conter espinhos pontudos.

A-13 Rotifera (Rotíferos)

Latim *rota*, roda; *ferre*, portar

O rotífero é um animal aquático diminuto, cujo nome provém de uma ilusão de ótica – as ondas dos cílios batendo na sua cabeça parece uma roda em rotação. Os cílios têm um duplo propósito: propõem o rotífero na natação e dirigem correntes de alimentos para sua boca.

A-14 Kinorhyncha (Quinorrincos)

Grego *kinein*, mover; *rynchos*, tromba

Os quinorrincos são animais marinhos de vida livre, geralmente com 1mm ou menos, um tanto quanto maiores do que os rotíferos e os gastrotríqueos.

A-15 Priapulida (Priapulídeos)

Latim *priapulus*, pequeno pênis

Os priapulídeos são vermes curtos, gordos e exclusivamente marinhos. A probóscide dos priapulídeos termina numa boca e inverte à medida que ela se retrai, tal que a probóscide (pressoma) é chamada de invaginação.

A-16 Gastrotricha (Gastróticos)

Grego *gaster*, estômago; *thrix*, pêlo

Cristas, espinhos ou escamas ornamentam as costas e as laterais dos gastrotríqueos, mas não suas barrigas. Este filo deriva seu nome dos cílios que cobrem suas barrigas – o gastrotríqueo é composto das palavras gregas para “estômago peludo”.

A-17 Loricifera (Loricíferos)

Latim *loricus*, colete, cinte; *fero*, carregar, portar

Um loricífero é um animal microscópico com uma boca cônica – um tubo de boca anterior flexível -, uma cabeça contendo espinhos em forma de taco e em forma de garra, um pescoço (tórax) e uma cinta de placas chamadas de lorica que cobrem o abdômen.

A-18 Entoprocta (Entoproctos)

Grego *entos*, dentro; *proctus*, ânus

Os entoproctos são animais transparentes, pequeninos principalmente marinhos. A maioria é sésil, vivendo em colônias permanente e firmemente anexadas por hastes, estolhos horizontais e discos basais a rochas, empilhamentos, conchas, algas ou outros animais.

A-19 Chelicerata (Quelicerados)

Grego *cheli*, garra

Os quelicerados, que chegam ao número aproximadamente 75.000 espécies, incluem três classes: os “caranguejos-ferradura”, as “aranhas-do-mar” e as aranhas, escorpiões, ácaros, carrapatos, micuins e ceifeiros, também chamados de “papai-de-pernas-longas”.

A-20 Mandibulata (Uniramia) (Mandibulados, artrópodes mandibulados)

Latim *mandere*, mastigar; *mandibulum*, uma mandíbula

De mais de 30 milhões de espécies de animais que se estima existirem agora (somente cerca de 10 milhões das quais tem sido formalmente descritas e nomeadas), o Filo Mandibulata reivindica o maior número.

A-21 Crustacea (Crustáceos)

Latim *crustaceus*, que possui uma concha ou crosta

A característica que define o Filo Crustacea é possuir dois pares de antenas na cabeça, distinguindo os crustáceos de todos os outros artrópodes.

A-22 Annelida (Vermes anelídeos)

Latim *annellus*, pequeno anel

Os vermes anelídeos – poliquetas, minhocas (oligoquetas) e sanguessugas (hirudíneos) – são distinguidos por séries lineares de segmentos externos em forma de anel; as fendas entre os segmentos coincidem com os compartimentos internos, frequentemente separados por bainhas transversais de tecido (septos), contendo séries repetidas de nervos, músculos e sistemas excretorios.

A-23 Sipuncula (Sipúnculos, sipunculídeos, vermes-amendoim)

Latim *siphunculus*, pequeno tubo

Os sipúnculos são animais marinhos não-segmentados, habitantes de fendas e escavadores. A invaginação contrátil varia em tamanho de menos de metade do comprimento do tronco até várias vezes o comprimento do tronco em algumas espécies.

A-24 Echiura (Vermes-colher, equíuros, equiurídeos)

Grego *echis*, serpente; latim *-ura*, com cauda

Cerca de 140 espécies de equíuros conhecidos são denominados por suas probóscides flexíveis, que podem estender-se até cerca de 1,5 m de seus corpos macios e arredondados.

A-25 Pogonophora (Vermes-de-barba, pogonóforos, vermes-tudo)

Grego *pogon*, barba; *pherein*, portar

Os pogonóforos, os vermes-de-barba, são vermes marinhos bentônicos, que vivem em tubos de quitina eretos, fixos, que eles secretam nos sedimentos, conchas ou madeira em decomposição no fundo do oceano.

A-26 Mollusca (Moluscos)

Latim *molluscus*, macio

Do náutilus da câmara propelido a jato (mas de movimento bastante lento) até a célula de cone venenosa, a diversidade dentro dos moluscos é notável.

A-27 Tardigrada (Ursos-d'água, tardígrados)

Latim *tardus*, lento; *gradus*, passo

Devido a locomoção por patas dos tardígrafos, o naturalista inglês do século dezenove Thomas Huxley os denominou ursos-d'água, um nome pomposo.

A-28 Onychophora (Vermes-veludo, unicóforos, perípatos)

Grego *onyx*, garra; *pherein*, portar

Os onicóforos são comumente conhecidos como vermes-veludo: suas cutículas são ornamentadas com pequeninos ressaltos que tem a consistência de veludo.

A-29 Bryozoa (Ectoprocta, ectoproctos, animais-musgo)

Grego *bryon*, musgo; *zoion*, animal; *ektos*, exterior; *proktos*, ânus

Os briozoários, também chamados de ectoproctos ou animais de musgo, são primordialmente filtradores sésseis. Como os branquiópodes e os foronídeos, os briozoários têm órgãos com tentáculos chamados de lífóforos preenchidos com fluido.

A-30 Brachiopoda (“Conchas-de-lâmpada”(*lampshells*), braquiópodes)

Latim *brachium*, braço; grego *pous*, pé

Os branquiópodes são chamados de “conchas-de-lâmpada” porque se assemelham às antigas lamparinas a óleo. Como os mariscos e outros moluscos bivalves, o branqueópode tem duas conchas duras opostas (válvulas).

A-31 Phoronida (Foronídeos)

Grego *pherein*, portar; latim *nidus*, ninho

Todos os foronídeos são vermes marinhos sedentários, raros na maioria dos locais, mas encontrados em todo o mundo. O foronídeo, um lofoforado, carrega uma crina em forma de ferradura ou de mola espiralada, com tentáculos ciliados, em torno de sua boca.

A-32 Chaetognatha (Vermes-de-seta)

Grego *chaite*, cabelo; *gnathos*, mandíbula

O nome vernacular “verme-de-seta” é frequentemente dado aos chaetognatos devido aos seus corpos em forma de seta. A parte “queto” de seus nomes se refere a seus ganchos móveis, com os quais os chaetognatos seguram presas vivas.

A-33 Hemichordata (Vermes-bolota, pterobrânquios, enteropneustos, vermes-de-

língua)

Grego *hemi-*, metade; latim *chorda*, cordão

Os hemicordados são celomados pequenos, de corpos macios, caracterizados por uma probóscide, um colar e um tronco com fendas branquiais.

A-34 Echinodermata (Equinodermos)

Grego *echinos*, urtiga-do-mar; *derma*, pele

Os adultos equinodermos são invertebrados de simetria radial, com três características únicas: simetria de cinco partes; um esqueleto interno de carbonato de cálcio; e um celoma distintamente dividido, incluindo um sistema vascular de água.

A-35 Urochordata (Tunicados, seringas-do-mar, ascídias, larváceos, salpas)

Grego *oura*, cauda; latim *chorda*, cordão

Os tunicados são considerados cordados acraniados, porque os tunicados e os cordados têm as seguintes características em comum: uma notocorda; um cordão nervoso oco dorsal; fendas branquiais faringianas em algum período de suas vidas.

A-36 Cephalochordata (Anfioxo, lanceolados Acrania)

Grego *cephalo*, cabeça, latim *chorda*, corda

Os cefalocordados, como os tunicados, são cordados acraniados, isto é, os cordados que não possuem um crânio. Os cefalocordados variam de cerca de 5 a 15 cm de comprimento e vivem em fundos de mar arenosos e rasos.

A-37 Craniata

Grego *kranion*, cérebro

Os membros deste filo, o nosso próprio filo, são os mais familiares de todos os animais. Os craniados incluem cerca de 45.000 espécies, incluindo a maioria dos animais de importância econômica direta, exceto moluscos e artrópodes.

O REINO FUNGI

Latim *fungus*, provavelmente do grego *sp(h)ongos*, esponja

Conjugação (fusão de hifas ou celular) de osmótrofos dicarióticos ou haplóides (monocarióticos) que se desenvolvem de esporos fúngicos resistentes sem motilidade. As células, incluindo os esporos, têm paredes quitinosas. Os esporos são produzidos por mitose ou meios zigótica. Undulipódios (quinetossomos e axonemas) inexistente em todos os estágios. Equivalente aos Reinos Mychota ou Eufungi. Os registros fósseis se estendem desde a era Paleozóica inferior (450 milhões de anos atrás) até o presente.

O Reino Fungi, está limitado aos eucariotas que formam propágulos quitinosos resistentes (esporos fúngicos) e paredes celulares quitinosas, e que não possuem undulipódios (isto é, são amastigotas ou imóveis) em todos os estágios do seu ciclo de vida. Das 1.500.000 espécies de fungos que se estima existirem, cerca de 60.000 foram descritas; a maioria é terrestre, embora umas poucas espécies verdadeiramente marinhas sejam conhecidas. Devido aos fungos muitas vezes diferirem somente em características sutis, tais como detalhes da estrutura, dos pigmentos e de complexos compostos orgânicos, é provável que muitos ainda não tenham sido reconhecidos como espécies distintas.

Os fungos foram tradicionalmente colocados com as plantas e, alguns esquemas de classificação anteriores, os consideravam como um sub-reino do Reino Plantae. Contudo, os fungos estão claramente mais próximos dos animais do que das plantas. Em qualquer classificação, os fungos diferem dos ciclos de vida dos animais e das plantas, do modo de nutrição, do padrão de desenvolvimento e de muitas outras formas. Portanto, concordamos com muitos mitólogos que os fungos constituem seu próprio reino.

Os fungos não possuem estágio embrionário e se desenvolvem diretamente de esporos. Frequentemente nascidos em esporângios, os esporos podem ser de origem mitótica ou meiótica.

A reprodução sexual dos fungos é por conjugação, na qual as hifas dos tipos sexuais complementares se unem e se fundem. Um fungo pai pode ter hifas de dois tipos diferentes de acasalamento.

Quase todos os fungos são aeróbios, e todos eles são heterótrofos que caracteristicamente absorvem seu alimento. Eles excretam enzimas poderosas que decompõem o alimento fora dos fungos em moléculas menores; os nutrientes dissolvidos são então transportados para o fungo através da membrana Fonseca.

Os fungos são persistentes, resistindo a dessecação severa e outros desafios ambientais. Suas paredes celulares, composta de quitina polissacarídea nitrogenada, são duras e resistentes, e suportam perda de água.

Muitos fungos causam doenças, especialmente em animais, incluindo humanos, e em plantas. Contudo, muitos formam associações íntimas e construtivas com as plantas.

Muitos fungos produzem substâncias úteis aos humanos. Alguns fungos são fontes de ácidos nítricos e produtos farmacêuticos.

Milhares de outros antibióticos têm sido acrescentados à penicilina, que é um antibiótico produzido naturalmente pelo mofo *Penicillium chrysogenum*.

Os fungos adicionam sabor, cor, conteúdo proteico e preservam qualidades quando usados na produção de bebidas e alimento.

F-1 Zygomycota (Zygomycetes, zygomycetes)

Grego *zigon*, par; *mikes*, fungo

Os membros deste filo não possuem paredes de separação (septos), exceto para separação entre as estruturas reprodutivas e o resto do micélio.

F-2 Basidiomycota (Basidiomycotes, basidiomycetes)

Grego *basidion*, base pequena; *mikes*, fungo

Os basidiomicetos incluem a fuligem, a ferrugem, os fungos gelatinosos, os cogumelos, os bufa-de-lobo e os *stinkhorns*. O basídio, uma estrutura reprodutiva microscópica em forma de bastão, da qual seu nome é originário, distingue os basidiomicetos dos fungos nos outros filos.

F-3 Ascomycota (Ascomycotas, ascomecetos)

Grego *askos*, vesícula, *mykes*, fungo

Conhecidos como leveduras, os fungos azul-esverdeados, morchelas, trufas, líquens e os antigos “deuteromicetos”, os ascomicetos são um grupo grande, diverso e economicamente importante de fungos. Cerca de 30.000 espécies são conhecidas.

REINO PLANTAE

PLANTAE

Do latim *planta*, planta

Organismos haploides de sexos complementares crescem de esporos produzidos pela meiose (meiose esporogênica) que ocorre no diploide adulto. Estes haploides produzem gametas por mitose. A fertilização por espermatozoides (citogamia e cariogamia) ou núcleo do pólen (cariogamia) conduz a embriões diploides retidos pelo organismo haploide feminino durante o desenvolvimento inicial. Os registros fósseis se estendem desde a Era Paleozoica Inferior (450 milhões de anos atrás) até o presente.

Os membros do reino das plantas se desenvolvem de embriões – estruturas multicelulares envolvidas em tecido maternal. Devido a todas as plantas formarem embriões, elas são todas multicelulares. Além disso, devido aos embriões serem os produtos da fusão sexual de células, todas as plantas potencialmente têm um estágio sexual em seus ciclos de vida (embora isso não seja sempre realidade). No estágio sexual, o gameta masculino (núcleo espermático, haploide) fertiliza o gameta feminino (óvulo, ou núcleo do saco embrionário, haploide). Muitas plantas crescem e se reproduzem de modos que sobrepassam a fusão sexual binária – todas devem ter evoluído de ancestrais

que formavam embriões por fusão celular sexuada. Todas as plantas são compostas de células eucariotas, muitas com plastídios verdes. Distinguimos as plantas de todos os outros organismos mais por seus ciclos de vida do que por sua capacidade de fotossíntese, porque algumas plantas (“gotas-de-faia”, *Epifagus*, por exemplo) não executam a fotossíntese durante toda a sua existência. Todas as plantas que fotossintetizam produzem oxigênio (em comparação, nas espécies procariotas fotossintéticas as enzimas são ligadas como cromotóforos às membranas celulares, e não empacotadas separadamente; os padrões procariotas da fotossíntese anaeróbica e aeróbica incluem a formação de produtos finais como enxofre, os sulfatos e o oxigênio).

As plantas são os organismos mais responsáveis, na terra e em ambientes marinhos rasos, pela transformação da energia solar, da água e do dióxido de carbono em produtos primários: alimentos, fibras, carvão, óleo, madeira e outras formas de armazenamentos de energia (no oceano aberto, os protoctistas planctônicos são os produtores primários).

Dois grandes grupos – as plantas avasculares (informalmente chamadas de briófitas, e também chamadas de Bryata) e as plantas vasculares (Traqueófitas) – constituem o reino das plantas. As espécies de traqueófitas, as familiares plantas lenhosas e herbáceas, são distinguidas por sistemas vasculares – tecidos condutores lignificados, chamados de xilema e floema.

As plantas vasculares podem ser agrupadas em plantas vasculares portadoras de sementes (Filos PI-8 até PI-12) e não-portadoras de sementes (Filos PI-4 até PI-7). A grande maioria das plantas existentes atualmente são traqueófitas que pertencem ao Filo Anthophyta, as plantas com flores (Filo PI-12). O número atual de gimnospermas (do grego *gymno*, nu; *sperma*, semente) é de cerca de 720 espécies em 65 gêneros, comparados com aproximadamente 240.000 espécies de plantas com flores.

Quatro filios de plantas vasculares não produzem sementes: os licopódios (Filo PI-4), os “fetos-espanador”(Filo PI-5), as cavalinhas (Filo PI-6) e os fetos (Filo PI-7). Todas se reproduzem com esporos. A dispersão de esporos em hepáticas, antocerófitas e cavalinhas é auxiliada por elatérios (do grego, “diretor”) estruturas oblongas que se formam dentro dos esporângios. O esporângio é um órgão no qual as células sofrem meiose e produzem esporos (haploides). Um esporo é uma célula reprodutiva capaz de se desenvolver numa planta madura sem se fundir com outra célula; em comparação, um óvulo ou grão de pólen se funde com sua célula reprodutiva complementar para produzir uma nova planta. As plantas vasculares não portadoras de semente desenvolveram um grande conjunto de estruturas foliares.

Chamamos os três filios de plantas avasculares (PI-1 até PI-3) de Bryata – musgos, hepáticas e antocerófitas. As opiniões variam em relação a *Takakia*, considerada um musgo por alguns, incluindo nós, e um filo separado (ou

divisão) por outros. Todas as plantas avasculares têm um talo – um corpo vegetal sem folhas verdadeiras, caule ou raízes. Como elas não possuem raízes nem sistema vasculares verdadeiros, obtêm umidade e nutrientes do ambiente por difusão direta através de seus tecidos. Dentro de seus corpos, a difusão, a ação capilar e a corrente citoplasmática conduzem os fluidos. Os musgos também têm células condutoras chamadas de leptoides e hidroides, mas estas são não-lignificadas. Os hidroides são células alongadas que não possuem citoplasma vivo na sua maturidade. As suas paredes de extremidades finais são muito permeáveis aos solutos e à água. As células leptoides condutoras de nutrientes circundam as hidroides em alguns musgos. Filamentos delicados uni- ou multicelulares (rizoides) ancoram as plantas avasculares ao solo, rochas ou cascas de árvores.

As licófitas e as psilófitas têm sido colocadas como representantes vivos da primeira divisão das linhagens primitivas de plantas terrestres vasculares. Estudos de DNA de cloroplastos tendem a confirmar a evidência geológica de que os licopódios são parentes mais próximos das plantas avasculares (Filos PI-1 até PI-3), enquanto as psilófitas são parentes mais próximos das plantas vasculares (Filos PI-6 até PI-12) do que dos licopódios.

Se parece que há muito menos grupos de plantas do que grupos de animais, isto é parcialmente devido aos táxons animais e vegetais serem definidos por critérios morfológicos, e a diversidade da anatomia interna e externa é mais extensa nos animais do que nas plantas. As diferenças entre muitas plantas são sutis, frequentemente envolvendo distinções químicas. As plantas produzem muitos compostos químicos que são metabólitos secundários usados na defesa das plantas contra os fungos, animais e outras plantas, e por isso são exigidos somente indiretamente para a sobrevivência e a reprodução. Os compostos secundários incluem toxinas, compostos psicoativos com os alcaloides da maconha e venenos respiratórios como o cianeto – todos os quais impedem que os predadores comam a planta.

Todas as plantas se desenvolvem de embriões, organismos jovens multicelulares diploides sustentados por tecidos estéreis ou não-reprodutivos; nas coníferas, gnetófitas e angiospermas, o cotilédone (folha embrionária de semente) proporciona os nutrientes ao jovem embrião. O cotilédone das monocotiledôneas absorve alimentos, enquanto os cotilédones das dicotiledôneas armazenam alimentos.

Os ciclos de vida de todas as plantas avasculares são dominados pelas notáveis gametófitas verdes (haploides), exemplificadas por um manto verde de musgo. Para seguir o ciclo de vida dos musgos, em termos simples, um exemplo do ciclo de vida vegetal em geral, começamos com a reprodução sexuada. O órgão reprodutivo masculino – o anterídio – produz anterozoides com um par de undulipódios apontando para frente. O órgão reprodutivo

feminino – o arquegônio – produz uma oosfera. Os anterozoides dos musgos são dispersados do gametófito masculino maduro pelo choque de gotas de chuva. Numa vista ampliada do arquegônio, os espermatozoides podem ser vistos nadando em direção à oosfera. Os espermatozoides das cicadáceas, gincos, gnetófitas, coníferas e angiospermas são carregados para o óvulo num tubo de pólen, formando após a germinação do grão de pólen. O núcleo do tubo do grão de pólen maduro dirige o crescimento do tubo para o óvulo. Nas angiospermas o tubo cresce através do estigma e do estilete. O tubo do pólen proporciona um ambiente úmido para o espermatozoide; assim sua evolução eliminou a necessidade do ambiente aquático durante a fertilização. Lá – dentro do arquegônio e ainda no gametófito feminino – a fertilização do óvulo pelo espermatozoide acontece. A fertilização restaura o diploidismo (a condição $2n$) e inicia o desenvolvimento do zigoto no embrião. O embrião desenvolve-se no esporófito diploide, que emerge do arquegônio. O jovem esporófito obtém nutrientes do gametófito feminino, no qual ele se aninha permanentemente. As plantas de sementes existentes que produzem gametas não-móveis, em comparação com os tubos de pólen, constituem o fim de uma série que se estende desde os musgos, as hepáticas, as antocerófitas, os licopódios, as cavalinhas, as psilófitas e os fetos – todos tendo gametas nadadores – passando pelos gincos e as cicadáceas, que têm tubos de pólen assim como gametas móveis, até as coníferas, as gnetófitas e as plantas de flores, com tubos de pólen como condutores para gametas masculinos não-móveis. As histórias da vida das plantas são tão elegantemente diversas quanto suas formas e cores.

PI-1 Bryophyta (Musgos)

Do grego *bryon*, musgo; *phyton*, planta

As plantas avasculares, informalmente chamadas de “briófitas”, são as hepáticas, as antocerófitas, *Takakya* e os musgos, mas somente musgos e *Takakya* estão agora incluídos no Filo Bryophyta.

PI-2 Hepatophyta (Hepática)

Do grego *hepat*, fígado; *phyton*, planta

Os espécimes do Filo Hepatophyta são comumente chamados de hepáticas – um termo derivado da forma de fígado de seus gametófitos.

PI-3 Anthoceroophyta (Antocerófitas)

Do grego *anthos*, flor; *keros*, cera; *phyton*, planta

Os espécimes do Filo Anthocerophyta, chamados de “hepáticas chifrudas”, ou simplesmente antocerófitas, derivam seu nome comum do esporófito alongado em forma de chifre que está encaixado no gametófito por um pé.

PI-4 Lycophyta (“Musgos-de-bastão”, licófitas, licopódios)

Grego *lykos*, lobo; *phyton*, planta

Os espécimes de licófitas – licopódios, “musgos-de-prego” e “plantas-pena” – são relictos (sobreviventes) de um glorioso passado de 400 milhões de anos de idade.

PI-5 Psilophyta (Psilófitas, “feto-espanador”)

Do grego *psilo*, nu; *phyton*, planta

As espécimes de psilófitas, *Psilotum* e *Tmesipteris*, são únicas entre as plantas vasculares sem semente. Elas constituem o único filo de plantas vasculares que – como as hepáticas, antocerófitas e musgos avasculares – não possuem nem raízes nem folhas.

PI-6 Sphenophyta (Esfenófitas, equisetófitas, cavalinhas)

Do grego *sphen*, cunha; *phyton*, planta

A cavalinha comum pertence às esfenofitas de plantas vasculares sem sementes, facilmente reconhecidas por seus caules ocos e articulados com costelas ásperas.

PI-7 Filicinophyta (Pterophyta, Pterodatina, pteridófitas, fetos)

Do latim *felix*, feto; do grego *phyton*, planta; e *pteridium*, asa pequena, pena

Os fetos são plantas vasculares sem sementes que, como as briófitas, as psilófitas, as licófitas e as esfenófitas, reproduzem-se e dispersam-se através de esporos.

PI-8 Cycadophyta (Cicadácias)

Do grego *kikos*, uma palmeira; *phyton*, planta

Algumas cicadáceas são pequenos arbustos, como *Zamia*, que tem cerca de 0,3m de altura, enquanto outras, como *Cycas* e *Microcycas*, são árvores do tipo de palmeira com mais de 18m de altura.

PI-9 Ginkgophyta

Do japonês *ginkyo*, “damasco prateado”; do grego *phyton*, planta

A árvore ginko, *Ginkgo biloba*, [e o único gênero e espécie do Filo Ginkgophyta, um filo de plantas e sementes vasculares. Em número de espécies (uma), este é o menor filo vegetal.

PI-10 Coniferophyta (Coníferas)

Do latim *conus*, cone; *ferre*, portar; do grego *phyton*, planta

A maioria dos gminospermas de cone são árvores, embora alguns sejam arbustos e coníferas procumbentes arrepiadas. Como em todas as gminospermas, o esporófito da conífera é a geração notável, enquanto o gametófito é menor e nutricionalmente dependente do esporófito.

PI-11 Gnetophyta (Gnetófitos)

Do latim *gnetum*, do *danemu* malásio das ilhas molucas, uma espécie gnetófito encontrada na ilha de Ternate; do grego *phyton*, planta

As gnetófitas são plantas de semente vasculares, distintas de outras gimnospermas; elas tem tubos longos condutores de água chamados de vasos.

PI-12 Anthophyta (Angiospermas, magnoliáceas, plantas floríferas)

Do grego *anthos*, flor; *phyton*, planta

As plantas florescentes, ou de flores, as angiospermas, são as superestrelas da diversidade e da abundância. Mais de 230.000 espécies de angiospermas estão agrupadas em cerca de 350 famílias.

QUESTIONÁRIO

1. Quais são os fatores que fazem as bactérias serem as mais resistentes dos seres vivos?

As bactérias são os mais resistentes dos seres vivos. Algumas podem sobreviver a temperaturas muito baixas, bem abaixo do congelamento, por anos; outras vicejam em fontes de água fervente; e outras ainda, crescem até em ácidos muito fortes (*hot acid*), ou vivem retirando hidrogênio e dióxido de carbono das rochas.

2. Como os protoctistas se desenvolvem?

Todos os protoctistas se desenvolveram por simbiose dentre pelo menos dois tipos diferentes de bactérias – em alguns casos, dentre muito mais do que dois.

3. O que é blástula?

A blástula, um embrião multicelular que se desenvolve do zigoto diploide, produzido pela fertilização de um grande óvulo haploide por um pequeno espermatozoide haploide, é única aos animais.

4. Descreva o que são os eucariotas.

Está limitado aos eucariotas que formam propágulos quitinosos resistentes (esporos fúngicos) e paredes celulares quitinosas, e que não possuem undulipódios (isto é, são amastigotas ou imóveis) em todos os estágios do seu ciclo de vida.

5. Descreva o estágio sexual do reino das plantas.

No estágio sexual, o gameta masculino (núcleo espermático, haploide) fertiliza o gameta feminino (óvulo, ou núcleo do saco embrionário, haploide). Muitas plantas crescem e se reproduzem de modos que sobrepõem a fusão sexual binária – todas devem ter evoluído de ancestrais que formavam embriões por fusão celular sexuada.

11. RAVEN, P. H.; EVERT R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia Vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. seções 4, 5, 6 e 7.

SEÇÃO 4

Diversidade Sistemática

A sistemática - estudo científico da diversidade biológica - compreende a taxonomia (a identificação), a nomenclatura, a classificação das espécies e a filogenética (o entendimento das inter-relações evolutivas entre os organismos). Os nomes científicos obedecem a uma nomenclatura binomial, ou seja, a primeira palavra no binômio corresponde ao gênero; a segunda palavra, que corresponde ao epíteto específico, combinada ao nome do gênero, completa o nome da espécie. Os gêneros são agrupados em famílias; as famílias em ordens; as ordens em classes; as classes em filós e os filós em reinos. Baseando-se em estudos taxonômicos recentes, os reinos são agrupados em domínios. Os organismos são classificados filogeneticamente usando-se caracteres homólogos, em vez de análogos.

Novas técnicas em sistemática molecular estão fornecendo um método, relativamente objetivo e explícito, para comparar organismos, o gene. Os estudos obtidos a partir de sequências da pequena subunidade do RNA ribossômico, agrupam os organismos vivos em três domínios: *Bactéria*, *Archaea* e *Eukarya*. *Bactéria* e *Archaea* são duas linhagens distintas de organismos procarióticos. *Archaea* é mais estreitamente relacionada com *eukarya* do que com *Bactéria*. *Eukarya* consiste inteiramente em eucariotos. Protista, Fungi, Plantae e Animália são reinos dentro de *Eukarya*.

Procariotos e vírus

Os procariotos são muito simples estruturalmente. Em termos evolutivos, eles são também os mais antigos organismos da Terra e consistem em duas linhagens distintas, os domínios *Bactéria* e *Archaea*. Os procariotos não possuem núcleo organizado nem organelas celulares envolvidas por membranas. A maior parte do seu material genético está incorporada em uma única

molécula circular de DNA de fita dupla, que se replica antes da divisão celular. Frequentemente, fragmentos adicionais do DNA circular, conhecidos como plasmídeos, também estão presentes. Com exceção dos micoplasmas, todos os procariotos têm parede celular rígidas. Nas *Bactéria*, esta parede celular é composta principalmente de peptidoglicanos. As bactérias Gram-negativas, cuja parede celular não fixa o corante violeta cristal, possuem uma camada externa de lipopolissacarídeos e proteínas sobre a camada de peptidoglicano. Muitos procariotos secretam substâncias mucilaginosas ou gelatinosas na superfície de suas paredes celulares, formando uma camada denominada glicocálice ou cápsula. Muitos procariotos se reproduzem por divisão binária. Mutações, combinadas ao curto tempo de geração dos procariotos, são responsáveis por sua alta adaptabilidade. A recombinação genética pode ocorrer através de conjugação, transformação e transdução. Certas bactérias têm a capacidade de formar endósporos. Alguns procariotos são autótrofos, a maioria é heterótrofa. Os procariotos saprófitas, juntamente com os fungos, são os recicladores da biosfera. Os autótrofos podem ser fotossintetizantes ou quimiossintetizantes. De todos os organismos vivos, somente certas bactérias conseguem fixar o nitrogênio. Sem as bactérias, a vida na Terra, como nós a conhecemos, não seria possível. Os procariotos podem ser aeróbios, anaeróbios estritos, ou ainda, anaeróbios facultativos. Podem ser encontrados a 0 °C ou menos (psicrófilos), até os que se desenvolvem em temperaturas acima de 100 °C (termófilos extremos). Muitas bactérias são patógenos importantes, tanto de plantas quanto de animais.

Bactérias fotossintetizantes podem ser divididas em três grupos principais: as **cianobactérias**, as **proclorófitas** e as **bactérias purpúreas e verdes**. Muitos gêneros de cianobactérias podem fixar nitrogênio. Isto leva a crer que as *Bactéria* estão envolvidas na origem simbiótica dos cloroplastos. No início da história dos eucariotos, um fato simbiótico similar a este ocorrido na origem dos cloroplastos parece ter dado origem às mitocôndrias.

As *Archaea* também podem ser divididas em três grandes grupos: **halófilos extremos**, **metanogênicos** e **termófilos extremos**. Um quarto grupo é representado por um único gênero, *Thermoplasma*, que não possui parede celular. Acreditava-se que as *Archaea* ocupavam, primariamente, ambientes hostis; hoje, sabe-se que constituem os principais componentes do picoplâncton (organismos com menos de 1 micrometro) oceânico.

Os vírus são estruturas não-celulares, constituídas de DNA ou RNA, envoltas por uma capa de proteína. Os vírus possuem genomas que se replicam dentro de um hospedeiro vivo, direcionando o mecanismo genético da célula para a síntese de ácidos nucléicos e proteínas virais.

Os vírus são responsáveis por causar diversas doenças em humanos e outros animais, e ainda são responsáveis pela causa de mais de 2.000 tipos

diferentes de doenças em plantas. A transmissão dos vírus, de plantas doentes para sadias, frequentemente envolve insetos vetores. Uma vez dentro da célula hospedeira, a partícula viral, ou vírion, desprende seu capsídeo, liberando o ácido nucléico. A maioria dos vírus de plantas é constituída de RNA.

Fungos

Os fungos, juntamente com as bactérias heterotróficas, são os principais decompositores da biosfera, quebrando a matéria orgânica e reciclando o carbono, o nitrogênio e outros componentes, que são liberados no solo e no ar. A maioria dos fungos é sapróbia. Muitos fungos atacam organismos vivos e são agentes causadores de doenças em plantas, animais domésticos e no homem. O reino *Fungi* inclui as leveduras, que são fungos utilizados na fabricação de queijos, os cogumelos comestíveis, *Penicillium* e outros produtores de antibióticos. São organismos que crescem rapidamente e produzem filamentos chamados hifas, classificadas em septadas e asseptadas. Na maioria dos fungos, as hifas formam micélio. Fungos parasitas apresentam haustórios (hifas especializadas), que extraem nutrientes das células vivas de outro organismo. Os fungos reproduzem-se por esporos; secretam enzimas sobre a fonte de alimento e então absorvem as moléculas liberadas. O principal componente da parede de um fungo é a quitina. Glicogênio é o principal polissacarídeo de reserva.

Os fungos são isógamos (gametas similares na forma e no tamanho); a meiose é zigótica. O reino *Fungi* inclui quatro filós: *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota* e *Basidiomycota*, bem como um grupo artificial conhecido como deuteromicetos. Há muitas evidências de que animais e fungos divergiram a partir de um ancestral comum, representado por um protista colonial. Os *Chytridiomycota* são principalmente aquáticos. Formam o único grupo de fungos com células reprodutivas móveis, as quitrídias, em geral hifas cenocíticas, com poucos septos à maturidade. Algumas espécies são parasitas, outras são sapróbias. Muitas são fitopatógenas.

Os *Zygomycota* ou zigomicetos tem micélio cenocítico. Os esporos são produzidos em esporângios. Os zigomicetos são assim chamados porque, a partir da reprodução sexuada, formam esporos de resistência denominados zigósporos. Estes desenvolvem-se dentro de estruturas com parede espessa chamadas zigosporângios.

No filo /Ascomycota, comumente denominados ascomicetos, há cerca de 32.300 espécies. Em nenhum outro grupo encontram-se tantas espécies como neste. A característica distintiva são os ascos, encontrados dentro de estruturas chamadas ascomas (antigamente conhecidas como ascocarpos). No

filo *Basidiomycota* encontram-se muitos fungos macroscópicos e bem familiares. Incluem-se os cogumelos comestíveis, chapéus-de-sapo, orelhas-de-pau e outros; bem como as ferrugens e carvões, estes importantes fitopatógenos. A característica distintiva do filo é a produção de basídios. Cada um destes produz quatro basidiósporos.

As leveduras são fungos unicelulares que, tipicamente, se reproduzem por brotamento, um método assexuado de reprodução. A maioria das leveduras é do grupo dos ascomicetos, e se reproduzem sexualmente, por intermédio da produção de ascósporos.

Os deuteromicetos ou *Fungi Imperfecti*, incluem milhares de espécies sem ciclo sexuado conhecido.

Os líquens (micobionte mais fotobionte), são associações simbióticas e mutualísticas entre um fungo e uma população de algas verdes ou de cianobactérias. 98% dos fungos dessa associação pertencem aos ascomicetos. O restante pertence aos basidiomicetos. As micorrizas são associações mutualísticas entre fungos e raízes.

Protista I - Euglenofíceas, mixomicetos, criptofíceas, algas vermelhas, dinoflagelados e haptófitas

São considerados protistas os organismos fotossintetizantes (autótrofos), as algas, e os organismos heterotróficos, antigamente tratados por fungos. Nos últimos incluem-se os *Myxomycota* e *Dictyosteliomycota*, bem como os *Oomycota*. Nas algas incluem-se os protistas fotossintetizantes bem como organismos incolores relacionados, que correspondem a importantes componentes da cadeia alimentar aquática e fazem parte, junto com as cianobactérias, do fitoplâncton. Os mixomicetos, filo *Myxomycota*, exibem massas de protoplasma deslizantes e multinucleadas chamadas plasmódios, comumente diploide. Esses plasmódios formam esporângios com esporos diploides em seu interior. Cada esporo desses sofre meiose; três, dos quatro núcleos resultantes, degeneram e apenas um esporo com núcleo haploide permanece. Em condições favoráveis, os esporos

germinam produzindo amebas que podem tornar-se flageladas. Amebas e células flageladas podem funcionar como gametas.

Os dictiostelidas, filo *Dictiosteliomycota*, são organismos ameboides que, em determinada fase do ciclo da vida, agregam-se formando pseudoplasmodios. Células flageladas não são conhecidas. A reprodução assexuada por esporos é

comum. Ao contrário dos fungos, mas semelhantes a muitos outros protistas, os mixomicetos e os dictiostelidas alimentam-se por fagocitose. As Algas absorvem nutrientes de modos diferentes. Embora muitas delas sejam capazes de realizar a fotossíntese, a utilização de compostos orgânicos dissolvidos é também comum. A fagocitose ocorre em alguns membros de euglenófitas, criptófitas, dinoflagelados e haptófitas.

