

EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA

Prof. Edson Torres

Prof.^a Kátia Girardi Dallabona



2011



Copyright © UNIASSELVI 2011

Elaboração:

Prof. Edson Torres

Prof.^a Kátia Girardi Dallabona

Revisão, Diagramação e Produção:

Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada na fonte pela Biblioteca Dante Alighieri
UNIASSELVI – Indaial.

560

B821eTorres, Edson. *Evolução e paleontologia* / Edson Torres; Kátia Girardi Dallabona. Indaial : UNIASSELVI, 2011.

208 p. : il.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7830-389-1

1. *Evolução*. 2. *Paleontologia*.

I. Centro Universitário Leonardo Da Vinci. *Ensino a Distância*.

II. Título.

APRESENTAÇÃO

Olá!

Estamos iniciando a disciplina de Evolução e Paleontologia, base dos estudos no campo da Biologia.

Desde que o ser humano começou a questionar a visão criacionista da origem da vida, diversos progressos nesta área foram obtidos e, como resultado, obteve-se uma nova relação estabelecida entre o homem e os demais seres vivos.

Diversas evidências nos mostram que o homem, como espécie humana, não apareceu na Terra como um ser criado à imagem e semelhança de um Deus, passando-se, então, a analisar sob uma nova ótica a sua superioridade sobre as demais espécies. Ao contrário: achados e vestígios fósseis nos permitem verificar que as espécies, inclusive a humana, são o resultado de um processo evolutivo, que se iniciou no momento do surgimento da vida na Terra.

Todavia, o homem continua não se vendo como parte integrante do reino animal e a ignorar o seu papel e suas relações no meio em que vive. Como consequência, tem posto em risco eras de evolução dos seres vivos, o que poderá culminar numa nova extinção em massa.

Com o cenário apresentado, você, como um/a futuro/a professor/a de Ciências e Biologia, tem a oportunidade de apresentar estes fatos a seus alunos que, munidos das informações aprendidas, poderão adotar uma nova postura que permita diminuir os efeitos que o não conhecimento dos processos e fatos evolutivos tem ocasionado.

Percebeu a importância que o estudo da Evolução e da Paleontologia tem sobre o entendimento das relações entre o homem e o meio ambiente e para o futuro da nossa própria espécie e do planeta?

Esperamos que você tenha uma ótima leitura e faça bom uso das informações adquiridas.

Bons estudos!

Prof. Edson Torres

Prof.^a Kátia Girardi Dallabona



Você já me conhece das outras disciplinas? Não? É calouro? Enfim, tanto para você que está chegando agora à UNIASSELVI quanto para você que já é veterano, há novidades em nosso material.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material base da disciplina. A partir de 2017, nossos livros estão de visual novo, com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura.

O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página, o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo.

Assim, a UNIASSELVI, preocupando-se com o impacto de nossas ações sobre o ambiente, apresenta também este livro no formato digital. Assim, você, acadêmico, tem a possibilidade de estudá-lo com versatilidade nas telas do celular, *tablet* ou computador.

Eu mesmo, UNI, ganhei um novo *layout*, você me verá frequentemente e surgirei para apresentar dicas de vídeos e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto em questão.

Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar seus estudos com um material de qualidade.

Aproveite o momento para convidá-lo para um bate-papo sobre o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes – ENADE.

Bons estudos!



Olá acadêmico! Para melhorar a qualidade dos materiais ofertados a você e dinamizar ainda mais os seus estudos, a Uniasselvi disponibiliza materiais que possuem o código *QR Code*, que é um código que permite que você acesse um conteúdo interativo relacionado ao tema que você está estudando. Para utilizar essa ferramenta, acesse as lojas de aplicativos e baixe um leitor de *QR Code*. Depois, é só aproveitar mais essa facilidade para aprimorar seus estudos!



BATE SOBRE O PAPO ENADE!



Olá, acadêmico!

Você já ouviu falar sobre o **ENADE**?

Se ainda não ouviu falar nada sobre o ENADE, agora você receberá algumas informações sobre o tema.

Ouviu falar? Ótimo, este informativo reforçará o que você já sabe e poderá lhe trazer novidades.



Vamos lá!

Qual é o significado da expressão ENADE?

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

Em algum momento de sua vida acadêmica você precisará fazer a prova ENADE.



Que prova é essa?

É **obrigatória**, organizada pelo INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Quem determina que esta prova é obrigatória... O **MEC – Ministério da Educação**.

O objetivo do MEC com esta prova é o de avaliar seu desempenho acadêmico assim como a qualidade do seu curso.



Fique atento! Quem não participa da prova fica impedido de se formar e não pode retirar o diploma de conclusão do curso até regularizar sua situação junto ao MEC.

Não se preocupe porque a partir de hoje nós estaremos auxiliando você nesta caminhada.

Você receberá outros informativos como este, complementando as orientações e esclarecendo suas dúvidas.



Você tem uma trilha de aprendizagem do ENADE, receberá e-mails, SMS, seu tutor e os profissionais do polo também estarão orientados.

Participará de webconferências entre outras tantas atividades para que esteja preparado para #mandar bem na prova ENADE.

Nós aqui no NEAD e também a equipe no polo estamos com você para vencermos este desafio.

Conte sempre com a gente, para juntos mandarmos bem no ENADE!



SUMÁRIO

UNIDADE 1 – BASES DO PENSAMENTO EVOLUCIONISTA	1
TÓPICO 1 – A ORIGEM DA VIDA	3
1 INTRODUÇÃO	3
2 ASPECTOS HISTÓRICOS DA ABORDAGEM DA ORIGEM DA VIDA: TEORIA DA ABIÓGÊNESE, HETEROGENIA E BIÓGÊNESE	4
RESUMO DO TÓPICO 1.....	10
AUTOATIVIDADE	11
TÓPICO 2 – TEORIAS EVOLUCIONISTAS	13
1 INTRODUÇÃO	13
2 CRIACIONISMO E EVOLUCIONISMO	13
3 TEORIAS EVOLUCIONISTAS.....	14
3.1 LAMARCKISMO	14
3.2 DARWINISMO.....	16
3.3 NEODARWINISMO, SÍNTESE MODERNA OU TEORIA SINTÉTICA	19
RESUMO DO TÓPICO 2.....	21
AUTOATIVIDADE	23
TÓPICO 3 – EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO	25
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 FATOS OBSERVÁVEIS	25
3 MANIPULAÇÃO EXPERIMENTAL	27
4 HOMOLOGIA.....	28
5 ESTRUTURAS VESTIGIAIS.....	29
6 EMBRIOLOGIA.....	30
7 BIOGEOGRAFIA.....	31
8 EVIDÊNCIAS MOLECULARES.....	33
9 REGISTRO FÓSSIL.....	33
LEITURA COMPLEMENTAR.....	34
RESUMO DO TÓPICO 3.....	36
AUTOATIVIDADE	37
TÓPICO 4 – FATORES EVOLUTIVOS	39
1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MUTAÇÃO.....	39
3 FLUXO GÊNICO.....	40
4 DERIVA GENÉTICA.....	41
5 ACASALAMENTO NÃO ALEATÓRIO.....	41
6 SELEÇÃO NATURAL	41
7 GENÉTICA DE POPULAÇÕES	47
7.1 FREQUÊNCIAS ALÉLICAS E GENOTÍPICAS.....	47
7.2 EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG.....	49
RESUMO DO TÓPICO 4.....	51
AUTOATIVIDADE	53