Aproximadamente um terço das euglenófitas são fotossintetizantes e possuem cloroplastos, que contêm clorofilas a e b e diversos carotenoides. Grânulos de paramido são estocados no citoplasma. As células contêm um vacúolo contrátil e flagelos, A reprodução sexuada é desconhecida.

As criptófitas são indivíduos unicelulares flagelados que parecem ter surgido da fusão de duas diferentes células eucarióticas, uma heterotrófica e outra fotossintetizante. Além das clorofilas a e c e carotenoides, alguns cloroplastos de criptófitas contêm ficocianina ou ficoeritrina, pigmentos solúveis em água, encontradas somente em cianobactérias e algas vermelhas. Os dinoflagelados são biflagelados e unicelulares. Muitos apresentam placas de celulose formando a parede ou teca. Outros não apresentam placas celulósicas, ou estas são muito finas. Aproximadamente metade dos dinoflagelados é fotossintetizante, possuindo clorofilas a e c. Alguns dinoflagelados marinhos produzem compostos tóxicos, como os que provocam a maré vermelha (*Gonyaulax sp.*). Outros produzem alimento na endossimbiose, com células de corais formadores de recifes.

As algas vermelhas, Filo *Rhodophyta*, formam um vasto grupo, facilmente encontrado em ambiente marinho (tropical). Geralmente, crescem fixas ao substrato e, às vezes, em grandes profundidades. Bioquimicamente, os cloroplastos são muito semelhantes às cianobactérias, das quais eles provavelmente derivaram. Também são fontes de carboidratos úteis e valiosos, tais como o ágar. As haptófitas, Filo *Haptophyta*, são encontradas com maior frequência no fitoplâncton marinho. Sua característica mais distintiva é a presença de uma estrutura semelhante a uma linha, que parece auxiliar a célula em sua localização, evitando obstáculos ou na captura de partículas de alimento. A maioria das haptófitas é fotossintetizante, possuindo clorofila a e c. Tem importância fundamental no ciclo do carbono e do enxofre.

Protista II - Heterocontas e algas verdes

As algas pardas, filo *Phaeophyta*, estão intimamente relacionadas a um conjunto diverso de protistas microscópicos, incluindo os oomicetos, filo *Oomycota*, diatomáceas, filo *Bacillariophyta*, e crisófitas, filo *Chrysophyta*. Coletivamente, estes organismos são conhecidos como heterocontófitas,

devido ao fato de possuírem dois flagelos que diferem em comprimento e ornamentação. Os oomicetos compreendem organismos desde unicelulares até formas filamentosas. A parede celular é composta principalmente por celulose. A reprodução assexuada faz-se por meio de zoósporos. A reprodução sexuada envolve uma oosfera grande e imóvel e um gameta masculino pequeno e móvel. As diatomáceas são organismos unicelulares ou coloniais que ocorrem tanto em água doce como marinha. Elas são importantes componentes do fitoplâncton e únicas por suas paredes silicosas divididas em duas partes. As Crisófitas podem apresentar pigmento dourado ou ser incolores; unicelulares ou coloniais. Abundantes em água doce e oceanos de todo mundo. Algumas crisófitas alimentam-se de bactérias ou outras partículas orgânicas. As algas pardas abrangem as maiores e mais complexas algas marinhas. Em muitas formas, o talo vegetativo é bastante diferenciado em apressório, estipe e lâmina. Algumas têm tecidos condutores de alimentos, próximos aos tecidos das plantas vasculares. Os Kelps gigantes formam florestas marinhas ecologicamente importantes. Estas algas são fontes de polissacarídeos industrialmente importantes. Os ciclos de vida da maioria dos Kelps envolvem alternância de gerações.

O filo *Chlorophyta* divide-se em três classes: as *Chlorophyceae*, as *Ulvophyceae* e as *Charophyceae*.

As algas verdes apresentam uma grande diversidade de formas de água doce e terrestre, além das marinhas. As *Ulvophyceae* são primariamente marinhas e a alternância de gerações ocorre em algumas espécies. As *Chlorophyceae* são primariamente de água doce. As *Charophyceae* de água doce são as algas verdes mais intimamente relacionadas com briófitas e plantas vasculares.

Briófitas

Evidências moleculares sugerem que as plantas terrestres são descendentes de algas verdes, e que as briófitas são as plantas vivas mais antigas, que divergiram a partir da linha principal de evolução das plantas. As briófitas estão representadas hoje pelas Hepáticas, Antóceros e Musgos. O gametófito é a geração dominante. Os órgãos sexuais masculinos, os anterídios, produzem numerosos anterozoides, o arquegônio, órgão sexual feminino, fabrica uma única oosfera. Os anterozoides são biflagelados e nadam até a oosfera. Da fecundação surge o esporófito que é transitório.

As hepáticas diferem dos musgos e antóceros pela ausência de estômatos. Os antóceros tem um típico meristema basal e nele falta tecido condutor especializado. Os musgos, pelo menos em alguns grupos, têm tecidos condutores especializados e estômatos que lembram aqueles das plantas vasculares. Os tecidos condutores dos musgos, quando presentes, consistem nos hidroides, células condutoras de água, e leptoides, células condutoras de alimento. As briófitas são abundantes e apresentam grande diversidade. Desempenham papel essencial no ciclo global do carbono.

Plantas vasculares sem sementes

As plantas vasculares são caracterizadas pelos tecidos vasculares xilema e floema, além de exibirem uma alternância de gerações heteromorfas, na qual o esporófito é maior e complexo, constituindo a fase nutricionalmente independente. Os corpos de muitas plantas vasculares consistem inteiramente em tecidos primários. Atualmente, o crescimento secundário está confinado, em grande parte, às plantas com sementes. Os tecidos vasculares primários e tecidos fundamentais associados exibem três arranjos básicos: a) o protostelo, que consiste em um tecido vascular sólido, centralmente localizado; b) o sifonostelo, que contém uma medula circundada pelo tecido vascular; e c) o eustelo, que consiste em um sistema de feixes circundando uma medula, com os feixes separados uns dos outros pelo tecido fundamental.

Quando comparamos a origem de raízes e folhas, percebemos que as primeiras surgiram de porções subterrâneas do corpo primitivo da planta. As folhas não têm uma origem única. Microfilos, folhas com uma única nervura, evoluíram ou como apêndices laterais superficiais do caule ou de esporângios estéreis. Megafilos, folhas com venação complexa, evoluíram de sistemas de ramos. As plantas vasculares homosporadas produzem somente um tipo de esporo, que podem dar origem a um gametófito bissexuado. As plantas heterosporadas produzem micrósporos e megásporos, que germinam e dão origem a gametófitos masculinos e gametófitos femininos, respectivamente. Tem havido uma longa e contínua tendência evolutiva em direção à redução no tamanho e na complexidade do gametófito, que culminou nas angiospermas. Os ciclos de vida das plantas vasculares sem sementes representam modificações de uma alternância de gerações heteromorfas essencialmente similares, na qual o esporófito é dominante e de vida livre. Os gametófitos das espécies homosporadas são nutricionalmente independentes do esporófito. Embora potencialmente bissexuados, produzindo tanto anterídios quanto arquegônios, estes gametófitos são funcionalmente unissexuados. Todas as plantas vasculares sem sementes tem anterozoides móveis e a presença de água faz-se necessária para que o anterozoide nade até a oosfera.

As plantas vasculares sem sementes são atualmente classificadas em quatro filós: as *Lycophyta* (incluindo *Lycopodium*, *Selaginella* e *Isoetes*), as *Psilotophyta* (*Psilotum* e *Tmesipteris*), as *Sphenophyta* (*Equisetum*) e as *Pterophyta* (samambaias). A maioria é homosporada, mas a heterosporia é exibida por *Selaginella*, *Isoetes* e samambaias aquáticas (*Salviniales* e *Marsileales*).

Gimnospermas

As plantas com sementes consistem em cinco filós com representantes vivos. Um desses é o das bem-sucedidas angiospermas, filo Anthophyta. Este apresenta um conjunto interessante de características. Os outros quatro, que não apresentam estas características, são agrupados como gimnospermas. As estruturas semelhantes a sementes mais antigas que se conhecem ocorrem em estratos do período Devoniano Superior, há cerca de 365 milhões de anos. Os prováveis ancestrais das gimnospermas e angiospermas são as progimnospermas, um grupo extinto de plantas vasculares sem sementes do Paleozoico.

As gimnospermas atuais compreendem quatro filós: Cycadophyta, Ginkgophyta, Coniferophyta e Gnetophyta. Seus ciclos de vida são, em essência, semelhantes, ou seja, uma alternância de gerações heteromórficas com esporófitos grandes, independentes, e gametófitos muito reduzidos. Os óvulos (megaesporângios mais tegumentos) apresentam-se expostos sobre megasporófilos ou estruturas análogas. Na maturidade, o gametófito feminino da maioria das gimnospermas é uma estrutura multicelular com vários arquegônios. Os gametófitos masculinos desenvolvem-se dentro de grãos de pólen. Em todas as plantas com sementes, não se observam anterídios. Nas gimnospermas, os gametas masculinos formam-se diretamente a partir da célula gametogênica. Em quase todas as plantas com sementes, observamos gametas imóveis. Nestas, a água não é necessária para que o gameta masculino chegue à oosfera, porque este é transportado por uma combinação de polinização e formação de tubo polínico. A fecundação ocorre

quando um gameta masculino do microgametófito (o grão de pólen germinado) une-se à oosfera, que na maioria das gimnospermas está localizada num arquegônio. O segundo gameta masculino aparentemente não tem função e se desintegra. Após a fecundação, cada óvulo desenvolve-se e forma uma semente.

Existem quatro filós de Gimnospermas com representantes vivos. As coníferas, filo *Coniferophyta*, são o maior e mais disperso filo de gimnospermas atuais, com cerca de 50 gêneros e aproximadamente 550 espécies. Elas dominam

muitas comunidades vegetais em todo o mundo, com pinheiros, abetos e outras árvores muito observadas no Hemisfério Norte. As cicadófitas, filo *Chcadophyta*, consistem em 11 gêneros e cerca de 140 espécies, predominantemente tropicais, mas afastando-se do equador nas regiões mais quentes. As cicadófitas são plantas parecidas com palmeiras, com troncos e crescimento secundário extremamente lento. Há apenas uma espécie viva do filo *Ginkgophyta* (*Ginkgo biloba*), conhecida apenas sob condições de cultivo. Os três gêneros do filo *Gnetophyta* correspondem às plantas vivas com maior afinidade em relação às angiospermas.

Introdução às angiospermas

As Angiospermas, ou plantas com flores, são do filo *Anthophyta*. As duas grandes classes deste filo são as monocotiledôneas (65.000) e as eudicotiledôneas (165.000). As plantas com flores diferem das outras plantas com sementes em diversas características, como a presença de endosperma nas sementes, devido aos óvulos estarem encerrados nos megasporófilos, os carpelos. Ainda diferem pela presença de suas estruturas reprodutivas distintas, as flores, que se caracterizam por possuírem carpelos e microsporófilos também especializados, os estames.

As flores podem ter até quatro vertidos de apêndices. De fora para dentro, os verticilos são as sépalas (coletivamente, o cálice); as pétalas (coletivamente, a corola); os estames (coletivamente, o androceu); e os carpelos (coletivamente, o gineceu).

A polinização nas angiospermas acontece pela transferência do pólen da antera para o estigma. Os gametas masculinos das angiospermas, ou células espermáticas, são levados pelo grão de pólen, que é o microgametófito imaturo. O gametófito feminino das angiospermas é denominado saco embrionário. Ambas as células espermáticas atuam na fecundação das angiospermas, a chamada dupla fecundação. Uma delas se une à oosfera, produzindo o zigoto diploide. A outra se une aos dois núcleos polares, formando o núcleo primário do endosperma, que é comumente triploide ($3n$). Este núcleo se divide formando um tecido nutritivo chamado endosperma, que pode ser absorvido pelo embrião em desenvolvimento ou pode persistir na semente madura.

Os ovários desenvolvem-se em frutos, que envolvem as sementes. Juntamente com as flores das quais derivam, os frutos são uma característica distintiva das angiospermas.

Nas angiospermas, ocorre a fecundação cruzada, mas também pode ocorrer a autopolinização.

Evolução das angiospermas

Os fósseis mais antigos atribuídos claramente às angiospermas são do Cretáceo inferior, cerca de 130 milhões de anos atrás. Eles incluem flores e pólen. As plantas com flores se tornaram dominantes no mundo inteiro entre 80 e 90 milhões de anos atrás.

A polinização por insetos é básica nas angiospermas. Os primeiros agentes polinizadores foram, provavelmente, os besouros. As abelhas, entretanto, são os mais especializados e constantes insetos visitantes das flores e, provavelmente, tiveram o maior efeito sobre a evolução da morfologia floral das angiospermas. Algumas angiospermas tornaram-se polinizadas pelo vento, pela água e por diversos grupos de animais.

Os frutos podem atrair animais que carregam as sementes e as lançam a quilômetros de distância, facilitando, dessa forma, a dispersão. A co-evolução bioquímica também foi importante para muitas angiospermas, assim, algumas fabricam produtos secundários que favorecem a sua adaptação, como alcaloides, que protegem a planta contra os herbívoros, apesar de alguns desses conseguirem lidar com a toxina e, assim, observamos uma co-evolução gradual das interações.

SEÇÃO 5

O corpo das angiospermas: estrutura

e desenvolvimento

Desenvolvimento inicial do corpo da planta

Iniciando-se com o zigoto, os sistemas caulinar e radicular da planta jovem são, a princípio, uma estrutura contínua. Com a divisão assimétrica do zigoto, a polaridade do embrião é estabelecida. Através de uma progressão ordenada de divisões, o embrião se diferencia em um suspensor e em um embrião propriamente dito, no interior do qual os meristemas primários (os precursores da epiderme, do tecido fundamental e dos tecidos vasculares) e o padrão radial são finalmente formados.

As sementes das angiospermas são formadas por um embrião, um envoltório e alimento armazenado. Quando completamente formado, o embrião consiste basicamente em um eixo, portando um ou dois cotilédones, e um meristema apical no ápice do sistema caulinar e no ápice da raiz. Os cotilédones da maioria das eudicotiledôneas são carnosos e contêm o alimento armazenado na semente. A germinação desta depende de fatores ambientais, incluindo água, oxigênio e temperatura. Muitas sementes devem passar por um período de dormência antes de serem capazes de germinar.

A raiz é a primeira estrutura a emergir pra a maioria das sementes em germinação, permitindo, assim, que a plântula se fixe ao solo e absorva água.

Células e tecidos vegetais

Após a embriogênese, a maior parte do desenvolvimento da planta ocorre por intermédio da atividade dos meristemas. Os meristemas apicais estão envolvidos primariamente com o crescimento vertical das raízes e dos caules, também chamado de crescimento primário. O desenvolvimento compreende três processos que se sobrepõem: crescimento, morfogênese e diferenciação. As plantas vasculares são formadas por três sistemas de tecidos: dérmico, vascular e fundamental, que estão presentes na raiz, no caule e nas folhas.

Raiz: estrutura e desenvolvimento

Sustentação, absorção, armazenamento e condução são as funções desempenhadas pelas raízes. Gimnospermas, magnoliideas e eudicotiledôneas comumente produzem sistema radicular do tipo pivotante, enquanto monocotiledôneas, usualmente, produzem sistemas radiculares fasciculados. Durante o crescimento primário, o meristema apical dá origem aos três meristemas primários: protoderme, meristema fundamental e procâmbio, os quais se diferenciam, respectivamente, em epiderme, córtex e cilindro vascular. Além disto, o meristema apical produz a coifa, cuja função é proteger o meristema apical e auxiliar a raiz na penetração do solo. Muitas células da epiderme da raiz desenvolvem pêlos radiculares, que aumentam sensivelmente a superfície de absorção da raiz.

O xilema primário usualmente ocupa o centro do cilindro vascular e possui projeções que se alternam com os cordões de floema primário. As raízes laterais originam-se do periciclo e forçam seu caminho para fora, através do

córtex e da epiderme. O crescimento secundário das raízes envolve o câmbio vascular e o câmbio da casca.

A cenoura, a batata-doce e a beterraba caracterizam-se por serem plantas cujas raízes são órgãos de reserva.

O sistema caulinar: estrutura primária e desenvolvimento

Os ápices do sistema caulinar vegetativo de grande parte das plantas floríferas têm um tipo de organização túnica-corpo que consiste em uma ou mais camadas periféricas de células (a túnica) e uma massa interna de células (o corpo). A maior parte das angiospermas tem ápices compostos por três camadas de células superpostas (duas camadas de túnica e uma camada inicial do corpo). O caule cresce verticalmente, em grande parte, devido ao alongamento internodal. Assim como na raiz, o meristema apical do sistema caulinar origina a protoderme, o procâmbio e o meristema fundamental, que desenvolvem os tecidos primários. Independente do tipo de organização, o floema é comumente localizado externamente ao xilema.

O termo "sistema caulinar" designa não apenas um termo coletivo para o caule e suas folhas, mas também, uma expressão de sua íntima associação física e ontogenética. Os primórdios foliares são originados por grupos de células, denominadas células fundadoras, na região periférica do ápice do sistema caulinar, e sua posição é refletida no padrão do sistema vascular do caule. As variações na estrutura foliar normalmente estão relacionadas com o habitat. As lâminas de algumas folhas são divididas em folíolos (folhas compostas), enquanto outras não o são (folhas simples). Os estômatos são geralmente mais numerosos na superfície inferior da folha. O tecido fundamental da folha, o mesofilo, tem propriedades de um tecido fotossintetizante e, em mesófitas, está diferenciado em parênquima paliçádico e parênquima lacunoso. O mesofilo é amplamente permeado por espaços aeríferos e pelas nervuras, que são compostas por xilema e floema circundados por uma bainha do feixe de natureza parenquimática. O xilema normalmente ocorre na parte superior da nervura, enquanto o floema ocorre na parte inferior. As folhas apresentam crescimento determinado e os caules apresentam crescimento indeterminado. Na floração, em muitas espécies, o ápice do sistema caulinar vegetativo é direta-mente transformado em ápice reprodutivo.

Assim como as raízes, os caules podem ser especializados em armazenagem de alimentos. Tubérculos, bulbos e cormos são exemplos de caules carnosos. As

plantas armazenadoras de água são conhecidas como suculentas.

Crescimento secundário em caules

Para um botânico, o lenho e a casca são indicadores do crescimento secundário, evidência de que uma planta cresceu mais em diâmetro do que em altura. O crescimento secundário ocorre em todas as gimnospermas e na maioria das angiospermas (as monocotiledôneas), envolvendo a atividade de dois meristemas laterais (o câmbio vascular e o câmbio da casca ou felogênio). As plantas herbáceas podem apresentar pouco ou nenhum crescimento secundário, enquanto as plantas lenhosas (árvores e arbustos), podem continuar a aumentar em espessura por muitos anos.

Nos caules e raízes velhos, a maior parte do floema é não-funcional. Os elementos crivados possuem vida curta e, geralmente, somente aqueles formados no ano de crescimento vigente são condutores ou funcionais. As madeiras são classificadas como softwoods e hardwoods. As primeiras correspondem à madeira de coníferas e as últimas correspondem à madeira de angiospermas (magnóliidas e eudicotiledôneas lenhosas). O lenho - xilema secundário - das coníferas é mais simples do que o lenho das angiospermas. As camadas de crescimento que correspondem ao incremento anual de crescimento são denominadas anéis de crescimento anuais.

SEÇÃO 6

Fisiologia das plantas com sementes

Regulando o crescimento e o desenvolvimento:

os hormônios vegetais

Os hormônios vegetais são reguladores químicos que induzem o organismo a produzir respostas fisiológicas, mesmo quando em quantidades extremamente pequenas. Tradicionalmente, cinco grupos de fitormônios são alvo de maior atenção: auxinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e giberelinas.

A **auxina** é produzida nos meristemas apicais dos caules e nas extremidades dos coleótilos. Seu transporte é unidirecional, sempre em direção à base da planta, onde controla a extensão do caule, principalmente pela promoção do alongamento celular. A auxina também exerce papel na diferenciação de tecidos vasculares e inicia a divisão no câmbio vascular. Frequentemente, inibe o crescimento das gemas laterais, mantendo a dominância apical. Esse hormônio vegetal promove a formação de raízes adventícias em estacas e

retarda a abscisão de folhas, flores e frutos. Nos frutos, a auxina produzida nas sementes estimula o crescimento da parede do ovário.

As **citocininas** estão quimicamente relacionadas a certos componentes dos ácidos nucléicos. Elas são mais abundantes em tecidos com alta atividade de divisão, como as sementes, os frutos e as folhas.

O **etileno** é o único hormônio vegetal gasoso. Exerce grande influência em diversos aspectos do crescimento e do desenvolvimento das plantas, incluindo o crescimento de muitos tecidos, a abscisão de frutos e folhas e o amadurecimento de frutos.

O **ácido abscísico** (ABA) é um hormônio inibidor de crescimento encontrado em gemas e sementes dormentes. O ABA estimula a produção de proteínas de sementes e o fechamento de estômatos.

As **giberelinas** controlam o alongamento do caule. Podem substituir a quebra de dormência pelo frio ou pela luz requerida para a germinação de suas sementes. Os avanços na pesquisa hormonal e na bioquímica do DNA possibilitaram a manipulação das características genéticas das plantas de modo específico. O potencial de desenvolvimento das células até a formação de plantas completas é denominado totipotência.

Fatores externos e crescimento vegetal

O **fototropismo** é uma curvatura, em direção à luz, de um sistema caulinar em crescimento.

O **gravitropismo** é a resposta de um sistema caulinar ou radicular à gravidade. O cálcio aparentemente desempenha um importante papel na resposta gravitropica de sistemas caulinares e radiculares.

O **hidrotropismo** é o crescimento em resposta a um gradiente de umidade. À resposta ao contato com um objeto sólido, tal como o enrolamento de gavinhas, dá-se o nome de tigmotropismo.

As respostas fotoperiódicas controlam o desencadeamento do processo de floração em diversas plantas. Algumas delas, conhecidas como plantas de dias longos, florescem apenas quando os períodos de luz excedem uma duração crítica. Outras plantas, as de dias curtos, florescem apenas quando os períodos de luz são mais curtos do que uma duração crítica. Plantas neutras florescem independentemente de fotoperíodo. Experimentos têm demonstrado que o fator crítico é o período de escuro, e não, o de luz.

Os movimentos das plantas que ocorrem em resposta a um estímulo, cuja direção independe da direção deste, são chamados movimentos násticos. Entre eles, estão os movimentos de sono, de larga ocorrência, também chamados nictinásticos. Os movimentos násticos, que resultam do toque, incluem o fechamento da folha da planta carnívora *Dionaea*.

As plantas podem responder a estímulos mecânicos, alterando os seus padrões de crescimento. Fenômeno conhecido como tigmomorfogênese. Além disso, as folhas e flores de variadas plantas acompanham, ou rastreiam, o sol ao longo do dia.

Nutrição vegetal e solos

Um total de 17 nutrientes inorgânicos são necessários à maioria das plantas para o crescimento normal. Desses, carbono, hidrogênio e oxigênio são derivados do ar e da água. Os demais são absorvidos pelas raízes sob a forma de íons. Esses 17 elementos são categorizados como micronutrientes ou macronutrientes, dependendo da quantidade na qual eles são necessários. Molibdênio, níquel, cobre, zinco, manganês, boro, ferro e cloro são os micronutrientes. Enxofre, fósforo, magnésio, cálcio, potássio, nitrogênio, hidrogênio, carbono e o oxigênio são os macronutrientes.

Nutrientes inorgânicos regulam a osmose e afetam a permeabilidade celular. Alguns deles funcionam como componentes estruturais das células, como componentes de metabólitos essenciais e como ativadores e componentes de enzimas.

Os ciclos de nutrientes envolvem tanto organismos vivos quanto o ambiente físico. Em decorrência disso, eles são também denominados ciclos biogeoquímicos. Os ciclos dos nutrientes possuem vazamentos, ou seja, nem todos os nutrientes que retornam ao solo tornam-se disponíveis para o uso das plantas. O processo de oxidação da amônia ou íons amônio para formação de nitritos e nitratos é denominado nitrificação. Um tipo de bactéria é responsável pela oxidação da amônia em nitrito, e outro para oxidação do nitrito em nitrato. O nitrogênio é absorvido pelas plantas, quase exclusivamente, na forma de nitrato. As bactérias fixadoras de nitrogênio mais eficientes são aquelas que

mantem relações simbióticas com plantas, as quais produzem nódulos radiculares no local da infecção. Na agricultura, o nitrogênio e outros elementos não são reciclados quando as plantas são removidas do solo, como acontece na natureza. Por isso há a necessidade de reposição desses nutrientes em forma orgânica ou inorgânica.

O ciclo do fósforo difere em parte daquele do nitrogênio, pois é a crosta terrestre (e não a atmosfera) o reservatório para reposição do fósforo. Este circula das plantas para os animais e retorna ao solo em formas orgânicas, as quais são posteriormente convertidas em formas inorgânicas por microrganismos. A remoção realizada nas colheitas e o aumento da erosão têm acelerado a perda de fósforo nos solos; os pântanos e os charcos, sítios primários de desnitrificação, têm sido destruídos; os ambientes aquáticos estão sujeitos a danos generalizados devido à chuva ácida. Tanto leguminosas quanto bactérias estão sendo geneticamente selecionadas para combinações que podem resultar no aumento da fixação de nitrogênio em ambientes específicos. A engenharia genética oferece a possibilidade de transferência de genes necessários à fixação de nitrogênio de um organismo para outro.

O movimento de água e solutos nas plantas

A maior parte da água absorvida pelas raízes de uma planta é perdida para o ambiente na forma de vapor d'água.

Um par de células-guarda pode mudar sua própria forma para controlar a abertura e o fechamento do estômato ou poro. O fechamento dos estômatos evita a perda de vapor d'água pela folha. Um estômato se abre quando suas células-guarda se tornam túrgidas e se fecha quando estas se tornam flácidas. Os fatores ambientais também afetam o movimento estomático, incluindo a concentração de dióxido de carbono, luz e temperatura. A teoria da tensão e coesão é a mais aceita para explicar o mecanismo do movimento da água até o ápice de árvores altas, através do xilema. De acordo com essa teoria, a água é "puxada" ou tensionada através do corpo da planta. Esta tensão deve-se à transpiração e/ ou ao uso de água nas folhas, resultando em um gradiente de potencial hídrico das folhas para a solução do solo em contato com a superfície das raízes. Os pêlos radiculares fornecem uma enorme superfície para a absorção de água. Em algumas plantas, a absorção da água presente no solo resulta na geração de uma pressão positiva ou pressão de raiz, quando a transpiração é muito lenta ou ausente. A gutação é um processo no qual a água, na forma líquida, é forçada a sair através de estruturas especiais (hidatódios) nas pontas ou margens das folhas.

Os nutrientes inorgânicos tomam-se disponíveis para as plantas na solução do solo, sob a forma de íons. Quantidades substanciais de íons inorgânicos, que são importadas até as folhas através do xilema, são trocadas com o floema das nervuras foliares e exportadas destas juntamente com a corrente de assimilados. De acordo com a hipótese do fluxo de massa, os assimilados se deslocam da fonte para o dreno, segundo um gradiente de pressão de turgor desenvolvido osmoticamente.

SEÇÃO 7

Ecologia

A dinâmica das comunidades e ecossistemas

Os ecossistemas são sistemas auto-sustentados que incluem os organismos vivos e os elementos inertes (físicos) do ambiente com os quais eles interagem. As comunidades consistem em todos os organismos que vivem numa dada área. Alguns dos relacionamentos que ocorrem em comunidades podem ser agrupados em três categorias: mutualismo, competição e interações plantas-herbívoros (e plantas-patógenos). No mutualismo, duas populações interagem em benefícios de ambas.

Interações competitivas são encontradas entre a maioria das espécies de plantas que crescem em estreita proximidade e também entre muitas plantas isoladas. Um dos tipos mais importantes de competição é aquela por luz. As plantas reagem aos efeitos dos herbívoros, os quais limitam o potencial reprodutivo destas, pelo desenvolvimento de espinhos, folhas duras e estruturas semelhantes, e, o que é mais importante, defesas químicas. Um ecossistema consiste em elementos inertes e em dois tipos de elementos vivos, autótrofos (produtores primários) e heterótrofos (consumidores). Entre os heterótrofos, estão os consumidores primários ou herbívoros; os consumidores secundários ou carnívoros e parasitas; e os decompositores. A energia flui através dos ecossistemas. 1% ou menos da energia luminosa incidente é convertida em energia química pelas plantas verdes. Quando essas plantas

são consumidas, menos de 20% da sua energia potencial é armazenada no próximo nível tráfico. Dessa forma, cadeias alimentares raramente têm mais de três ou quatro elos. Na maioria dos ecossistemas, a maior concentração de energia, biomassa e indivíduos ocorre nos níveis tráficos inferiores, o que dá origem ao fenômeno conhecido como pirâmides de energia, de biomassa e de números. Quando uma área é naturalmente aberta ou foi devastada, ocorre a sucessão ecológica. As espécies pioneiras recorrentes nas clareiras crescem rapidamente sob condições de alta luminosidade, desenvolvendo características diferentes daquelas das árvores que dominam a floresta adulta. Finalmente, a sucessão pode resultar na produção de uma comunidade clímax.

Ecologia global

Os biomas são ecossistemas terrestres caracterizados por uma vegetação que lhes é peculiar. A distribuição dos biomas é o resultado de complexas interações entre a distribuição do calor do sol, padrões de circulação do ar e fatores geológicos. Além do clima, as diferenças nas superfícies dos continentes, tais como a composição do solo e a altitude, afetam os tipos de plantas e animais encontrados nos mais variados biomas da Terra.

As florestas pluviais tropicais, nas quais a água e a baixa temperatura não são os fatores limitantes, são, de longe, o bioma mais rico em número de espécies. As árvores são sempre verdes e caracterizadas por folhas coriáceas de tamanho médio. Os solos tropicais são frequentemente ácidos e muito pobres em nutrientes; tais solos perdem sua fertilidade rapidamente quando a floresta é derrubada. A maioria das comunidades tropical e subtropical, caracterizadas pelo fenômeno da seca sazonal, é chamada savana. As árvores e arbustos dessas comunidades são total ou parcialmente decíduos, perdendo suas folhas durante as épocas secas.

Afastando-se do equador, comunidades tropicais e subtropicais vão gradualmente se convertendo em desertos e semidesertos, que são caracterizados pela baixa precipitação. As plantas suculentas e ervas anuais são comuns nesses ambientes.

As campinas, que podem gradualmente dar lugar a savanas, desertos e florestas temperadas, são caracterizadas pela ausência quase total de árvores,

exceto ao longo dos cursos d'água. Os solos das campinas são os mais produtivos para a agricultura temperada.

Nas florestas temperadas decíduas, a maioria das árvores perde suas folhas durante a época mais fria dos invernos. Elas são margeadas por florestas temperadas mistas e florestas de coníferas ao norte, nas quais as coníferas desempenham um importante papel.

A taiga é uma vasta floresta de coníferas que se estende em faixas contínuas através da Eurásia e América do Norte e da Costa do Pacífico, descendo até o norte da Califórnia. Nos seus limites meridionais, a taiga é dominada por árvores altas com um enorme crescimento de briófitas e líquens; ao norte, ela consiste em vastas faixas monótonas de florestas com pouquíssimas espécies arbóreas. A tundra é uma região sem árvores e também se estende ao redor do hemisfério norte, predominantemente, sobre o Círculo Ártico, em uma faixa que é interrompida apenas por massas de água. A vegetação é composta por arbustos baixos, gramíneas e líquens. Tanto os limites setentrionais da taiga como toda a tundra estão embasados sobre *permafrost*.

A perspectiva humana

A raça humana originou-se na África. O gênero *Australopithecus* existia nessa região há, pelo menos, 5 milhões de anos. O gênero *Homo*, aparentemente evoluiu a partir de *Australopithecus*, há cerca de 2 milhões de anos. A nossa espécie, *Homo sapiens*, existe há, pelo menos, 500.000 anos. Iniciando-se cerca de 11.000 anos atrás, no Crescente Fértil, o homem começou a cultivar plantas como cevada, lentilha, trigo e ervilha. A agricultura espalhou-se pela Europa, chegando até a Bretanha há cerca de 6.000 anos. Há evidências de que ela tenha se estendido também para o sul através da África. Muitas plantas tornaram-se culturas primeiramente na África, incluindo o inhame, o quiabo, o café e o algodão, que foi também domesticado independentemente no Novo Mundo e talvez na Ásia. Neste continente, desenvolveu-se uma agricultura fundada em alimentos básicos, como o arroz e a soja e, mais para o sul, os cítricos, a manga, a taioba, a banana e outras culturas.

Rebanhos de animais de pastoreio foram ecologicamente destrutivos para muitas áreas semi-áridas do Velho Mundo, especialmente quando os animais se reproduziam, mas eles também foram importantes fontes de alimento. A agricultura foi desenvolvida independentemente no Novo Mundo. Ela teve início há, pelo menos, 9.000 anos, no México e no Peru. Colombo e outros que o seguiram encontraram uma verdadeira opulência de novas culturas para levar ao Velho Mundo. Dentre essas o milho, o feijão comum, o feijão-de-lima, o tomate, o tabaco, a pimenta, a batata, a batata-doce, a mandioca, a moranga, a

abóbora, o abacate, o cacau e as principais espécies cultivadas de algodão. As especiarias - partes de plantas fortemente aromáticas e geralmente ricas em óleos essenciais - podem ser derivadas de raízes, cascas, sementes, frutos ou gemas, enquanto as ervas aromáticas são geralmente folhas de plantas não-lenhosas.

O suprimento mundial de alimento é baseado em um número relativamente pequeno de plantas agrícolas. Seis culturas: trigo, arroz, milho, batata, batata-doce e mandioca, são responsáveis por mais de 80% das calorias consumidas pela população humana mundial.

A população humana cresceu de um número estimado em 5 milhões de pessoas, na época em que a agricultura começou a se desenvolver, para 6 bilhões no final do século XX. Como consequência desse crescimento e da miséria generalizada, e também porque, relativamente, pouco tem sido feito para o desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas às regiões tropicais, os trópicos estão sendo ecologicamente devastados.

A solução para problemas atuais requer uma abordagem integrada, ou seja, o fornecimento mundial de alimento pode ser dinamizado pelos métodos tradicionais do melhoramento genético e seleção, pelo cultivo de novas culturas e pelos métodos da engenharia genética.

A destruição generalizada de habitats dos trópicos está ameaçando a sobrevivência de muitas espécies vegetais potencialmente úteis, antes mesmo delas virem a ser identificadas e exploradas.

Síntese elaborada por Paulo Bueno Guerra

12. RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

Este livro narra a trajetória da evolução, começando por seus aspectos históricos, chegando até os avanços mais recentes na teoria evolutiva.

Evolução significa descendência com modificações ou alteração na forma, da fisiologia e do comportamento de organismos ao longo de muitas gerações de tempo. As mudanças evolutivas dos seres vivos ocorrem em um padrão arbóreo ramificados de linhagens. Os seres vivos possuem adaptações: isto é, eles são bem justados em forma, fisiologia e comportamento para a vida no ambiente natural. Muitos pensadores precursores de Darwin discutiram a

possibilidade de as espécies transformarem-se, ao longo do tempo, em outras espécies. Lamarck é o mais conhecido deles. Porém em meados do século XIX, a maioria dos biólogos acreditava que as espécies tinham formas fixas.

A teoria da evolução por seleção natural de Darwin explica mudanças e adaptações evolutivas. Os contemporâneos de do mesmo em geral aceitaram a ideia de evolução, mas não a sua explicação com base na seleção natural. Darwin não postulou uma teoria da hereditariedade. Quando as ideias de Mendel foram redescobertas na virada do século XX, pensava-se, inicialmente que elas contrariavam a teoria da seleção natural.

Fisher, Haldane e Wright demonstraram que a herança mendeliana e a seleção natural são compatíveis, a síntese dessas duas ideias é chamada de neodarwinismo ou de teoria sintética da evolução.

Durante a década de 1930 e 1940, o neodarwinismo gradualmente se espalhou por todas as áreas da Biologia e tornou-se amplamente aceito. Ele unificou a genética, a sistemática, a paleontologia, a morfologia comparativa clássica e a embriologia.

Em relação a Hereditariedade, é determinada por uma molécula chamada de DNA. Essa molécula pode ser dividida em regiões chamadas de genes, os quais codificam proteínas. O código no DNA é lido para produzir uma proteína em duas etapas: transcrição e tradução. O código genético já foi decifrado. O DNA está fisicamente organizado em estruturas chamadas cromossomos. Cada indivíduo possui um conjunto duplo de cromossomos (um herdado de seu pai e outro herdado de sua mãe) e portanto, dois conjuntos de todos os seus genes. Uma combinação particular dos genes de um indivíduo é chamada de genótipo. Novas variações genéticas originam-se por alterações mutacionais no DNA. As taxas de mutação podem ser estimadas por observação direta. Quando dois indivíduos com determinados genótipos se acasalam, as proporções dos genótipos da respectiva prole aparecem em proporções mendelianas previsíveis. As proporções exatas dependem dos genótipos no cruzamento. Diferentes genes são preservados ao longo das gerações no sistema de herança mendeliana, e isso permitem que a seleção natural opere. Antes de Darwin, pensava-se (incorretamente) que os materiais hereditário materno e paterno se misturavam em um indivíduo, em vez de serem preservados. Se a hereditariedade fosse por mistura, a seleção natural seria muito menos poderosa do que em uma situação de herança mendeliana.

Quanto às evidências da evolução, várias linhas sugerem que as espécies evoluíram a partir de um ancestral comum, em vez de terem formas fixas e terem criadas separadamente. Em uma pequena escala, a evolução pode ser observada enquanto acontece na natureza, como no caso dos padrões de coloração de mariposas e nos experimentos de seleção artificial, como aqueles utilizados no cruzamento de variedades agrícolas. A variação

natural pode ultrapassar a fronteira da espécie como, por exemplo, nas espécies em anel de salamandras, e novas espécies podem ser criadas artificialmente, como processo de hibridização e de poliploidia, pelo qual muitas variedades agrícolas e hortícolas foram criadas. A observação da evolução em pequena escala, combinada com princípio extrapolativo do uniformitarianismo, sugere que toda a vida poderia ter evoluído a partir de um único ancestral comum.

Na seleção Natural e Variação, agindo sobre quaisquer entidades capazes de se reproduzirem, que apresentarem herança de suas características de uma geração para outra, e que variam em “aptidão” (isto é, o número relativo de descendentes diretos que elas produzirem) de acordo com as características que possuírem. A seleção pode ser direcional, estabilizadora ou disruptiva.

Genética Evolutiva, a transferência de genes de uma geração para a próxima não é um processo perfeitamente exato, porque a amostragem aleatória pode modificar a frequência de um gene. Os efeitos da amostragem aleatória são poderosas quando todos os genótipos diferentes possuem o mesmo valor adaptativo e quando os tamanhos populacionais são pequenos.

A **teoria da deriva** aleatória tem sido muito importante para o raciocínio sobre evolução molecular. A teoria neutra da evolução molecular sugere que a evolução molecular é principalmente devida a deriva neutra. Sob esse aspecto, as mutações que surgiram na evolução foram seletivamente neutras em relação aos genes que elas substituíram. Alternativamente, a evolução molecular pode ser guiada, sobre tudo, por seleção natural.

A **genética de populações** para dois ou mais locos está preocupada com trocas nas frequências de haplótipos, os quais são os equivalentes de múltiplos locos dos alelos.

A **genética quantitativa**, a qual está relacionada com características controladas por muitos genes, considera as trocas nas distribuições de frequências fenotípica e genotípica entre gerações, em vez de seguir o destino de genes individuais.

Adaptação e seleção natural, Darwin e pensadores pré-darwinianos haviam tentado explicar a sua existência, sustentando que somente a seleção natural consegue explicá-la. Algumas características, especialmente molecular, evoluíram por outros processos que não a seleção natural, mas elas não são adaptações. Nem toda evolução ocorre por seleção natural, mas toda evolução adaptativa sim. Só a seleção natural funciona como teoria científica. As adaptações evoluem por meio da seleção natural. Quando a seleção natural age, altera as frequências das entidades em vários dos níveis

da hierarquia da organização biológica. Ela também produz adaptações que beneficiam entidades em vários níveis.

Adaptações na Reprodução Sexuada, o sexo tem uma desvantagem adaptativa de 50% em relação à reprodução assexuada.

As populações de reprodução sexuada evoluirão mais rapidamente do que um conjunto de clones assexuados, desde que a taxa de mutações favoráveis seja suficientemente alta.

Evolução e Diversidade, na Biologia evolutiva, as espécies podem ser entendidas como conjunto de genes, conjuntos de organismos que inter cruzam e eles são unidades importantes porque, na teoria da genética de populações, a seleção natural ajusta a frequência dos genes nos conjuntos gênicos. Como disse Darwin, os milhões de espécies que atualmente habitam este planeta evoluíram de um ancestral comum e a multiplicação do número de espécies foi gerada do mesmo modo como uma única espécie que se separou quando duas populações evoluíram independentemente e acumulavam diferenças genéticas incompatíveis.

Especiação significa a evolução do isolamento reprodutivo entre duas populações.

Filogenias revelam as relações ancestrais entre espécies. Ela mostra com que outras espécies (ou grupo delas) uma determinada espécie compartilha o ancestral comum mais recente. As relações filogenéticas são inferidas por meio dos caracteres compartilhados pelas espécies. Eles podem ser morfológicos, de espécies viventes ou fósseis, ou moleculares.

Classificação e Evolução, diz respeito a distinção e a descrição das espécies viventes e fósseis e à organização dessas espécies em uma classificação hierárquica com vários níveis. Há dois grandes princípios e três grandes escolas de classificação biológica: o princípio fenético o filogenético, e as escolas fenética, cladística e evolutiva.

Biogeografia Evolutiva, é a ciência que procura explicar a distribuição das espécies e de táxons mais elevados na superfície da terra.

Macroevolução tem sido estudada com técnicas genéticas, usando observações e experimentos com duração de uma existência humana, por meio da evidência fóssil, da morfologia comparada e da inferência filogenética. Macroevolução refere-se às mudanças intrapopulacionais, nas frequências gênicas.

Coevolução - ocorre quando duas ou mais espécies influenciam as evoluções umas das outras. Ela é invocada frequentemente para explicar a coadaptação entre espécies.

Extinção e Irradiação, fatores que governam a diversidade no documentário fóssil.

13. SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia Animal. Adaptação e meio ambiente*. 5. ed. São Paulo: Livraria Santos, 2002.

O que é fisiologia?

A **fisiologia** trata das funções dos organismos vivos-como se alimentam, respiram e se movimentam, e o que fazem para se manter vivos. Para usar palavras mais técnicas, a fisiologia aborda o alimento a alimentação, digestão, respiração, transporte de gases no sangue, circulação e função cardíaca, excreção e função renal músculos e movimentos, etc.

O animal morto possui as estruturas que realizam estas funções; no animal vivo, essas estruturas funcionam. A fisiologia também estudada como o organismo vivo ajuda-se às adversidades do ambiente- obtém água suficiente para viver ou evitar excesso de água, escapa do congelamento que leva a morte ou morrer de calor excessivo movimenta-se para encontrar locais, alimentos e companheiros adequados –e como ele obtém informações sobre o ambiente por meio de seus sentidos. Finalmente, a fisiologia trata da regulação de todas essas funções-como elas estão correlacionadas e integradas em um organismo de funcionamento harmonioso.

Ao se examinar como um animal enfrenta seus ambientes, com frequência, é possível demonstrar o que pe benéfico para ele. Isso pode nos levar, com certo incomodo, a explicações que sugerem evidência do propósito, ou teleologia, e muitos biólogos consideram isto cientificamente inadequado. Com tudo tendemos a perguntar; Por quê? Ou, quão benéfico é para o

animal? De qualquer modo, o animal tem de sobreviver e não há nada de inadequado ou científico em descobrir como e por que ele é bem-sucedido. Se o animal não chegasse a soluções para o problema de sobrevivência, não estaria mais a disposição para ser estudado. E o estudo do organismo vivo é a razão de ser da fisiologia.

1: Oxigênio / respiração

Por que o oxigênio é importante? Pois a maioria dos animais satisfaz sua necessidade de energia por meio da oxidação de alimentos, com a formação de dióxido de carbono e água no processo.

O processo de tomada de oxigênio e liberação de dióxido de carbono é denominado respiração. Os animais aquáticos captam oxigênio a partir da pequena quantidade deste gás dissolvido na água e os animais terrestres, por meio do oxigênio abundante no ar. Muitos animais pequenos podem captar oxigênio em quantidades suficientes pela superfície corpórea geral, mas a maioria dos animais necessita de órgãos respiratórios especiais para a captação deste gás. O dióxido de carbono segue o caminho oposto, sendo liberado através da superfície corpórea ou dos órgãos respiratórios. A água formada nos processos de oxidação faz meramente parte do reservatório geral de água no corpo e não representa qualquer problema especial.

O mais importante, às vezes, o único processo físico responsável pelo movimento de oxigênio do meio externo para as células é a difusão, processo no qual uma substância passa de uma concentração maior para uma menor. O movimento de dióxido de carbono na direção oposta também segue os gradientes de concentração.

A difusão pode ser auxiliada por movimento de massa, tal como o movimento do ar entrando e saindo dos pulmões, mas os gradientes de concentração continuam sendo a força motriz fundamental para movimentar os gases

respiratórios. Para entender a respiração é necessário conhecer os gases respiratórios, suas solubilidades e a física dos processos de difusão.

A ATMOSFERA

Composição do ar atmosférico seco

Os gases mais importantes do ponto de vista fisiológico são o oxigênio, o dióxido de carbono e o nitrogênio. Além disso, a atmosfera contém vapor de água em quantidade de muito variável.

A composição da atmosfera permanece extremamente constante. As correntes de convecção causam extensa mistura a uma altitude de pelo menos 100 km e nenhuma mudança apreciável na composição percentual tem sido demonstrada apesar de a pressão do ar ser muito reduzida em grandes altitudes. A afirmação de que os gases mais leves, notadamente o hidrogênio e o Hélio, são enriquecidos nos limites externos da atmosfera se aplica as camadas mais periféricas que não são de interesse fisiológico. Para os nossos propósitos, a atmosfera aberta tem uma composição gasosa constante, exceto pelo vapor de água.

A composição do ar é mantida como um equilíbrio entre o uso de oxigênio em processo de oxidação (principalmente a oxidação de compostos orgânicos em dióxido de carbono) e a assimilação de dióxido de carbono pelas plantas que no processo liberam oxigênio.

O efeito estufa

O ligeiro aumento de dióxido de carbono causado pela combustão de todo combustível teria da mesma forma efeitos fisiológicos desprezíveis, mas não

quer dizer que seriam inofensivos. Mesmo uma leve variação no dióxido de carbono altera a absorção de radiação solar na atmosfera e poder haver um efeito estufa imprevisível, que com o passar dos anos pode mudar drasticamente as condições climáticas na superfície terrestre.

A atmosfera é mais transparente à entrada de radiação de ondas curtas que à radiação de ondas longas emitidas pela terra. A emissão de radiação de ondas longas é absorvida na atmosfera principalmente dióxido de carbono e pelo vapor de água. Estima-se que a duplicação da quantidade de dióxido de Atmosférico aumentaria a temperatura mundial em aproximadamente 1,3 °C se a água e a atmosfera permanecem constantes.

Isto causaria extensa fusão do gelo polar e elevação do nível do mar de 20 a 30m ou mais, o suficiente para submergir áreas litorâneas imensas e muitas das principais cidades do mundo, além disso, a uma temperatura mais alta, a atmosfera pode reter vapor de água,

O que intensifica o efeito de cobertura e causa maior aumento de temperatura. Contudo, uma elevação do vapor de água atmosférico pode aumentar a formação de nuvens, que, por sua vez, refletem, mas a entrada de radiação solar, tendo assim o efeito oposto. A complexidade destas relações tornam as previsões relativas ao efeito estufa por aumento do dióxido de carbono altamente incertas.

Difusão de gases

Nos órgãos respiratórios dos animais (p.ex. brânquias, pulmões), os gases se difundem entre o ambiente e o organismo; o oxigênio é captado e o dióxido de carbono é liberado pelo animal. Por isso, é de interesse saber com que velocidade os gases se difundem, suas velocidades de difusão. Este assunto precisa de atenção especial, e muitos biólogos são levados a acreditar que o dióxido de carbono se difunde muito mais rapidamente que o oxigênio. Na realidade isso não acontece.

Quando o dióxido de carbono funde-se entre o ar e a água, sua alta solubilidade na água faz com que pareça estar se difundindo para o interior da água.

Comparação entre a água e o ar

As diferenças entre a água e o ar são extremamente importantes para os animais no tocante ao suprimento de oxigênio.

Por exemplo, compare a qualidade de oxigênio disponível na água e no ar. A água em equilíbrio com o ar atmosférico a 15 °C contém 7ml de O₂ por litro (1.000 ml). Estes 7 ml de O₂ pesam 0,01 g esta qualidade é encontrada em um peso de água 100.000 vezes maior. Para a obtenção de uma dada quantidade de oxigênio, deve-se, por tanto mover 100.000 vezes seu peso * de água pelos órgãos respiratórios.

Em contraste, 1 litro de ar contém 209 ml O₂, que pesa 280 mg. O restante do ar 791 ml de N₂, pesa 910 mg. Para a obtenção de oxigênio devem-se mover apenas 3,5 vezes na sua massa de gás inerte essa enorme diferença na massa do meio inerte tem uma enorme importante consequência: nos sistemas respiratórios aquáticos, o movimento de águas é quase sempre unidirecional. Seu fluxo de água fosse para dentro e para fora ou para trás e para frente, uma grande massa de água teria de ser acelerada, em seguida desacelerada, e novamente acelerada em direção oposta. Um alto dispêndio de energia seria necessário para as contínuas modificações na emergência cinética da água. Para órgãos respiratórios que utilizam o ar atmosférico, tais como o pulmão, um fluxo para dentro e para fora não é muito dispendioso, pois a massa inerte é apenas poucas vezes maior a massa de oxigênio utilizada.

Além da massa do meio respiratório, outro fator contribui para a quantidade de trabalho necessário para movê-la ponto. A água tem uma viscosidade maior que a do ar e isto aumenta o trabalho necessário para bombear o

fluxo, pois a força motriz deve ser aumentada proporcionalmente a maior viscosidades. Como a energia necessária para mover o fluido aumenta em proporção direta a pressão, ela também aumenta em proporção à viscosidade.

Respiração na água

Alguns dos ajustes mais simples para a troca de gases respiratórios são encontrados nos animais aquáticos. Muitos pequenos organismos obtêm oxigênio por difusão, através das superfícies do corpo, sem a presença de quaisquer órgãos respiratórios especiais e na ausência de circulação sanguínea.

Os animais maiores e mais complexos, frequentemente, apresentam superfícies especializadas para a troca de gases e também um sistema sanguíneo para transportar o oxigênio mais rapidamente que o processo de difusão sozinho poderia fazê-lo.

Animais sem órgãos respiratórios especiais

A forma geométrica mais simples de um organismo é a esfera. Para as considerações aqui feitas é importante que uma esfera tenha a menor superfície possível em relação a um dado volume; qualquer desvio da forma esférica implica num aumento relativo da área da superfície. Se for admitido que um organismo esférico deva ser suprido de oxigênio por difusão através da superfície e daí para todas as porções do corpo, a mais longa distância de difusão é a da superfície para o centro.

A conclusão é que o organismo, para ser suprido de oxigênio, deve ser bem menor ou apesar uma taxa metabólica bem mais baixa.

Um organismo que não apresenta a forma esférica tem uma superfície relativa maior e uma distância maior, uma difusão menor que uma esfera.

Isso é válido para uma variedade de organismos simples. Eles são achatados ou filamentosos, têm pseudópodes, ou superfícies bastante extensas ou complexas (tais como, corais e esponjas) e podem assim obter oxigênio suficiente por difusão.

Animais com órgãos respiratórios

Apesar de um organismo pequeno pode seguir oxigênio suficiente por difusão através da superfície, geralmente isso não vale para organismos maiores. É claro que qualquer forma que não seja esférica tenha uma superfície maior e as distâncias de difusão são também reduzidas. Contudo, na maioria dos casos isso não é suficiente e são observados órgãos respiratórios especializados com superfícies muito aumentadas. Frequentemente, esses órgãos exibem uma cutícula mais fina do que nas outras partes do corpo, facilitando assim a troca de gases.

Se a superfície respiratória estiver voltada para o lado externo, formando uma evaginação o órgão restante é normalmente chamado de brânquia. Secundariamente uma brânquia pode estar no interior de uma cavidade, tal como um peixe, mais isso não muda o fato de que seja fundamentalmente evaginação.

O termo pulmão é usado tanto se o meio respiratório for a água como o ar. Os insetos têm uma forma especial de sistema respiratório. Pequenas aberturas na superfície corpórea do inseto uniram-se a um sistema de tubos (traquéias) que se ramifica e se distribui para todas as partes do corpo. Neste caso, o órgão respiratório combina com sistema de distribuição (os tubos) com o sistema de troca de gases, pois a maior parte do gás passa através

das paredes das ramificações mais finas deste sistema e difundiu-se diretamente para as células.

Em geral, as brânquias servem principalmente para a respiração aquática e os pulmões para a respiração aérea. Existem exceções: os pepinos do mar têm pulmões equíferos nos quais parece ocorrer a maior parte da troca de gases. As brânquias podem também ser modificadas para uso do ar, mas em geral são inadequadas para a respiração aérea.

Ventilação das brânquias

Se uma brânquia remover oxigênio de água completamente estagnada, a camada estacionária de água, imediatamente adjacente, logo terá o seu conteúdo de oxigênio esgotado. A renovação desta água é, portanto, importante para o suprimento de oxigênio e vários dispositivos mecânicos servem para aumentar o fluxo de água sobre a superfície da brânquia. O fluxo aumentado pode ser conseguido de duas formas: pela movimentação da brânquia pela água ou da água sobre a brânquia.

A movimentação da brânquia através da água é viável apenas para pequenos organismos. Algumas larvas de insetos aquáticos – larvas de insetos da família Ephemeroptera, por exemplo – ventilam suas branqueias desta forma. A dificuldade reside no fato de que, se a branqueia é movida através da água, com sua base servindo como um ponto de pivô, a força necessária para superar a resistência ao movimento é muito grande. Essa resistência aumenta com o quadrado da velocidade linear do órgão e, portanto, a energia necessária para a movimentação da branqueia aumenta na mesma proporção. A força mecânica desenvolvida pela brânquia também precisaria ser aumentada, novamente com o quadrado da velocidade linear, como ocorre com a força aplicada junto à base da mesma para fazê-la movimentar através da água. A grande salamandra aquática norte americana

conhecida como mudpuppy (Netunos) movimenta suas brânquias, mas muito lentamente.

A movimentação da água sobre a superfície respiratória é uma solução muito mais factível. O movimento pode ser realizado pela ação de cílios, como nas brânquias dos mexilhões e mariscos. As esponjas movimentam a água através de seus hostes pela ação de flagelos.

A movimentação da água por meio de dispositivo semelhante a uma bomba mecânica é mais comum. Os peixes e caranguejos, por exemplo, movimentam dessa forma a água sobre suas brânquias. Na realidade, é menos dispendioso movimentar a água lentamente sobre uma grande superfície que movê-la rapidamente sobre uma superfície menor.

Outras funções das brânquias

As brânquias podem ter outras funções além de trocar gases respiratórios e, às vezes, fica difícil decidir qual é a função principal ou única, de uma brânquia algumas, chamadas de brânquias anais de larvas de mosquito, agem na regulação osmótica, absorvem os íons da água e é duvidoso que exerçam qualquer papel importante na respiração. As brânquias de peixes e caranguejos ajudam na regularização osmótica, mas nestes casos é bastante claro que elas também possuem como função principal a respiração.

Para avaliar o papel nas trocas gasosas de uma brânquia, ou outro eventual órgão respiratório, devem-se obter informações sobre a quantidade de oxigênio captada, de preferência sobre o dióxido de carbono liberado por meio deste órgão. Ao comparar isso com o consumo de oxigênio de todo o organismo, é possível verificar se o órgão é responsável por toda a captação de oxigênio, uma grande parte, uma pequena parte ou uma quantidade trivial.

Troca gasosa e fluxo de água

O fato de que a área de superfície de uma brânquia deva ser grande o suficiente para prover uma troca de gases adequada é bem definido nos peixes. As brânquias dos peixes alternadamente ativos apresentam as maiores relativas. A área de superfície da brânquia da cavala que nada rápido expressa por unidade de peso, aproximadamente 50 vezes maior que a do lento peixe-ganso que vive no fundo do mar.

Para que as trocas gasosas sejam adequadas, são necessário uma alta velocidade de fluxo de água e um estreito contato entre água e brânquia. Isto é conseguido por meio da estrutura anatômica do aparelho branquial. As brânquias encontram-se no interior da cavidade branquial, a qual dá proteção a estes frágeis órgãos e permite, de forma igualmente importante, que a água passe sobre estas da maneira mais afetiva possível. Um vantagem especial é conseguida por meio de um arranjo que faz com que a corrente de água sobre a brânquia e o sangue no interior dela flutuam em direção oposta, tal é denominado contracorrente.

Fluxo contracorrente

As brânquias dos peixes consistem de diversos arcos branquiais principais de cada lado. De cada arco branquial, estendem-se duas fileiras de filamentos branquiais. As pontas desses filamentos, proveniente de arco adjacente, encontram-se forçando a água e fluir entre os filamentos. Cada filamento possui lamelas achatadas densamente enfileiradas. As trocas gasosas ocorrem nessas lamelas à medida que a água flui entre elas em direção ao sangue, na direção oposta.

Esse tipo de fluxo contracorrente tem uma importante consequência. Quando o sangue está saindo da lamela branquial, e ele encontra água cujo oxigênio ainda não foi removido. Dessa forma, esse sangue obtém oxigênio da água que tem ainda o conteúdo de oxigênio da água inspirada, permitindo que o conteúdo de oxigênio do sangue atinja p nível mais alto possível. À medida que a água corre entre as lamelas, ela encontra o sangue com o

conteúdo cada vez mais baixo de oxigênio e, portanto, continua a liberar mais oxigênio. Assim, a lamela, ao longo de toda sua extensão, serve para captar o oxigênio da água, esta, por sua vez, pode deixar a brânquia tendo perdido de 80 a 90% de seu conteúdo inicial de oxigênio. Isso é considerado uma extração bastante alta de oxigênio; por outro lado, os mamíferos removem apenas aproximadamente um quarto do oxigênio presente no ar dos pulmões antes que seja expirado.

O fluxo contracorrente é também encontrado nas brânquias de alguns caranguejos, mas neles a eficiência de remoção de oxigênio da água frequentemente é muito menor que nos peixes. Em parte, isso ocorre porque o fluxo de água é menos efetivo, mas é provável que seja devido principalmente à maior barreira de difusão brânquia-sangue.

Bombeamento da água

Para mover a água sobre as brânquias, os peixes teleósteos fazem o uso do bombeamento combinado da boca e dos opérculos, com auxílio de válvulas adequadas para controlar o fluxo. Em realidade, o sistema consiste de duas bombas. O volume da primeira, a cavidade bucal, pode ser aumentado pelo abaixamento da mandíbula e especialmente do assoalho da boca. O volume da segunda, a cavidade opercular enquanto o refluxo de água ao longo das bordas é impedido por um prolongamento de pele que atua como uma válvula passiva.

A ação das duas bombas é tal qual um fluxo de água através das brânquias é mantido aproximadamente por todo o ciclo respiratório. Esse fluxo continua embora a pressão na boca, durante parte do ciclo, possa ser menor que na água circundante; a razão é simplesmente porque a pressão nas cavidades operculares é mantida mais baixa na boca.

Ventilação forçada

Alguns peixes são incapazes de respirar dessa forma. Biólogos que estudam peixes, há muito sabem que os grandes atuns não conseguem ser mantidos vivos em cativeiro a menos que possam nadar continuamente; isso pode ser conseguido se forem mantidos em grandes tanques redondos onde

podem nadar ininterruptamente. O peixe nada com a boca parcialmente aberta, não a movimento respiratório visíveis e a água flui continuamente sobre as brânquias; isso é chamada de ventilação forçada.

A ventilação forçada não é restrita aos peixes pelágicos grandes, que nadam rapidamente. Muitos peixes respiram por bombeamento a velocidade baixa e passam para a ventilação forçada a velocidade mais alta.

A passagem para a ventilação forçada não significa que as brânquias sejam ventiladas sem custo; isso apenas significa que o trabalho da respiração é transferido dos músculos das bombas operculares para os músculos natatórios do corpo e da cauda. Aboca aberta faz com que a força de arrasto aumente o que deve ser compensado por um maior trabalho muscular. Contudo, o fluxo contínuo durante a ventilação forçada é mais econômico do ponto de vista energético que o bombeamento opercular no ritmo elevado necessário para a natação rápida.

Respiração aérea

Os animais que respiram o ar tem três tipo de principais de órgãos respiratórios: brânquias, pulmões e traquéias.

Brânquias: em geral, as brânquias são muito pouco adequadas à respiração aérea e são usadas apenas por poucos animais – principalmente alguns que num período relativamente recente invadiram o habitat terrestre, trazendo consigo os vestígios de seus modos prévios de respiração aquática. Os caranguejos terrestres são bons exemplos. O caranguejo coco (*birgus latro*) que adotou uma existência terrestre quase completa (incluindo a escala de coqueiros) possui brânquias que são suficientemente rígidas para continuarem funcionais durante a respiração aérea.

Entre os peixes que conseguem respirar o ar, as brânquias funcionais fora preservadas em alguns, mas não em todos. A enguia comum (*Anguilla vulgaris*) sobrevive muito bem fora da água se for mantida em ambiente razoavelmente frio e úmido. A maior parte do oxigênio é obtida através da pele e uma menor quantidade através das brânquias, pois os filamentos tende a aderir-se, deixando exposta uma pequena superfície em contato com

o ar contido na câmara. Conseqüentemente, a enguia não obtém o seu suprimento normal de oxigênio e a tomada de oxigênio do ar é reduzida para apenas cerca da metade do que ocorre na água. *Pulmões*. Podemos distinguir dois tipos de pulmões: pulmões de difusão e de ventilação. Os pulmões de difusão são caracterizados pelo fato de que a troca de ar com a atmosfera se dá apenas por difusão. tais pulmões são encontrados em animais relativamente pequenos, como caracóis, escorpiões e algumas isópodes.

Os pulmões de ventilação são típicos dos vertebrados. Uma renovação substancial e regular do ar no pulmão é necessária para animais de grande tamanho corpóreo, combinada com uma elevada taxa metabólica. Os sistemas dos vertebrados são ventilados por fluxos de ar que entra e sai, ou fluxo corrente. Entretanto, o sistema respiratório das aves que é mais complexo que dos mamíferos, é organizado de tal modo que o ar possa fluir numa mesma direção através do pulmão durante a inspiração e a expiração.

Traquéias. Esse tipo de órgão respiratório é característico dos insetos. Consiste de um sistema de tubo que fornece oxigênio diretamente para os tecidos, evitando assim a necessidade de uma circulação sanguínea de uma finalidade de transportar gases as trocas gasosas no sistema traqueal podem ocorrer apenas por difusão, mas em muitos insetos, especialmente naqueles com atividade elevada, existe um bombeamento ativo e unidirecional de ar em partes do sistema traqueal. A vantagem do fluxo unidirecional é permitir uma troca de gases muito melhor que a obtida pelo bombeamento de ar para dentro e para fora do organismo.

Movimentos respiratórios

Os pulmões dos vertebrados são ventilados pelo bombeamento ativo do ar. A ventilação pulmonar dos vertebrados pode ser obtida de duas formas diferentes. O enchimento pulmonar pode se dar com a utilização de uma

bomba de pressão, como nos anfíbios, ou por meio de uma bomba de sucção, como na maioria dos reptéis, pássaros e mamíferos.

O mecanismo normal para a insuflação dos pulmões dos reptéis e mesmo das aves e dos mamíferos: os pulmões são inflados por sucção. A expiração, em seguida a uma inspiração, pode ser passiva, em decorrência do recolhimento elástico, ou pode ser ativamente auxiliada pela contração muscular. Uma bomba de sucção que requer uma cavidade torácica fechada na qual a pressão durante a inspiração seja menor que a pressão atmosférica. Nos mamíferos a inspiração é auxiliada pela contração do diafragma muscular. As aves têm um diafragma membranoso preso à parede do corpo com o íntermeio do músculo, mas sua função difere daquela do diafragma dos mamíferos. A afirmação de que as aves têm diafragma é incorreta.

O papel da pele na respiração

A troca de gases através da pele é normal e importante para os anfíbios, que tem pele úmida e bem vascularizada. De fato, algumas pequenas salamandras não têm pulmões e toda a troca de gases ocorre por meio de superfícies da pele, exceto por uma pequena contribuição mucosa.

Nas rãs, os papéis relativos da pele e pulmões mudam durante o ano. No inverno, quando a tomada de oxigênio é muito baixa, a pele transfere mais oxigênio do que os pulmões. No verão, quando o consumo de oxigênio é alto, a tomada através dos pulmões aumenta diversas vezes e excedem muito a tomada cutânea. O fato de que a tomada de oxigênio através da pele permanece quase constante quase o ano todo está relacionado com a concentração constante de oxigênio na atmosfera, que permite a existência de uma diferença de pressão de difusão constante se a concentração de oxigênio no sangue permanecer uniformemente baixa durante o ano a difusão através da pele não deveria ser muito modificada, pois a taxa de difusão será pouco alterada com a temperatura. Com o grande aumento da demanda no verão, a pele sozinha não conseguiria lidar com tal acréscimo

havendo portando necessidade de tomada adicional pelos pulmões como de fato ocorre.

Acredita-se com frequência que os reptéis, em contraste com os anfíbios, possuem uma pele quase impermeável. Eles respiram com os pulmões e a maioria deles é terrestre. Contudo, as serpentes marinhas verdadeiras são de fato marinhas e algumas suportam até viver no mar quando jovens. Elas são excelentes nadadoras e capazes de mergulhar a uma profundidade de menos 20 m. Quando a serpente marinha *Pelamis platurus* fica submersa, consegue obter oxigênio através da pele a uma proporção de até 33% de sua captação padrão total de oxigênio, e excreta dióxido de carbono a uma proporção de mais de 94% do total. Apesar de o pulmão ser o principal órgão de troca gasosa, a pele evidentemente é de considerável auxílio na troca de gases quando esta serpente vai ao alcance do peixe pequeno para predá-los.

Nos mamíferos, a troca de gases através da pele é pouco importante.

O morcego tem uma superfície cutânea relativa muito maior que a dos outros mamíferos; as membranas das asas, que são grandes, finas e sem pêlos, são altamente vascularizadas e podem contribuir para a troca de gases.

A captação de oxigênio através das membranas das asas, contudo, não é suficientemente grande para ser significativa; como discutido anteriormente, a difusão entre a água e o ar é de cerca de 25 vezes mais lenta para dióxido de carbono que para o dióxido de carbono.

Os pulmões dos mamíferos

À medida que se progride em direção a outras classes de vertebrados, observa-se que os pulmões tornam-se cada vez mais complexos. Nos anfíbios, o pulmão é o único saco, subdividido pela trabécula que aumentam a superfície. O pulmão dos mamíferos é muito mais amplamente subdividido em pequenos sacos delicados, os *alvéolos*, que aumentam enormemente a área de superfície disponível para as trocas gasosas. Medidas da área da superfície do pulmão da rã indicam que 1 cm³ (um centímetro cúbico) do

pulmão da rã indica 1 cm³ (um centímetro cúbico) de tecido pulmonar tem a superfície total de trocas gasosas de 20 cm³ sendo que o valor correspondente para um camundongo normal é acima de 800 cm³ para cada m³ de tecido pulmonar. A grande área da superfície é essencial para a alta taxa de tomada de oxigênio necessária para manter a elevada taxa metabólica de animais de sangue quente.

A membrana que separa o ar do sangue nos pulmões de ser fina, de modo que o oxigênio possa difundir-se rapidamente para o sangue, enquanto o dióxido de carbono se move na direção oposta.

Volume pulmonar

O volume pulmonar de um mamífero constitui aproximadamente 5% do volume corpóreo, independentemente do peso corpóreo.

Inspiração e expiração

A troca gasosa no pulmão ocorre nos alvéolos; a traquéia, os brônquios e suas ramificações são apenas tubos repletos de ar “usado” do pulmão e, quando e, seguida ocorre a inspiração, este ar é puxado novamente para o interior dos pulmões antes que o ar fresco externo entre.

O volume de ar nas vias respiratórias reduz a quantidade de ar fresco que entra no pulmão é chamado de espaço morto. O volume de ar inalado em uma única respiração é o volume corrente.

Um aspecto importante da respiração é que os pulmões nunca são completamente esvaziados do ar. Mesmo se um indivíduo expirar o máximo de ar possível, restarão, aproximadamente, 1.000 cm³ (mil centímetro cúbicos) de ar em seus pulmões.

Tensão superficial

Qualquer um que tenha soprado bolhas de sabão sabe que, quando a conexão com a atmosfera esta aberta, a bolha tende a ser contrair, expelindo até colapsar. O pulmão dos vertebrados é algo semelhante; os alvéolos com

formato de bolha e grande curvatura indicam que a tensão superficial na face interna úmidas tende a fazer com que as bolhas se contraíam e desapareçam. A tensão superficial deveria causar o colapso do pulmão, mas essa tendência é minimizada pela presença, na superfície interna dos alvéolos, de substâncias que reduzem muito a tensão superficial.

Essas substâncias são fosfolípidios, cujo efeito sobre a tensão superficial lhes conferiu o nome de *surfactante*. Os surfactantes são encontrados nos pulmões de todos os vertebrados - mamíferos aves e anfíbios. Mesmo a superfície do pulmão do peixe pulmonado é recoberta com surfactantes. A quantidade de surfactantes presente no pulmão dos vertebrados parece estar sempre acima do mínimo necessário para recobrir a superfície pulmonar com uma camada monomolecular.

Trabalho mecânico de respiração

Para movimentar o ar para dentro e para fora do pulmão há necessidade de trabalho é de interesse fazer a comparação entre o custo do bombeamento e a qualidade de oxigênio provida. O método mais simples é comparar a quantidade para acionar a bomba com a qualidade de oxigênio que o organismo obtém no mesmo período.

As determinações do trabalho respiratório são difíceis e apresentam uma margem substancial de erro, porque a esta qualidade é pequena quando comparada com o consumo total de oxigênio. A maioria das determinações indica que o custo da respiração em um indivíduo, durante o repouso, é de 1,2% do consumo total de oxigênio. Com o aumento da ventilação, o custo da respiração também se eleva e, nos exercícios mais intensos, ela pode chegar a 3% do total de oxigênio consumido.

Sincronização da respiração com a locomoção

Quando um canguru percorre rapidamente um planície australiana com seus saltos longos, a sua taxa respiratória é sincronizada com os saltos em pequena proporção de 1:1. O mecanismo é bastante simples. No começo de um salto, enquanto o corpo é acelerado para frente e para cima, os órgãos moles da cavidade abdominal são forçados na direção posterior pela inércia. Logo, por sua vez, fora o diafragma e os pulmões se enchem de ar. Quando no final do salto a perna toca o chão, as vísceras são forçadas contra o diafragma e o ar é forçado a sair do pulmão. É como se as vísceras agissem como um pistão, movimentando o ar para dentro e para fora dos pulmões.

A sincronização entre a respiração e a locomoção tem sido observada em muitos mamíferos e aves, mas nem sempre é fácil analisar este mecanismo. As aves não possuem diafragma muscular e dependem dos movimentos do esterno para ventilação. Já que os músculos que permitem o vôo são unidos ao esterno, parece razoável que os movimentos das asas influenciem a ventilação; em muitas aves, existe, na realidade, um elo entre o bater das asas e a respiração. Em algumas espécies, esta proporção é de 1; 1, mas em outras ela pode ser 2:1 ou 2:3 e em outras ainda a proporcionalidade pode nem existir. Os motivos de tais diferenças são facilmente explicados.

Não apenas os cangurus, mas diversos outros mamíferos, mostra uma sincronização entre respiração e a locomoção.

Regulação da respiração

Se a demanda de oxigênio aumentar, a ventilação dos órgãos respiratórios deveria ser aumentada de modo compatível. Da mesma forma, se for reduzida a concentração de oxigênio do meio, deverá haver compensação por meio do aumento da ventilação, ou pelo aumento da qualidade de oxigênio removido do ar respirado, ou por ambos.

É interessante notar que nos vertebrados de sangue quente – mamíferos e aves – a ventilação pulmonar é regulada de forma bastante precisa em relação a demanda de oxigênio, mas o principal agente responsável pela regulação é a concentração de dióxido de carbono no ar. Isso é facilmente

demonstrado pela edição de dióxido de carbono ao ar inspirado, o que causa um rápido aumento na ventilação pulmonar.

O ar atmosférico normal quase não conte dióxido de carbono (0,03%) e se 2,5% de CO₂ forem adicionados ao ar inspirado, o volume ventilatório é aproximadamente dobrado. O efeito é semelhante tanto nos mamíferos como nas aves.