UNIDADE 2 – MECANISMOS E PROCESSOS EVOLUCIONISTAS	59
TÓPICO 1 – ESPECIAÇÃO.....	61
1 INTRODUÇÃO	61
2 ESPECIAÇÃO.....	62
2.1 ESPECIAÇÃO GEOGRÁFICA OU ALOPÁTRICA	62
2.2 ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA	65
2.3 ESPECIAÇÃO PELA DISTÂNCIA (SOBREPOSIÇÃO CIRCULAR).....	65
RESUMO DO TÓPICO 1.....	68
AUTOATIVIDADE	69
TÓPICO 2 – ADAPTAÇÃO.....	71
1 INTRODUÇÃO	71
2 ADAPTAÇÃO.....	71
3 O NICHOS COMO AGENTE SELECIONADOR.....	73
RESUMO DO TÓPICO 2.....	74
AUTOATIVIDADE	75
TÓPICO 3 – CLADOGRAMAS	77
1 INTRODUÇÃO	77
2 CLADISMO OU SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA.....	77
RESUMO DO TÓPICO 3.....	82
AUTOATIVIDADE	83
TÓPICO 4 – EVOLUÇÃO MOLECULAR.....	85
1 INTRODUÇÃO	85
2 A CONTRIBUIÇÃO DA BIOLOGIA MOLECULAR NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO.....	86
2.1 O RELÓGIO MOLECULAR.....	87
2.2 A EVOLUÇÃO DO GENÓTIPO COMO UM TODO	87
2.3 A ORIGEM DE NOVOS GENES.....	88
RESUMO DO TÓPICO 4.....	89
AUTOATIVIDADE	90
TÓPICO 5 – MACROEVOLUÇÃO	91
1 INTRODUÇÃO	91
2 RADIAÇÃO ADAPTATIVA	91
3 COEVOLUÇÃO.....	93
4 SIMBIOSE	95
5 EVOLUÇÃO CONVERGENTE.....	95
6 COMPETIÇÃO ENTRE ESPÉCIES	98
7 EXTINÇÕES EM MASSA	99
RESUMO DO TÓPICO 5.....	101
AUTOATIVIDADE	102
TÓPICO 6 – EVOLUÇÃO HUMANA.....	103
1 INTRODUÇÃO	103
2 A POSIÇÃO FILOGENÉTICA DA ESPÉCIE HUMANA	103
3 EVIDÊNCIAS DA ORIGEM PRIMATA DO HOMEM.....	105
4 A EVOLUÇÃO HOMINÍDEA	106
4.1 ESTÁGIOS DA HOMINIZAÇÃO	107
4.2 A ORIGEM DO <i>HOMO SAPIENS</i>	109

LEITURA COMPLEMENTAR	111
RESUMO DO TÓPICO 6	114
AUTOATIVIDADE	115
UNIDADE 3 – PALEONTOLOGIA	117
TÓPICO 1 – IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA	119
1 INTRODUÇÃO	119
2 CONCEITOS	119
2.1 PALEONTOLOGIA E ARQUEOLOGIA	121
3 DIVISÕES DA PALEONTOLOGIA	122
4 IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA	124
LEITURA COMPLEMENTAR	128
RESUMO DO TÓPICO 1	131
AUTOATIVIDADE	132
TÓPICO 2 – TEMPO GEOLÓGICO	133
1 INTRODUÇÃO	133
2 TEMPO E A CONCEPÇÃO DO TEMPO GEOLÓGICO	134
3 ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO	136
4 DATAÇÃO RELATIVA BASEADA EM FÓSSEIS	140
4.1 DATAÇÃO RELATIVA	141
4.2 DATAÇÃO ABSOLUTA.....	142
4.3 A IDADE DO FÓSSIL.....	143
5 A DIVERSIFICAÇÃO DA VIDA AO LONGO DAS ERAS GEOLÓGICAS (FILOGÊNESE)	144
6 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL (ESTRATIGRÁFICA) E HORIZONTAL (PALEOGRÁFICA) DA VIDA NOS ESTRATOS GEOLÓGICOS	145
6.1 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL (ESTRATIGRÁFICA)	145
6.2 DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL (PALEOGRÁFICA).....	148
LEITURA COMPLEMENTAR	148
RESUMO DO TÓPICO 2	150
AUTOATIVIDADE	151
TÓPICO 3 – PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO	153
1 INTRODUÇÃO	153
2 TAFONOMIA	153
2.1 BIOESTRATINOMIA.....	155
2.1.1 Morte e necrólise.....	155
2.1.2 Efeitos da abrasão.....	156
2.1.3 Efeitos do transporte e da hidrodinâmica deposicional	156
2.2 DIAGÊNESE DOS FÓSSEIS (FOSSILDIAGÊNESE).....	157
2.2.1 Fossildiagênese	157
2.2.2 Composição mineral primária das partes duras.....	159
2.2.3 Preservação das partes duras com ou sem alteração química	160
2.2.4 Preservação das partes orgânicas	162
2.2.5 Retrabalhamento e deformações pós-deposicionais.....	163
LEITURA COMPLEMENTAR	164
RESUMO DO TÓPICO 3	166
AUTOATIVIDADE	167

TÓPICO 4 – METODOLOGIAS DE ENSINO EM EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA.....	169
1 INTRODUÇÃO	169
2 IMPORTÂNCIA DAS AULAS PRÁTICAS.....	170
3 PRÁTICAS PARA ENSINO DA EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA EM SALA DE	
AULA	172
3.1 A EXPERIÊNCIA DE FRANCESCO REDI.....	172
3.2 CONFRONTANDO O CRIACIONISMO E O EVOLUCIONISMO	173
3.2.1 Pesquisa com a comunidade	173
3.2.2 Pesquisa com religiosos	174
3.3 A SELEÇÃO NATURAL	174
3.4 A EVOLUÇÃO DOS PALITOS	179
3.5 PRÁTICA: AS DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL	
(ATIVIDADE 1)	182
3.6 PRÁTICA: AS DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL	
(ATIVIDADE 2)	183
3.7 PRÁTICA: DATAÇÃO RELATIVA	184
3.8 PRÁTICA: PRINCÍPIOS DA SUCESSÃO E CORRELAÇÃO FÓSSIL	186
3.9 PRÁTICA: QUE SEGREDOS SOBRE O PASSADO DA TERRA OS MICROFÓSSEIS	
PODEM REVELAR	188
3.10 PRÁTICA: CONTANDO A HISTÓRIA DA VIDA ATRAVÉS DOS GRÃOS DE	
PÓLEN.....	190
3.11 PRÁTICA: QUEM COME QUEM	196
3.12 PRÁTICA: AMBIENTE DE FOSSILIZAÇÃO	198
RESUMO DO TÓPICO 4.....	200
AUTOATIVIDADE	201
REFERÊNCIAS.....	203

BASES DO PENSAMENTO EVOLUCIONISTA

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade você estará apto/a a:

- acompanhar os aspectos históricos que levaram aos conhecimentos modernos sobre a origem da vida e do pensamento evolucionista;
- verificar a existência de evidências da ocorrência do processo evolutivo;
- reconhecer os diferentes fatores atuantes na evolução.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade de estudos se divide em quatro tópicos. Ao final de cada um deles, você encontrará atividades que o/a ajudarão a compreender os conteúdos apresentados.

TÓPICO 1 – A ORIGEM DA VIDA

TÓPICO 2 – TEORIAS EVOLUCIONISTAS

TÓPICO 3 – EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

TÓPICO 4 – FATORES EVOLUTIVOS

A ORIGEM DA VIDA

1 INTRODUÇÃO

Olá! Antes de darmos início ao estudo da evolução propriamente dita, precisamos nos debruçar sobre outra questão de suma importância no estudo da Biologia, que já ocasionou muitos debates entre os cientistas da área: **como e a partir do que surgiu o primeiro ser vivo da Terra?**

A resposta a esta pergunta está longe de ser simples e envolve muitos aspectos, sendo o bíblico, talvez, o mais importante deles.

É possível que a princípio, para você, estudante de Biologia, isto pareça ter pouca relevância, mas é preciso lembrar que como futuro/a professor/a, você, possivelmente, lidará com pessoas que têm este como seu único referencial e, portanto, acreditam que Deus tenha criado as primeiras formas de vida. Ou seja, que elas não tenham sido produto dos processos da natureza e, sim, de uma forma sobrenatural.

Ao inserirmos um olhar científico sobre este tema, ampliamos os horizontes do conhecimento, ao mesmo tempo em que permitimos que o mundo da Ciência seja explorado pelo educando. Todavia, isto implica muito mais do que simplesmente o acesso às teorias vigentes de origem da vida. Abrange também o histórico de pesquisas e discussões que envolvem o tema, de forma que seja possível perceber que o conhecimento científico é construído e que este processo ocorre de maneira coletiva e muitas vezes conflitante. Ou seja, nem sempre há consenso! Lembre-se: a história da ciência pode ser muito útil como ferramenta pedagógica, quando bem apresentada. (SANTOS, 2006).

A seguir viajaremos pelo contexto histórico-científico em torno do tema origem da vida e veremos como este assunto tem sido discutido ao longo do tempo.

Bons estudos!

2 ASPECTOS HISTÓRICOS DA ABORDAGEM DA ORIGEM DA VIDA: TEORIA DA ABIOGÊNESE, HETEROGENIA E BIOGÊNESE

O questionamento acerca da origem da vida está longe de ser um assunto recente. Antigas doutrinas da Índia, da Babilônia e do Egito ensinavam que rãs, cobras e crocodilos eram gerados pelo lodo dos rios. (MARTINS, 2009). Esta ideia de que a vida poderia surgir a partir da matéria bruta ou inorgânica ficou conhecida como a teoria da **Abiogênese** (a = negação; bio = vida; gênese = origem). Mas foi o filósofo Aristóteles (por volta de dois mil anos), por seu prestígio e influência sobre os pensadores da época, que deu mais visibilidade ao assunto. Segundo este filósofo, a vida poderia surgir de substâncias orgânicas provenientes de um ser vivo diferente (animais e plantas em decomposição, ou infusões obtidas fervendo partes de animais e plantas). É importante frisar que tal ideia é diferente da defendida pela teoria da Abiogênese, uma vez que restringe às substâncias orgânicas a possibilidade de formar uma nova vida. Esta teoria ficou conhecida como **Heterogenia**. Ambas ideias fazem parte do que chamamos de teoria da **Geração Espontânea**, que, como o próprio nome sugere, postula que a vida surge sem que haja a participação de outros indivíduos da espécie.



Os livros didáticos de Biologia apenas mencionam duas possibilidades de origem da vida – **abiogênese** e **biogênese**. Esta afirmação não é correta e acaba confundindo o entendimento dos estudantes sobre o assunto.

A partir do cenário descrito, refletiremos brevemente sobre a ideia da Geração Espontânea. Em um primeiro momento o pensamento por detrás desta teoria não lhe parece um tanto equivocado?

Pensando nisso, Martins (2009) ressalta que um fator a ser evidenciado é que os defensores da Geração Espontânea não generalizavam a atuação deste processo. Ao invés disso, utilizavam-no como resposta apenas para o nascimento de seres vivos em que não era possível distinguir machos de fêmeas, ou quando não era possível reconhecer órgãos sexuais e o processo de reprodução. Assim, viam a geração espontânea como única forma do surgimento de micro-organismos, fungos, ou ainda, vermes parasitas intestinais.

Após Aristóteles, não houve grandes novidades em torno do questionamento acerca da origem da vida, até a ocorrência do experimento do pesquisador Francesco Redi (1626-1691).

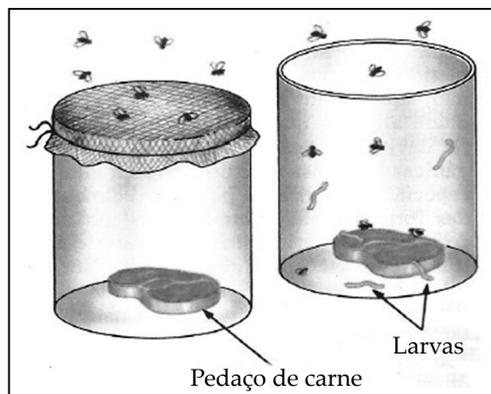
FIGURA 1 – FRANCESCO REDI E SUA OBRA SOBRE A GERAÇÃO DE INSETOS



FONTE: Martins (2009, p. 85)

É provável que você esteja associando este nome ao que falam os livros didáticos de Biologia do Ensino Médio, sobre a famosa experiência em que Redi demonstrou que as larvas de moscas encontradas sobre pedaços de carne putrefata não haviam sido geradas espontaneamente a partir da carne, mas sim de ovos colocados ali por moscas. Para tal, Redi colocou pedaços de carne em alguns vidros e, após este procedimento, tampou alguns dos recipientes com telas, deixando os demais sem proteção alguma. Após alguns dias, Redi verificou que nos recipientes cobertos por tela, a carne permaneceu intacta (livre de novas formas de vida), enquanto que, naqueles sem proteção alguma, a carne estava coberta por diversas larvas de moscas. Assim, Redi demonstrou que neste caso, até então utilizado como uma prova da existência da Geração Espontânea, este processo não se aplicava e que na verdade a vida ali presente era resultado da deposição de ovos por moscas que tinham acesso à carne em putrefação.

FIGURA 2 – REPRODUÇÃO DO EXPERIMENTO EM QUE FRANCESCO REDI DEMONSTRA QUE OS VERMES ENCONTRADOS NA CARNE EM PUTREFAÇÃO ERAM PROVENIENTES DE OVOS DEPOSITADOS POR MOSCAS



FONTE: Lopes e Rosso (2005, p. 33)

Uma questão que devemos levar em consideração é o que Francesco Redi estava estudando ao realizar tal experimento. Da forma como o assunto é abordado nos livros didáticos, tem-se a impressão de que Redi era um dos defensores da teoria da **Biogênese** (Bio = vida; Gênese = origem), ou seja, que a vida só poderia surgir a partir de outro ser vivo, e que realizou a experiência para tentar comprovar a sua opinião. Na verdade, como Martins (2009) destaca em seu trabalho, inicialmente Redi nem mesmo estava preocupado com moscas, estudando os *vermes* que apareciam em animais mortos para tentar descobrir de onde eles surgiam. Após a observação, ao longo de algumas semanas, percebeu que estes vermes se transformavam em moscas de diferentes espécies. Só depois deste acontecimento é que Redi pensou na possibilidade de os vermes terem sido produzidos por moscas que teriam depositado ovos na carne, dando início a uma série de experimentos sobre o assunto.

Entretanto, este experimento não foi o único realizado por Redi. Em outros estudos ele concluiu que era possível o surgimento de insetos nas galhas das plantas sem progenitores da mesma espécie, e que era possível o surgimento espontâneo de vermes intestinais. Assim, Redi aceitou a Biogênese em alguns casos, mas continuou apoiando a geração espontânea de forma geral. (MARTINS, 1998).

A polêmica em torno da origem da vida continuou envolvendo diversos pesquisadores. Alguns realizando experimentos que fortaleciam a teoria da geração espontânea, tal como John Tuberville Needham, em 1745, e outros cujos resultados de suas pesquisas iam contra esta visão, como, por exemplo, ocorreu 20 anos depois com Lazzaro Spallanzani.

Quase um século depois, em 1847, o médico naturalista Félix Pouchet debruçou-se sobre a questão da heterogenia, realizando muitas experiências que pareciam provar a existência da geração espontânea. (SANTOS, 2006). Estes experimentos coincidiram com a publicação da teoria da evolução de Charles Darwin, de forma que as duas teorias foram erroneamente associadas, embora Darwin não defendesse a geração espontânea, nem Pouchet o darwinismo.

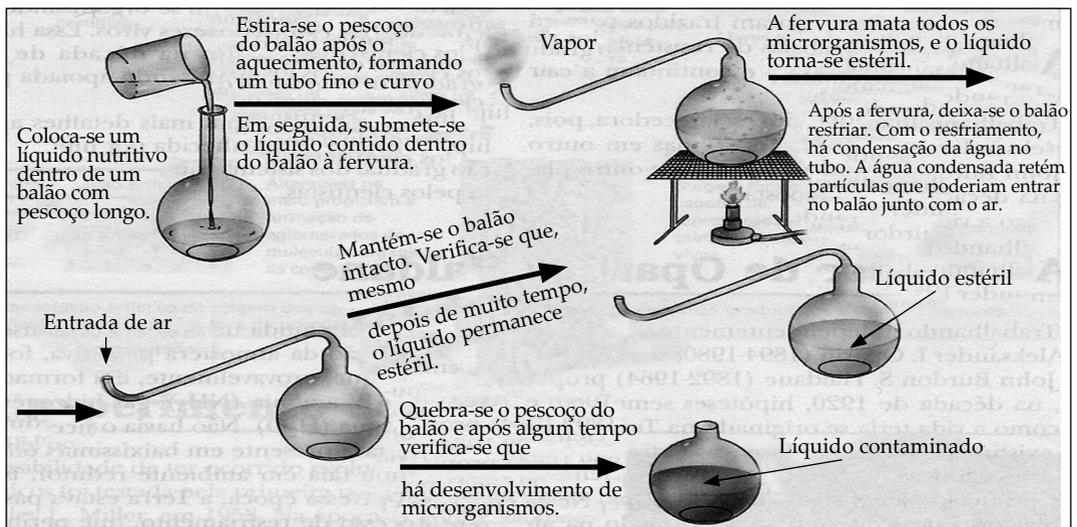
Os resultados obtidos por Pouchet caíram como uma bomba sobre a elite intelectual da França, sendo vistos como representantes de uma filosofia materialista, antirreligiosa, republicana e revolucionária e, portanto, contrária aos interesses dominantes. É aqui que entra uma figura de grande importância quando se trata do assunto: Louis Pasteur. Pasteur é citado na maioria dos livros de Biologia como o responsável pelo fim da teoria da geração espontânea, devido a diversos experimentos em que ele apontou falhas nos experimentos de Pouchet, como podemos observar nas próximas duas figuras.