O centro respiratório

Os movimentos respiratórios nos mamíferos são realizados pelos músculos do diafragma e intercostais. Os movimentos rítmicos desses músculos são controlados pelo centro respiratório, que está localizado na área da medula alongada e da ponte no cérebro.

O centro respiratório contém grupos separados de neurônios para a inspiração, que funcionam de forma alternada. Quando os neurônios inspiratórios excitam os músculos da respiração, impulso inibitório junto aos neurônios envolvidos expiração mantém os músculos inativos. Quando a atividade dos neurônios inspiratórios cessa, os neurônios expiratórios tornam-se ativos e dessa forma a ação alternadas dos dois grupos continua indefinidamente.

O centro respiratório é sensível ao aumento do dióxido de carbono ou ao aumento da acidez no líquido cerebrospinal, sendo que um aumento do PCO₂ no sangue faz com que o dióxido de carbono difunda-se rapidamente do sangue para o líquido cerebrospinal.

Animais aquáticos

Tem se afirmado que foca e baleias são menos sensíveis ao dióxido de carbono que outros animais e, portanto, são capazes de ficar debaixo da água por mais tempo. Contudo, a duração de um mergulho é provavelmente limitada pela quantidade de oxigênio disponível e é pouco provável que um

mergulho possa ser prolongado meramente por uma diminuição na sensibilidade ao dióxido de carbono.

Caso se queira examinar a resposta ao dióxido de carbono inspirado em diversos animais, não é suficientemente fazer a medida da frequência respiratória. Em alguns animais, a frequência respiratória aumenta consideravelmente em resposta ao dióxido de carbono, mais em outros pode haver pouca, ou nenhuma, alteração na frequência. O volume corrente pode toda via aumentar consideravelmente. Isso tem sido observado, por exemplo, na equitina (*tachyglossus*). A informação necessária é o volume ventilatório (ou seja, o produto entre a frequência respiratória e o volume corrente).

Comparação entre as respirações aérea e aquática

Em muito invertebrados aquáticos, a regulação da respiração é precária ou mesmo ausente. Isso é válido, em especial nas espécies marinhas que normalmente vivem em água bem arejada, com um suprimento de oxigênio relativamente constante. Alguns animais inferiores são bastante toleráveis a falta de oxigênio; os moluscos bivalves podem manter as conchas fechadas durante longos períodos e, na ausência de ventilação, utilizam processos metabólicos anaeróbios.

Para a maioria dos animais aquáticos, o principal estímulo a respiração é a falta de oxigênio. Isto é comum nos crustáceos, polvos, peixes, etc. o efeito de dióxido de carbono nos invertebrados aquáticos nunca é muito pronunciado e pode estar ausente. A tensão de dióxido de carbono na água é natural que quase sempre baixa e, devido a alta solubilidade do dióxido de carbono na água, os animais aquáticos não têm como desenvolver uma alta tensão deste gás. Se esses animais dependessem de um aumento da tensão de dióxido de carbono para o estímulo respiratório, não seria possível assegurar um suprimento adequado de oxigênio.

Peixes e respiração aérea

Muitos peixes responderam à diminuição do conteúdo de oxigênio na água nadando para a superfície para sorver uma bolha de ar pela boca, uma resposta que melhora enormemente o suprimento de oxigênio.

Um peixe dourado mantido na água em uma tensão de oxigênio de apenas 20 mmHg engole ar na superfície e a uma frequência de 1800 x por hora, o que quase dobra o conteúdo de oxigênio do sangue arterial do peixe carente de oxigênio.

Outros peixes são especificamente mais bem adaptados a respiração aérea que o dourado. Os peixes pulmonados são bem conhecidos, mas não são os únicos que dependem de ar para respirar. Muitos peixes recorreram a respiração aérea apenas quando o conteúdo de oxigênio na água for baixo; relativamente, poucos dependem de ar a tal ponto que, se forem mantidos submersos, acabaram sendo afogados.

Existem duas razões ecológicas principais para a respiração aérea acessória: (1) depleção do oxigênio na água e (2) a ocorrência de secas periódicas. Um peixe pulmonado, por exemplo, durante os períodos de secas, enterra-se na lama, encerra-se dentro de um casulo e permanece inativo até a próxima cheia.

A maioria dos peixes de respiração aérea é de água doce tropical ou pertence a espécies estuarinas; poucos são realmente marinhos. A água doce deficiente em oxigênio é muito mais comum nos trópicos do que em climas temperados. Isso ocorre porque existem muitas substâncias orgânicas em decomposição na água, a temperatura é alta e acelera a ação bacteriana, pequenos corpos de água são frequentemente muito sombreados pela floresta (que conduz a fotossíntese e a produção de oxigênio na água), e a uma pequena alteração na temperatura entre o dia e a noite e, portanto, uma convecção térmica mínima para levar a água rica de oxigênio da superfície para as camadas mais profundas. Contudo, nem todos os peixes de respiração aérea pertencem aos trópicos. O conhecido peixe de água doce *Amia calva* é encontrado no norte dos Estados Unidos, mesmo onde os lagos ficam congelados durante o inverno. Durante tais períodos, eles vivem bem sem respirar o ar porque a temperatura baixa reduz seu consumo de oxigênio.

Foi explicado que as brânquias dos peixes não são muito adequadas para a respiração no ar. Falta-lhes a rigidez necessária e elas tendem a aderir umas as outras, mais mesmo assim uma pequena quantidade de oxigênio pode ser obtida por meio das brânquias no ar. Qualquer outra superfície úmida pode suplementar as trocas gasosas, contanto que seja uma superfície que tenha acesso ao ar e seja suprida de sangue. Algumas trocas gasosas podem ocorrer através da pele e da superfície da cavidade bucal, mas, além disso, pode haver outros órgãos anatomicamente mais especializados que auxiliam nas trocas gasosas. Os órgãos comumente utilizados na respiração aérea são: brânquias, pele, boca, cavidades operculares, estômago, intestino, bexiga natatória e pulmão.

Peixes pulmonados

Os peixes pulmonados africanos e sul americano (protopterus e lepidosiren) foram relacionados como sendo de respiração aérea obrigatória. Eles vivem em águas paradas e em lagos, onde a falta prolongadas de chuvas podem causar casamento completo de seu habitat. Eles estavam até o próximo período de chuvas , quando saem de seus casulos, enterrados na lama, e retornam à vida normal. O peixes pulmonados australianos (*neoceratodus*) vivem em rios e em cursos de águas lentas. eles também estiva nos períodos secos mais depende muito menos do pulmão e respira principalmente pelas brânquias.

Os peixes pulmonados estão entre os mais estudados peixes de respiração aérea. As informações sobre muitos outros são, ainda, insuficiente ou virtualmente nulas. O estudo desses peixes poderia ser bastante recompensador apesar de ser com frequência difícil do ponto de vista técnico, pois muitos são bem pequenos.

A respiração das aves

A estrutura do sistema respiratório

Os órgãos respiratórios das aves são bastante diferentes daqueles dos mamíferos. Os pulmões pequenos e compactos das aves comunicam – se com sacos aéreos volumosos, de paredes finas e espaços de ar que se estende entre os órgãos internos, ramificando – se no interior dos ossos das extremidades e do crânio.

Pode-se dizer que a presença de espaço de ar no corpo de uma ave a tornar mais leve, mais apenas no sentido bem limitado. As aves precisam de um sistema digestivo, fígado, rins, etc., e apenas acrescentar grandes sacos aéreos à atividade abdominal não as tornam mais leves. Se esse ar for removido, ou seu tamanho, dobrado, as aves teriam exatamente o mesmo peso para carregar durante o voo. Por outro lado, se o tutano do osso for substituído por volume idêntico de ar, o osso pesaria menos. Os ossos preenchidos de ar, portanto contribuem para tornar as aves mais leves, mais o mesmo não o correm em outros espaços de ar.

Se for feita comparação entre os volumes dos sistemas respiratórios de aves e mamíferos, verificam – se algumas diferenças notáveis. O volume do pulmão de uma ave típica é apenas um pouco maior que metade do de um pulmão de um mamífero do mesmo tamanho corpóreo. Em contraste o volume traqueal é muito maior do que de um mamífero. Isso pode ser facilmente entendido, tendo em vista o longo pescoço das aves.

Os sacos aéreos de uma ave são grandes, muitas vezes do tamanho de um pulmão, e os mamíferos não possuem sacos aéreos. Portanto, o volume total do sistema respiratório de uma ave é três vezes maior do que de um mamífero.

A diferença entre aves e mamíferos não está restrita a sacos aéreos; em termos estruturais, pulmões das aves diferem radicalmente daqueles dos mamíferos. Nesse, ramificações mais finas dos brônquios terminam nos alvéolos. Nas aves, nas ramificações mais finas do sistema bronquial (conhecidas como parabronquios) permitem a passagem contínua de ar. Assim o ar pode fluir através do pulmão das aves, passando continuamente pela superfície de troca; nos mamíferos o ar deve fluir para dentro e para fora. Essa é a diferença mais importante entre o sistema respiratório das aves e dos mamíferos, o que acarreta importantes consequências fisiológicas.

É importante, contudo, saber que os sacos aéreos formam, anatômica e funcionalmente, dois grupos: um grupo posterior ou caudal, que inclui os grandes sacos abdominais, e um grupo anterior ou craniano, que consiste em diversos sacos menores.

A traqueia divide-se em dois brônquios: cada brônquio alcança um dos pulmões e atravessa-o, terminando no saco abdominal. Os sacos cranianos ligam-se a esse brônquio principal, na parte anterior do pulmão; os sacos caudais ligam-se à parte posterior do brônquio principal. O brônquio principal também se liga ao pulmão e, além disso, alguns dos sacos aéreos ligam-se diretamente ao tecido pulmonar.

Função do sistema respiratório

A morfologia dos sacos aéreos não indica que eles desempenhem qualquer papel importante nas trocas gasosas entre o ar e o sangue. Suas paredes são finas, frágeis, pouco vascularizada, não existindo dobras ou saliências para aumentar a área da superfície.

Uma hipótese mais plausível para a função dos sacos aéreos é que eles funcionem como um fole para movimentar o ar para dentro e para fora. No início de uma inspiração, a queda simultânea da pressão nos sacos craniano e caudal à medida que esses se expandem.

Isso significa que, durante a inspiração, o ar flui para o interior dos sacos, mas, como será visto a diante, nem todos os sacos são preenchidos com ar externos. Durante a expiração, a pressão nos sacos aumenta e o ar flui para fora novamente.

O fluxo de ar no pulmão das aves não é de fato um sistema de troca contracorrente ideal, mais é muito mais um fluxo do tipo corrente cruzada. O resultado, com respeito as tensões do gás arterial é semelhante aquele acima discreto, apesar de o sistema decorrente cruzada não ser efetivo quando um verdadeiro sistema contracorrente em relação a obtenção do proveito Máximo nas trocas gasosas,

Altitude: a efetividade do fluxo de ar unidirecional no pulmão das aves é particularmente importante em grandes altitudes.

O padrão do fluxo pulmonar das aves é explicação mais plausível, pois permite que o sangue remova o oxigênio de um ar que tem uma concentração deste gás mais alta que a encontrada no sistema respiratório dos mamíferos. Além disso, por causa do fluxo unidirecional e contínuo do pulmão, uma quantidade maior de oxigênio pode ser extraída do ar.

O canto do canário

Muitos de nós, ouvindo o canto de um canário macho, já se perguntaram como é possível como um pássaro tão pequeno cante continuamente até meio minuto, aparentemente sem fazer nenhuma pausa para respirar. Como esta ave consegue produzir cantos tão extensos, tendo em vista a capacidade limitada de seu sistema respiratório?

A resposta é que o canto do canário é sempre produzido durante o fluxo do ar expiratório na traquéia.

Ele consiste em notas ou em sílabas simples, repetida em alta velocidade, cada uma delas dura durante 11 a 280 milissegundo. Entre essas sílabas ou notas existem breves intervalos silenciosos, que duram de 20 a 35 MS, durante o tempo em que ocorre a inspiração. Em outras palavras, o canto do canário não é contínuo, e sim consiste de uma série extensa de sílabas, com pausas tão curtas que as não percebemos.

A respiração nos ovos

O ovo recém posto é um microcosmo que contém tudo que é necessário para produzir um pintinho vivo, com uma exceção-oxigênio. Portanto, a casca deve ser permeável ao oxigênio, e conseqüentemente, também a outros gases, pois, o vapor de água e dióxido de carbono são liberados durante a incubação.

A casca de um ovo consiste de uma camada externa rígida de carbonato de cálcio, que no lado interno possui duas membranas moles, chamadas de

membranas externa e interna da casca. A casca rígida é muito menos permeável aos gases que as suas membranas.

No início, quando o ovo é posto, a permeabilidade da casca com suas membranas é baixa, mais aumenta diversas vezes durante os primeiros dias após a postura. Esse aumento está correlacionado com o declínio no conteúdo de água das membranas e, a partir daí a maior resistência à difusão e consequência da casca rígida.

Na extremidade romba do ovo há uma câmara de ar, que fica entre as membranas internas e externas da casca. Esse espaço de ar aumenta de tamanho durante a incubação porque a água é perdida pelo ovo por evaporação.

O consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono aumentam durante todo o período de incubação, que dura aproximadamente 21 dias. Como as características de difusão da casca do ovo, durante a última parte de incubação, permanecem constantes, ou quase, deve haver um aumento progressivo do gradiente dos gases em que o ar ambiente e o embrião. Os gradientes mais exagerados são produzidos por uma queda progressiva da pressão parcial do oxigênio dentro do ovo e um aumento concomitante de dióxido de carbono durante a incubação.

Durante o último dia de incubação, rapidamente ocorrem modificações. Aproximadamente 28 horas antes do rompimento da casca, o pintinho perfura a membrana da câmara de ar, o início da respiração pulmonar e ele respira novamente o gás contido no espaço de ar (que, devido à evaporação, aumenta seu volume em aproximadamente 10 cm³). Cerca de 12 horas depois, o pintinho começa a quebrar a casca, estágio conhecido como *pipping*, a principal barreira às trocas gasosas é neste momento anulada. Durante as horas seguintes, enquanto o pintinho se esforça para sair completamente da casca, a respiração pulmonar assume toda a tarefa das trocas gasosas.

Os ovos dos répteis

Os ovos dos répteis são muito mais variáveis que os das aves. A estrutura do mesmo pode variar desde os que apresentam casca fina, elástica, parecidas com membranas, até aqueles com casca rígida

calcárias, mais parecida com os ovos das aves. essa diferença está relacionada com o habitat e especialmente com as condições de umidade sob as quais os ovos são postos.

Os ovos dos répteis podem ser distribuídos em três grandes categorias. Os ovos da maioria dos lagartos e de todas as cobras são relativamente finos e altamente elásticos. Tais ovos são normalmente depositados em um ambiente relativamente seco e, seu meio ser úmido tende a reter água e aumentar de tamanho. Esses ovos são muito sensíveis à umidade característica do ambiente e a capacidade de ruptura da casca depende de condições adequadas.

Em contraste as tartarugas possuem ovos com a casca um tanto flexíveis com uma camada calcária bem definida. São relativamente independentes das condições de umidade, as quais não afetam de forma excessiva a capacidade de ruptura da casca.

Os ovos de todos os crocodilos, de algumas tartarugas, e de alguns poucos lagartos, são duros e rígidos. Esses ovos, portanto, não incham excessivamente em ambientes úmidos, tais como os ninhos utilizados por jacarés e crocodilos.

A respiração dos insetos

A vida terrestre cria um conflito contínuo entre a demanda de oxigênio e a necessidade de água. As condições que favorecem a entrada de oxigênio também favorecem a perda de água. Os insetos, os animais terrestres de maior êxito, têm uma cutícula rígida que é altamente impermeável aos gases e cuja camada de cera a torna virtualmente impermeável à água. As trocas gasosas ocorrem por meio de um sistema de tubos internos repletos de ar, as traqueias, que se comunicam com o exterior por aberturas denominadas espiráculos.

Os espiráculos, normalmente, têm um mecanismo de fechamento que permite um controle acurado da troca entre o ar no sistema traqueal e a atmosfera.

As traqueias se dividem, ramificam-se e estendem-se para todas as partes do corpo. As ramificações mais finas, as traqueias, as traqueólas, de cerca de 0,5, um ou menos de um diâmetro, podem até se estender para o interior de célula individuais, tais como fibras musculares. As traqueias não podem ser menores porque a difusão é impedida quando seu tamanho se aproxima do trajeto livre médio das moléculas no ar (a distância média que uma molécula percorre antes de colidir com outra).

O sistema traqueal conduz o oxigênio diretamente para os tecidos e os dióxidos de carbono em direção oposta. Isso torna a respiração dos insetos independente de um sistema circular. O sangue nos insetos não desempenha um papel direto no transporte de oxigênio, ao contrário que acontece nos vertebrados. A comparação com os vertebrados não é de forma alguma irrelevante, pois as taxas de consumo de oxigênio de uma grande mariposa e um beija-flor durante o vôo são semelhantes; no entanto, os mecanismos de suprimento de oxigênio difere radicalmente.

Não se pode concluir que o sistema circulatório nos insetos não seja importante ele possui muitas outras funções. Um papel é óbvio. Durante o vôo, os músculos desenvolvem uma alta potencia e, enquanto o oxigênio é provido pelo sistema traqueal o combustível deve ser suprido pelo sangue.

O sistema traqueal

Os sistemas traqueais são apropriados principalmente para a respiração no ar e devem ter evoluído no meio aéreo os insetos que secundariamente se tornaram aquáticos, em princípio mantiveram o a respiração aérea mais seus sistemas traqueais apresentam muitas modificações que os tornam adequados para as trocas gasosas na água.

A maioria dos sistemas traqueais apresentam variações a partir de um padrão básico no qual existem caracteristicamente 12 pares de espiráculos, 3 pares no tórax e 9 no abdômen. Frequentemente existem menos espiráculos e em alguns casos podem estar ausentes.

Num padrão típico, as traqueias maiores conectam-se de tal modo que o sistema consiste de tubos que se interligam. Esse padrão é comumente

modificado pela adição de porção expandida das traquéias, ou sacos aéreos, que são compressíveis. O volume desses sacos pode ser alterado pelo movimento corpóreo causando dessa maneira o bombeamento do ar para dentro e para fora do sistema traqueal. Isso é importante, pois em insetos grandes e muitos ativos, apenas a difusão não suficiente para estabelecer as trocas gasosas. As traqueias contêm anéis espiralados internos e são um tanto incompreensíveis; os grandes sacos aéreos são, portanto, necessários para a ventilação. A abertura e fechamento dos espiráculos, em sincronia com os movimentos respiratórios, porém defasados entre si, permitem que uma corrente unidirecional de ar seja obtida ao longo das trocas traqueais maiores.

A maioria dos espiráculos não é funcional e apenas os dois últimos abrem-se para o meio externo. Eles estão localizados de tal modo que o inseto, ao penetrar na superfície da água com a extremidade do abdômen, pode fazer contato com a atmosfera e realizar as trocas gasosas, por difusão ou, mais evidentemente por meio dos movimentos respiratórios.

O sistema traqueal pode ser completamente fechado, sem qualquer abertura para a superfície, embora seja preenchido com ar. Nesse caso, as trocas gasosas devem ocorrer inteiramente por difusão, através da cutícula. Muitos insetos aquáticos pequenos conseguem realizar suas trocas gasosas dessa forma; a cutícula desses insetos é relativamente fina e eles conseguem permanecer submersos sem a necessidade de contato com a atmosfera. No entanto, o sistema traqueal é necessário para o transporte de fases no interior do animal, já que a difusão através dos tecidos seria muito lenta.

Difusão e ventilação

A difusão isolada é suficiente para as trocas gasosas no sistema traqueal de muitos insetos pequenos e de insetos grande relativamente inativo.

Os espiráculos

As aberturas do sistema traqueal, para o exterior, os espiráculos são estruturas altamente complexas que podem ser abertas ou fechadas para permitir uma quantidade variável de trocas gasosas. O controle acurado dos espiráculos ajuda a impedir a perda de água.

Os espiráculos se abrem, mais frequente e amplamente, a temperaturas altas, e quando há um aumento de atividade, de acordo com a maior demanda de oxigênio. Todos os espiráculos não se abrem necessariamente ao mesmo tempo; eles estão sob o controle do sistema nervoso central e a abertura e o fechamento defasados permitem o controle do fluxo de ar pelo sistema traqueal.

A ventilação do sistema traqueal, e especialmente a função dos espiráculos, é influenciada pelo dióxido de carbono e pela falta de oxigênio. O dióxido de carbono parece ser o principal estímulo para a abertura dos espiráculos. Se uma corrente diminuta de dióxido de carbono for direcionada para um espiráculo, apenas este se abrirá; isso demonstra que um único espiráculo pode responder de forma independente a concentração de dióxido de carbono é muito pequena; na barata, por exemplo, 1% de dióxido de carbono no ar tem um efeito perceptível; 2% mantém os espiráculos abertos; e 3% fazem com que eles se mantenham amplamente abertos.

O efeito da abertura dos espiráculos na perda de água é considerável. Para um tenebrionídeo, que passa toda a vida num ambiente seco da farinha, o controle.

Espiráculos são muito importantes. Se os espiráculos forem forçados a permanecer abertos, pela adição de dióxido de carbono ao ar, a perda de água imediatamente aumentará diversas vezes.

O dióxido de carbono não é o único agente que controla os espiráculos; Eles também podem ser forçados a se abrir na presença de nitrogênio puro (ou seja, a deficiência de oxigênio é também um estímulo). Isso poderia ser interpretado como um efeito do dióxido de carbono, pois, quando há falta de oxigênio, frequentemente existe acúmulo de metabólitos ácidos (p.ex., ácido láctico) e os ácidos aumentam a atenção de dióxido de carbono. O efeito atóxico, portanto, poderia ser um efeito indireto de dióxido de

carbono. Contudo, mesmo uma deficiência moderada de oxigênio tenha um efeito direto.

Ventilação traqueal

As traqueias são relativamente rígidas e não se colapsam facilmente, porém, as dobras em espiral da parede permite um encurtamento do tipo acordeão. Isso pode servir para reduzir o volume o suficiente para contribuir para a ventilação ativa do sistema. As traqueias ovais ou achatadas na secção transversal são compressíveis. Contudo, a ventilação efetiva depende de dilatações de paredes finas, ou sacos aéreos, que estão conectados com as traqueias maiores, pois quando esses sacos são comprimidos, um grande volume de ar pode ser expelido. A expiração é normalmente a fase ativa e a expiração, a passiva. Em muitos insetos, os principais movimentos respiratórios são realizados pelo abdômen. Durante o vôo, variações sincrônicas de pressão e movimentos podem aumentar a ventilação; mesmo a cabeça pode ser ventilada ativamente devido a transmissão da pressão sanguínea. O volume ventilatório pode ser muito grande. Um terço ou a metade da capacidade total do sistema pode ser expelido numa única expiração, resultando em uma renovação de cerca da metade do volume do sistema respiratório. Isso é muito maior que num mamífero em repouso no qual a renovação a partir de uma única respiração é de aproximadamente um décimo do ar contido no sistema. Em exercício, a renovação máxima num mamífero é próxima de dois terços do volume total do sistema respiratório.

Os movimentos são sincronizados com a abertura e o fechamento dos espiráculos e são também controlados pela falta de oxigênio ou excesso de dióxido de carbono. O excesso de oxigênio pode causar completa parada dos sistemas respiratórios. Como concentração alta de oxigênio não deve influenciar a produção de dióxido de carbono, é provável que o sistema nervoso seja diretamente afetado. Os movimentos respiratórios são controlados por centros no cordão nervoso ventral segmentado e segmentos isolados podem realizar movimentos respiratórios. A coordenação entre os segmentos é realizada por centros superiores localizados no protórax. A cabeça aparentemente não está envolvida. Os insetos, em geral, têm menos

centros superiores na cabeça e a decapitação tem pouco efeito na respiração assim como em outras funções.

Respiração nos insetos aquáticos

Os insetos que vivem evoluíram a partir de formas terrestres e mantiveram muitas características de seus ancestrais. Quase todos são de águas doces; muito poucos vivem em água salobada, e praticamente nenhum inseto é verdadeiramente marinho. Alguns insetos mantiveram a respiração aérea através do espiráculos. Esses são em geral, reduzidos em número e estão localizados na extremidade posterior do corpo, que esta em contato com a atmosfera. As aberturas dos espiráculos são hidrofóbicas e frequentemente rodeado de pelôs hidrofóbicos. A superfície da água é, portanto, facilmente transpostas e o contato com o ar é estabelecido.

Reservas externas de oxigênio

Muitos insetos transportam ar do lado do corpo e os espiráculos se abrem para o interior dessa massa de ar. O ar fica retido por meio de superfícies impermeáveis, frequentemente auxiliadas por pêlos hidrofóbicos.

Plastrão

Outro tipo de dispositivo respiratório é conhecido como **plastrão**. Um inseto que respira com um plastrão tem parte da superfície corpórea densamente coberta com pelôs hidrofóbicos que formam uma superfície impermeável, o plastrão, onde o ar é mantido permanente. Esse dispositivo permite que o inseto continue submerso sem limite de tempo.

Os insetos que respiram com um plastrão apresentam grande vantagem sobre aqueles que carregam uma única bolha como uma brânquia de difusão, pois a água não penetra entre os pelôs hidrofóbicos. Como resultado, o plastrão serve como uma brânquia não compreensível para o interior da qual o oxigênio da água se difunde. Pelo fato de o volume

permanecer constante, a difusão líquida de nitrogênio nessa brânquia dever ser zero e a pressão total dos gases no interior da massa de ar é negativa em relação as tensões dos gases na água circundante. Isso é possível porque os pelôs hidrofóbicos dão suporte ao filme superficial da água, para que esta seja forçada para dentro dos espaços do ar entre os pelôs, é necessária de uma pressão de 3,5 a 5 atm. Como resultado, os insetos que respira com auxílio de plastrão seguem de maneira fácil permanecer indefinidamente em profundidades que excedam muitos metros.

Reserva interna de oxigênio

Os insetos hemípteros, *buena* e *anisops*, da família do inseto aquático *notonecta*, são notórios por permanecerem suspensos no meio da água, durante vários minutos, quase sem fazer esforços. Isto é bastante incomum entre os insetos, mas permitem que os animais predadores explorem a zona central de águas pobres em oxigênio. Em pequenas lagoas temporárias, onde não existem peixes, essa zona é relativamente livre de predadores, o fundo é perigoso por causas das vorazes larvas de libélula e besouros; outros predadores caçam na superfície, mas na zona central há segurança, assim como pouca competição por alimento.

Buena e *anisops* possuem grandes células abdominais repletas de hemoglobina. Elas servem para armazenar oxigênio, que é consumido durante o mergulho, os insetos carregam consigo apenas uma pequena massa de ar, mas esse suprimento externo é esgotado lentamente enquanto oxigênio proveniente da hemoglobina vai sendo consumido. Quando o oxigênio da hemoglobina é esgotado, o oxigênio externo é rapidamente consumido e os insetos perdem a flutuabilidade ficando mais pesado que a água. Então, rapidamente, nadam para a superfície para enxergar novamente as reservas de oxigênio.

A reserva interna de oxigênio de longa duração confere um benefício a esses animais. Após terem reservado suas reservas de oxigênio na superfície, eles nadam rapidamente para permanecer em suspensão na zona

central, onde exibem flutuabilidade quase neutras durante um longo período, enquanto as reservas de oxigênios vão sendo utilizadas.

Respiração descontínua ou cíclica

Muitos insetos apresentam um fenômeno peculiar, caracterizado pela liberação periódica ou cíclica de grandes quantidades de dióxido de carbono. O oxigênio é captado a uma taxa mais ou menos constante, mas o dióxido de carbono é liberado durante breves períodos ou em surtos. Os surtos de dióxidos de carbono podem durar poucos minutos e se alterar regularmente com longos períodos de liberação mínima do gás, que podem durar várias horas, e até mesmo dias.

A respiração cíclica tem sido observada numa variedade de grupos de insetos, incluindo as baratas, gafanhoto, besouro, larvas pupas, assim como borboletas e mariposas adultas em diapausa.

O movimento dos espiráculos

Uma observação direta do espiráculos com o microscópio indica que eles ficam amplamente abertos durante o fluxo de dióxido de carbono. Logo depois, a válvula de cada espiráculo vibra durante um curto período e depois se fecha completamente, permanecendo assim por mais de uma hora. Em seguida a esse período, a válvula começa a pulsar ou vibrar lentamente aumentando ligeiramente a abertura espiracular. A vibração continua, frequentemente, durante várias horas, até o próximo período de ampla abertura e surto de dióxido de carbono.

2 *Sangue*

Foi visto que o transporte de oxigênio e de dióxido de carbono por difusão é suficiente, exceto para animais muito pequenos. Quase todos os grandes animais, a menos que tenham uma demanda de oxigênio bastante pequena,

possuem um sistema de distribuição voltado para o movimento de um líquido, o sangue.

A uma tendência apesar de transporte de gás como a principal função do sangue, mais ele tem muitas outras funções que podem não ser imediatamente aparente. Os insetos, p. ex., não utilizam o sangue para o transporte gases; utilizam tubos cheios de ar. Esses animais possuem, no entanto, sangue que é bombeado por todo o corpo, pois muitas outras substâncias precisam ser transferidas mais rapidamente que o transporte proporcionado apenas pela difusão.

Dessa forma, o sangue serve para transportar nutrientes que são absorvidos, no trato digestivo, e para transferir produtos de excreção para o órgão excretor.

Um variedade de produtos metabólicos intermediários, incluindo hormônios e outros compostos importantes, precisam de um sistema entre o local de produção e o de uso.

Uma importante função do sangue, frequentemente esquecida, é a transmissão de forma hidráulica, que é utilizada em muitos processos tal como na ultrafiltração renal, locomoção da minhoca, rompimento da carapaça na muda dos crustáceos, ereção peniana, etc.

Nos grandes animais, com uma elevada taxa metabólica, o sangue é essencial para o transporte de calor, caso contrário seus órgãos internos rapidamente ficariam aquecidos.

A capacidade de uma coagulação é uma característica inerente do sangue, necessária para reduzir a perda deste importante fluido quando ocorre dano no sistema vascular.

A maioria das funções de transporte, assim como a transmissão da força e de calor, pode ser executada por praticamente por qualquer meio aquoso. As exceções são o transporte de gases e a coagulação, que estão associadas a propriedades bioquímicas do sangue altamente complexa.

Transporte de oxigênio no sangue

Pigmentos respiratórios

Em muitos invertebrados o oxigênio é transportado pelo sangue ou hemolinfa em solução física simples. Isso ajuda a transportar o oxigênio da superfície para várias partes do organismo, pois a difusão sozinha é muito lenta para qualquer organismo, exceto os menores.

Entretanto, a quantidade de oxigênio que pode ser transportada em solução simples é pequena, e muitos animais altamente organizados (vertebrados quase sem exceção) possuem sangue que tem a capacidade de se ligar reversivelmente a grandes quantidades de oxigênio, aumentando bastante, dessa maneira a quantidade desse oxigênio transportada.

As substâncias conhecidas como transportadoras de oxigênio no sangue são proteínas que contêm um metal (comumente ferro ou cobre). Normalmente elas são coloridas e, por isso são frequentemente chamadas de pigmentos respiratórios. A hemoglobina é o pigmento respiratório mais conhecido e difundido. Elas consistem de uma molécula de proteína associada a uma estrutura anelar de quatro membros, chamada *porfirina*. O ferro contido em cada molécula de hemoglobina é ligado a porfirina com um átomo de ferro de valente (Fe^{2+}), ligado a cada unidade de porfirina. A clorocruorina tem uma estrutura bastante similar, um grupo porfirínico contendo ferro associado a uma molécula de proteína. A hemeritina, entretanto é bastante diferente; apesar de conter ferro, ela não tem a estrutura porfirínica. A hemocianina é um pigmento que contém cobre e ocorre apenas nos moluscos e artrópodes, no entanto ao lado da hemoglobina, é o pigmento respiratório mais amplamente distribuído.

Corpúsculos sanguíneos

Em alguns animais, o pigmento respiratório está dissolvido no fluido sanguíneo; em outros, tais como os vertebrados, está contido no interior de células e não contém pigmento respiratório dissolvido.

As grandes moléculas de pigmentos respiratórios dissolvidas no plasma, são de fato, agregados de subunidades menores, cada uma delas capaz de se unir ao oxigênio. Esta estrutura com unidades múltiplas aumenta a quantidade total do pigmento sem aumentar o número de moléculas de proteínas dissolvidas no plasma sanguíneo. Um grande aumento no

números de partículas devolvida aumentaria a pressão coloidosmática plasmática que, por sua vez influiria em muitos outros processos fisiológicos tais como a passagem de líquido através das paredes do capilares e a ultrafiltração (processo inicial de formação de urina nos rins).

Existem diversas vantagens em si encerrar a hemoglobina nas células, a mais importante é provavelmente que o ambiente no interior dos glóbulos vermelhos pode ser diferente daquele do plasma sanguíneo. A reação entre o oxigênio e a hemoglobina é muito influenciada por íons inorgânicos e também por determinados compostos orgânicos, principalmente os fosfatos orgânicos, e a hemoglobina localizada no interior das células pode estar em ambiente isolado e bem regulado, diferente do plasma.

Tamanho do formato do glóbulo vermelho

Os glóbulos dos mamíferos são discos esféricos, ligeiramente bicôncavos. Há uma exceção: todos os membros da família dos camelos têm glóbulos vermelhos ovais.

Os glóbulos vermelhos dos mamíferos não têm núcleos, embora tenham um curto período de vida - cerca de 100 dias - e realizem funções metabólicas complexas. Os glóbulos vermelhos de todos os outros vertebrados: aves, répteis, anfíbios e peixes – possuem núcleos e são quase que, universalmente, ovais; eles frequentemente são muito maiores que os mamíferos; os glóbulos vermelhos das salamandras, por exemplo, são 100 ou 200 vezes maiores em volume do que os glóbulos vermelhos dos mamíferos. A importância, se houver, de glóbulo vermelho nucleado *versus* um não-nucleado não é compreendida. Nem é claro se o tamanho dos glóbulos vermelho tem importância funcional.

Os únicos vertebrados que não possuem hemoglobina e glóbulos vermelhos são as larvas enguias (larvas de leptocephalus) e alguns peixes antárticos da família chaenichthyidae.

O efeito da temperatura

Se a curva da dissociação for determinada para uma amostra de sangue de mamífero a temperatura ambiente e depois a temperatura corpórea do animal, os resultados serão completamente diferentes. Isso ocorre porque temperaturas elevadas tornam mais fraca a ligação entre a hemoglobina e o oxigênio causando maior dissociação como consequência a uma maior temperatura a hemoglobina libera o oxigênio mais rapidamente e a curva de dissociação é deslocada para a direita. Essa ocorrência é de importância fisiológica, especialmente em animais de sangue frio, porque uma maior temperatura é normalmente acompanhada por um alto aumento da taxa metabólica (o demanda de oxigênio), por isso é vantajoso que hemoglobina libere oxigênio mais facilmente a uma temperatura mais alta mesmo nos animais de sangue quente isso pode ter alguma importância – na febre ou durante o exercício, por exemplo, quando a uma elevação na taxa de consumo de oxigênio.

O efeito da altitude

A baixa pressão atmosférica a uma altitude elevada significa que a pressão parcial do oxigênio é mais baixa do que no nível do mar. Os animais vivem em ambiente de relativa deficiência de oxigênio apresentam adaptações correspondentes das curvas de dissociação de oxigênio no sangue.

Animais mergulhadores

Seria esperado que mamíferos mergulhadores, como as focas que, normalmente, ficam expostas a uma deficiência relativa de oxigênio quando mergulham, pudessem obter vantagens se o sangue tivesse uma alta afinidade pelo oxigênio. Todavia, esse não é o caso e, com um pouco raciocínio, ficara claro que esses animais não obteriam qualquer vantagem especial dessa maneira. Quando uma foca respira na superfície ela inspira o ar atmosférico. A tomada de oxigênio pelo sangue no pulmão, portanto,

ocorre sob circunstâncias semelhantes àsquelas de outros mamíferos e o suprimento do sangue no pulmão não requer uma afinidade no oxigênio especialmente alta. Durante o mergulho, a liberação de oxigênio nos tecidos (principalmente no sistema nervoso central e no músculo cardíaco) não seria auxiliada por uma alta afinidade do sangue pelo oxigênio; ao contrário, talvez, uma alta afinidade da hemoglobina pelo oxigênio tenderia a impedir a liberação desse gás para os principais órgãos vitais. Desse modo, as curvas de dissociação de oxigênio de animais mergulhadores geralmente diferem um pouco daquelas de animais similares que não mergulham.