FIGURA 3 – ILUSTRAÇÃO APRESENTANDO PASTEUR EXAMINANDO FRASCOS DE VIDRO COM INFUSÕES EM SEUS EXPERIMENTOS SOBRE A GERAÇÃO ESPONTÂNEA



FONTE: Disponível em: <www2.med.umich.edu/prmc/media/newsroom/details.cfm?ID=16>. Acesso em: 24 fev. 2011.

FIGURA 4 – EXPERIMENTO DE PASTEUR



FONTE: Lopes e Rosso (2005, p. 17)

Tais experimentos possibilitaram a Pasteur ser o vencedor do Prêmio Alhumbert, promovido em 1860 pela Academia de Ciências da França, que premiava o melhor trabalho que esclarecia a questão das gerações espontâneas. Porém, um detalhe é comumente omitido: Pasteur foi o único inscrito no concurso! Segundo comenta Martins (2009), Pouchet e outros pesquisadores cujos resultados de seus experimentos também eram favoráveis à teoria da Geração Espontânea estavam dispostos a se inscrever. Porém, ao perceberem que a banca de avaliação dos experimentos era composta por vários membros que eram declaradamente contrários à geração espontânea, acabaram desistindo.

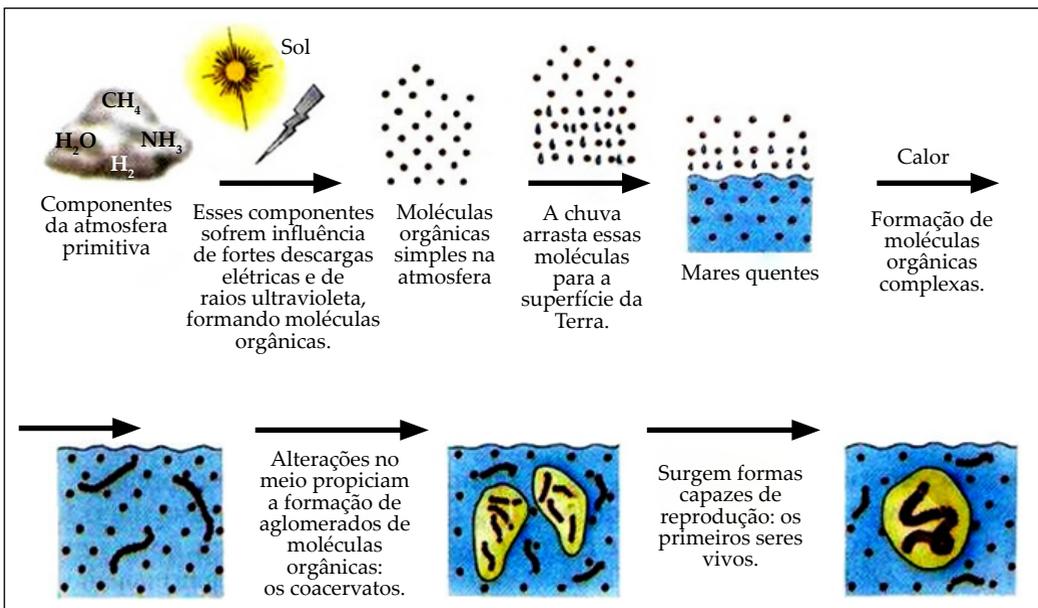


Na época da realização do Prêmio Alhumbert havia experimentos tanto favoráveis quanto contrários à geração espontânea. Diante da dificuldade de uma decisão científica, outros quesitos eram utilizados para avaliar os experimentos, entre eles, as crenças religiosas, políticas e sociais. (FARLEY, 1978 apud MARTINS, 2009).

Após a premiação de Pasteur passaram-se cerca de 60 anos até que a teoria da origem da vida voltasse a ser discutida. Isto ocorreu através da Teoria dos Coacervados (Figura 5), proposta por Alexander I. Oparin e John B. S. Haldane, em 1924 e 1928, respectivamente.

Esta teoria baseada no conceito da biogênese sustenta-se no fato de que, por meio de reações químicas entre moléculas simples, tais como metano (CH_4), óxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2), água (H_2O) etc., se formariam moléculas mais complexas (aminoácidos, açúcares, ácidos nucléicos, lipídios etc.). Depois de milhões de anos, tendo um grande acúmulo destas moléculas, elas se combinariam formando biopolímeros (peptídeos, polissacarídeos, nucleotídeos etc.), que reagiriam entre si e formariam estruturas coacervadas (estruturas que parecem célula). Dentro destas estruturas e após milhões de anos, reações químicas começariam a ocorrer e seriam tão complexas que poderíamos considerar as estruturas coacervadas como vivas. (ZAIA; ZAIA, 2008).

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO ARTÍSTICA DA ORIGEM DOS SERES VIVOS SEGUNDO A TEORIA DOS COACERVADOS



FONTE: Lopes e Rosso (2005, p. 19)

A hipótese de Oparin-Haldane só foi testada em 1953, quando Stanley Miller e Harold Clayton Urey mostraram que a mesma é uma possibilidade. Para tal, Miller e Urey simularam as chuvas que se armazenavam nos lagos, rios, mares e oceanos. Com um aquecedor, ferveram a água acumulada para transformá-la novamente em vapor, representando, assim, a evaporação da água das chuvas. O resultado foi um líquido acumulado na parte inferior do aparelho, o qual continha diversos compostos, entre os quais os aminoácidos alanina e glicina. Atualmente, há muitos questionamentos a respeito dos gases presentes na atmosfera primitiva. Alguns cientistas defendem que os gases mais abundantes eram o dióxido de carbono (CO₂) e o nitrogênio (N₂). (ZAIA; ZAIA, 2008).

Nos últimos 75 anos, uma extensa literatura a respeito foi publicada e umas seis ou sete teorias rivais acerca da origem da vida foram propostas (MAYR, 2009). Apesar destas controvérsias, a teoria dos coacervados é atualmente a teoria aceita pela maioria dos cientistas para a origem da vida na Terra.

Como muito bem Martins (2009, p. 65) expõe:

Até hoje não temos uma resposta definitiva para a questão da origem da vida na Terra. Não temos como viajar no tempo e ver como surgiram os primeiros seres vivos existentes no nosso planeta, nem temos esperança de que tenham restado registros fósseis deles, pois estes seres deveriam ser muito pequenos e frágeis. Assim, não podemos afirmar diretamente como se deu o surgimento dos primeiros organismos.



Caro(a) acadêmico(a)! Espero não termos esgotado o assunto com este pequeno histórico. Deste modo, sugerimos alguns trabalhos que podem enriquecer muito o seu conhecimento acerca da questão da origem da vida. São eles:

SANTOS, C. H. V. **História e filosofia da ciência nos livros didáticos de biologia do ensino médio**: análise do conteúdo sobre a origem da vida. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

MARTINS, L. A. P. Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada. **Filosofia e história da biologia**, v. 4, p. 65-100, 2009.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A abiogênese é a teoria de origem da vida na Terra, que defende que os primeiros seres vivos surgiram a partir da matéria bruta.
- A heterogenia defende que os primeiros organismos provêm da matéria orgânica morta.
- Os principais defensores da heterogenia foram Neddham e Pouchet.
- A abiogênese e a heterogenia são correntes de pensamento distintas que chamamos de Teoria da Geração Espontânea.
- A biogênese é a teoria contrária à geração espontânea e afirma que os primeiros seres vivos surgiram de uma forma primitiva de vida – os coacervados.
- Os principais defensores da biogênese foram Spallanzani, Pasteur, Oparin, Haldane, Miller e Urey.
- Oparin e Haldane foram os propositores da teoria dos coacervados, que foi testada inicialmente por Miller e Urey.
- Atualmente, a teoria dos coacervados é a teoria de origem da vida aceita pela maioria dos cientistas.

AUTOATIVIDADE



1 Você leu, ao longo do Tópico 1, que há três teorias principais sobre a origem da vida. Quais são elas e de que forma cada uma defende como os primeiros seres vivos surgiram na Terra?



2 Muitos livros didáticos separam as teorias de origem da vida em abiogênese e biogênese. Esta classificação está correta? Explique.

TEORIAS EVOLUCIONISTAS

1 INTRODUÇÃO

Já discutimos as teorias formuladas por diversos pesquisadores para explicar como as primeiras formas de vida surgiram na Terra. Todavia, algumas questões não foram consideradas, tais como: quando e como surgiram as atuais formas de vida?

Pois bem, responder a estes e a outros questionamentos é o objetivo principal deste tópico.

Então, vamos lá!

2 CRIACIONISMO E EVOLUCIONISMO

Você já deve estar familiarizado com o termo Criacionismo, cujos defensores afirmam que o mundo foi criado por Deus e de uma forma tão perfeita que todos os animais e plantas estão perfeitamente adaptados uns aos outros e ao ambiente onde vivem. Esta foi a visão dominante no mundo ocidental desde a Idade Média até meados do século XIX.

Quando a Bíblia foi escrita, essa era uma ideia de toda lógica, dado o conhecimento existente na época. Porém, com o avanço das descobertas científicas, pesquisadores questionaram esta visão e passaram a buscar novas alternativas para explicar os fenômenos por eles observados. Assim, conceitos astronômicos consagrados, como a posição central da Terra no universo (Geocentrismo), foram desafiados e evidências permitiram que novas teorias fossem desenvolvidas. Descobertas em outras ciências também foram feitas, tal como, por exemplo, na geologia, cujos estudos permitiram verificar que a Terra era muito mais antiga do que se pensava, enquanto a descoberta de fósseis de animais extintos pôs em cheque a afirmação da constância das espécies (Fixismo).

Este cenário permitiu observar que nem todas as informações contidas na Bíblia podiam ser interpretadas de maneira literal com isso, surge um dos conceitos mais importantes da biologia: a **evolução**.

Ao escrever a introdução do livro *O que é a Evolução*, o biólogo Jared M. Diamond afirma: “Sem conhecer ao menos alguma coisa a respeito da evolução não é possível compreender os seres vivos à nossa volta, as características únicas do ser humano, as doenças genéticas e suas possíveis curas e o cultivo de plantas geneticamente modificadas e seus possíveis riscos.” (DIAMOND, 2009 apud MAYR, 2009).

Mas, afinal, o que é a evolução?

A palavra evolução foi criada para se referir ao desenvolvimento de um óvulo (MAYR, 2009). Porém, com o passar do tempo este termo foi tendo a sua definição alterada. É o que veremos a seguir, ao tratarmos sobre as diferentes teorias evolucionistas.

3 TEORIAS EVOLUCIONISTAS

3.1 LAMARCKISMO

O desenvolvimento de pesquisas resultou no questionamento, por parte de alguns pensadores, sobre as afirmações contidas na Bíblia, entre elas a do fixismo das espécies. Porém, foi o naturalista Jean-Baptiste Lamarck o primeiro a elaborar uma teoria completa sobre a evolução das espécies, ao publicar o seu trabalho *Philosophie Zoologique*, em 1809.

FIGURA 6 – ILUSTRAÇÃO DE JEAN-BAPTISTE LAMARCK



FONTE: Disponível em: <<http://cienciaemdia.folha.blog.uol.com.br/images/Lamarck.jpg>>. Acesso em: 24 fev. 2011.

Muito provavelmente você associe Lamarck ao famoso exemplo do pescoço das girafas. De fato, este exemplo é citado sempre que o nome de Lamarck aparece nos livros didáticos de Ciências e Biologia. Vamos relembrá-lo?

Para Lamarck, as girafas ancestrais possuíam pescoços curtos, que se esticaram na tentativa de atingir as folhas mais altas nas árvores. Este esforço teria feito com que seus pescoços ficassem ligeiramente maiores, característica essa que seria herdada por sua prole e que faria com que a espécie tivesse uma propensão a ter pescoços mais longos do que os seus progenitores. Depois de muitas gerações de alongamento de pescoço, o resultado é o que vemos hoje. (RIDLEY, 2006).

Este “aperfeiçoamento” ocorreria em todas as espécies através da evolução, cuja definição dada por Lamarck era de um processo em que seres vivos inferiores surgem continuamente a partir da matéria inanimada por geração espontânea (lembre-se do Tópico 1) e progridem continuamente em direção a uma maior complexidade e perfeição, do inferior para o superior. (FUTUYMA, 2002).



É muito comum utilizarmos o termo evolução como relacionado a uma maior complexidade de alguma coisa ou alguém. Todavia, esse termo tem relação com a modificação de uma característica ao longo do tempo e não com o aumento da sua complexidade. Por exemplo, a perda da visão em um animal fossorial é fruto da evolução, apesar de o resultado ter sido a perda deste órgão do sentido.

Para Lamarck isto seria possível devido a dois mecanismos:

- 1 Uma “força interna” desconhecida do organismo que o levava a produzir uma prole levemente diferente de si próprio e cuja acumulação ao longo de gerações poderia resultar no surgimento de uma nova espécie. Esta diferenciação seria guiada pela mudança no ambiente, que alteraria as necessidades do organismo e este responderia modificando o seu comportamento e, conseqüentemente, a necessidade de uso de alguns órgãos-mecanismos, que ficou conhecida como a **Lei do Uso e Desuso**.
- 2 Herança dos caracteres (características) adquiridos, que fazia com que as modificações adquiridas individualmente fossem herdadas pelos seus descendentes, como o exemplo da girafa.

As ideias de Lamarck foram rejeitadas quase universalmente, não porque ele abraçava a herança dos caracteres adquiridos, mas porque os principais naturalistas de então desconheciam qualquer evidência de evolução. Atualmente Lamarck é injustamente lembrado como alguém que estava errado, mas como Futuyma (2002) comenta, merece respeito por ter sido o primeiro cientista a advogar destemidamente a evolução e a tentar apresentar mecanismos para este processo.

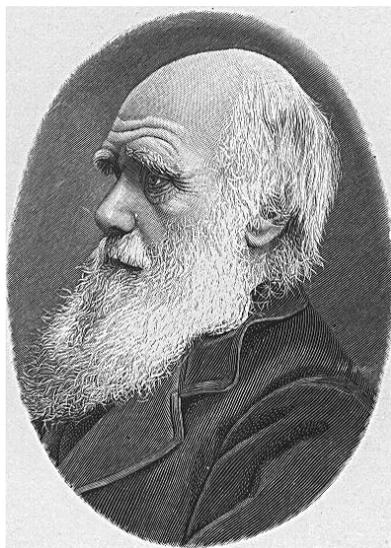
O pensamento evolucionista se disseminou durante a segunda metade do século XVIII e a primeira metade do século XIX, mas permaneceu minoritário até a publicação do livro *A Origem das Espécies*, de Charles Darwin, em 1859, que mudaria o pensamento científico para sempre!

3.2 DARWINISMO

Charles Darwin foi um naturalista nato, cujo interesse se concentrava principalmente nos besouros. Devido à influência de seus pais, ingressou na faculdade de medicina, mas acabou abandonando o curso após se impressionar com os procedimentos das cirurgias, voltando a se dedicar ao estudo da história natural.