Difusão facilitada

É fácil observar que a hemoglobina carregada no sangue, melhora muito o transporte de oxigênio, no entanto a hemoglobina não ocorre somente no sangue, mas também em vários tecidos, e nos animais superiores esta principalmente presente nos músculos. Uma maior capacidade de oxigênio dos tecidos pode amenizar pequenas flutuações quando ocorrem rápidas elevações na demanda de oxigênio.

A difusão facilitada esta associada a habilidade da hemoglobina em ligar-se reversivelmente ao oxigênio a hemoglobina transformada em meteglobina (obtida pela oxidação do ferro de divalente em trivalente) não pode mais se ligar a oxigênio uma solução de metemoglobina não causa qualquer facilitação da difusão do oxigênio. Contudo, a mioglobina e várias hemoglobinas, assim como de invertebrados apresentam difusão facilitada. um aspecto importante da difusão facilitada é que uma maior difusão ocorre somente quando a pressão de oxigênio na extremidade descendente da trajetória de difusão encontra-se próxima de zero.

Explicações fisiológicas

Nos vertebrados a hemoglobina esta presente em alta concentração, principalmente nos glóbulos vermelhos e secundariamente nos músculos vermelhos. É discutível se difusão facilitada tenha muita importância nos eritrócitos, pois a facilitação requer uma pressão de oxigênio próxima de zero

na extremidade receptoras do processo da difusão os glóbulos vermelhos, que devido o seu tamanho reduzido já tenha uma distancia de difusão muito curta, são raramente, ou nunca, exposto a pressão de oxigênio próximo de zero, exceto nos capilares sanguíneos de músculos com atividades intensas. Para a mioglobina a situação é diferente: a certa distância de um capilar sanguíneo, a tensão de oxigênio do músculo em atividade pode facilmente se aproximar de zero. Isto estabelece uma situação ideal para a difusão facilitada na qual a tensão de oxigênio no capilar encontra-se entre a tensão arterial no tecido (extremidade receptora do processo de difusão), próxima a zero. Uma difusão facilitada aumenta em muitas vezes, tal como foi observada em experiências em laboratório seria realmente importante para melhorar o suprimento de oxigênio junto ao músculo. Experimentos de músculos de pombo confirmam que a mioglobina pode transportar uma fração significativa consumido pelo músculo.

Implicações evolutivas

É curioso que uma molécula tão complexa como a hemoglobina ocorra tão amplamente, ainda que de forma tão dispersa e esporádica. Além de estar quase que universalmente presente nos vertebrados, a hemoglobina ocorre aqui e ali num número grande de filos animais, incluindo os protozoários, além de vegetais e bactérias. Frequentemente, é encontrada em uma ou poucas espécies dentro de um grande filo; às vezes num parasita, e não em um parente seu de vida livre, e assim por diante. Contudo, uma vez estabelecida a vantagem da hemoglobina no processo de difusão, e facilitada a sua distribuição peculiar, é mais fácil de ser entendida. A estrutura básica do componente *heme* da molécula de hemoglobina é um núcleo de porfirina que está universalmente presente em vegetais e animais como parte das enzimas celulares que pertencem ao sistema citocrômico. Alterações bioquímicas, relativamente pequenas, podem transformar essa matéria prima num pigmento do tipo hemoglobina que se liga reversivelmente ao oxigênio. Para que tais mutações permaneçam, é necessário algum benefício adequado que favoreça sua manutenção.

A vantagem mais óbvia é imediata da hemoglobina é a melhoria da liberação de oxigênio devido a difusão facilitada. Uma vez estabelecida a síntese de hemoglobina, a posterior melhoria no transporte de oxigênio pode ser conseguida por combinação de um transporte convertível (ou seja, sangue e sistema circulatório).

O estabelecimento de um sistema circulario completo é uma alteração complexa que requereria não somente modificações bioquímicas relativamente menores na porfirina, mais também alterações fisiológicas e morfológicas complexas e em todo o organismo. Tais mudanças drásticas são possíveis, é claro, mas dificilmente podem ser conseguidas por meio de um único evento ou por meio de poucos passos intermediários. Em contraste, uma ocorrência inicial de hemoglobina em qualquer tecido fornece imediatamente ao organismo a melhoria da transferência de oxigênio decorrente da difusa facilitada resultando numa vantagem seletiva para sua manutenção. Um passo posterior seria o de permitir que esta hemoglobina entra-se no já existente sistema sanguíneo, e aumentado, assim a liberação de oxigênio pelo processo de convecção.

Transporte de dióxido de carbono no sangue

Quando o sangue passa pelos tecidos, e libera oxigênio, ele capta simultaneamente dióxido de carbono; quando passa pelos pulmões, acontece o inverso. Examinamos os eventos no pulmão, quando ocorreu a liberação de dióxido de carbono. O sangue venoso do mamífero, quando alcançar os pulmões, contém, aproximadamente, 550 cm³ de Co por litro de sangue e tem uma tensão de dióxido de carbono de aproximadamente 46 mmhg (6,1 kpa).

Quando o sangue deixa os pulmões, contém cerca de 500 cm de Co por litro de sangue. A uma tensão de aproximadamente 40 mmhg, assim, o sangue libera somente um pequena parcela da quantidade total de dióxido de carbono presente, sendo a diferença arteriovenosa aproximadamente 50 ml de Co por litro de sangue. Para entender o transporte de dióxido de carbono, é preciso conhecer melhor esse gás e seu comportamento em

solução a quantidade total de dióxido de carbono transportada no sangue excede muito a quantidade que estaria dissolvida na água a mesma tensão deste gás no sangue. Isso acontece porque a maior parte do dióxido de carbono encontra-se combinado quimicamente e não sobre forma gasosa, devolvido livremente. Os dois compostos mais importantes são (1) os íons bicarbonato e (2) uma combinação de dióxido de carbono com hemoglobina.

Parte 3: circulação

O principal objetivo da movimentação de um líquido no corpo é o de propiciar rápido transporte de grande volume a distância onde a difusão é inadequada ou muito lenta. Portanto, a circulação é importante virtualmente todos os animais com mais de pouco milímetros de tamanho é uma necessidade para os grandes animais com altas taxas metabólicas.

Além de transportes de gases, a circulação sanguínea serve: (1) para transportar outros solutos, (2) para transportar o calor e (3) para transmitir força.

As funções que dependem da transmissão de força estão relacionadas, na maioria das vezes, com o movimento do animal todo, o movimento dos órgãos e a manutenção da pressão para a ultrafiltração nos vasos sanguíneos renais; estas funções serão discutidas posteriormente.

Para entender como o sangue se movimenta no sistema circulatório é necessário conhecer alguns princípios físicos básicos do movimento de fluidos em tubos. Além disso, o sangue, visto como um fluido tem algumas propriedades em comum que interferem em suas características de fluxos.

Um sistema adequado para o transporte convectivo de oxigênio é invariavelmente suficiente para o transporte de dióxido de carbono e outros solutos

Princípios gerais;

Bombas

Um sistema circulatório adequado depende de uma ou mais bombas e de canais ou de condutos nos quais o sangue possa fluir. A bomba, ou o coração, baseia-se na capacidade do músculo de contrair-se o encurtar-se. A existência de um músculo, no entorno de um tubo ou câmara, permite a redução de volume. Dois tipos diferentes de bombas podem ser projetadas dessa forma: bombas peristálticas ou bombas com câmara e válvulas. Uma bomba com câmara pode paredes contrateis ou a redução volumétrica pode ser conseguida através da pressão externa proveniente de outras partes do corpo.

Os corações peristálticos são encontrados principalmente em invertebrados; o coração dos vertebrados é, quase sem exceção, uma bomba com câmara com paredes contráteis. Uma típica, na qual a força é provida pela pressão externa, é encontrada nas grandes pernas dos homens. As paredes dessas veias são relativamente finas; elas apresentam válvulas que impedem a reversão do fluxo sanguíneo é quando os músculos das pernas se contraem, as veias são comprimidas as válvulas a seguram que o sangue impelido na direção do coração. Essa ação de bombeamento auxilia muito o movimento sanguíneo para longe das veias das pernas contra a força da gravidade, que tende a fazer com que o sangue seja acumulado nestas.

Como o músculo pode prover força apenas pelo encurtamento, o coração não pode movimentar o sangue, a menos que sejam feitos ajustes especiais. o coração do elasmobrânquio é um exemplo. Ele é rodeado por uma cápsula firme e quando e câmara se contrai, a outra câmara é preenchida por “sucção”, enquanto as válvulas impedem o refluxo do lado arterial.

Circulação dos vertebrados

Compartimentos de água e volume sanguíneo

Aproximadamente dois terços do corpo dos vertebrados consistem de água. O valor exato varia muito, particularmente em consequência de variações na quantidade de gordura. A maior parte da água está localizada no interior das células (a água intracelular); uma fração menor está do lado externo das membranas celulares (a água extracelular). A água extracelular esta

localizadas nos espaços teciduais (líquido intersticial) e parcialmente no sangue (água do plasmas). Portanto, pode-se considera a água corpórea distribuída entre três compartimentos: **intracelular**, **intersticial** e plasma.

Padrões circulatórios

Cada classe de vertebrados tem um tipo muito uniforme de circulação, mais as diferenças entres as classes são substanciais. À medida de que a vida dos vertebrados passa de aquática para terrestre, a circulação torna-se mais complexa.

Existem duas consequências importantes decorrentes da disposição da circulação dos mamíferos. Primeiro, o fluxo sanguíneo através dos pulmões deve ser igual ao fluxo sanguíneo através do restante do corpo (exceto por pequenas variações transitórias que podem ser provocadas por ligeiras alterações no volume cardíaco durante um ou alguns partimentos). Segundo, como as duas metades do coração contraem-se simultaneamente, conforme o sangue é ejetado do coração, todo o volume ejetado deve ser acomodado por meio de variações no dos vasas sanguíneos elásticos.

Peixes

Os peixes, tanto teleósteos como elasmobrânquios, apresentam um coração que consiste de duas câmaras em série, um trio é um ventrículo. No lado venoso, o coração é precedido, na altura da veia, por uma câmara maior ou seio, o seio venoso, que ajuda a assegurar o fluxo sanguíneo para o coração.

No lado arterial, o coração do teleósteo é imediatamente seguido por uma parte muscular espessada da horta ventral o bulbo arterial. O coração alasmobrânquio tem uma parte espessada localizada de forma semelhante, o cone arterial, desenvolvido a partir do músculo cardíaco. Ele é fibroso e equipado com válvulas que evitam o fluxo sanguíneo reverso para o interior do ventrículo. Isso é particularmente importante porque o coração do elasmobrânquio, localizado numa câmara rígida, pode produzir pressões negativas. Uma pressão negativa no coração facilita o enchimento por “sucção” doa átrio a partir dos grandes seios venosos.

Répteis

Em um réptil não-crocodiliano, os átrios são completamente separados, mais o ventrículo é parcialmente dividido. Mesmo assim, as correntes de sangue oxigenados e não-oxigenados são mantidas, de modo que ocorre muito pouco a mistura de sangue, existindo de fato uma circulação dupla bem desenvolvida. Dessa maneira, a divisão incompleta do ventrículo dos anfíbios e répteis não-crocodilianos não pode ser interpretada simplesmente com base na aparência anatômica; as correntes sanguíneas permanecem muito mais separadas do que fazem supor as considerações anatômicas.

Circulação dos invertebrados

Muitos dos invertebrados possuem sistemas respiratórios bem desenvolvidos; alguns exemplos são os anelídeos, equinodermos, artrópodes e moluscos. A maioria deles têm sistema aberto. Os cefalópodes (polvo e lula) têm circulações fechadas, apesar de as outras classes de moluscos terem sistemas abertos. É bom observar que os insetos, que são animais altamente organizados e complexos, e que conseguem manter a atividade metabólica excepcionalmente altas, possuem sistemas circulatórios abertos.

Moluscos

Com exceção do polvo e da lula, os moluscos apresentam sistemas circulatórios abertos; o sangue de muitos moluscos contém hemocianina, e alguns poucos possuem hemoglobina. A capacidade de transporte de oxigênio do sangue tende a estar correlacionada com o tamanho do animal e, em particular, com suas atividades.

Os moluscos, em geral, têm um coração bem desenvolvido e o batimento cardíaco é ajustado para satisfazer as demandas fisiológicas de oxigênio. Um crescente retorno venoso sanguíneo para o coração causa a um aumento tanto na amplitude como na frequência do batimento cardíaco. O coração dos moluscos continua a bater se for isolado do sistema nervoso: ele

tem uma ritmicidade inerente com um marca passo, contudo, o coração também está sobre influência de neurosecreções que modificam seus batimentos. A acetilcolina inibe o coração e a serotonina agem como um substância excitatória.

Insetos

Um inseto normalmente tem um vaso sanguíneo principal que se estende ao longo de lado dorsal. A parte posterior desse vaso funciona como um “coração” e é provido de uma série de aberturas com válvulas através das quais o sangue pode entrar. A parte anterior do vaso sanguíneo, que poderia ser chamada de “aorta”. é contrátil e pode apresentar ondas peristálticas que impulsionam o sangue na direção anterior. Esse caso sanguíneo principal ramifica-se e prossegue em direção a cabeça onde termina. As ramificações da aorta suprem a maior parte do corpo, onde o sangue flui livremente entre os tecidos e lentamente percola de volta ao coração.

Em muitos insetos, membranas longitudinais dão alguma direção ao sangue que flui entre o tecidos. Nas antenas e nos membros, o sangue pode entrar de um lado e sair do outro. Dessa forma, o sangue é conduzido para certo trajetos, apesar de não fluir em vasos sanguíneos isolados.

Aracnídeos

O sistema respiratório das aranhas e escorpiões é semelhante ao dos insetos, mas pode ter um papel maior na respiração em relação a estes. A hemocianina é encontrada no sangue de alguns escorpiões e tanto escorpiões como aranhas apresentam órgãos respiratórios definidos que são perfundidos por sangue. Isso não deva ser surpresa, pois os aracnídeos não possuem sistema traqueal, característico dos insetos.

O coração dos aracnídeos está localizado dorsalmente do abdômen. ele se enche através das aberturas com válvulas e esvazia-se no interior das artérias. Nas aranhas, artérias distintas levam sangue as pernas, onde a uma pressão sanguínea relativamente e importante na locomoção. Nas pernas

das aranhas não há músculos extensores e o sangue é utilizado como fluido hidráulico para a extensão das pernas.

4 Alimento e combustível

Os animais necessitam de alimentos (1) para prover a energia necessária para permanecerem vivos e manterem os processos físicos, para a contração muscular e muitos outros processos, (2) como matéria-prima para formar e manterem o mecanismo celular e metabólico e (3) para crescimento e reprodução.

As plantas utilizam a energia solar e o dióxido de carbono da atmosfera para sintetizarem açúcares e, indiretamente, todos os compostos complicados que consistem numa planta.

Todos os animais utilizam compostos químicos para fornecerem energia e matéria estruturais. Eles devem obter diretamente dos vegetais ou de outras substâncias. Há exceções para esta dependência universal da luz solar.

Em alguns locais no fundo do mar, onde não há penetração de luz, existem ricas comunidades animais que utilizam das características químicas peculiares da água aquecida por processos geométricos.

A três aspectos principais no tema alimentos: captura de alimentos, digestão e nutrição.

Primeiro, será tratado a captura de alimentos, que se refere à aquisição e ingestão do alimento. Quase todos os alimentos de origem vegetal ou animal, consistem de compostos altamente complexos que não podem ser usados sem que sejam antes degradados em compostos mais simples. Estes processos são referidos como digestão.

Uma variedade de compostos orgânicos podem prover energia, mas, além disso, os animais têm necessidades específicas por compostos que não conseguem sintetizar, tais como aminoácidos e vitaminas. A necessidade de alimento para prover energia, e a necessidade de comportamentos específicos permanecem ao longo da nutrição.

Captura de alimentos

O alimento é obtido por meio de uma diversidade de métodos mecânico, que determinam a natureza do alimento que um dado animal pode obter e utilizar.

Pequenas partículas

Alga e bactérias microscópicas podem ser capturadas diretamente por uma célula (p.ex. nos vácuos digestivos de uma ameba). Uma variedade de organismos microscópicos com o auxílio de cílios. Alguns animais notadamente tunicados e alguns gastrópodes, utilizam um filme mucoso que captura diminutas partículas suspensas; este filme é ingerido e os organismos, nele contidos, digeridos.

Matéria orgânica dissolvida

A água do mar contém uma grande variedade de compostos orgânicos devolvidos, mas em concentração extremamente baixas. No começo do século XX, o biólogo Putter sugeriu que a matéria orgânica dissolvida no mar poderia ser tomada e utilizada diretamente pelos animais aquáticos. Putter sugeriu que tal matéria orgânica dissolvida era mais importante que o plâncton, pois os organismos do plâncton ficam tão espalhados na água que, frequentemente, a captura destes não é possível.

Alimento obtido a partir do interior da terra

Em 1977, os biólogos que estudam o fundo do mar descobriram densas populações de animais peculiares, inteiramente novos à ciência, em diversos lugares do fundo do oceano. O fato mais surpreendente é que estes animais são completamente independentes das usuais cadeias alimentares baseadas de fotossínteses. Eles existem em locais de atividade vulcânica submarina onde as placas rígidas da crosta terrestre se separam. O solo do mar nessas áreas é marcado por fendas onde uma fina camada rochosa é aquecida a altas temperaturas pelo magma quente subjacente. Quando a água enfiou-se na rocha, ela é aquecida e emerge novamente como fontes termais, ou aberturas hidrotérmicas.

Essas aberturas são circundadas por ricas comunidades de mexilhões, muitos bivalves, lapas, caranguejos, pogonóforos e celenterados. Alguns dos animais atingem tamanhos enormes; os moluscos podem ter 30 cm e os pogonóforos mais de 2 m de comprimento. A maioria desses animais é rara, anteriormente desconhecidos da ciência.

Digestão

O alimento dos animais consiste de matéria orgânica e grande parte dele pertence a três grupos principais: proteínas, lipídios, e carboidratos. Esse três tipo de compostos orgânicos dominam completamente a composição de quase todos os vegetais e animais e a maioria tem moléculas razoavelmente grandes.

seja o alimento utilizado para combustível ou para desenvolvimento e manutenção, as grandes moléculas de alimentos são inicialmente degradadas em unidades, mais simples: essas são então absorvidos e podem ser incorporados ou metabolizadas para fornecer energia.

A principal função da digestão é decompor as moléculas grandes e complexas, presentes nos alimentos, de modo a torná-las absorvidas e disponíveis para utilização no corpo. Essa degradação é executada no trato digestivo com o auxílio de enzimas.

Madeira como alimento: digestão simbiótica.

O material estrutural mais importante dos vegetais é a celulose, um polímero constituído por glicose, que é extremamente insolúvel e refratário ao ataque químico.

As enzimas que digerem as celulosas, as *celulases*, ausente nas secreções digestiva dos vertebrados e, no entanto, muitos deles dependem da celulose como fonte energética. A presença das celulases verdadeiras foi verificadas no trato intestinal de muitos invertebrados que se alimentam de madeiras e produtos vegetais similares, mais em muitos casos a digestão de celulose é realizada por microorganismos simbióticos que vivem no trato digestivo hospedeiros.

Digestão de celulose nos invertebrados

A questão se a celulase é produzida por um animal ou por um microorganismo simbiótico tem de ser, frequentemente, confirmada com segurança.

Nutrição

As propriedades mecânicas do alimento devem corresponder ao aparelho de tomada alimentar e a natureza química do alimento deve ser adequada aos mecanismos digestivos disponíveis. Uma vez satisfeitas estas necessidades a próxima pergunta é: qual a adequação do alimento relação as necessidades do organismos? A nutrição trata desta questão. O problema pode, convenientemente, ser dividido em duas partes: a quantidade e a qualidade do alimento. O organismo precisa de (1) energia para as atividades externa e manutenção interna e (2) suprimento e substancias específicas para a conservação e crescimento. Entre estas substancias específicas estão incluídas os aminoácidos, vitaminas e outro nutrientes essenciais além de vários elementos, alguns deles em quantidade tão diminutas que tem sido estabelecer se são realmente necessários.

Regulação de a ingestão alimentar

Em muitos animais, a ingestão alimentar é extremamente bem ajustada em relação ao gasto energético. Se as necessidades energéticas forem aumentadas por caudas das atividades físicas, a ingestão alimentar será regula de acordo. Os mecanismo regulatórios para a ingestão alimentar dos mamíferos estão localizadas na área hipotalâmica do cerebro, mas influência periféricas específicas tem um papel principal no nível momentâneo de fome e ingestão alimentar. Uma das influências importante é o nível do sanguíneo do açúcar. Foi demonstrado que pontadas de fome conhecido com as contrações do estômago, e que elas ocorrem especialmente quando o nível sanguíneo de glicose diminui. Além disso, o grau de enchimento do

estômago é de evidente importância na indução de uma sensação de saciedade e término da ingestão alimentar.

Defesa química

Um meio de se evitar ser comido é torna-se não comestível. Este princípio simples é amplamente utilizado por plantas e animais. Os vegetais são os produtores primários na cadeia alimentar e, como não conseguem fugir, estão sempre prontos para serem devorados.

Tornar-se não comestível com o auxílio de compostos tóxicos é uma defesa bastante utilizada, e um número surpreendente de plantas são venenosas para os animais. Seus “predadores”, por sua vez, desenvolveram mecanismos para evitar ou neutralizar essas defesas, de modo que dificilmente qualquer planta esteja livre de inimigos.

Venenos de plantas

Vários compostos vegetais afetam quase todos os sistemas fisiológicos. Pode agir na pele, sistema digestivo, sangue, várias partes do sistema nervoso, metabolismo, valor nutricional do alimento, sistemas hormonais e reprodutivos dos animais. A variedade de compostos e efeitos tornam difícil uma classificação. Contudo, podem ser divididos em grupos principais, em parte por causa das semelhanças químicas e da similaridades quanto aos efeitos.

Uso animal de venenos próprios

Os animais também usam uma ampla variedade de venenos e toxinas que eles próprios produzam. Exemplos bem conhecidos são cobras, escorpiões, aranhas, abelhas e vespas. Entre os tipos mais incomuns de defesa incluem-se o cianeto de hidrogênio produzido pelos milípedes quando são perturbados e, mais dramático ainda, o jato químico ejetado a na temperatura de 100 °C pelo besouro bombardeiro.

5 Metabolismo energético

Os animais precisam de energia química para realizar suas várias funções e o uso dessa são com frequência denominado metabolismo energético.

Os animais obtêm energia principal por meio de oxidação dos alimentos. A quantidade de oxigênio que eles consomem pode, portanto, ser usada como uma medida do metabolismo energético.

Contudo, nem sempre isso acontece. Alguns animais podem viver na ausência do oxigênio livre. Eles também utilizam energia química para suas necessidades energéticas, embora as vias metabólicas sejam diferentes. Tais processos metabólicos são conhecidos como metabolismo anaeróbico. Essa situação é normal para animais que vivem nos ambientes pobres em oxigênio ou toleram a falta prolongada ou permanente de oxigênio. Eles obtêm energia através de processos que não utilizam oxigênio molecular.

Os processos que requerem energia e as reações no organismo vivo utilizam uma fonte comum de energia, o trifosfato de adenosina (ATP). Esse composto ubíquo, por meio da hidrólise de uma ligação de fosfato “rica em energia”, é a fonte de energia imediata para processos como a contração muscular, o movimento ciliar, a luminescência dos vaga-lumes, a descarga de peixe elétrico, os processos de transporte celular, todos os tipos de reações de síntese e assim por diante.

A molécula de ATP é formada nas várias etapas geradora de energia na oxidação dos alimentos e também em processos anaeróbios gerados de energia. O ATP é o intermediário universal no fluxo de energia para processos que requerem energia nos organismos aeróbios e anaeróbios.

Armazenamento de energia: gordura e glicogênio.

Para a maioria dos animais adultos, o consumo de alimentos e gastos de energia permanecem aproximadamente iguais. Se o gasto de energia exceder o consumo de alimentos, o excesso de energia será coberto pelo consumo de substâncias corporais, primeiramente gordura. Se o consumo de alimentos utilizados o exceder, será armazenado como gordura, independente

da composição do alimento. Por exemplos, os porcos são engordados com alimentos que consistem principalmente de carboidratos “grãos”.

Efeito da concentração de oxigênio

Em geral, supõe-se que o consumo de oxigênio (taxa metabólica), dentro dos limites amplos, seja independentemente da concentração de oxigênio. Por exemplo, se substituimos o ar comum por oxigênio puro, um mamífero continuará consumir o oxigênio da mesma taxa embora oxigênio esta taxa presente numa concentração cinco vezes maior. O inverso também é verdadeiro. Se reduzirmos a concentração de oxigênio pela metade, o que pode ser feito reduzindo a pressão atmosférica total à metade (o que equivale, aproximadamente, a 6.000 m de altitude), a taxa de consumo de oxigênio continuará, da mesma forma, quase inalterada.

Essa independência na concentração de oxigênio não é universal. A situação pode ser bastante diferente.

Em temperaturas altas, o consumo de oxigênio é mais alto que em temperatura baixas, mas em qualquer temperatura a tomada de oxigênio é relacionada de maneira linear com o oxigênio disponível.

Aclimação baixa de oxigênio

Muitos peixes ativos que nadam rapidamente são muito sensíveis ao baixo teor de oxigênio na água. Isso é verdadeiro para a maioria de salmonídeos - por exemplo, a truta pintada. Para esse peixe, o nível letal de oxigênio na água depende da exposição anterior a níveis baixos, mas toleráveis de oxigênio. Se o peixe for mantido em água relativamente pobre em oxigênio, ele ficará mais tolerante a baixos teores de oxigênio.

A melhor tolerância é provavelmente atribuível a uma ampliação de a capacidade extrair oxigênio da água. Se houver um aumento real na capacidade do tecidos de tolerarem condições atóxicas, um peixe aclimatada a baixos níveis de oxigênio poderá viver mais que um peixe mais aclimado, quando colocado em condições anaeróbias. Não há evidências de tal diferença.

Metabolismo anaeróbio

Os animais que toleram exposições prolongadas a oxigênio zero, devem necessariamente obter energia metabólica a reações não oxidativas. Isso é verdadeiro para muitos parasitas intestinais, para animais que vivem no lodo livre de oxigênio de lagos e represas, para os bivalves que ficam fechados durante longos períodos e para muitos outros.

Os animais que podem sobreviver, indeterminadamente, sobre período sob condições anóxicas são chamados de organismo anaeróbios.

A camada mínima de oxigênio

A maioria dos oceanos do mundo contém, em profundidades intermediárias, zonas onde o conteúdo de oxigênio é muito baixo. Há uma grande área desse tipo no nordeste do Pacífico tropical, que é conhecida como a camada mínima de oxigênio a partir da costa central do sul do México; a camada se estende, aproximadamente, entre 100 e 900 m de profundidade e o conteúdo de oxigênio devolvido geralmente é menor que $0,1 \text{ cm}^3$ (centímetro cúbico) por litro de água no mar, com relativamente pouca variação durante o ano. No entanto, uma população surpreendente de animais vive na água pobre de oxigênio.

Alguns dos animais particularmente os peixes fazem migrações diárias para a superfície, acendendo no crepúsculo e retornando as profundezas antes do amanhecer, em movimentos verticais que perfazem 300m ou mais. Paradoxalmente, os peixes presentes na região de baixo teor de oxigênio geralmente têm uma bexiga natatória cheia de gás que contém uma porcentagem alta de oxigênio.

Embolia gasosa

Essa síndrome perigosa é conhecida por várias denominações: doenças do mergulhador, mal dos caixões e aeróbolea. Ela ocorre quando um mergulhador humano retorna para a superfície, após um período prolongado

em profundidade considerável, abaixo de 20 m mais ou menos. A síndrome agravasse quando maior a profundidade e o tempo de mergulho. É causada por bolhas de ar nos tecidos e nas correntes sanguíneas, do mesmo modo que as bolhas formam em uma garrafa de refrigerante quando a tampa é removida. Ambos os casos, as bolhas aparecem quando a pressão é reduzida em líquido que está saturada de gás em alta pressão.

A aeróbolia também pode ocorrer durante a sessão rápida de aeronaves com cabines não pressurizadas: nesses casos, o período de aeróbolia ocorre quando a pressão é reduzida para cerca de 0,5 ATM (cerca de 6 mil metros).

Toxicidade do oxigênio

A importância da toxicidade do oxigênio no mergulho é óbvia. Se o mergulhador descer a 40m e o suprimento de ar comprimido, ele respirará a uma pressão total de 5 atm. Como 1/5 do ar é oxigênio, a pressão principal de oxigênio é 1 atm (i.e., próximo limite tóxico). Os mergulhos com ar comprimido em profundidades ainda maiores são, é claro, cada vez mais prejudiciais, pois a pressão parcial do oxigênio precede a 1 atm.

O único modo prático de o mergulhador trabalhar 40m ou mais é evitar a toxicidade do oxigênio e diminuir o conteúdo de oxigênio do ar que respira. Um mergulhador que trabalha a 40m (5 atm) poderia ter um suprimento com gás que contenha O₂ a 10% e N₂ a 90%. Então ele respiraria o oxigênio a uma pressão de 0,5 atm, que é completamente seguro em uma profundidade maior, o conteúdo do oxigênio da mistura gasosa deve ser ainda mais reduzido para diminuir o risco de aeróbolia durante a decompressão, o nitrogênio deve ser parcial ou completamente substituído por gás hélio.

Suprimento de oxigênio durante o mergulho

Para uma pessoa que mergulha sem equipamento, a necessidade mais imediata é obter o oxigênio. Em geral, ela enche os pulmões para aumentar a quantidade de ar que carrega com o objetivo de adiar o momento para voltar para a superfície para respirar novamente. Existem, contudo, muitas possibilidades teóricas para aumentar o tempo de mergulho. Algumas delas

são, do ponto de vista fisiológico, não factíveis ou não se sabe que sejam utilizadas pelos animais. A maioria dos animais que mergulha, adotou uma combinação de vários métodos possíveis, em geral resultando em desempenhos de mergulho que são surpreendentes quando comparados aos padrões humanos.

Respiração cutânea e retal

Já foi visto quão importante é a respiração cutânea em rãs como a salamandra que, sem pulmão, obtém todo oxigênio através da pele. Não há razão para acreditar que um pássaro ou um mamífero mergulhador utilize uma via similar para cobrir qualquer parte substancial da sua demanda por oxigênio. Por um lado, esses animais são grandes e as suas áreas superficiais relativas, e são, portanto, pequenas. Por outro lado, eles são animais de sangue quente e suas demandas de oxigênio são altas. Finalmente. A natureza de suas peles é muito diferente de do tegumento fino, úmido altamente vascularizado dos anfíbios.

Os répteis que mergulham constituem um problema diferente. As tartarugas aquáticas possuem uma carapaça espessa e, provavelmente impermeável, mas podem usar a mucosa oral como auxiliar nas trocas gasosas quando permanecem submersas por longos períodos.

Algumas tartarugas captam água pelo reto, mas é incerta a importância disto para as trocas gasosas; é mais provável que elas utilizem água para ajustar suas flutuabilidades. Para reduzir sua flutuabilidade, o animal expulsa ar dos pulmões, mas como a carapaça é rígida, a redução do volume pode ser compensada pela captação de água (ou recolhendo os membros para dentro da carapaça).

Taxa metabólica e tamanho corpóreo

Mamíferos

Retornemos sobre a discussão sobre os mamíferos mergulhadores. As grandes baleias podem ficar submersas, mas o mergulhador é muito pequeno como o maracá aquático, faz mergulhos que realmente

excedem meio minuto. De como geral, quanto maior for o mamífero mergulhador, mais longos são os mergulhões que eles podem realizar. A resposta é que a taxa de consumo de oxigênio relativa ao tamanho corpóreo é muito mais alta no mamífero pequeno do que no mamífero maior.

Custo energético da locomoção

Nadar, correr e voar requer mais energia do que ficar sentado quieto, mais como pode se comparar os diferentes tipos de locomoção? Andar e correr são mais familiares para nós do que nada e voar e tem interesses mais imediato e, portanto, sabemos mais sobre esses modos de locomoção. Além disso, o homem é o nosso melhor experimental, porque ele é extremamente cooperativo e, às vezes, até altamente motivado. Isso é muito útil nos estudos sobre desempenho máximo, porque quando um animal se recusa a correr mais rápido ou mais longe é porque ele não quer - ou não pode? Os cães foram extensivamente estudados porque geralmente são cooperativos e fáceis de trabalhar - às vezes, eles até parecem estar altamente motivados. O ar é uma que está diferente, já que o homem tem experiência mínima em voar com a sua própria força, um nadador desajeitado é ineficaz comparado com as focas, baleias e peixes.

Quando comparamos os vários tipos de locomoção temos que compreender que as maiores diferenças entre mover-se na água, na terra e no ar são atribuíveis a diferentes qualidades físicas desses meios. As duas diferenças mais importantes resistem (1) no suporte do corpo animal, proporcionado pelo ar e pela água (2) na resistência diferente a realização de movimentos que os dois meios apresentam.

A maioria dos animais nadadores apresenta flutuabilidade de quase neutra; o peso é totalmente suportado pela água circundante e não a esforço para suportar o corpo. Os animais que correm e voam estão em situação muito diferente eles precisam suportar todo o peso de seus corpos. Animal que corre tem apoio sólido sob os pés, mas o animal que voa deve apoiar seu peso continuamente contra um fluido de baixa densidade e baixa viscosidade.

A resistência do meio é muito importante para o animal que nada, porque a água tem alta viscosidade e densidade, em contraste os animais que correm e voam tem a vantagem de mover-se em meio de baixa viscosidade e baixa densidade. As características físicas tem efeitos profundos sobre as adaptações estruturais que os animais apresenta em seus modos de locomoção. Os animais aquáticos tem corpos hidrodinâmicos e geram autopropulsão com nadadeiras e cauda ou modificações dessas estruturas. Os pássaros têm corpos aerodinâmicos e asas que funcionam basicamente sobre os mesmos princípios da dinâmica dos fluidos como a caudas dos peixes. Quanto menor o animal, contudo menos efetivo é a hidrodinâmica ou aerodinâmica para reduzir a resistência e aos pequenos obviamente, não são aerodinâmicos.

Os animais que correm usam as extremidades como a alavanca para mover-se sobre um substrato sólido. A resistência do ar é pouca importância aos animais que correm não são árticulamente aerodinâmicos. A aerodinâmica é muito mais importante para os pássaros porque eles se movem muito mais rápido que os mamíferos que correm e a resistência do ar aumenta aproximadamente com o quadrado da velocidade. A maioria dos mamíferos são quadrúpedes mais algumas raridades como o homem e o canguru, são principalmente bípedes.

Tempo fisiológico

Os animais pequenos vivem num ritmo muito mais acelerado que os animais grandes. Eles movem as pernas muito mais rapidamente e o coração bate mais depressa. Tudo é acelerado e parece o tempo no relógio não pode o mesmo significado para os animais grandes.

O coração de um musurano bate 1000 vezes por minuto e do elefante talvez 30 vezes. É necessário 0,5 horas para que um coração de um elefante bata mil vezes, um número que o coração do musurano atinge em um minuto, a unidade de tempo no relógio deve ser um significado diferente nos dois animais.

6 Efeito da temperatura

A vida ativa dos animais limita-se a uma faixa restrita de temperatura, que varia alguns graus abaixo do ponto de congelamento da água pura (0°C) até aproximadamente +50 graus. O enfoque agora será dado a temperatura do organismo, e não do seu meio ambiente. Por exemplo, o ser humano mantém a sua temperatura corpórea a 37°C, independentemente se fica exposto ao um frio intenso ou se vai a uma sauna, onde a temperatura é aproximadamente a do ponto de ebulição da água.

Os limites de temperatura para a vida animal são muito restritos se comparados a temperaturas cósmicas. Apesar disso, há a ocorrência de temperaturas adequadas no oceanos, e na maior parte da superfície terrestre, pelo menos em partes do ano.

Terminologia confusa

Os termos científicos correspondentes, poiquilotérmicos, para animais de sangue frio e homeotérmicos para animais com sangue quente, são também imprecisos. A palavra poiquilotérmico refere-se ao fato de temperatura de um animal de sangue frio variar de acordo com o meio ambiente em que vive. um peixe tem a temperatura da água em que vive e uma minhoca, a do solo onde é encontrado. Entretanto, um peixe de águas profundas, que vive toda sua vida em águas que apresentam oscilações térmicas dificilmente mensuráveis, é realmente um animal com a temperatura corpórea praticamente constante. O lógico seria denominá-lo um peixe homeotérmico, porém esse termo é usado especificamente para aves e mamíferos, animais que na realidade apresentam temperatura corpórea que normalmente auxiliam em vários graus e que durante a hibernação podem até mesmo chegar a cerca de 0°C animais que ocasionalmente apresentam temperaturas corpóreas elevadas e bem reguladas e, outras vezes, comportam-se de maneira similar aos animais de sangue frio, são frequentemente denominados de heterotérmicos.