O passo inicial para que Darwin obtivesse os elementos necessários para formular a sua Teoria da Evolução foi o convite para viajar a bordo do HMS Beagle – um dos navios de pesquisa da Marinha da Inglaterra, a fim de realizar um levantamento das costas da América do Sul. Durante os cinco anos em que permaneceu a bordo do Beagle (1832-1837), Darwin visitou a costa leste da Patagônia, o Estreito de Magalhães e as Ilhas Galápagos, podendo coletar uma quantidade significativa de espécimes.

FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DE CHARLES DARWIN



FONTE: Disponível em: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Darwin.jpg>>. Acesso em: 24 fev 2011.

Ao voltar para a Inglaterra, Darwin se dedicou a estudar o material coletado por ele durante a sua viagem, o que lhe permitiu realizar uma série de perguntas a respeito da história da Terra e de sua fauna e flora. Por exemplo, ao trabalhar com a sua coleção de aves das Ilhas Galápagos, ele se deu conta de que os espécimes coletados variavam de ilha para ilha, podendo ser considerados espécies diferentes, mas eram mais parecidos entre si do que com os espécimes coletados no continente mais próximo. Ainda percebeu que os fósseis da Patagônia eram muito parecidos com a biota atual. Foram estas e outras questões que levaram Darwin a juntar evidências de que as espécies poderiam ter evoluído a partir de um ancestral comum.

Segundo afirma Ridley (2006), a próxima etapa importante do estudo de Darwin foi criar uma teoria para explicar porque as espécies mudam ao longo do tempo. Os seus cadernos de notas revelam que ele considerou várias ideias, inclusive as de Lamarck, mas as rejeitou porque todas falhavam em explicar um fator crucial – a adaptação. Ou seja, não bastava explicar porque as espécies mudam, mas também porque elas são tão bem adaptadas à vida.

Ao que tudo indica, Darwin encontrou explicação ao ler *Essay on Population* (Ensaio sobre Populações), de Malthus, que argumentava que o crescimento sem controle da população humana deveria levar à fome. De fato, Futuyma (2002, p. 5) transcreve parte da autobiografia de Darwin, onde ele escreve:

aconteceu de eu ler, como entretenimento, o ensaio de Malthus sobre população e, estando bem preparado para avaliar a luta pela existência que prossegue em toda a parte pela longa e continuada observação dos hábitos de animais e plantas, imediatamente percebi que, sob estas condições, variações favoráveis tenderiam a ser preservadas e as desfavoráveis, destruídas.

Esta era a lacuna a ser preenchida para que Darwin pudesse enfim elaborar a sua teoria acerca da evolução das espécies, a qual foi publicada em 1859 sob o título *A Origem das Espécies por meio da Seleção Natural*, ou *A Preservação das Raças Favorecidas na Luta pela Vida*.



Darwin demorou cerca de 20 anos entre a elaboração da teoria de origem das espécies e a publicação de seu livro, o que talvez tenha ocorrido por medo da hostilidade por parte dos criacionistas!



Na mesma época em que Darwin construía a sua teoria da evolução, outro pesquisador, o naturalista Alfred Russel Wallace, chegou a uma ideia bastante similar à de seleção natural de Darwin. Assim, Wallace merece crédito como codescobridor do principal mecanismo da evolução.

De acordo com Mayr (2009, p. 113), é possível dividir a origem das espécies em cinco teorias:

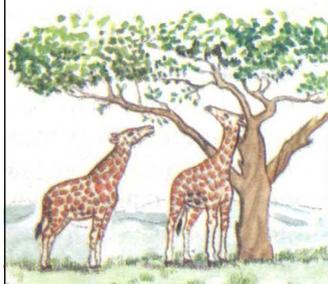
- 1 As espécies são mutáveis (teoria básica da evolução).
- 2 Todos os organismos descendem de um ancestral comum (evolução ramificada).
- 3 A evolução é gradual (não existem saltos ou descontinuidades).
- 4 As espécies tendem a se multiplicar (a origem da diversidade).
- 5 Os indivíduos de uma espécie estão sujeitos à seleção natural.

A seguir, utilizando como exemplo a evolução do comprimento do pescoço das girafas, apresentamos a visão de como tal mecanismo teria ocorrido de acordo com Lamarck e Darwin, respectivamente. Veja na próxima ilustração.

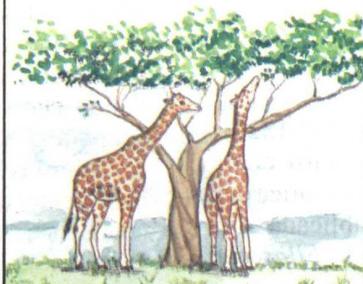
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DE COMO TERIA OCORRIDO AO LONGO DAS GERAÇÕES O AUMENTO DO COMPRIMENTO DO PESCOÇO DAS GIRAFAS, DE ACORDO COM AS VISÕES DE LAMARCK E DARWIN

LAMARCK

As girafas ancestrais provavelmente tinham pescoços curtos. Para alcançar a folhagem das árvores, de que se alimentavam, tinham que esticar o pescoço.



Pelo fato de esticarem sempre o pescoço para atingir a folhagem das árvores, o pescoço alongou-se. Essa característica adquirida era transmitida aos seus descendentes.



Finalmente, o contínuo esticamento do pescoço deu origem às girafas atuais. Portanto, pelo uso ou desuso e pela transmissão das características adquiridas houve a evolução.



DARWIN



FONTE: Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/figuras/Seresvivos/lamarck.jpg>>. Acesso em: 24 fev. 2011.

A reação às duas principais teorias de Darwin – evolução e seleção natural – tiveram repercussão diferenciada entre os cientistas. A evolução em si foi quase que prontamente aceita por biólogos e geólogos mais esclarecidos, devido à grande quantidade de provas oferecidas por Darwin. Desta forma, a evolução não podia mais ser vista como uma teoria, o que remete a uma hipótese, mas sim como um fato. Assunto que veremos no próximo tópico.

Porém, o mecanismo de seleção natural convenceu a poucos e caiu cada vez mais no descrédito até o final dos anos 20 do século XX. Isto porque Darwin não conseguiu explicar de forma satisfatória a origem da variabilidade existente nas populações, nem como estas características eram transmitidas ao longo das gerações.

Este problema foi resolvido após a descoberta dos experimentos realizados por Gregor Johann Mendel com plantas e animais (o mais famoso ocorreu com ervilhas), cujos resultados permitiram buscar explicações sobre os mecanismos de herança. Com o desenvolvimento da genética foi possível começar a entender os mecanismos de evolução das espécies.

3.3 NEODARWINISMO, SÍNTESE MODERNA OU TEORIA SINTÉTICA

Como já foi citado anteriormente, o desconhecimento do mecanismo da hereditariedade causou uma das maiores frustrações de Darwin. Porém, a sua descoberta estava além do alcance dele e de todos os outros cientistas da sua época.

Foi somente após a morte de Darwin e com o trabalho conjunto de geneticistas, zoólogos e paleontólogos que, por volta da metade do século XX, foi possível começar a entender como a hereditariedade torna a seleção natural não apenas possível, mas inevitável, e como ela permite que novas espécies se formem. Este conhecimento coletivo da evolução ficou conhecido como a “síntese moderna”, “neodarwinismo” ou “teoria sintética”.

Estes pesquisadores dedicaram esforço a este assunto após redescobrirem os trabalhos realizados pelo geneticista Gregor Mendel. Escrevemos “redescobrir” porque os experimentos de Mendel foram realizados enquanto Darwin ainda era vivo, mas na época receberam pouca importância.



Você se lembra de Mendel e dos seus experimentos?

Sugerimos que dê uma parada no estudo deste caderno e consulte o Caderno de Genética para lembrar as pesquisas realizadas por ele.