Animais homeotérmicos geralmente mantêm uma temperatura corpórea elevada e permanecem ativos em ambiente quentes ou frios, ao passo que a maioria dos animais poiquilotérmicos ficam mais inativos devido ao fato de que a temperatura diminui. Há algumas exceções dignas de notas, como, por

exemplo, um lagarto que, sob o sol, consegue manter a temperatura bem acima daquela do ar ambiente. Para diferenciar o lagarto de aves e mamíferos os quais mantêm a temperatura corpórea por meio de produção metabólica de calor, dispõe-se dos termos **ectotérmico** e **endotérmico**.

Adaptação a temperatura

Os limites da tolerância à temperatura para um lado animal não são fixos; a exposição a uma temperatura próxima da letal frequentemente acarreta um certo nível de adaptação, de modo que uma temperatura anteriormente seja tolerada.

Com frequência, o intervalo de tolerância térmica é diferente para a mesma espécie no verão e no inverno. Um animal universal geralmente tolera e permanece até mesmo ativo à temperatura tão baixa que seria letal a um animal estival; inversamente, o animal universal é menos tolerante que um animal estival à temperaturas elevadas. Essas modificações na tolerância a temperatura com as mudanças climáticas são chamadas de aclimação.

Efeitos semelhantes podem ser simulados em experimentos de laboratórios, mantendo-se animais para algum tempo a determinadas temperaturas. Para distinguir a adaptação ou ajustes, que ocorrem em experimentos de laboratórios da aclimatização natural, a resposta as condições experimentais é geralmente desligada pelo termo aclimatação.

7 A regulação de temperatura

A temperatura da maioria dos animais segue, de modo passivo, a temperatura do meio em que os circunda. Seria vantajoso se os animais pudessem não depender da imprevisibilidade dessa variável ambiental e, neste capítulo, trataremos dos animais que mantêm a sua temperatura corpórea mais ou menos independente da temperatura ambiental.

Aves e mamíferos vivem a maior parte de suas vidas em temperaturas corpóreas que não oscilam mais que alguns graus. Esses animais serão os primeiros a serem considerados e, em seguida, será discutido o que outros

animais conseguiram para manter suas temperaturas, independente da do ambiente.

Em primeiro lugar, deve ser esclarecido o que se entende por temperatura corpórea não sendo este, de modo algum, um conceito simples. Segundo, para a manutenção de uma temperatura constante, o ganho e perda de calor do organismo devem ser iguais. Para a compreensão desses dois processos, devemos estar familiarizados com a física de transferência de calor.

Em um ambiente frio, uma alta temperatura pode ser mantida pela redução da perda de calor e o aumento do ganho de calor. A maioria das aves e mamíferos fazem isso de modo bastante satisfatório. Entretanto, alguns mamíferos, e umas poucas aves, parecem desistir de resistir ao frio e permitem que suas temperatura caia vagarosamente, entrando em um estado de torpor ou hibernação. No entanto, a regulação não é abandonada; ao contrário, a hibernação é um estado fisiológico bem regulado.

Em um ambiente quente, os problemas para a manutenção da temperatura corpórea são inversos: o animal deve evitar que sua temperatura corpórea aumente e, geralmente, é forçado a resistir pela evaporação da água.

Regulação da temperatura no frio

Conservação de Calor

Para a manutenção de temperatura, um animal deve se satisfazer à condição do estado de equilíbrio no qual a taxa de produção de calor metabólico equivale à taxa de perda de calor. Por enquanto, será considerado que a perda de calor (no frio) ocorre somente por condução e radiação, e a perda de calor por evaporação pode ser desprezada.

Distribuição de material isolante

Devemos recordar que a pelagem dos animais árticos não consegue isolar, de modo uniforme, todas as partes do corpo; esses animais também necessitam de superfícies a partir das quais o calor possa ser dissipado, principalmente durante o esforço como a principal parte do corpo é bem isolada para a retenção máxima de calor, eles precisam de áreas recobertas

com pele fina nos pés, face e outras localizações periféricas, a partir das quais possa ocorrer perda de calor quando aumenta a demanda para dissipá-lo.

8 Água e regulação osmótica

O volume do organismo e a concentração dos solutos devem ser mantidos dentro de limites bastantes estreitos. A razão é que o funcionamento ótico de um animal requer uma composição relativamente e bem definida de seus fluidos corpóreos, e desvios substanciais são geralmente incompatíveis com a vida.

O problema é que as concentrações adequadas dos fluidos corpóreos dos animais, invariavelmente, diferem daquelas do meio ambiente. Os animais precisam manter concentrações apropriadas, porém as diferenças de concentração tendem a diminuir, alterando o estado de condições internas. Os animais podem minimizar as dificuldades pela redução da permeabilidade e dos gradientes de concentração entre os fluidos corpóreos e o meio, sendo que ambas as estratégias podem ser utilizadas.

Vertebrados aquáticos

Esta sessão abordará, essencialmente, peixes e anfíbios. Não se contesta que as baleias e as tartarugas marinhas sejam vertebrados aquáticos, porém, serão tratadas em um contexto diferente porque são descendentes de ancestrais terrestre e respiram ao ar, e é mais conveniente discuti-las como animais terrestre que vivem em meio onde não há água doce disponível.

9 Excreção

As funções dos órgãos excretores estão associadas a um princípio básico: para a manutenção de um meio interno constante: qualquer material captado pelo organismo deve ser equilibrado pela remoção de igual quantidade de material que, por sua vez requer, das funções excretoras, uma capacidade

variável, que pode ser ajustada para eliminar quantidades criteriosamente controladas de cada uma das diferentes substâncias existentes.

As principais funções dos sistemas excretores são:

1. Manutenção de concentração apropriada de solutos
2. Manutenção de volume corpóreo adequado.
3. Eliminação de produtos metabólicos
4. Eliminação de substâncias estranhas ou de seus produtos metabólicos.

10 Movimento músculo biomecânicas

O número de mecanismos utilizados para a realização de movimentos é limitada, embora os seus usos variem muito. Serão discutidos três mecanismos básicos, os movimentos amebóides, ciliar e muscular.

O movimento amebóide tem o seu nome derivado da ameba, um organismo unicelular descrito em qualquer livro de Biologia. A locomoção amebóide implica em grandes modificações da forma das células, fluxos de citoplasma e atividade de pseudópodes.

A locomoção ciliar é um modo característico de movimentação protozoários ciliados, como o paramécio. Entretanto, os cílios são observados em todos os filos animais e servem para uma variedade de funções como, por exemplo, os cílios criam corrente que movimentam águas através das brânquias dos bivalves ou movimentam fluido no sistema hidráulico dos equinodermis. As vias respiratórias dos vertebrados que respiram o ar atmosférico são revestidas por células ciliadas que, lentamente, removem partículas estranhas que se alongam em suas superfícies. Os espermatozoides da maioria dos animais movimentam-se com o auxílio de uma cauda, que em princípio, age como um cílio.

O movimento muscular é o mecanismo fundamental utilizado em uma imensa maioria de diferentes movimentos. Ele depende dos usos de músculos, os quais em todo o reino animal, têm uma característica universal - a capacidade de exercer encurtamento de força dos mesmos.

Controle e integração

Integração significa a união de partes. Em Fisiologia, essa palavra abrange o controle de todos os componentes funcionais, incorporados em um organismo que opera de forma integrada, na qual nenhum processo isolado pode ocorrer a um ritmo independente.

As funções fisiológicas podem ser controladas por hormônios ou pelo sistema nervoso, mas há duas diferenças fundamentais: uma, está relacionada à velocidade de ação e a outra, ao tamanho do alvo.

O controle e teoria do controle

O mecanismo de controle responsável pela manutenção do estado de equilíbrio nos organismos vivos constitui um dos principais capítulos da Fisiologia e é conveniente examinar seu funcionamento na teoria do controle simples. Por exemplo, aves e mamíferos mantêm a temperatura central aproximadamente constante, apesar de amplas variações na temperatura externa e na produção interna de calor. Essa regulação de temperatura corpórea é realizada com o auxílio de um sistema de controle complexo.

12 Controle hormonal

Então, o que se entende pelo termo hormônio? Um hormônio é mais bem definido como uma substância que é liberada a partir de um órgão, de estrutura bem delimitada, e que exerce um efeito bem específico sobre algumas outras estruturas bem distintas.

Para que um hormônio afete um alvo ou um órgão específico, o alvo deve ser capaz de receber o sinal e as células devem possuir receptores que recebem ao sinal. De igual importância, outros órgãos que entram em contato com a mesma concentração de hormônio precisam ser refratários: eles devem ser desprovidos dos receptores que são essenciais para a ativação da maquinaria da célula que resulta na resposta das células.

13 Informações e sentidos

A maior parte das informações acerca do meio é obtida por meio de órgãos sensoriais especializados. Tradicionalmente, os órgãos dos sentidos são devidos em *exteroceptores* que respondem a receptores do meio externo, como luz e som e os *propioceptores* que estão voltados as informações internas, como a posição dos membros essa separação não tem muito significado, e, na melhor das hipóteses, é apenas uma questão de conveniência.

Outra classificação tradicional dos sentidos baseia-se nos cinco sentidos mais evidentes dos seres humanos: visão, audição, paladar, olfato e tato. Na realidade, o equipamento sensorial dos seres humanos não é tão limitado.

Qualidades sensoriais

A relação dos estímulos externos, aos quais, pelo menos alguns animais respondem, é bastante extensa. As categorias relacionadas não são completamente distintas e a separação é um tanto arbitrária. Entretanto, por conveniência, essa sequência será seguida na presente discussão acerca das possibilidades e limitações que se aplicam ao uso de vários tipos de informações disponíveis. As informações, naturalmente, podem ser subdivididas em três categorias principais: energia eletromagnética e térmica, energia mecânica e agentes químicos.

A ampla variedade de estímulos e as enormes diferenças estruturais nos órgãos sensoriais parecem causar confusão até verificarmos que a sequência geral de eventos é a mesma para todos. O estímulo externo emerge sobre um estrutura assessorial, que pode ser altamente complexa como o olho ou a orelha ou muito mais simples, com os receptores táteis da pele.

Atividades

1. O sistema respiratório é semelhante ao dos insetos, mas pode ter um papel em relação a estes, mas apresentam órgãos respiratórios definidos que são perfundidos por sangue. De que espécies de animais estamos falando:

- a. Insetos
- b. Moluscos
- c. Peixes
- d. Aracnídeos
- e. Mamíferos

2. Alguns dos ajustes mais simples para a troca de gases respiratórios são encontrados nos_____ . Complete a lacuna.

- a. Animais aquáticos
- b. Aves
- c. Resteis
- d. Anfíbios
- e. Aracnídeos

3. O que Fisiologia?

- a. A fisiologia trata da respiração dos animais
- b. A fisiologia trata de apenas do funcionamento dos órgãos
- c. A fisiologia trata das funções dos organismos vivos - como se alimentam, respiram e se movimentam, e o que fazem para se manter vivos.
- d. A fisiologia trata das funções vitais apenas aos mamíferos
- e. A fisiologia trata das funções de excreção

4. O podemos dizer que a respiração nos ovos?

- a. Que a casca deve ser permeável ao oxigênio, e conseqüentemente, também a outros gases, portanto, o vapor de água e dióxido de carbono é liberado durante a incubação.
- b. Que não existe respiração nos ovos.
- c. Que a casca deve ser impermeável ao oxigênio, e conseqüentemente, também a outros gases.

- d. Que apenas dióxido de carbono é liberado durante a incubação.
- e. Que o ovo recém posto é um microcosmo

5. Se a curva da dissociação for determinada para uma amostra de sangue de mamífero a _____ ambiente e depois a _____ corpórea do animal, os resultados serão completamente diferentes. Assinale a alternativa que completa as lacunas.

- a. Circulação / temperatura
- b. Temperatura / temperatura
- c. Temperatura / respiração
- d. Temperatura / excreção
- e. Atmosfera / excreção

Gabarito:

1 d / 2 a / 3 c / 4 a / 5 b

14. SENE, F. M. Cada caso, um caso... puro acaso – Os Processos de evolução biológica dos seres vivos. Ribeirão Preto: SBG, 2009.

Conheça a Obra:

Livro-texto do professor de História Natural, Fábio de Melo Sene, do Departamento de Genética da Faculdade de Medicina (FMRP), “Cada caso, um caso... Puro acaso”, aborda, de forma descontraída, e com exemplos de acontecimentos de seu cotidiano, os processos de evolução biológica dos seres vivos.

Ao terminar a leitura, acessível também para aqueles que só tiveram acesso ao tema nas aulas de ciências, no ensino fundamental e no médio, todos podem ter a sensação de que conheceram mais sobre evolução de uma maneira diferente, de trás para frente.

Utilizando sua experiência em sala de aula, o autor, logo no primeiro capítulo, fala das dúvidas da humanidade sobre a origem e evolução do homem e as

hipóteses científicas para o fato. Descreve a teoria criacionista e evolucionista sem tomar partido, mas também sem deixar de lado a tendenciosidade e o ceticismo que acompanha a maioria dos cientistas. Neste capítulo fala, ainda, sobre o medo da finitude que acompanha o homem e a criação do divino e misterioso para explicar o “depois da morte”. Cita o raciocínio lógico do matemático francês Pascal:

“Embora a existência de Deus seja altamente improvável, há uma grande assimetria na punição por errar no palpite. Portanto, é melhor acreditar em Deus porque, se o palpite estiver certo, você poderá ganhar o céu e, se estiver errado, não fará nenhuma diferença. Porém, se você disser que não acredita em Deus, e estiver errada, a chance de ir para o inferno é enorme e, se estiver certo, não fará diferença”.

Uma rápida explanação sobre a evolução dos seres vivos por meio da seleção natural proposta por Wallace e Darwin e o impacto causado por ela, assim como as premissas e conclusões dessa teoria estão no capítulo dois. Neste capítulo o professor explica de forma didática a seleção natural, a origem das variações e a teoria hereditária de Galton. Finaliza falando do descrédito à teoria de Wallace e Darwin.

Wallace e Darwin

Tentar explicar por que só Wallace e Darwin tiveram, independentemente e quase simultaneamente, a mesma ideia para explicar a origem de tanta diversidade é um exercício puramente especulativo. Dizer que eles eram mais inteligentes, mais geniais ou mais espertos do que os outros também é uma afirmação leviana. Porém, um fato muito importante aconteceu aos dois: depois de terem visto a grande diversidade biológica em áreas continentais sul-americanas, Darwin contornando o continente, e Wallace viajando pela Amazônia, ambos entraram em contato com a fauna e flora de arquipélagos. Darwin, em Galápagos, Wallace, na Malásia.

E, o que diferencia os arquipélagos das áreas continentais? A descontinuidade das populações, isoladas uma das outras pelos limites das ilhas. A diferenciação entre populações isoladas é muito maior do que se elas tivessem uma distribuição geograficamente contínua e, embora o processo evolutivo atue igualmente nas ilhas ou nos continentes, o resultado da diferenciação fica muito mais evidente nas ilhas.

Charles R. Darwin e Alfred R. Wallace

O processo de evolução dos seres vivos através da seleção natural foi imaginado por Wallace e Darwin quase simultaneamente. Diz-se que quase simultaneamente porque pode haver uma diferença temporal entre a ocorrência da formulação por um e outro. Darwin estava na Inglaterra; Wallace, na Malásia, e o contato entre eles era precário.

A hipótese evolutiva tornou-se pública através da apresentação em 1º de julho de 1858, na Lynnean Society, em Londres, com o título “Sobre a Tendência das Espécies de Formarem Variedades; e sobre a Perpetuação das Variedades e Espécies por Meios Naturais de Seleção.

A teoria causa impacto ao falar da evolução do Homem

Em 1871, doze anos após a publicação da Origem das Espécies, Darwin publicou o livro que realmente levantou a polêmica sobre a teoria, uma vez que ele estendeu, explicitamente, para a espécie humana, todos os conceitos que havia postulado para os demais seres vivos, em 1858 e 1859. A publicação do livro A Descendência do homem e Seleção em Relação ao Sexo (The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex, 1871), por ter inserido o homem no restante do mundo animal, é considerada uma das ideias que produziram os três maiores traumas pelos quais passou a humanidade. Os outros dois traumas teriam sido infringidos por Copérnico, ao afirmar que a Terra não era o centro do Universo, e por Freud, ao postular que o ego estava sujeito a determinismos internos cuja verdadeira natureza permanecia inconsciente. A reação à publicação de 1871, nos meios científicos e na sociedade, foi imediata. Afirmar que a espécie humana teria surgido a partir de outra espécie e, portanto, não seria obra direta de uma criação, abalou a sociedade. Historicamente, consta que Darwin, ao ser pressionado, teria procurado Wallace como um aliado, porém Wallace não concordou com a extensão da teoria da seleção natural à espécie humana. Segundo Wallace, a teoria só se aplicaria aos demais seres vivos e a origem do Homem seriam mais transcendentais. Assim, Wallace afastou-se da polêmica e diminuiu sua responsabilidade pelas consequências da teoria e, praticamente, abriu mão, em vida, de assumir a polêmica sobre a teoria que propunha a evolução dos seres vivos através da seleção natural.

O capítulo três, mesmo sendo mais apropriado para aqueles já iniciados no estudo da genética, dá uma visão geral sobre cromossomos, genes, divisões celulares, fenótipo e genótipo, mutações gênicas, reprodução, também para

aqueles que engatinham na busca por entender esses processos. Conclui o capítulo com o que nem o ser humano gosta de ouvir, a regra é a extinção e “ao observarmos a natureza, estamos olhando para os sobreviventes e isso nos dá a falsa impressão de que todos se adaptam ou especiam”. Segundo ele, no documento fóssil o registro mostra que a maioria das espécies extinguiu-se.

Conceitos Básicos para o Entendimento da Evolução Biológica.

A compreensão da complexa interação dos diversos fenômenos biológicos responsáveis pela enorme diversidade da vida é fundamental para que se possa entender o processo evolutivo.

Assim, apresento alguns fatos e conceitos básicos para o entendimento do processo evolutivo e para possíveis inferências a respeito do mesmo.

Só variações hereditárias têm importância evolutiva

As únicas alterações e características que têm significado evolutivo são as que podem ser transmitidas hereditariamente. Todas as outras modificações que os indivíduos sofrem, ao longo da vida, e que afetam suas células somáticas e não afetam o material genético das suas células germinativas, não são transmitidas às gerações seguintes.

Os cromossomos

O número e a forma dos cromossomos de uma célula recebe o nome de *cariótipo* (cario = núcleo). Todos os indivíduos de uma mesma espécie e todas as células de um mesmo indivíduo têm o mesmo cariótipo. Os cromossomos formam pares e os cromossomos de um mesmo par recebem o nome de *homólogos*. Por exemplo, a espécie humana tem 23 tipos de cromossomos homólogos, ou seja, 46 cromossomos (que formam o conjunto *diploide*, $2n$, genótipo). Nas drosófilas, o número é 6 e o $2n$ é 12.

Os organismos pluricelulares de reprodução sexuada são formados a partir de uma célula-ovo resultado da fusão dos gametas masculinos e femininos dos pais.

Os gametas são haploides, n , e, ao se juntarem no ovo, forma, células diploides, $2n$. Assim, a partir do desenvolvimento da célula-ovo, todo o organismo será $2n$.

Os genes estão nos cromossomos

Os genes são as unidades do material genético, estão localizados, ao longo dos cromossomos e, conseqüentemente, não se encontram soltos, como partículas, dentro do núcleo das células. Não se sabe exatamente o número de genes de cada espécie, mas, com certeza, é da ordem dos milhares. Como o sequenciamento dos genomas a estimativa atual para moscas do gênero *Drosophila* é em torno de 13.600 genes, para os camundongos 20.200 e, para a espécie humana, 19.000.

Como as espécies do gênero *Drosophila* têm 6 pares de cromossomos e o homem têm 23, é evidente que cada filamento cromossômico possui milhares de genes.

Divisões celulares: mitose e meiose

Após a fecundação, a célula-ovo passa por um processo de seguidas divisões celulares, chamadas *mitose*, dando origem às milhares ou milhões de células do organismo, as células somáticas.

Os principais eventos que ocorrem no núcleo das células durante a mitose são:

- duplicação – cada filamento cromossômico se duplica, resultando um filamento original e um filamento cópia, que permanecem ligados por uma região chamada *centômero*.

- separação – a seguir o filamento cópia de cada cromossomos se separa do filamento original e cada um deles segue para o núcleo das duas células resultantes da divisão. Como isso ocorre com todos os cromossomos, os dois núcleos resultantes recebem o mesmo número e tipo de cromossomos e cada um contém $2n$, iguais à célula inicial da qual são originários. O processo é iniciado com uma célula $2n$, e termina com duas células $2n$.

Os gametas, espermatozoides e óvulos, são formados a partir das células germinativas, localizadas, respectivamente, nos testículos dos machos e nos ovários das fêmeas.

As células germinativas são $2n$, ou seja, possuem os filamentos cromossômicos aos pares e os gametas, a que dão origem, são n , ou seja, têm apenas um filamento cromossômico de cada par. O processo de divisão celular que resulta na formação dos gametas é a meiose.

Durante a meiose, os principais eventos que ocorreram no núcleo das células germinativas são:

- *duplicação – filamento cromossômico se duplica, resultando num filamento original e num filamento cópia, que permanecem ligados pelo centrômero.*

- *separação dos cromossomos – neste momento ocorre a primeira diferença em relação à mitose porque, ao se dividir em duas células, os cromossomos homólogos se separam e cada um vai para uma celular nova.*

Assim, cada célula nova tem apenas um cromossomo de cada par, duplicado (original e cópia);

Separação entre os originais e as cópias – a segunda diferença em relação à mitose é que, em seguida, cada célula nova entra novamente em processo de divisão celular sem que ocorra, previamente, duplicação cromossômica, e os filamentos originais de cada cromossomo se separam das cópias e cada um vai para uma celular nova. Assim, o processo inicia-se com uma célula $2n$, na qual ocorre duplicação, sofre uma divisão, que separa os pares de cromossomos homólogos e sofre mais uma divisão que separa filamentos originais de cada cromossomo de suas cópias, dando origem a quatro gametas n . cada um com um filamento cromossômico de cada par.

Fenótipo e genótipo

O termo *fenótipo* refere-se à aparência estrutural ou à constituição metabólica de um organismo, resultante da interação entre a ação do genótipo e do ambiente em que o organismo vive ou tenha se desenvolvido. Entende-se como ação do ambiente tudo que não seja decorrente da ação do genótipo.

Genótipo, o conjunto diploide, ou $2n$, de material genético de um indivíduo, é formado por metade de cromossomos herdado do pai (n) e a outra metade, da mãe (n), os quais formam os pares de cromossomos homólogos.

Locos, genes e alelos

A região do cromossomo onde se localiza um gene recebe o nome de *loco*. Numa célula, quando o gene de um loco sofre uma mutação, surge um gene novo que, ao ser copiado na duplicação, ocupa o mesmo loco do gene original no cromossomo. Assim, passam a existir cromossomos com o gene original e cromossomos com a cópia mutante. Genes diferentes (em decorrência de mutações) e que ocupam o mesmo loco de cromossomos homólogos são chamados de genes alelos.

O material genético

O material genético está contido nos cromossomos. Sob o ponto de vista químico, os cromossomos são formados basicamente por proteínas e ácidos nucléicos. O ácido nucléico chamado DNA (ácido desoxirribonucléico) é a substância química que contém todas as informações genéticas da maioria dos seres vivos (em alguns é o RNA – ácido ribonucléico – que executa essa função). Essas moléculas codificam, na sequência e organização das suas bases nitrogenadas, todas as informações hereditárias de cada indivíduo. São essas informações que organizam o arranjo dos aminoácidos para a síntese de todas as proteínas em cada organismo.

Cada segmento do DNA, responsável pela síntese de uma proteína, é chamado *gene ou cistron*. Dependendo da função que a proteína sintetizada venha a exercer no organismo, o gene é chamado de estrutural, quando afeta a estrutura ou a forma de um caráter, ou regulador, quando afeta a manifestação de outros genes.

Antes de cada divisão celular, ocorre a duplicação das fitas de DNA (com o mesmo resultado de uma cópia por contato), e uma das duas novas células recebe o DNA original e a outra célula recebe a cópia. Assim, sucessivamente, a capacidade de autoduplicação permite que cópias do DNA do ovo no momento da fecundação, metade recebido da mãe e metade recebido do pai, estejam presentes em todas as células do indivíduo adulto.

Mutações gênicas

As mutações gênicas são alterações no DNA decorrentes de alterações nas bases nucleotídicas que contêm toda a informação do material genético e fazem parte do código genético. Mudança de uma base ou da ordem das bases altera o produto final do gene. Na maioria dos casos, as mutações ocorrem naturalmente no momento da duplicação do DNA. A mutação gênica só pode ser passada aos descendentes se ela ocorrer em células germinativas.

Mutações ocorrem sobre sequências preexistentes de DNA

Um dos fatores que torna o processo evolutivo conservador é o fato de as mutações gênicas ocorrerem em uma sequência de DNA preexistente e, por isso, fica afastada a possibilidade de aparecimento de uma estrutura totalmente nova devido a um evento mutacional único. Uma mutação num segmento codificante de DNA (um gene), que seja, por exemplo, responsável pela produção de melanina, que determina a cor da pele do indivíduo, afeta, exclusivamente, a cor da pele de seu portador, ou seja, não é possível que mudanças nesse gene dêem origem a órgãos novos ou estruturas novas e isso é válido para qualquer outro segmento de DNA ou caráter que se considere.

Reprodução sexuada

Em algum momento do processo evolutivo surgiu a reprodução sexuada. Por este tipo de reprodução, cada indivíduo precisa interagir com outro indivíduo para se reproduzir. A reprodução sexuada depende do processo de divisão celular chamado meiose.

Pelo fato de o processo da meiose, que produz os gametas, ser basicamente o mesmo no reino animal, no reino vegetal e nos fungos, pode ser afirmado que a reprodução sexuada surgiu antes da separação evolutiva desses grupos de organismos, ou seja, no início da diversificação da vida.

Reprodução assexuada

O outro tipo de reprodução, a assexuada, ocorre por duplicação do DNA ou RNA, como nos vírus, ou por simples divisão celular (como na maioria dos micro-organismos).

Todos os seres vivos atuais têm uma origem única

Todos os indivíduos de todas as populações e colônias de seres vivos existentes atualmente têm uma relação ancestral descendente com a origem da vida. Por hipótese, mesmo que se admita que no início possam ter surgido várias linhas de vida independentes, certamente apenas uma delas deu origem a todos os seres vivos atuais.

A afirmação é possível porque entre a origem de uma primeira estrutura, capaz de se autoduplicar, e a origem de uma célula, decorreram 2 a 3 bilhões de anos.

A primeira estrutura, provavelmente uma molécula de RNA, não tinha metabolismo próprio e dependia de elementos do meio ambiente para sobreviver.

Evolução não significa progresso

Evolução biológica não é sinônimo de progresso. Uma das causas do mau entendimento desse assunto é uma questão semântica de o processo ser chamado de evolução. A palavra evolução, além da ideia de mudança, sugere uma mudança para melhor. Talvez, no século 19, quando esse termo foi usado para denominar a mudança dos seres vivos, ele até tenha todo tal conotação.

Porem, hoje, quando se fala em evolução biológica não se pensa em progresso e sim na capacidade de sobrevivência da população, da espécie ou do grupo de espécies. Nessa avaliação, todos os organismos vivos atuais são igualmente evoluídos: os micro-organismos, todas as plantas, insetos, vermes, peixes, répteis, aves, mamíferos, embora não signifique que eles sejam todos iguais, biologicamente. É evidente que cada um tem suas peculiaridades e complexidades, mas todos têm em comum o fato de estabelecerem uma relação ancestral/descendente com a origem da vida.

A regra é a extinção

Como consequência do processo evolutivo uma população pode, ao longo das gerações: permanecer adaptada ao ambiente, especiar ou extinguir. Por adaptação entendem-se boas condições de sobrevivência no ambiente e, por especiação, quando as mudanças produzem uma diferenciação a ponto de a população vir a ser considerada uma nova espécie.

Num ambiente estável, as populações tendem a permanecer adaptadas e inalterada ao longo do tempo. Quando o ambiente muda na esmagadora maioria das vezes a população é extinta. A extinção de uma população não significa necessariamente a extinção da espécie, pois para que uma espécie se extinga, é preciso que todas as suas populações se extingam. A adaptação é muito raro e a especiação, extremamente raro. Assim, a regra é a extinção. Ao observarmos a natureza, estamos olhando para os sobreviventes e isso nos dá a falsa impressão de que todos se adaptam ou especiam. Não é o que observamos no documentário fóssil, cujo registro mostra que maioria das espécies extinguiu-se.

As leis de Mendel e o surgimento da genética abrem o capítulo quatro, que tem também teoria sintética ou neodarwinismo, que reúne todo o conhecimento dos mutacionistas e dos selecionistas, que aceitam plenamente a ideia de seleção natural de Darwin, completando-se com a informação que faltava: a origem da variação.

As leis de Mendel

Muitos tentam especular a respeito do trabalho de Gregor Johann Mendel (1822/1884) e sobre qual teria sido a consequência caso Darwin tivesse tomado conhecimento a respeito das leis de Mendel que explicavam os mecanismos de transmissão dos caracteres do pai para filhos e, conseqüentemente, a hereditariedade das variações.

Na realidade, publicado em 1866, e redescoberto em 1900, o trabalho de Mendel só foi totalmente aceito em 1910 e só foi ligado à teoria de Darwin entre as décadas de 1930 e 1940, quando seus princípios foram ampliados às populações e associados à ideia de seleção natural, com centenas de pesquisadores no mundo todos se dedicando ao assunto. Imaginar que Darwin, sozinho pudesse ter entendido as leis de Mendel e feito a correlação delas com sua teoria, é exigir demais de sua genialidade.

O surgimento da genética

A descoberta do trabalho de Mendel em 1900 e sua ampla aceitação em 1910, marca o início de uma ciência, a Genética. Embora já decorridos mais de 100 anos, a Genética é considerada uma ciência recente se comparada a outras áreas a Biologia, a Botânica, a Zoologia, a Fisiologia.

Nos 34 anos que se seguiram a 1876, até o trabalho ser redescoberto vários conhecimentos biológicos novos convergiram para a hipótese matemática de Mendel. Entre as mais diretamente correlacionadas, temos:

- a descrição da diferença entre células somáticas e germinativas, ficando resolvida a questão da origem dos gametas;
- a descrição das estruturas da célula e as do núcleo;
- o entendimento da fecundação a descrição da união dos gametas (óvulos e espermatozoides);
- a descrição dos cromossomos;
- a descoberta de que os gametas contêm metade dos cromossomos das células somáticas;
- a sugestão da correlação entre cromossomos, núcleo e hereditariedade (transmissão das características hereditárias de pais para filhos);
- a descrição da mitose e meiose.

Mesmo assim, só em 1902, dois anos após a redescoberta dos trabalhos de Mendel é que foi publicado o trabalho de Walter Sutton e Theodor Boveri, estabelecendo a correlação entre meiose e a hipótese de Mendel.

Fenótipo = genótipo + meio ambiente

Foi Wilhelm Johannsen (1857-1927) que, nos primeiros anos do século 20, propôs o uso do termo gene, derivando o nome do termo pangenese usado por Darwin, para os fatores Mendelianos. Dele também é a criação dos termos genótipo e fenótipo.

Mutacionistas versus selecionistas

O termo mutação já havia sido usado por DeVries ao descrever as alterações que ele encontrou no cultivo de *Oenothera lamarckiana*, uma planta de jardim conhecida por primula. Como as variações que surgiam nas primulas em seu jardim, a partir da forma abrupta. DeVries propôs uma nova teoria evolutiva. Segundo a teoria a evolução se daria ao saltos, de uma geração para outra, em decorrência das mutações que seriam as únicas responsáveis por provocar alterações nos organismos vivos.

Nas três primeiras décadas do século 20, com a denominação geral de mutacionista, foi a teoria evolutiva predominante apoiada pelos principais geneticista da época, incluindo Morgan e seu grupo.

A hipótese de saltos, proposta DeVries, e conceito fundamental para os mutacionistas não consideram a seleção natural proposta por Darwin como fator evolutivo, uma vez que, por seleção natural, o processo de mudanças seria lento e gradual.

Nessas primeiras três décadas, os mutacionistas só foram contestados pelos ditos selecionistas defendendo a ideia da seleção natural como responsável pelo processo evolutivo e, à medida que foram sendo acumulados exemplos da seleção natural, ficava cada vez mais difícil ignorá-la. Mais uma vez os dados mostravam o caminho para explicação dos fenômenos. Entre os exemplos da época sugerindo a ação da seleção, destacam-se:

- o melanismo industrial das mariposas inglesas;
- o mimetismo em borboletas, especialmente envolvendo as espécies monarca e vice-rei;
- os pássaros de Galápagos;
- anemia falciforme;
- diversas doenças da espécie humana e de outros animais.

Teoria sintética ou neodarwinismo

Após 3 décadas, foi possível conciliar as discussões dos selecionistas e dos mutacionistas e o resultado desta junção conveniu-se chamar de moderna síntese ou teoria sintética, porque se preocupava acomodar uma síntese todo o conhecimento dos mutacionistas e dos selecionistas. É também

chamada neodarwinismo, uma vez que aceita plenamente a ideia de seleção natural de Darwin, completando-a com a informação que faltava: a origem da variação.

Premissas da teoria sintética

A teoria sintética, ou neodarwinismo, foi estabelecida baseada em premissas e as principais são:

1- o processo evolutivo é resultado das forças geradas pela taxa de mutação e pela pressão de seleção;

2- as mutações gênicas ocorreram ao acaso e são responsáveis por toda a variação genética encontrada nas populações;

3- a seleção natural molda as populações às condições ambientais através de um processo de eliminação das variáveis (mutações) não adaptadas e favorecimento das variáveis que aumentam a adaptação dos indivíduos ao ambiente. Toda variabilidade genética é seletiva, ou seja, se para um dado caráter existirem duas formas na mesma população, uma é melhor do que outra e acaba por eliminá-la ao longo das gerações;

4- a variabilidade genética nas populações é pequena em decorrência da ação da seleção natural;

5- todas as populações são infinitamente grandes. Estatisticamente, para uma população ser considerada como infinitamente grande ela deve ter, no mínimo 1000 indivíduos;

6- a migração e o sistema de acasalamento são fatores complementares. Entende-se por migração a ocorrência de fluxo gênico entre populações. O sistema de acasalamento pode ser ao acaso ou preferencial. Ao acaso, quando a frequência de cruzamentos entre indivíduos com características fenotípicas diferentes depende exclusivamente das frequências destas características. Quando em uma população os cruzamentos ocorrem ao acaso, ele é considerado *panmítica*. O acasalamento é considerado *preferencial*, quando diferentes características genéticas dos indivíduos de uma população interferem na formação de casais e tipos semelhantes preferem cruzar entre si e os cruzamentos deixam de ser ao acaso. Nesse caso a população é não *panmítica*.

O fato de a população ser a unidade do processo evolutivo significa que o processo não ocorre em outro nível taxonômico a não ser na população. Portanto, mesmo diferenças grandes como as encontradas entre populações

pertencentes a famílias diferentes, como os Felídeo e os Canídeo, por exemplo, são decorrentes de alterações sofridas pela população ancestral dos dois grupos e acumuladas, após a diferenciação, ao longo das gerações. Todas as populações atuais destes animais têm uma relação ancestral/descendente com a população de carnívoros, ancestral das duas famílias.

Tomando como base as premissas, foi considerado que:

1- como as populações eram infinitamente grandes, a evolução teria como fator casual apenas a mutação, uma vez que a ocorrência de erro amostral (deriva genética) seria desprezível;

2- as populações seriam moldadas, ajustadas ao ambiente pela ação da seleção natural;

3- como as populações eram infinitamente grandes, o processo de substituição gênica ocorreria de forma lenta e gradual, sem deriva genética e, conseqüentemente, o processo de diferenciação de populações seria lento e gradual. Em decorrência, algumas das questões eram: o quanto a população precisaria mudar geneticamente para que surgisse uma espécie nova, e quanto tempo demoraria?

Polimorfismo genéticos

Uma população é Polimórfica quando, para um mesmo caráter, pode ser encontrada mais de uma forma na população. O Polimorfismo é chamado genético quando as diferentes formas são decorrentes de mutações genéticas.