Estava vencido o último obstáculo para que a evolução fosse aceita de modo geral no meio científico, e vários estudos sobre os mecanismos evolutivos começaram a ser realizados, incorporando novas informações, questões e controvérsias.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- O criacionismo, cujos defensores afirmam que o mundo foi criado por Deus e de uma forma perfeita, foi a visão dominante no mundo ocidental desde a Idade Média até meados do século XIX.
- O avanço das descobertas científicas permitiu que se questionasse a visão religiosa e se passasse a buscar novas alternativas para explicar os fenômenos observados.
- O naturalista Jean-Baptiste Lamarck foi o primeiro a elaborar uma teoria completa sobre a evolução das espécies e a questionar o fixismo.
- Segundo Lamarck, a evolução era um processo onde seres vivos inferiores surgem continuamente a partir da matéria inanimada por geração espontânea e progredem continuamente em direção a uma maior complexidade e perfeição, do inferior para o superior.
- Para Lamarck, a evolução seria possível devido a dois mecanismos:
 - lei do uso e desuso;
 - herança dos caracteres (características) adquiridos.
- O passo inicial para que Darwin obtivesse os elementos necessários para formular a sua Teoria da Evolução foi a coleta de uma quantidade significativa de espécimes durante uma viagem à costa leste da Patagônia, ao Estreito de Magalhães e às Ilhas Galápagos.
- Foi a análise do material coletado durante a viagem a bordo do navio HMS Beagle que permitiu a Darwin juntar evidências de que as espécies poderiam ter evoluído a partir de um ancestral comum.
- Darwin demorou cerca de 20 anos para publicar o seu livro, o que talvez tenha ocorrido por medo da hostilidade por parte dos criacionistas.

- A ideia de evolução de Darwin pode ser dividida em cinco teorias:
 - as espécies são mutáveis (teoria básica da evolução);
 - todos os organismos descendem de um ancestral comum (evolução ramificada);
 - a evolução é gradual (não existem saltos ou descontinuidades);
 - as espécies tendem a se multiplicar (a origem da diversidade);
 - os indivíduos de uma espécie estão sujeitos à seleção natural.
- A ideia de evolução de Darwin é um fato e não uma teoria, já que apresenta uma grande quantidade de provas de que este processo ocorre.

AUTOATIVIDADE



1 Várias pessoas possuem o costume de relacionar o aumento de complexidade de algo ao termo evolução. Esta associação está correta? Explique.



2 Jean-Baptiste Lamarck e Charles Darwin apresentaram diferentes teorias para explicar a origem das espécies. A respeito disso, o que estas teorias têm em comum?



3 Muitos estudiosos da história da ciência defendem ser um erro menosprezar o papel de Lamarck no estabelecimento do conceito de evolução. Qual foi a importância de Lamarck nesse processo?



4 Por que o conceito de evolução de Charles Darwin, na verdade, pode ser considerado um fato e não uma teoria?

EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Agora que já discutimos como o pensamento acerca da origem da vida e da evolução das espécies foi se modificando ao longo do tempo, e como as ideias de Darwin puseram fim à visão criacionista dominante, vamos conhecer algumas evidências. Estas são as mais diversas, que comprovam esta visão evolucionista, incluindo desde a descoberta de fósseis até a manipulação experimental (seleção artificial de espécies). Acompanhe a seguir algumas delas.

Boa leitura!

2 FATOS OBSERVÁVEIS

Algumas mudanças ocorrem em uma escala de tempo humana, permitindo que seja um fato observável. Um exemplo clássico e utilizado como exemplo na maioria dos livros didáticos é o da mariposa sarapintada *Biston betularia*. Vamos lembrá-lo?

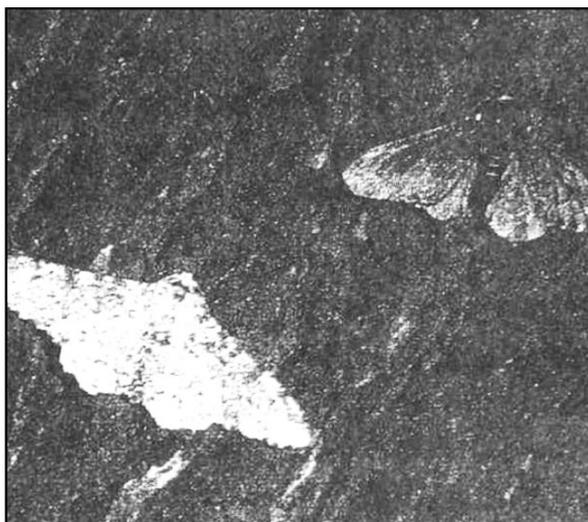
São conhecidos dois fenótipos para esta mariposa: um de coloração clara com algumas pintas escuras e outro com muitas pintas escuras (melânica). Em coleções feitas na Inglaterra no século XVIII era encontrado apenas o fenótipo claro da espécie. Porém, em 1848 uma forma melânica foi coletada próxima a Manchester. A partir desta data, cada vez mais exemplares melânicos foram sendo encontrados em áreas poluídas, até que esta forma passou a representar mais de 90% das populações destes locais. Em áreas não poluídas a forma clara continuou comum. Somente após o estabelecimento de leis rigorosas de purificação do ar, a frequência da forma melânica voltou a reduzir nas áreas originalmente poluídas.



Fenótipo é um conjunto de características observáveis ou caracteres de um indivíduo, como, por exemplo, morfologia, desenvolvimento, propriedades bioquímicas ou fisiológicas e comportamento.

Pesquisas realizadas por Keittwell permitiram a este pesquisador verificar que a mudança na frequência dos fenótipos era resultado da predação por aves. A forma clara camufla-se melhor na madeira não poluída, sendo menos improvável que seja ingerida por aves que caçam visualmente. O mesmo não acontece se esta forma pousa em um tronco cuja fumaça da poluição tenha ocasionado a morte dos líquens que habitam os troncos e os tenha coberto com fuligem. Observe na ilustração que segue.

FIGURA 9 – MARIPOSAS DO FENÓTIPO CLARO E MELÂNICO POUSADAS SOBRE UM TRONCO DE ÁRVORE COBERTO POR FULIGEM PROVENIENTE DA FUMAÇA DA POLUIÇÃO



FONTE: Disponível em: <<http://sti.br.inter.net/rafaas/biologia-ar/images/501-2.jpg>>. Acesso em: 24 fev. 2011.

Este caso, conhecido como melanismo industrial, é, segundo Ridley (2006), um exemplo clássico de seleção natural e é, portanto, uma evidência da existência da evolução.



Este é apenas um exemplo onde foi possível ao ser humano acompanhar o processo de evolução. Para uma leitura mais aprofundada e obtenção de mais exemplos, sugerimos a leitura do livro *Evolução*, de Ridley (2006, p. 68 a 70).

3 MANIPULAÇÃO EXPERIMENTAL

Através de experimentos é possível gerar mudanças evolutivas por um processo que é conhecido como seleção artificial. Através destes experimentos é possível formar uma nova geração da população escolhida, permitindo que somente uma minoria selecionada da geração corrente se reproduza.

Um exemplo claro de seleção artificial é a criação das raças em cães. Para se gerar uma nova raça é necessário escolher determinados indivíduos que possuam características comuns que objetivamos manter e limitamos o cruzamento a estes indivíduos. Com o passar das gerações, todos os indivíduos gerados passarão a possuir estas características. Como resultado, pode-se chegar a raças com diferenças extremas, como entre um pequinês e um pastor-alemão, por exemplo.

A seleção artificial pode produzir mudanças dramáticas, se for mantida por um tempo suficientemente longo, e exemplos destas mudanças são quase todas as plantações agrícolas existentes.



Seleção artificial é a adaptação e/ou seleção dos seres vivos, conduzida pelo ser humano em animais ou plantas, que mais lhe interessam com o objetivo de realçar certas características dos organismos, como a produção de carne, leite, lã, seda, frutas etc.



Você pode se perguntar: Como o exemplo dos cães pode ser visto como um caso de evolução, se quase todas as raças de cães são inférteis e pertencem à mesma espécie reprodutivamente?

É preciso lembrar que a população é a unidade de evolução e, apesar de os genes, indivíduos e espécies também terem o seu papel, é a modificação das populações que caracteriza a evolução dos seres vivos.