Quando ocorre uma mutação e ela é passada às gerações seguintes, a população inicialmente é polimórfica em relação àquela característica, ou seja, contém mais de uma forma da mesma característica porque convivem indivíduos que possuem alelos mutados e outros que são portadores do alelo original. Nem sempre é possível saber, numa população polimórfica, qual é o alelo original e qual o alelo mutante.

Para a teoria sintética, todo Polimorfismo é transitório, ou seja, toda vez que num mesmo loco existam dois ou mais alelos diferentes, um deles dará maior capacidade adaptativa a seu portador e será favorecido pela seleção natural que, nesse caso, atua de forma *purificadora*. Assim, o Polimorfismo é transitório e perdurará pelo número de gerações necessário para que os alelos menos adaptados sejam eliminados.

A teoria sintética também é assunto para o capítulo cinco. É onde ele descreve a deriva genética, quando a composição genética de uma geração é diferente da geração anterior por erro amostral na passagem de gametas de uma geração para outra - descrita em 1932, e só reconhecida como importante 48 anos depois, e o caso particular dessa deriva, chamado de efeito fundador. O capítulo seis foi reservado para a discussão sobre os fatores evolutivos. Entre as afirmações a de que o resultado da seleção natural não é casual e sim um fator determinístico resultando ou na extinção ou na maior adaptação das populações.

Os Fatores Evolutivos

Os processos biológicos capazes de provocar alterações na composição genética de uma população, de uma geração para outra, são denominados *fatores evolutivos*. Numa frase reducionista, vários geneticistas afirmam que a evolução é simplesmente mudança nas frequências gênicas de uma população, ao longo das gerações.

Alteração da composição genética das populações

Se a unidade evolutiva é a população, para que se possa compreender o processo evolutivo é fundamental que se entenda a dinâmica das mudanças do material genético nas populações e como atuam os fatores evolutivos responsáveis pelas adaptações, especiação e extinções.

O teorema de Hardy-Weinberg

Enfim, se não ocorre mutação, se não ocorrer migração, se não ocorrer seleção, os cruzamentos forem ao acaso e a população permanecer grande, as frequências gênicas e genotípicas permanecerão constantes ao longo das gerações. Este é o enunciado do Teorema proposto por Hardy e por Weinberg em 1908, considerado a base teórica de Genética de populações. Para os autores do teorema, uma população que obedeça a todas as condições citadas é uma população em equilíbrio. Resumindo, podemos dizer: - se nada acontecer, nada acontecerá.

Assim, mutação gênica, migração, deriva genética, seleção natural e padrões de cruzamentos são os únicos fatores evolutivos. Ao longo das gerações, todas as populações estão sujeitas a sofrer alteração de cada um desses fatores. Da atuação dos fatores evolutivos resulta o processo *evolutivo*.

Os fatores evolutivos

Normalmente ocorre interação entre os fatores evolutivos e pode também haver variação de intensidade e de importância para cada um. Essa interação e intensidade também podem variar de uma geração para outra da mesma população, ou seja, além da variação da composição genética dos indivíduos de cada população, há variação também na atuação dos fatores evolutivos em decorrência das condições ambientais onde vive a população.

Fontes da variabilidade populacional

A variabilidade genética de uma população pode decorrer de mutação gênica, de recombinação cromossômica (também conhecida como recombinação genética) e de migração.

Mutação gênica

A mutação gênica, desde a origem da vida, é a única fonte primária de surgimento de material genético novo. É resultado de alteração na estrutura do DNA e será passada aos descendentes se ela ocorrer em células germinativas.

A mutação gênica é um evento considerado ao acaso, quando ao momento de ocorrência.

O fato de ser evento ao acaso, quanto ao momento, significa que a ocorrência de uma mutação gênica independe de qualquer previsão ou de qualquer objetivo adaptativo em resposta a uma pressão ambiental.

O efeito, ou consequência fenotípica, causado pelo novo alelo, varia dentro de um conjunto fechado de possibilidades, ou seja, quando um segmento de DNA, responsável por uma característica mutável, o alelo mutante

alterará a manifestação fenotípica do alelo original e, conseqüentemente, afetará a manifestação do caráter que ele determina.

Migração

Migração de indivíduos para dentro ou para fora da população também pode afetar a composição genética populacional.

Por uma questão de qualidade, a migração pode ter um impacto muito maior do que a mutação em termos de introdução de material genético novo numa população, se os migrantes forem geneticamente diferentes da população. A importância da migração é realçada pelo fato de a maioria das espécies serem formadas por várias populações e estas por subpopulações ocasionais de indivíduos. Os migrantes geram fluxo gênico entre as subpopulações diluindo eventuais diferenças genéticas que tenham surgido durante o isolamento entre ela.

Seleção natural

A seleção natural proposta por Darwin e Wallace como sendo o principal fator evolutivo, embora seja o mais estudado e discutido e o que acumula maior número de trabalho e pesquisa, é o mais polêmico dos fatores. Quando tal acontece, é porque o fenômeno ou processo estudado é complexo cientificamente, pois, quando o problema é simples, quanto mais se estuda, quanto mais se acumula conhecimento, menos dúvidas permanecem. Porém, no caso da seleção natural, estudada há 150 anos, a polêmica continua a principal questão atual é que ela foi concebida, desde Darwin até a década de 70, como um agente selecionador das variáveis indesejáveis, o que, ao longo das gerações deveria purificar as populações. Porém, com o avanço das técnicas moleculares, demonstrou-se que a variação das populações era muitas vezes maior do que a prevista por Darwin, ou o que seria esperado se a seleção natural fosse purificadora.

Seleção natural é igual à luta pela sobrevivência?

Embora a seleção natural tenha sido definida e entendida como luta pela sobrevivência, dificilmente envolve combates físico entre os competidores.

Os animais mais rápidos casam melhor, alimentam melhor seus filhotes, o que fará com que, dentro de uma população de guepardo, os mais rápidos se reproduzem mais do que os menos rápidos. A seleção favorável dos mais rápidos contra os mais lentos se processa sem que haja luta direta entre eles. Por questões de limitações biológicas não é esperado que a seleção produza sempre animais mais rápidos a cada geração que a espécie possuem.

O resultado da seleção natural não é casual

Quando se diz que a evolução é um processo ao acaso, é no sentido de que ela não tem direção nem objetivo. No entanto, a seleção natural não é considerada um fator casual (o estocástico). Na realidade, é um fator determinístico resultando ou na extinção, ou na maior adaptação da população ao ambiente, pois sobrevivem os mais adaptados a cada geração.

A alteração da composição do conjunto gênico das populações, em cada geração, favorecendo a sobrevivência dos mais adaptados a um determinado ambiente, e o resultado da seleção.

A seleção natural não cria estruturas novas ou materiais genéticos novos, ela não interfere na frequência dos existentes. De maneira que, ao permanecerem os melhores, não necessariamente estarão sobrevivendo tipos ideais.

O processo como todo é casual em decorrência da incerteza sobre a qualidade e a quantidade da variabilidade que estarão sobre seleção, e essa seleção ainda poderá variar de acordo com mudanças ambientais.

Padrões de seleção

A seleção natural tem três modos básicos de expressão: como seleção direcional, estabilizadora ou disruptiva.

Ela é direcional quando os favorecidos são os fenótipos extremos de uma distribuição normal da variável, resultando em aumento de frequência deles ou longo das gerações.

A seleção é *estabilizadora* sobre um caráter quando, na população, os tipos intermediários tem maior valor adaptável. Isso acontece na maioria dos casos, quando o meio ambiente permanece constante por um longo período de tempo.

A seleção *disruptiva* quando favorece tipos extremos para um dado caráter, em detrimento do tipo médio. É o contrário da seleção estabilizadora e o mesmo que seleção direcional, agindo simultaneamente em sentido opostos, favorecendo os dois extremos de uma distribuição normal. Ela pode ocorrer em duas situações:

- primeira, se a área de distribuição da população for muito ampla ou diversificada e os indivíduos estiverem expostos a diferentes pressões de seleção em locais diferentes;

- segunda, se houver polimorfismo para um caráter na população e os cruzamentos forem preferenciais entre indivíduos semelhantes.

Depois de anos de estudos e palestras, o pesquisador ainda deixa transparecer sua admiração pelo processo de adaptação das populações ao ambiente e relata ser este um dos fenômenos mais interessantes que ocorrem na natureza e que serviram de base para a teoria evolutiva de Wallace e Darwin. Esse tema é amplamente discutido no capítulo sete que traz, inclusive, exemplo de adaptação como a resistência das moscas a inseticidas, das bactérias a antibióticos, assim como o caso dos coelhos na Austrália e dos pardais na França. A seleção artificial criada pelo homem também ganha destaque neste capítulo.

Para discorrer sobre as interações entre os efeitos evolutivos, o pesquisador dedica todo o capítulo oito.

Para isso faz uma revisão dos conceitos sobre os fatores evolutivos, como por exemplo, a deriva genética, mais a endogamia, mais seleção que é igual a processo evolutivo mais rápido. Nos capítulos nove e 10, o autor faz uma descrição sobre a diferenciação entre as populações e origem das espécies.

Evolução dos grandes grupos

A origem dos grandes grupos taxonômicos decorre da somatória de eventos que ocorrem nas populações das espécies. O tempo decorrido e o

desaparecimento dos tipos intermediários são os responsáveis pelo aumento das diferenças entre os grandes grupos.

É muito difícil imaginar que existia qualquer tipo de direção no processo evolutivo uma vez que todo ele é baseado nos processos de especiação e adaptação que ocorre sempre nas populações das espécies.

Os grandes grupos.

A espécie, formando pelo conjunto de suas populações, é a única categoria sistemática zoologia que tem existência concreta. O agrupamento de indivíduos numa espécie não é artificial, pois entre os indivíduos de espécie existente uma ligação natural que a reprodução. As demais categorias sistemáticas, inventadas pelo homem (Gênero, Família, Ordem, Classe e Filo) são agrupamentos de espécies. Quanto mais natural for a classificação, ou seja, quanto mais próxima estiver da história evolutiva das espécies, mais estes agrupamentos refletem a real história do grupo. A assim sendo, é esperado que todos as espécies que formam um gênero seja descendentes de uma única espécie ancestral comum. Este raciocínio a válido para todos as categorias sistemáticas superiores como Família, Ordem, Classe, Filo e Reino.

O conjunto de espécies de um gênero é escolhido pela semelhança entre elas e, na grande maiorias das vezes, não é possível estabelecer, na prática, a relação filogenética (ou relação de parentesco) que decorre da relação ancestral/descendente entre essas espécies. Por critérios semelhantes, como um conjunto de espécies formam um gênero, um conjunto d gênero forma um família e assim por diante.

Durante muito tempo alguns cientistas defenderam a ideia de que as micromutações seriam responsáveis pelo aparecimento de pequenas diferenças acumuladas, acabariam por separar uma população, enquanto as macromutações seriam mutações com grandes efeitos, que tornariam seus portadores diferentes a ponto de serem classificados como outra Espécies, outro Gênero, outra Família e Ordem.

Na realidade, a conceituação esta errada, pois, normalmente, as mutações que causam grandes alterações são deletérias, reduzindo a viabilidade dos seus portadores. No período longo de tempo é o acumulo de mutações que causam pequenas alterações, as responsáveis as grandes diferenças entres as categorias superiores. Portando, o mesmo processo que dá origem às espécies, atuando um grupo de espécies por um longo

período de tempo, acaba por diferenciá-lo dos demais em suas categorias básicas.

Irradiação Adaptativa

A irradiação adaptativa é o processo pelo qual dentro de um grupo a taxa de diversificação é muitas vezes maior que a de extinção em certo período de tempo. A irradiação pode ocorrer quando o grupo de organismo adquire uma característica nova que lhe permite explorar de forma diferente o ambiente em que vive ou quando o grupo invade um território novo é desocupado. Com a expansão do grupo, serão formadas novas populações as quais poderão dar origem as novas espécies, das quais surgiram outras novas populações, de tal forma que, num intervalo de tempo relativamente curto, numerosas espécies passam a ter diferentes características adaptativas.

Constância Evolutiva

Algumas espécies ou grupo de espécies atravessam longos períodos de tempo sem se alterem de forma substancial, configurando o que é chamado de constância evolutiva. Alguns organismos chegam até a receber a denominação de fóssil vivo.

Convergência Evolutiva

Denomina-se convergência evolutiva a situação em que organismos com diferentes origens filogenéticas e diferentes estruturas, quando submetidos a um mesmo ambiente com o mesmo problema com o mesmo problema adaptativo, evoluem para formas ou soluções semelhantes. Ocorre uma convergência quando à forma do organismo. São exemplos são exemplos clássicos de convergência evolutiva os mamíferos aquáticos, como as baleias e os golfinhos, que adquiram a forma externa semelhante à de peixes, embora originários de ancestrais terrestres.

A distancia filogenética/evolutiva entre mamíferos e peixes é muito grande. A volta de um mamífero terrestre para a vida aquática, adquirindo u aspecto externo de peixe, a chamada convergência evolutiva, não significa

que necessariamente todo vertebrado de origem terrestre, que passe a viver na água, tenha de adquirir a forma de peixe; basta observar por exemplo, o caso das tartarugas marinhas.

Analogia e Homologia

Quando organismos diferentes apresentam estruturas com forma e função iguais, porém com origens embrionárias diferentes, essas estruturas são chamadas análogas. Assim, as asas dos insetos e as asas dos pássaros são órgãos análogos.

Quando organismos diferentes apresentam estruturas com forma e função diferentes, porém com a mesma origem embrionária, essas estruturas são chamadas homologas. Os braços do homem, as patas dianteiras dos mamíferos quadrúpedes, as nadadeiras das baleias e a asa das aves, são órgãos homólogos.

Documento fóssil como evidência direta da história evolutiva está descrito no capítulo 11, que traz, ainda, os processos de fossilização, a representatividade do documentário fóssil, dificuldades para localização de fósseis, o tempo geológico e a escala do tempo evolutivo, mudanças na diversidade ao longo do tempo.

O Documentário Fóssil

A área da ciência que estuda os fósseis é a Paleontologia. Fósseis (do termo latino “fossile” que significa “desenterrado”) dão quaisquer restos ou vestígios preservados de plantas, animais, ou de qualquer outro ser vivo. As características dos restos podem ser: um organismo inteiro, como no caso dos mamutes congelados da Sibéria; esqueletos ou parte deles: troncos de plantas petrificados, ou ainda impressões deixadas nas rochas por pegadas ou por folhas. Qualquer vestígio de vida passada, como por exemplo, os coprólitos, que são fezes de animais preservadas naturalmente pela dessecação ou por mineralização, é considerado fóssil.

O registro fóssil é uma evidência direta, concreta, da história evolutiva dos seres vivos cuja validade e aceitação dependem muito de evidências desse registro. Estudos de parentescos entre os grupos, através de análises filogenéticas, com o uso de marcadores morfológicos ou genéticos ou genéticos, são evidências indiretas da história evolutiva.

A maioria dos fósseis é encontrada em rochas sedimentares, embora existam exceções como, por exemplo, fósseis no gelo ou âmbar. O âmbar é uma resina vegetal e tem cor amarela semitransparente. Dentro dessa resina têm sido encontrados fósseis de polens, cianobactérias e outros organismos unicelulares, embora os mais conhecidos sejam os fósseis de invertebrados, como besouros, mosquitos, vespas, aranhas, e pequenos vertebrados como anfíbios. A importância do âmbar é que nele estão seres que normalmente se desintegram depois da morte e, além disso, os fósseis preservados no âmbar são os melhores porque normalmente o organismo é preservado por inteiro.

Os Processos de Fossilização

Embora a preservação de matéria orgânica como fóssil não seja um evento raro na natureza, a preservação de restos delicados é mais rara porque pode ocorrer a destruição do fóssil por decomposição. Em decorrência, fósseis das partes moles dos organismos são raros. No entanto, a preservação de partes esqueléticas biomineralizadas, mais duras e resistentes à erosão e à decomposição, como os dentes, as conchas, as carapaças e os ossos são muito mais comuns e, conseqüentemente, a maior parte do registro fóssil é constituída por fósseis desse tipo. Biomineralização é o processo chamado histometabose pelo qual a matéria orgânica se transforma em matéria mineral. As matérias orgânicas são substituídas por mineral, mais frequentemente calcita, molécula por molécula, resultado numa reprodução perfeita do organismo, nos mínimos pormenores celulares.

De qualquer forma, para que os restos de qualquer organismo sejam fossilizados, é imprescindível que sejam recobertos por sedimentos logo após a morte e permaneçam enterrados durante todo o processo de fossilização. Assim, tiveram muito mais chances de se tornarem fósseis os animais e plantas que viveram em ambientes aquáticos, de planícies alagadas e mesmo animais terrestres de planícies não alagadas, formadoras e formadas por rochas sedimentares, que, além de ambiente favorável à fossilização, ainda são compostos por populações maiores em decorrência do ambiente em que viveram ter sido mais homogêneo.

O Tempo Geológico

A dificuldade normal das pessoas imaginarem a escala do tempo evolutivo é um dos entraves para que aceitem que o processo que o

processo evolutivo possa ter ocorrido sem direção. A nossa escala de tempo está ligada ao nosso período de vida de algumas dezenas de anos e, portanto, já é difícil imaginar que tempo é o de 500 anos desde que os europeus chegaram às Américas. Por isso, o tamanho da dificuldade para o entendimento do que são 500 mil anos, 1 milhão de anos, 200 milhões de anos, 1 bilhão de anos.

O cenário da evolução está no capítulo 12. A água, a atmosfera, composição de gases, temperatura, gravidade, pressão atmosférica, composição química dos seres vivos, alimentação e alimentos, a digestão, os sentidos e até a percepção de ruídos, entre outros fatores do ambiente descritos pelo autor, mostram, segundo ele, que a vida está adaptada ao planeta Terra.

O Cenário da Evolução

A vida se desenvolveu na terra em condições ambientais e climáticas muito especiais, entre limites muito estreitos se comparados com o resto do Universo. Quando se especula sobre a existência de vida em outro planeta, devemos ter em mente que a vida, como a conhecemos, é adaptada ao ambiente da terra.

De uma maneira bem simplificada, pode-se afirmar que a evolução e diversificação dos seres vivos sempre dependem, a cada momento, das modificações e das condições gerais do ambiente terrestre. As peculiaridades ambientais de cada região e as alterações desses ambientes ao longo do tempo, desde a origem do planeta, são os principais responsáveis pela enorme diversidade biológica.

Água em estado líquido

Tanto quanto se saiba, a terra continua sendo o único local do Universo onde existe água em estado líquido. A água fica em estado líquido entre as temperaturas de 0°C e 100°C. Abaixo de 0°C ela se solidifica e, acima de 100°C, evapora (esses limites podem variar um pouco, dependendo da pressão atmosférica). Como se sabe, a vida na terra originou-se na água e nenhuma forma de vida sobrevive sem ela.

Atmosfera

A atmosfera, que é a camada gasosa que envolveu a Terra, dissipa-se gradualmente à medida que nos afastamos de superfície da terra, tornando quase impossível estabelecer sua espessura e seu limite exato. A estimativa de seu peso é em torno de 5 bilhões de toneladas, aproximadamente um milionésimo do peso da terra. A densidade da atmosfera diminuem proporcionalmente em função da altitude: a 6.000m de altura é a metade da existente ao nível do mar; a 95.000m é um milionésimo da existente ao nível do mar.

Atmosfera

Essa camada gasosa que envolve a Terra, dissipa-se gradualmente à medida que nos afastamos da superfície do planeta, sendo quase impossível estabelecer sua espessura e seu limite exato. A estimativa de seu peso é em torno de 5 bilhões de toneladas, um milionésimo do peso da Terra. Sua densidade diminui proporcionalmente em função da altitude: a 6 mil metros de altura é a metade da existente no nível do mar, a 95 mil metros é um milionésimo as existente no nível do mar

Gravidade

Ela varia dependendo da altitude, pois é o resultado da aceleração de um corpo em queda e diminui de maneira inversamente proporcional ao quadrado da distância ao centro da Terra. Ao nível do mar, próximo a linha do Equador o valor da aceleração da gravidade é de, aproximadamente, $9,816 \text{ m/s}^2$. Como a força da gravidade é em função do tamanho do planeta, na superfície lunar a gravidade é $1/6$ da gravidade da Terra.

Pressão Atmosférica

É a força gerada pela força da gravidade que atua sobre a atmosfera, em decorrência do seu peso e da sua densidade. O corpo de todo organismo vivo imerso na atmosfera sofre a pressão de fora para dentro e só não é esmagado porque há uma pressão de dentro para fora que se iguala a ela. Assim, numa

pressão atmosférica muito menor para a qual está adaptado qualquer organismo explode em decorrência de sua pressão interna.

Composição química dos seres vivos

Os seres vivos são formados pelos elementos químicos que estavam presentes na Terra ou que chegaram aqui com meteoritos. Todos os seres vivos tem a molécula da água como substância mais abundante em seus organismos correspondendo a 70% do corpo humano, 75% das bactérias, 95% da folha de alface.

Alimentação:

Os primeiros seres vivos eram heterotróficos e só bem mais tarde evoluíram os autotróficos.

- heterotróficos: são organismos incapazes de transformar energia do Sol em energia química. Alimentação de matéria orgânica onde essa transformação já foi feita

- autotróficos : são os organismos capazes de transformar a energia do Sol em energia química; maioria dos vegetais e de algumas bactérias

Alimentos

Existem 3 tipos:

1. Os plásticos ou estruturais são as proteínas, tanto de origem vegetal ou animal
2. os energéticos
3. os reguladores

A digestão

Quando uma célula, ao invés de obter aminoácidos do ambiente, ingere outro organismo, recebe proteínas do outro organismo. Essas proteínas precisam ser

decompostas para liberarem os aminoácidos para que a célula possa produzir as próprias proteínas. A quebra das proteínas nos aminoácidos que as constituem, é o processo chamado digestão. Ele está presente em todos os organismos; a maneira e os órgãos responsáveis por essa função variam muito de um grupo para outro.

Nos vertebrados, o aparelho digestivo (boca, estômago, intestino e órgãos acessórios) realiza tal função.

Quando um indivíduo ingere proteínas, a função da digestão é quebrá-las nos aminoácidos que a compõem para que os aminoácidos possam ser reorganizados nas suas proteínas de acordo com seu código genético. Quando um animal ingere proteínas vegetais, após a digestão ele será capaz de sintetizar proteínas animais. É o que acontece com os animais herbívoros ou vegetarianos.

No caso do Homem, quando come carne de frango, por exemplo, as proteínas são quebradas e ele sintetiza proteínas humanas, o que vale para qualquer proteína ingerida de origem animal ou vegetal.

Percepção do Ambiente

Visão, tato, olfato, paladar e audição são os principais sentidos dos animais que se diferenciaram e se adaptaram em função das características físico/químicas dos ambientes existentes na Terra

Os sentidos

É através dos sentidos que o cérebro é informado sobre o mundo exterior ao corpo. Desde o desenvolvimento embrionário o cérebro recebe estímulos que dão ao indivíduo a noção do mundo exterior. A estimulação se acentua após o nascimento, quando principalmente a visão, as variações de temperatura, o olfato e o paladar também passam a atuar. O indivíduo nasce sem informação externa e o cérebro tende a aprender, através dos sentidos, sobre o ambiente que o cerca.

Olfato

É também chamado de sentido químico porque seus receptores nervosos são excitados por estimulantes químicos voláteis existentes no ar.

O paladar

Ligado a ingestão dos alimentos, o paladar também é um sentido químico porque os receptores gustativos localizados na língua são excitados por substâncias químicas existentes nos alimentos e informa ao cérebro o sabor do que está sendo ingerido. Os três sabores básicos são: doce, azedo, salgado, mas a combinação deles permite uma enorme gama de percepção de diferentes sabores. No cérebro, o sabor do alimento se completa com a combinação dos estímulos do paladar e do olfato.

Percepção tátil

O tato informa ao cérebro sobre o que está em contato com o corpo com a temperatura ambiente, as superfícies que estão sendo tocadas, a pressão da gravidade, as dores.

Ao contrário dos sentidos anteriores, não existe um órgão específico para o tato e seus terminais nervosos estão espalhados por todo o corpo, principalmente próximos à epiderme. Pelas funções básicas exercidas, está claro que é importante para a sobrevivência dos indivíduos e também está ajustado às condições ambientais da Terra.

Porém, sua importância e sua função podem variar de organismo para organismo.

A vida está adaptada ao planeta Terra

Pode-se deduzir que desde a origem da vida, todos os organismos e todas as populações de organismos foram e estão sendo selecionados para sobreviverem nas condições ambientais da sua área de ocorrência. Toda a vida na Terra está adaptada às condições ambientais, atuais dessa fina camada da superfície da Terra onde, na existência de água, tanto a composição química da atmosfera quanto a temperatura, a gravidade e a

pressão atmosférica variam dentro de uma escala muito pequena, se comparados com as variações encontradas no universo.

Conclusão: a vida na forma que conhecemos no Planeta Terra está restrita a esse ambiente.

Após essa conclusão, nada mais justo do que mostrar no capítulo 13 a distribuição dos seres vivos na Terra, assim como o deslocamento histórico dos continentes atuais e suas consequências até a história dos mamíferos neste contexto.

A distribuição dos seres vivos na Terra

Biogeografia é o estudo do padrão de distribuição dos seres vivos na Terra. Para a maioria das pessoas, a primeira lembrança é a distribuição geográfica dos organismos terrestres, e dentre eles, a dos animais. Além da vida em áreas terrestres, existem as de área marinha e, diante da enorme diversidade de vida dos oceanos, a presença de animais e plantas que evoluíram em ambientes terrestres como os insetos, os anfíbios, os répteis e os mamíferos são insignificantes. Todas as áreas oceânicas do planeta se intercomunicam, de maneira que, ao contrário dos animais terrestres, os organismos marinhos deveriam ter o poder de deslocamento para todas as regiões da Terra. São poucas as espécies que se deslocam por todos os oceanos, pois, embora a distribuição das águas seja contínua, os continentes constituem barreiras físicas que, para serem contornadas, exigem que os organismos enfrentem situações ecológicas muito adversas, especialmente de temperatura.

A vida em ambientes terrestres

O ambiente da Terra sofreu mudanças muito grandes desde sua origem, em decorrência de influências astronômicas e da dinâmica da própria Terra. Antes da origem da vida e, provavelmente por um tempo posterior considerável, a Terra apresentava uma atmosfera reducional, sem oxigênio livre e essa condição só mudou após a evolução dos organismos fotossintetizadores, a cerca de 3,2 bilhões de anos, cujos resíduos metabólicos transformaram a atmosfera de reducional a oxidante. Nos continentes, como o produto de

comunidades de vegetação terrestre, os solos orgânicos surgiram no Siluriano, a cerca de 438 milhões de anos. Também a distribuição dos mares e das massas continentais mudou drasticamente durante o tempo geológico por efeito da tectônica de placas.

Relação ancestral/descendente dos seres vivos

Quando se pensa nos seres vivos atuais, deve se lembrar que a atual distribuição geográfica deles depende de razões históricas, como a posição, a forma e o isolamento entre os continentes, que foram alterados ao longo do tempo geológico, além do clima que já sofreu várias e grandes mudanças desde a origem da Terra.

Como a vida surgiu na água, todas as diferentes formas de vida terrestre descendem e evoluíram a partir de ancestrais aquáticos e todas essas formas de vida também são monofiléticas, portanto, todos os vertebrados terrestres atuais são descendentes da população dos primeiros vertebrados que conseguiram sobreviver fora da água como anfíbios primitivos.

Da mesma forma, todos os insetos atuais das primeiras populações de artrópodos que sobreviveram fora da água; assim, seguem-se para os demais organismos terrestres, animais ou vegetais. A afirmação de que os grupos são monofiléticos significa que, pelo fato de os ambientes terrestres serem descontínuos, uma espécie que evolua num continente só estará presente noutro continente, se emigrar ou for levada de alguma forma para lá. O fato de uma espécie, ou um grupo taxonômico, estar em dois continentes diferentes não é decorrente do fato de terem surgido duas vezes, de forma independente, em cada um dos continentes.

Padrões de Distribuição Geográfica de Fauna e flora

Aos padrões biológicos de uma área geográfica, dá-se o nome de Fauna, ou de flora, que significa um conjunto de linhagens evolutivas vivendo em uma determinada região. A determinação de área pode receber o nome de ecossistema, que é uma paisagem determinada por características geoclimáticas conhecidas. Existe também o termo bioma, que se refere a um ecossistema que tenha nome próprio.

Conjuntos paisagísticos relativamente homogêneos são considerados biomas. São fisionomias ocupando áreas relativamente contínuas, regionais e são

unidades úteis como foco de políticas conservacionistas. Podemos ter ecossistema de floresta pluvial tropical, como, por exemplo, os biomas: - da Floresta Atlântica, da Floresta Amazônica, da Floresta do Congo.

Os domínios morfoclimáticos são representações de biomas. São unidades definidas pela superposição de variáveis geográficas, como vegetação, geomorfologia, hidrologia, paisagem. Para o Brasil foram definidos os domínios do Cerrado, da Caatinga, da Amazônia, da Mata Atlântica, entre outros.

Em geral, o que determina a distribuição e os limites de um ecossistema, ou de um bioma, é o clima e considerando-se todas as áreas continentais, a ocorrência dos biomas é previsível porque eles localizam-se por zonas de latitudes diferentes que se sucedem à medida que nos afastamos da linha do Equador em direção aos pólos. A principal causa dessas zonas, além da temperatura, é o padrão de circulação dos ventos, os quais determinam, a grosso modo, de todo o planeta, onde chove, quando chove e o quanto chove. A ocorrência de biomas em locais não previstos pela localização geográfica planetária pode ser definida pode ser devida a solos diferenciados por permeabilidade de água; por deficiência de nutrientes vegetais; por padrões anormais e locais de circulação dos ventos; por diferenças de altitude; por proximidade com os oceanos.

Não existem réplicas dos biomas, não existem réplicas de fauna e flora. Porém, dada a proximidade geográfica e aos isolamentos, a fauna terrestre apresenta alguns grandes padrões de estrutura que foram observados pelos pesquisadores desde o início das grandes navegações.

Endemismo e dispersão

Quando uma espécie ocorre apenas em uma região da terra diz-se que é endêmica daquela área. Toda espécie inicialmente é endêmica no seu local de origem, mas, se seus indivíduos conseguirem dispersar, podem passar a habitar outras áreas, ampliando o território de dispersão. Se essa dispersão levar a espécie a ocupar mais de uma zona biogeográfica ou mais de um continente, poderá ser considerada como semicosmopolita e, ao passar a habitar a maioria dos continentes, atinge o estágio Máximo de dispersão tornando-se cosmopolita. São poucas as espécies que se tornaram cosmopolitas por dispersão ativa. Uma delas é a espécie humana

A invasão das espécies exóticas

A maioria das espécies cosmopolitas atuais sofreu dispersão passiva, ou seja, foram levadas pelo homem para outros lugares. As consequências dessas atividades para o equilíbrio biológico da natureza variam desde inócuos até muito grandes, embora muitas vezes, os prejuízos tanto financeiros como ambientais sejam difíceis de serem avaliados por se tratarem de eventos únicos. De acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), as espécies invasoras representam a segunda maior ameaça a biodiversidade em todo o planeta, só perdendo para os desmatamentos.

Deriva continental

Deriva continental (movimentação dos continentes, ou ainda, que as placas se movem) é a teoria que diz que a Terra não é estática. Wegener observou que a costa da África possuía contorno que se encaixava na América do Sul. A partir daí foram sendo acumuladas evidências que os dois continentes eram ligados no passado. Uma delas foi a descoberta de fósseis de animais da mesma espécie nos dois continentes, cuja única explicação é a união dos mesmos, pois seria impossível esses animais terem atravessado o Oceano Atlântico. Estudos sobre a formação geológica mostraram também, uma incrível coincidência dos mesmos tipos de rochas exatamente nas mesmas regiões da África e da América do Sul.

Para estudar a deriva continental e a expansão dos fundos oceânicos surgiu por volta de 1960 uma linha de pesquisa chamada Tectônica de Placas.

Consequência dos deslocamentos das Placas

A consequência dos atritos entre as placas depende do tipo e da intensidade do contato. As mais comuns são os terremotos, a erupção de vulcões e o dobramento da costa terrestre dando origem as montanhas.

Ilhas e arquipélagos atuais, na maioria dos casos, foram ligados em alguma época a uma área continental. Em termos biológicos, os isolamentos mais famosos são arquipélagos de Galápagos e da Malásia, cujas faunas peculiares impressionaram Darwin e Wallace, respectivamente, a ponto de os dois terem simultaneamente a ideia de propor a evolução dos seres vivos pela seleção natural. Outros isolamentos famosos são da Austrália, Tasmânia e Nova

Zelândia, em cujos territórios não existiam mamíferos placentários até a chegada da espécie humana a quarenta mil anos.

O arquipélago do Hawaii

Único arquipélago do Pacífico Norte tem uma história geológica diferente. Surgiu a partir de acúmulos de lavas das erupções vulcânicas da placa do Pacífico e nunca foi conectado a qualquer área continental.

Um capítulo especial foi dedicado à espécie humana, o capítulo 14, e todo o seu processo de evolução. Destaque para o detalhe de que diferentemente da maioria dos animais, que ao invadir um novo sistema se adapta biologicamente, a espécie humana tende a ajustar as diferenças do novo ambiente às suas necessidades e não precisa, na maioria dos casos, se adaptar a ele para sobreviver.

A origem da espécie *Homo Sapiens*

“Sobre o viver: (...) viver é muito perigoso (...)” João Guimarães Rosa

“(...) morrer é fácil, viver que é o difícil (...)” Moacyr Felix

Existem atualmente duas hipóteses predominantes:

- a primeira (modelo para fora da África) postula que a espécie surgiu primeiro da África e, saindo dela, entre 100 mil e 200 mil anos atrás, substituiu todas as outras espécies de *Homo* existentes. Essa hipótese diz que todos os povos atuais são exclusivamente afrodescendentes.

- a segunda, conhecida como modelo multirregional diz que a espécie evoluiu simultaneamente em diferentes partes do mundo, a partir de linhagens originais de *Homo Erectus*, assim, o povo atual da China descenderia das populações

de *Homo Erectus* que viviam lá; os Aborígenes da Austrália da própria África, Europa, descenderiam de populações de *Homo Erectus* daquela região.

Embora as duas hipóteses ainda polarizem as discussões sobre a origem do homem, o acúmulo de dados indica que, provavelmente, a história é uma fusão dessas duas hipóteses.

O processo evolutivo

Como o processo evolutivo é biocêntrico e não antropocêntrico, a espécie humana, surgiu por uma sequência altamente improvável de eventos e os fatores que atuaram para que ela acontecesse são os mesmos para todos os seres vivos, ou seja, mutação, seleção natural, deriva genética, migração, padrões de cruzamento.

O processo evolutivo prescinde tanto de conteúdo moral quanto imoral e não fornece nenhuma base filosófica para a estética ou para a ética.

Porém, como qualquer outro conhecimento, a Biologia Evolutiva pode servir à causada liberdade e da dignidade humana, por nos ajudar a aliviar a fome e a doença e por nos ajudar a entender e apreciar tanto a unidade quanto a diversidade humana.

Na conclusão, que o autor chama de “Últimas Palavras”, ele retoma alguns temas e discute outros que permeiam as pesquisas atuais. O avanço da ciência, em particular da genética, está neste capítulo. Assim como as migrações recentes e suas consequências, as pressões culturais que afetam o desenvolvimento cultural, e por fim as misérias da humanidade, o tamanho populacional – que o autor chama de ameaça à sobrevivência da humanidade, além da possibilidade não remota da extinção provocada por uma destruição nuclear, e as misérias da humanidade.

“ uma formiguinha atravessa em diagonal a página ainda em branco.

Mas ele, aquela noite, não escreveu nada. Para quê?

Se por ali já havia passado o frêmito e o mistério da vida ...”

Mario Quintana

15. TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

Organização do corpo humano

O corpo humano consiste em vários níveis de organização: químico, celular, tecidual, orgânico, sistêmico e do organismo. As células são as unidades estruturais e funcionais básicas de um organismo. Os tecidos consistem em grupos de células de especialidade similar. Os órgãos são estruturas compostas por dois ou mais tecidos diferentes, tem funções específicas e normalmente uma forma reconhecível. Os sistemas consistem em associações de órgãos que tenham uma função comum. O organismo humano é uma coleção de sistemas integrados estrutural e funcionalmente. Os sistemas do corpo humano são o tegumentar, o esquelético, o muscular, o nervoso, o endócrino, o cardiovascular (circulatório), o linfático e o imunológico, o respiratório, o digestório, o urinário e o genital. Entre os processos vitais estão o metabolismo, a responsividade, o movimento, o crescimento, a diferenciação e a reprodução.

Introdução à química

Matéria é qualquer coisa que ocupe espaço e tenha massa. É constituída por unidades fundamentais denominadas elementos químicos, carbono, hidrogênio e nitrogênio perfazem 96% do peso corporal. Os átomos consistem num núcleo que contém prótons e nêutrons, e em elétrons que se movimentam em torno do núcleo em camadas eletrônicas. Uma molécula consiste em dois ou mais átomos quimicamente combinados. As substâncias inorgânicas geralmente não possuem carbono e as orgânicas sempre o contêm. Ácidos, bases e sais inorgânicos dissociam-se em íons quando em solução aquosa. Numa escala de pH, o 7 é neutro; abaixo, soluções ácidas; valores acima, soluções alcalinas. Carboidratos são açúcares ou amidos (compostos orgânicos) e a fonte mais

comum de energia necessária para a manutenção da vida. Lipídios, como os triglicerídeos (gorduras), protegem, isolam e fornecem energia. As proteínas são construídas a partir de aminoácidos. O DNA é uma dupla-hélice e a substância química principal dos genes. O RNA é principalmente responsável pelas reações de síntese proteicas. O ATP é a principal molécula armazenadora de energia.

As células

A célula é a unidade básica, viva, funcional e estrutural do corpo. A membrana plasmática circunda a célula e a isola. Substâncias movem-se através de membranas plasmáticas entre os fluidos intra e extracelular. Fagocitose é a ingestão de partículas sólidas por pseudópodos e pinocitose é a ingestão de um líquido pela membrana plasmática. O citosol é a porção espessa e semifluida de citoplasma, entre a membrana plasmática e o núcleo. O núcleo controla as atividades celulares e contém a informação genética. O retículo endoplasmático armazena moléculas recém-sintetizadas, sintetiza e empacota moléculas, desintoxica substâncias químicas e libera íons cálcio envolvidos na contração muscular. Os ribossomos são sítios de síntese de proteínas. O complexo de Golgi processa, separa e distribui as proteínas à membrana plasmática, aos lisossomos e às vesículas secretoras. Os lisossomos são estruturas esféricas que contêm enzimas digestivas. As mitocôndrias são chamadas de "casa de força" da célula, uma vez que são responsáveis pela produção de ATP. Microfilamentos, microtúbulos e filamentos intermediários formam o citoesqueleto. Cílios e flagelos são projeções celulares utilizadas no movimento. O centríolo é importante na reprodução celular. Os centríolos tem papel na formação e na regeneração de flagelos e cílios. A síntese proteicas utiliza a informação genética codificada no DNA, que é transcrita a um filamento de RNA mensageiro; neste momento, cada base nitrogenada (citosina (C), guanina (G), tímína (T), adenina (A) e uracila (U)) é transcrita para sua correspondente: A para U, T para A, G para C e C para G. Além do RNA mensageiro, o DNA também sintetiza o RNA ribossômico e o RNA transportador. O RNA mensageiro contém, então, a sequência de aminoácidos de uma proteína que será sintetizada no ribossomo (composto por RNA ribossômico e proteína). Enquanto isso, o RNA transportador carrega os aminoácidos específicos até o RNA mensageiro em forma de anticódon (uma trinca de bases nitrogenadas): por exemplo, se a sequência no RNA mensageiro é DAG, o anticódon trazido pelo RNA transportador será AUC. O ribossomo, ao se deslocar ao longo da fita de RNA mensageiro, agrega as bases trazidas pelo RNA transportador e, à medida que os aminoácidos são adicionados, vai se formando a molécula de proteína. Esta última etapa é conhecida por tradução.

Os tecidos

É um conjunto de células semelhantes, e sua substância intercelular é especializada para determinada função (epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso). O tecido epitelial pode ser de revestimento (escamoso simples, cuboidal simples, colunar simples, estratificado escamoso, estratificado cuboidal, de transição ou colunar pseudoestratificado) ou glandular (uma glândula pode ser endócrina ou exócrina). O tecido conjuntivo é o tecido mais abundante no corpo; suas células são fibroblastos, macrófagos, plasmócitos e mastócitos. A substância fundamental e as fibras constituem a matriz do tecido conjuntivo, que pode ser embrionário (mesênquima que forma todos os outros tecidos conjuntivos) ou adulto maduro (frouxo, areolar, adiposo, reticular, denso, elástico, cartilagenoso, ósseo e sanguíneo). A túnica epitelial (mucosa, serosa ou cutânea) é uma camada de epitélio sobre uma camada de tecido conjuntivo. A túnica sinovial reveste cavidades de articulações e não contém epitélio. O tecido muscular é especializado para contração, o que permite movimento. O tecido nervoso é composto de neurônios que geram e conduzem impulsos nervosos.

O sistema tegumentar

As principais partes da pele são a epiderme externa e a derme interna. Os órgãos acessórios da pele são pêlos, glândulas da pele (sebáceas, sudoríparas e ceruminosas) e unhas.

O sistema esquelético

Consiste em todos os ossos unidos nas articulações e em cartilagem entre as articulações. Tem como funções sustentação, proteção, locomoção, armazenamento mineral, alojamento de tecido hemocitopoético e armazenamento de energia. Os ossos podem ser longos, curtos, planos, irregulares, suturais ou sesamoideos. As células são amplamente separadas, circundadas por grandes quantidades de matriz e podem ser osteoprogenitoras, osteoblastos, osteócitos e osteoclastos. O tecido ósseo pode ser compacto (protege, suporta e resiste ao estresse) ou esponjoso (trabéculas circundando muitos espaços cheios de medula óssea vermelha). Devido à atividade do disco epifisário, a diáfise de um osso aumenta em comprimento. O osso velho é constantemente destruído pelos osteoblastos, enquanto um osso novo é construído pelos osteoblastos. O crescimento normal depende de sais minerais (cálcio, fósforo, magnésio), vitaminas (D, C, A) e

hormônios (de crescimento humano, sexuais, tireoideos, calcitonina e paratireoideo). Fazem parte do esqueleto axial o crânio, o osso hioide, os ossículos da audição, a coluna vertebral, o esterno e as costelas. As partes do esqueleto apendicular são cingulo peitoral (ombro), ossos dos membros superiores, cingulo pélvico (cingulo do membro inferior) e ossos dos membros inferiores. Os ossos cranianos incluem frontal (1), parietal (2), temporal (2), occipital (1), esfenóide (1) e etmoide (1). Os faciais são nasal (2), maxilas (2), zigomático (2), mandíbula (1), lacrimal (2), palatino (2), concha nasal inferior (2) e vômer (1). Os da coluna vertebral são as vértebras cervicais (7), torácicas (12), lombares (5), o sacro (5, fundidos) e o cóccix (4, fundidos). O esqueleto torácico consiste no esterno, costelas (12 pares), cartilagens costais e vértebras torácicas. Cada cingulo peitoral tem uma clavícula e uma escápula. Em cada membro superior tem úmero, ulna, rádio, carpo, metacarpo e falanges. O cingulo pélvico tem dois ossos do quadril. Cada membro inferior tem fêmur, patela, tíbia, fíbula, ossos tarsais, ossos metatarsais e falanges.

As articulações

São as regiões de contato entre dois ou mais ossos. Podem ser fibrosas, cartilaginosas ou sinoviais. As funções podem ser de sinartrose (articulação imóvel), anfiartrose (articulação levemente móvel) ou diartrose (articulação livremente móvel). Elas permitem movimentos de deslizamento, flexão, extensão, hiperextensão, rotação, abdução, adução e circundução.

O sistema muscular

O tecido muscular esquelético está inserido nos ossos e, na maior parte das vezes, é estriado e voluntário. O cardíaco forma a maior parte da parede do coração, estriado e involuntário. O liso está localizado nas vísceras, é estriado e involuntário.

O tecido muscular tem como funções o movimento do corpo, o movimento de substâncias dentro do corpo, a estabilização das posições do corpo e a produção de calor. Suas características são excitabilidade, contratilidade, extensibilidade e elasticidade. No tecido muscular esquelético, a fáscia, o epimísio, o perimísio e o endomísio são os componentes do tecido conjuntivo. Tendões e aponeuroses são suas extensões, além das fibras musculares. Os nervos enviam impulsos e o sangue, nutrientes e oxigênio. Cada fibra muscular contém miofibrilas - miofilamentos delgados e espessos compartimentalizados em sarcômeros; os delgados são compostos de actina, tropomiosina e troponina e os espessos, de miosina. A contração ocorre quando os miofilamentos delgados de um sarcômero deslizam uns contra os outros, quando as cabeças de miosina tracionam os miofilamentos de actina. Um neurônio motor transmite um impulso nervoso a um músculo esquelético, o que

estimula a contração (unidade motora). As fibras musculares de uma unidade motora contraem-se em sua extensão total ou não se contraem (tudo-ou-nada). A fadiga muscular resulta da disponibilidade diminuída de oxigênio, dos efeitos tóxicos do dióxido de carbono e do acúmulo de ácido láctico durante o exercício. Os músculos esqueléticos produzem movimento tracionando os ossos. O tecido muscular cardíaco contrai e relaxa rápida, contínua e ritmicamente; pode contrair-se sem uma estimulação extrínseca e pode permanecer contraído por mais tempo que o tecido muscular esquelético. O tecido muscular liso possui fibras musculares que contem filamentos intermediários. No músculo liso visceral, as fibras estão dispostas numa rede; a contração ocorre numa onda. O músculo liso multiunitário é encontrado nos vasos sanguíneos e nos olhos.

O tecido nervoso

Auxilia a controlar e integrar todas as atividades do corpo. Está dividido em central (encéfalo e medula) e periférico (nervos cranianos e espinhais), com componentes sensitivos e motores, e está dividido em somático e autônomo. O somático conduz impulsos dos receptores cutâneos para a musculatura estriada, enquanto o autônomo, para a lisa, a cardíaca e as glândulas. A neuroglia sustenta e protege os neurônios, que são constituídos de corpo celular, dendritos e axônio, e conduzem o impulso nervoso. Seu agrupamento forma nervos, tratos, gânglios, núcleos cornos e funículos. As fibras com bainha de mielina e as mais espessas conduzem os impulsos mais rapidamente. A junção entre dois neurônios ou entre ele e uma célula muscular ou glandular chama-se sinapse. O impulso só ocorre do axônio de um neurônio para outro neurônio.

O sistema nervoso central e somático

A medula espinhal e o encéfalo são protegidos pelo líquido cérebro espinhal e por três meninges: dura-máter, aracnoide e pia-máter. O encéfalo ainda tem a proteção dos ossos cranianos, e a medula espinhal, do canal e ligamentos vertebrais. Ela se estende do occipital à 2ª vértebra lombar. A substância cinzenta na medula é dividida em cornos e a branca, em funículos. Conduz as informações sensitivas e motoras através dos tratos sensitivos (ascendentes) e motores (descendentes), respectivamente. Um arco reflexo é a via mais curta que pode ser tomada por um impulso, de um receptor a um efetor. Seus componentes básicos são um receptor, um neurônio sensitivo, um centro integrador, um neurônio motor e um efetor. Os nervos espinhais são 8 pares cervicais, 12 torácicos, 5 lombares, 5 sacrais e 1 coccígeo. Os principais plexos (redes de nervos) são o cervical, braquial, lombar e sacral. Os nervos T2 e T11 (intercostais ou torácicos) não formam plexos. O encéfalo é composto por

tronco (bulbo, ponte e mesencéfalo), cérebro (diencefalo (tálamo e hipotálamo) e telencefalo) e cerebelo. A interrupção do suprimento de oxigênio pode enfraquecer, causar lesões permanentes ou matar as células do encéfalo. O bulbo regula a frequência cardíaca, a respiratória, o diâmetro dos vasos sanguíneos, a deglutição, a tosse, o vômito, o espirro e o soluço. A ponte une as partes do encéfalo e controla a respiração. O mesencéfalo conecta a ponte ao diencefalo. O tálamo é uma estação de retransmissão para os impulsos sensitivos ao córtex cerebral (dor, temperatura, tato, pressão e vibração). O hipotálamo controla a raiva, a temperatura, a ingestão de alimentos e os padrões de consciência e sono. O telencefalo é dividido em lóbulos (frontal, parietal, temporal e occipital). O hemisfério esquerdo controla o lado direito do corpo e tem o centro da linguagem falada e escrita, habilidades numéricas e científicas e raciocínio; o direito controla o lado esquerdo, a sensibilidade artística, a percepção espacial e a geração de imagens mentais. O cerebelo coordena os músculos esqueléticos, o tônus muscular e o equilíbrio corporal.

Sistema nervoso autônomo

Regula as atividades viscerais, as musculaturas lisa e cardíaca e as glândulas. É controlado pelo córtex cerebral e pelo hipotálamo. Os neurônios motores do SNA liberam noradrenalina, além de acetilcolina. Divide-se em simpático (gasto de energia) e parassimpático (restauração e conservação de energia).

Sensibilidade e sensação

Após a recepção de um estímulo, acontece a conversão em impulso nervoso, a condução até o cérebro e a interpretação do mesmo. Os receptores podem ser mecanorreceptores, termorreceptores, nociceptores, fotoreceptores e quimiorreceptores. As sensações táteis, térmicas e de dor são¹ a sensibilidade cutânea. Os receptores do tato são os corpúsculos de Merkel e de Meissner, os da pressão são os corpúsculos de Ruffini e de Valter-Pacini. Os da temperatura são as terminações nervosas livres. Os receptores olfatórios só percebem substâncias gasosas, hidrossolúveis e lipossolúveis. Os receptores gustatórios só reconhecem substâncias em solução na saliva. A formação da imagem na retina, onde estão os fotoreceptores (cones e bastonetes), envolve a refração da luz, a acomodação da lente (cristalino), a constrição da pupila, a convergência e a formação da imagem invertida. As ondas sonoras chegam à membrana do tímpano, vibram o martelo, a bigorna e o estribo, atingem a janela do vestíbulo e, com a alteração da pressão interna da cóclea, gera-se o impulso nervoso. As máculas do utrículo e do século são os órgãos dos sentidos do equilíbrio estático e as cristas ampulares, do equilíbrio dinâmico.

O sistema endócrino

Glândulas endócrinas e tecidos endócrinos (presentes em alguns órgãos) secretam hormônios na corrente sanguínea. Os hormônios regulam o meio interno, o metabolismo, o equilíbrio energético, a contração muscular, a secreção glandular, certas respostas imunológicas, o crescimento, o desenvolvimento e a reprodução. A combinação entre o hormônio e o receptor ativa uma cadeia de eventos na célula-alvo, na qual os efeitos fisiológicos do hormônio são expressos. Os receptores dos hormônios lipossolúveis são no interior da célula, enquanto que os dos hidrossolúveis, na membrana plasmática. A adeno-hipófise produz os hormônios do crescimento (hGH), prolactina (PRL), estimulante de tireoide (TSH), folículo estimulante (FSH), luteinizante (LH), adrenocorticotrópico (ACTH) e melanócito-estimulante (MSH), e é controlada pelo hipotálamo, que também produz a ocitocina (OT) e o antidiurético (ADH). A tireoide está localizada junto à laringe e secreta a tiroxina (T_4), a triiodotironina (T_3) e a calcitonina (CT), também controlada pelo hipotálamo. As paratireoides, em contato com as tireoides, são autoreguladas e secretam o hormônio paratireoideo (PTH). As suprarenais estão acima dos rins e secretam mineralocorticoides (aldosterona), glicocorticoides (cortisol) e andrógenos, além de adrenalina e noradrenalina. Os pâncreas possuem as ilhotas de Langerhans, que secretam glucagon, insulina, somatostatina e polipeptídeo pancreático. Os ovários produzem estrógeno e progesterona, e os testículos, a testosterona, todos hormônios sexuais. A pineal secreta melatonina, e o timo, a timosina (FHT), o fator tímico (FT) e a timopoietina.

O sistema cardiovascular: sangue

Transporta oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes, resíduos e hormônios; ajuda a regular o pH, a temperatura e o conteúdo hídrico das células. É composto por 55% de plasma e 45% de elementos figurados, que são: eritrócitos (glóbulos vermelhos), células anucleadas que possuem hemoglobina que transportam O_2 e CO_2 ; leucócitos (glóbulos brancos), que podem ser granulares (neutrófilos, eosinófilos e basófilos) ou agranulares (linfócitos e monócitos), combatem a inflamação e a infecção, além de serem importantes nos processos alérgicos; e plaquetas, que trabalham no processo de coagulação. A hemóstase envolve vasoconstrição, formação do tampão plaquetário e coagulação do sangue (rede de fibrina), que requer vitamina K. No sistema ABO, a presença ou ausência dos isoantígenos A e B determina o grupo sanguíneo, e, no sistema Rh, indivíduos que possuem nos seus eritrócitos o antígeno Rh são Rh^+ e os que não o possuem, Rh^- .

O Sistema cardiovascular: coração

Localiza-se no mediastino, é recoberto pelo pericárdio; sua parede possui três camadas (epicárdio, miocárdio e endocárdio) e é dividido em 4 câmaras: duas superiores (átrios) e duas inferiores (ventrículos). A circulação do sangue pelo corpo humano tem a seguinte sequência: o átrio direito recebe o sangue venoso (sem oxigenação) através das veias cavas superior (vem das partes do corpo acima do coração) e inferior (partes do corpo abaixo do coração) e seio coronário (drena o sangue dos vasos da parede do coração). O sangue venoso passa para o ventrículo direito através da valva tricúspide que tem a função de evitar o refluxo sanguíneo. O sangue venoso sai do coração pelo tronco pulmonar (artéria pulmonar esquerda e direita), indo para os pulmões onde sofre a oxigenação, retorna ao átrio esquerdo pelas quatro veias pulmonares (agora como sangue arterial), passa pela valva mitral (bicúspide), que tem a mesma função do tricúspide, e vai para o ventrículo esquerdo. O sangue sai do coração pela aorta ascendente; desta, o sangue arterial passa para as artérias coronárias, ao arco da aorta e às partes torácica e abdominal da aorta descendente. Estes vasos sanguíneos e suas ramificações transportam o sangue oxigenado para todas as partes do corpo. Esse movimento do sangue é controlado pela abertura e fechamento das valvas e contração e relaxamento do miocárdio. O batimento cardíaco consiste em uma sístole (contração) e uma diástole (relaxamento) das câmaras do coração. A frequência cardíaca média é de 75 batimentos/minutos que é controlada pelo bulbo cerebral e pode ser alterada por fatores internos (adrenalina, sódio, potássio e idade) e externas (temperatura, emoções e sexo).

O sistema cardiovascular: vasos sanguíneos

As artérias são elásticas e contráteis, transportam o sangue que sai do coração (veias pulmonares são exceção), passando-o para as arteríolas, que possuem papel importante na regulação da pressão arterial, e que, por sua vez, ramificam-se em capilares (vasos microscópicos onde acontecem as trocas entre o sangue e as células). Feitas as trocas, o sangue começa a voltar ao coração pelas vênulas, que se juntam formando as veias que possuem valvas para evitar o refluxo. O bulbo recebe os impulsos enviados pelos barorreceptores e controla a pressão sanguínea. Epinefrina e norepinefrina aumentam a pressão. A pressão arterial média é de 120/80 mmHg (sistólica/diastólica). A circulação sistêmica e a pulmonar são as duas maiores e mais importantes rotas. A sistêmica inicia na aorta, passa por todo o corpo e retorna ao coração pelas veias cavas e seio coronário. A pulmonar sai do ventrículo direito, vai ao pulmão e, através das veias pulmonares, traz sangue

arterial para o átrio esquerdo. A circulação portal hepática passa pelo fígado para desintoxicação do sangue.

O sistema linfático, a resistência inespecífica e a imunidade

Os linfonodos, o baço e o timo são os órgãos desse sistema que inclui ainda a linfa e os vasos linfáticos. Ele drena o excesso de fluido dos espaços tissulares, devolve as proteínas que escaparam do sistema circulatório, transporta lipídeos e vitaminas e confere imunidade. O fluido intersticial que banha as células é chamado de linfa quando está nos vasos e possui menos proteína que o plasma. Os vasos possuem mais valvas que as veias. Os linfonodos estão ao longo dos vasos linfáticos e filtram a linfa. O baço é a maior massa de tecido linfático e produz linfócito B, e o timo, linfócitos T. Resistência inespecífica é uma ampla variedade de respostas corporais (vômito, secreções, substâncias antimicrobianas, etc.) contra uma variedade de patógenos. A imunidade adquirida pode ser ativa ou passiva, natural ou artificial, a qual produz linfócitos ou anticorpo específico (IgG, IgA, IgM, IgD e IgE). Imunidade celular é a destruição de antígenos por linfócitos T e a humoral, por anticorpos que são produzidos por plasmócitos originados por linfócitos B. Os tipos de linfócitos T são auxiliares, citotóxicos, de hipersensibilidade, supressores e de memória.

O sistema respiratório

O nariz, a faringe, a laringe, a traquéia, os brônquios e os pulmões são órgãos desse sistema. O nariz tem como função o aquecimento, umedecimento e filtragem do ar, a olfação e a ressonância para sons. A porção interna do nariz comunica-se com os seios paranasais e a parte nasal da faringe, através dos cóanos. A faringe é um tubo muscular revestido por túnica mucosa que atua na digestão e respiração. A laringe é a via aérea que conecta a faringe à traquéia, contém a cartilagem tireoide (pomo de Adão), a epiglote (impede a passagem de alimento), as pregas vocais (produzem sons) e as pregas vestibulares (prendem o ar na cavidade torácica). A traquéia liga a laringe aos brônquios, estes ramificam a via aérea chegando aos bronquíolos. Os pulmões (dois) são recobertos pela pleura; o direito tem três lóbulos e o esquerdo, dois (adaptação para acomodar o coração). A troca gasosa ocorre na membrana alveolocapilar. A ventilação pulmonar consiste em inspiração (contração dos músculos intercostais e diafragma) e expiração (relaxamento dos mesmos). A troca gasosa, na respiração pulmonar, ocorre entre os alvéolos e os capilares sanguíneos, e a tecidual, entre os capilares e as células dos tecidos. Quase a

totalidade do O_2 é transportada pelos átomos de ferro da hemoglobina; a maioria do CO_2 é transportada pelo plasma.

O sistema digestório

O processo consiste em ingestão, mistura e movimento, digestão mecânica e química, absorção e defecação, para preparo do alimento para uso das células. É composto por trato gastrointestinal, dentes, língua, glândulas salivares, fígado, vesícula biliar e pâncreas. São três os pares de glândulas salivares (parótida, submandibular e sublingual). A saliva lubrifica o alimento e inicia a digestão química dos carboidratos (polissacarídeos em dissacarídeos). A língua e os dentes iniciam a digestão mecânica. O esôfago transporta o bolo alimentar até o estômago por peristalse. O estômago realiza digestão mecânica (ondas misturadoras) e química (pepsina - converte proteínas em peptídeos). A secreção e a motilidade gástrica são reguladas por mecanismos nervosos e hormonais. Os pâncreas derramam o suco pancreático no duodeno, que contém enzimas que digerem o amido (amilase pancreática), a proteína (tripsina, quimiotripsina e carboxipeptidase), os triglicerídeos (lipase pancreática) e os ácidos nucleicos (nucleases). O fígado produz a bile que é armazenada na vesícula biliar; a bile emulsifica os triglicerídeos. O intestino delgado é dividido em duodeno, jejuno e íleo; é adaptado à digestão e à absorção (água, eletrólitos e vitaminas). O suco entérico é composto por enzimas intestinais (dissacarídeos em monossacarídeos): peptidase (completa a digestão das proteínas), lipase pancreática (triglicerídeos em ácidos graxos) e nuclease (ácidos nucleicos em pentose e bases nitrogenadas). O intestino grosso divide-se em ceco, colos, reto e canal anal. Há digestão mecânica e química (ação bacteriana). Continua a absorção e ocorre a formação das fezes.

Nutrição e metabolismo

Existem seis classes de nutrientes: carboidratos, lipídeos, proteínas, minerais, vitaminas e água. O centro da fome e o da saciedade estão localizados no hipotálamo. Uma dieta deve possuir, em calorias, 55% de carboidratos, 30% de gordura e 15% de proteínas, aproximadamente. O metabolismo (todas as reações químicas do corpo) está dividido em catabolismo (reações de decomposição) e anabolismo (reações de síntese). O metabolismo dos carboidratos inicia-se pelo metabolismo da glicose que envolve a glicólise (respiração anaeróbica), o ciclo de Krebs (ocorre na mitocôndria) e a cadeia de transporte de elétrons (reações de oxirredução). O anabolismo da glicose (glicogênese: formando glicogênio) é estimulada pela insulina. A glicogenólise converte glicogênio em glicose, e a gliconeogênese converte gordura e proteínas em glicose. Os lipídeos podem produzir ATP armazenado no tecido adiposo, ou utilizados como moléculas estruturais ou na síntese de moléculas essenciais. O catabolismo dos lipídeos é chamado de lipólise, e o anabolismo, de lipogênese. As proteínas são catabolisadas e convertidas em aminoácidos

que, quando entram nas células, são imediatamente utilizados na síntese proteica (anabolismo) nos ribossomos. Os minerais podem ser macro ou microminerais. As vitaminas podem ser lipossolúveis (A, D, E e K) ou hidrossolúveis (B e C). Um Kcal é igual à energia necessária para aumentar em 1°C, 1000g de água. O calor resultante da oxidação dos alimentos é conhecido como taxa metabólica, que pode ser afetada por diversos fatores.

O sistema urinário

Regula a concentração e o volume do sangue e excreta as impurezas, através dos rins, ureteres, bexiga e uretra. O néfron (corpúsculo renal e túbulo renal - túbulo contorcido proximal, ramo descendente da alça de Henle, ramo ascendente da alça de Henle e túbulo contorcido distal) é a unidade funcional dos rins. O sangue entra nos rins através da artéria renal e sai pela veia renal. A maioria das substâncias do plasma é filtrada pela cápsula glomerular; a reabsorção tubular retém substâncias necessárias para o corpo, e a secreção tubular elimina na urina as substâncias químicas desnecessárias. A filtração do sangue através de um dispositivo artificial é chamada de hemodiálise. Os ureteres transportam urina dos rins à bexiga urinária. A bexiga armazena urina para micção. A uretra vai do soalho da bexiga ao exterior. A urina contém 95% de água e 5% de solutos (uréia, creatinina, ácido úrico, urobilinogênio, sais e íons).

Equilíbrio de fluidos, eletrolítico e ácido-básico

Aproximadamente dois terços do fluido corporal está localizado no interior das células (fluido intracelular); o restante é encontrado no fluido intersticial, plasma, linfa, cerebrospinal, líquido sinovial, fluidos dos olhos e das orelhas, filtrado glomerular e líquidos pleurais, do pericárdio e peritônio. A água constitui aproximadamente 60% do peso corporal. A desidratação causa a sensação de sede e estimula a ingestão de água. Os eletrólitos são substâncias químicas que se dissociam em íons nos fluidos corporais. O Na⁺ é o íon extracelular mais abundante, e o K⁺, o intracelular mais abundante. O cálcio é o mineral mais abundante no corpo. O movimento dos fluidos entre os compartimentos intersticial e intracelular ocorre por meio da osmose. O pH normal dos fluidos extracelulares varia de 7,35 a 7,45. Os sistemas tampões evitam mudanças drásticas do pH.

Os sistemas genitais

A reprodução produz novos indivíduos de uma espécie e passa material genético de uma geração para outra. Fazem parte dos órgãos genitais as gônadas, os ductos, as glândulas sexuais acessórias e as estruturas de sustentação. Os órgãos genitais masculinos incluem testículos, ducto do epidídimo, ducto deferente, ducto ejaculatório, uretra, vesículas seminais, próstata, glândula de Cowper e pênis. Os testículos alojam-se no escroto e produzem espermatozoides (gametas masculinos) nos túbulos seminíferos. Os espermatozoides são haploides (23 cromossomos) e são constituídos de cabeça, peça intermediária e cauda. Na puberdade, as células intersticiais são estimuladas a produzir testosterona e inicia-se a produção de espermatozoides (espermatogênese). Eles são transportados para o epidídimo, que os amadurece e armazena. Através dos ductos ejaculatórios, chegam à uretra, que atravessa a próstata, o diafragma urogenital e o pênis. As vesículas seminais secretam o sêmen (neutraliza a acidez da uretra masculina e vagina) que viabiliza os espermatozoides. A próstata secreta um fluido que fornece ATP aos espermatozoides e também é anticoagulante do sêmen. A ereção do pênis (órgão masculino de copulação) se dá pela expansão de seus seios sanguíneos.

Os órgãos genitais femininos incluem ovários (gônadas), tubas uterinas, útero, vagina e vulva. Os ovários se localizam lateralmente ao útero, na cavidade pélvica. Produzem e liberam um único óvulo haploide por vez, que é transportado pela tuba uterina até o útero (com forma de pêra invertida), onde se implanta o óvulo ou se desenvolve o feto. Sua camada interna chama-se endométrio. A vagina, canal de passagem do fluxo menstrual e receptáculo do pênis no ato sexual, e a vulva são os órgãos genitais externos femininos. O ciclo menstrual prepara o endométrio para receber o óvulo fertilizado. Durante a fase menstrual (1º ao 5º dia), o endométrio é descamado; na fase pré-ovulatória um grupo de folículos amadurece, mas apenas um se desenvolve, e o endométrio é reparado (ação dos estrógenos). A ovulação é a liberação do ovócito do folículo desenvolvido na cavidade peritonial (ação do hormônio LH). Na pós-ovulação, o endométrio é espessado (ação dos estrógenos e progesterona), se não houver fertilização, a baixa desses hormônios descama o endométrio (menstruação).

Desenvolvimento e herança

A gestação envolve fertilização, implantação, desenvolvimento embrionário e fetal e nascimento. A fertilização é a união de material genético de um oócito secundário com o de um espermatozoide, formando o zigoto. Através de

clivagens forma-se a mórula, que se desenvolve para blastocisto. No desenvolvimento embrionário, as camadas germinativas primordiais (ectoderma, mesoderma e endoderma) e as membranas embrionárias (saco vitelino, âmnio, córion e alantoide) são formadas. No desenvolvimento fetal, os órgãos originados das camadas germinativas primordiais crescem rapidamente. Os estrógenos, a progesterona e a hCG são os hormônios que mantêm a gravidez. A gestação humana dura aproximadamente 38 semanas. No nascimento, há a dilatação do colo do útero, a expulsão do feto através das contrações uterinas e a eliminação da placenta. O genótipo é a composição genética de um indivíduo, e o fenótipo é o resultado das interações do genótipo e do seu meio ambiente.

Síntese elaborada por Alexandre Miranda

RESPONSÁVEIS PELA PUBLICAÇÃO

SECRETARIA DE FORMAÇÃO

Nilcéa F. Victorino
Magda Souza de Jesus

CEPES

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS
EDUCACIONAIS E SINDICAIS
Maria Izabel A. Noronha
Coordenadora

SECRETARIA DE COMUNICAÇÕES

Paulo José das Neves
Roberto Guido

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÕES

Rosana Inácio

DIAGRAMAÇÃO

Carlos Roberto F. dos Santos
Rosely Soares

ASSESSORIA DE FORMAÇÃO

Edson Roberto Nunes

SECRETÁRIA

Solange Cavalheiro
Produção da Secretaria de Formação

REVISÃO

Profa. Sandra Andréia Ferreira

DIRETORIA DA APEOESP – TRIÊNIO 2008/2011

DIRETORIA EXECUTIVA:

Presidenta: Maria Izabel Azevedo Noronha; Vice-Presidente: José Geraldo Corrêa Júnior; Secretário Geral: Fábio Santos de Moraes; Secretário Geral Adjunto: Odimar Silva; Secretária de Finanças: Luiz Gonzaga José; Secretária Adjunta de Finanças: Suely Fátima de Oliveira; Secretário de Administração e Patrimônio: Silvio de Souza; Secretário Adjunto de Administração e Patrimônio: Fábio Santos Silva; Secretário de Assuntos Educacionais e Culturais: Pedro Paulo Vieira de Carvalho; Secretário Adjunto de Assuntos Educacionais e Culturais: Carlos Ramiro de Castro; Secretário de Comunicações: Paulo José das Neves; Secretário Adjunto de Comunicações: Roberto Guido; Secretária de Formação: Nilcéa Fleury Victorino; Secretária Adjunta de Formação: Magda Souza de Jesus; Secretário de Legislação e Defesa dos Associados: Francisco de Assis Ferreira; Secretária Adjunta de Legislação e Defesa dos Associados: Zenaide Honório; Secretário de Política Sindical: João Luis Dias Zafalão; Secretária Adjunta de Política Sindical: Eliana Nunes dos Santos; Secretária de Políticas Sociais: Francisca Pereira da Rocha; Secretário Adjunto de

Políticas Sociais: Marcos de Oliveira Soares; Secretária para Assuntos de Aposentados: Sílvia Pereira; Secretário Adjunto para Assuntos de Aposentados: Gilberto de Lima Silva; Secretária Geral de Organização: Margarida Maria de Oliveira; Secretário de Organização para a Capital: José Wilson de Souza Maciel; Secretário de Organização para a Grande São Paulo: Douglas Martins Izzo; Secretário de Organização para o Interior: Ezio Expedito Ferreira Lima; Secretário de Organização para o Interior: Ederaldo Batista.

DIRETORIA ESTADUAL:

Ademar de Assis Camelo; Aladir Cristina Genovez Cano; Alberto Bruschi; Alex Buzeli Bonomo; Ana Lúcia Santos Cugler; Ana Paula Pascarelli dos Santos; Anita Aparecida Rodrigues Marson; Antonio Carlos Amado Ferreira; Antonio Jovem de Jesus Filho; Ariovaldo de Camargo; Ary Neves da Silva; Benedito Jesus dos Santos Chagas; Carlos Alberto Rezende Lopes; Carlos Barbosa da Silva; Carlos Eduardo Vicente; Carmen Luiza Urquiza de Souza; Cilene Maria Obici; Deusdete Bispo da Silva; Dorival Aparecido da Silva; Edgard Fernandes Neto; Edith Sandes Salgado; Edna Penha Araújo; Eliane Gonçalves da Costa; Elizeu Pedro Ribeiro; Emma Veiga Cepedano; Fernando Borges Correia Filho; Fláudio Azevedo Limas; Floripes Ingracia Borioli Godinho; Geny Pires Gonçalves Tiritilli; Gerson José Jório Rodrigues; Gisele Cristina da Silva Lima; Idalina Leles de Freitas Souza; Inês Paz; Janaina Rodrigues; Josafa Rehem Nascimento Vieira; Jose Luiz Moreno Prado Leite; José Reinaldo de Matos Leite; Josefa Gomes da Silva; Jovina Maria da Silva; Jucinéa Benedita dos Santos; Juvenal de Aguiar Penteado Neto; Leandro Alves Oliveira; Leovani Simões Cantazini; Lindomar Conceição da Costa Federighi; Luci Ferreira da Silva; Luiz Carlos de Sales Pinto; Luiz Carlos de Freitas; Luiz Cláudio de Lima; Luzelena Feitosa Vieira; Maisa Bonifácio Lima; Mara Cristina de Almeida; Marcio de Oliveira; Marcos Luiz da Silva; Maria José Carvalho Cunha; Maria Lícia Ambrosio Orlandi; Maria Liduina Facundo Severo; Maria Sufaneide Rodrigues; Maria Teresinha de Sordi; Maria Valdinete Leite Nascimento; Mariana Coelho Rosa; Mauro da Silva Inácio; Miguel Leme Ferreira; Miguel Noel Meirelles; Moacyr Américo da Silva; Orivaldo Felício; Ozani Martiniano de Souza; Paulo Alves Pereira; Paulo Roberto Chacon de Oliveira; Ricardo Augusto Botaro; Ricardo Marcolino Pinto; Rita de Cássia Cardoso; Rita Leite Diniz; Roberta Lara Maria Lima; Roberta Maria Teixeira Castro; Roberto Mendes; Roberto Polle; Ronaldi Torelli; Sandro Luiz Casarini; Sebastião Sérgio Toledo Rodovalho; Sergio Martins da Cunha; Solange Aparecida Benedeti Penha; Sonia Aparecida Alves de Arruda; Stenio Matheus de Moraes Lima; Suzi da Silva; Tatiana Silvério Kapor; Telma Aparecida Andrade Victor; Teresinha de Jesus Sousa Martins; Tereza Cristina Moreira da Silva; Uilder Cácio de Freitas; Ulisses Gomes Oliveira Francisco; Vera Lúcia Lourenço; Vera Lúcia Zirnberger; Wilson Augusto Fiúza Frazão.