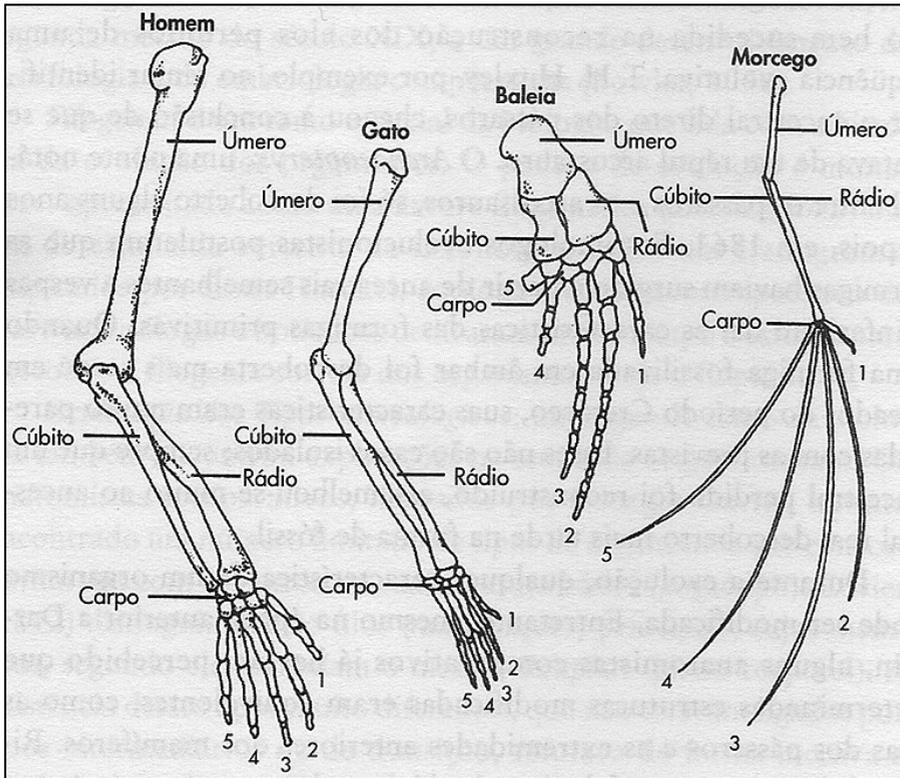
4 HOMOLOGIA

Ao observarmos as espécies atuais, muitas vezes percebemos que existem semelhanças morfológicas entre elas. É o que ocorre, por exemplo, no caso das asas de morcegos, aves e insetos, ou da presença de membros pentadáctilos (cinco dígitos) em animais tetrápodes (que possuem quatro patas).

Poderíamos encontrar ainda diversos exemplos de semelhanças entre outras espécies, mas este não é o nosso objetivo aqui. Importantes para nós são os casos onde as semelhanças têm uma origem evolutiva. Portanto, é necessário definirmos dois termos: **analogia** e **homologia**.

- **Analogia** é o conceito utilizado para classificar as semelhanças entre espécies que podem ser explicadas por um modo de vida compartilhado. Morcegos, aves e insetos possuem asas devido à sua necessidade de voar. Da mesma maneira, tubarões, golfinhos e baleias possuem formato hidrodinâmico, que é explicado pelos seus hábitos de natação. Neste caso, os membros semelhantes são denominados **membros análogos**.
- A **homologia**, por sua vez, é o termo usado para descrever semelhanças entre espécies que não são explicadas pela necessidade funcional, mas sim pela descendência de um ancestral comum, e os membros são chamados **homólogos** (próxima figura). A presença de membros pentadáctilos em mamíferos se encaixa neste grupo. Assim, os membros anteriores de um gato, de um ser humano, de uma baleia e de um morcego são formados pelos mesmos ossos apesar de terem funções distintas, o que é devido ao fato de terem sua origem em um ancestral comum.

FIGURA 10 – MODIFICAÇÕES ADAPTATIVAS DOS MEMBROS ANTERIORES DOS MAMÍFEROS CAUSADAS PELA ADAPTAÇÃO



FONTE: Mayr (2009, p. 48)

5 ESTRUTURAS VESTIGIAIS

Alguns organismos possuem estruturas que são apenas parcialmente funcionais ou completamente não funcionais. Isto ocorre, por exemplo, no caso do apêndice ileocecal humano, dos dentes nos embriões de baleias, de barbatanas ou dos olhos de muitos animais que vivem em cavernas.

Estas estruturas são remanescentes de estruturas que foram funcionais nos ancestrais destes organismos, mas que tiveram a sua utilidade reduzida a partir da modificação na utilização de nichos ecológicos.

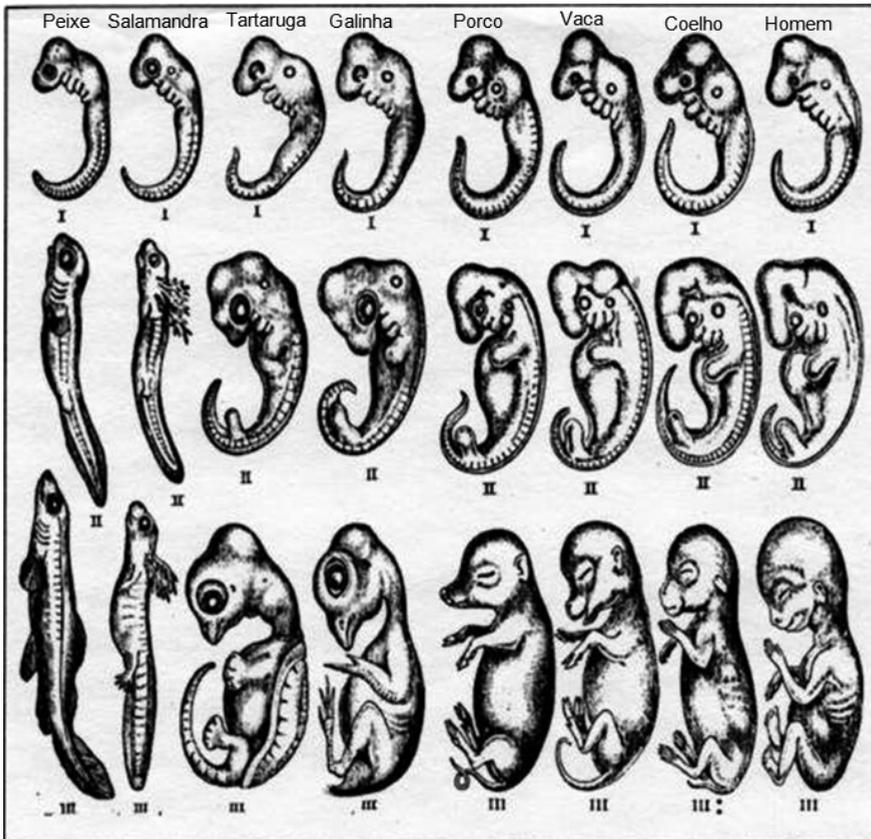
Por terem perdido a sua utilidade, estas estruturas deixam de ser protegidas pela seleção natural e são gradualmente perdidas, tornando-se apenas um indicativo do curso prévio da evolução.

6 EMBRIOLOGIA

Durante o século XVIII, os anatomistas observaram que os embriões dos animais eram, com frequência, bem mais parecidos entre si do que as formas adultas (MAYR, 2009). Um embrião humano, por exemplo, é muito semelhante não só a embriões de outros mamíferos (tal como a vaca, o coelho, o porco), mas, nos estágios iniciais, também aos embriões de répteis, aves e anfíbios. Veja na figura a seguir.

Os opositores de Darwin afirmavam que tais semelhanças não provavam nada, pois todo processo de desenvolvimento vai do simples ao mais complexo e, assim, seria normal os estágios mais simples serem mais parecidos entre si do que os posteriores, mais complexos. Apesar de isto ser parcialmente verdadeiro, os embriões e as larvas sempre apresentam algumas características peculiares à linhagem filética a que pertencem, revelando desta forma o seu parentesco. Ainda, o estudo dos estágios embrionários permite inferir de que forma um estágio ancestral comum se transforma ao longo do tempo em diferentes ramos da árvore filogenética, proporcionando uma melhor compreensão dos caminhos evolutivos.

FIGURA 11 – DESENHO FEITO POR HAECKEL (1870) MOSTRANDO A SEMELHANÇA ENTRE EMBRIÕES DE DIFERENTES ESPÉCIES DE VERTEBRADOS



FONTE: Disponível em: <<http://img528.imageshack.us/i/atgaacuomkd5lszmoeq2h3dg1.jpg> / sr=1>. Acesso em: 24 fev. 2011.

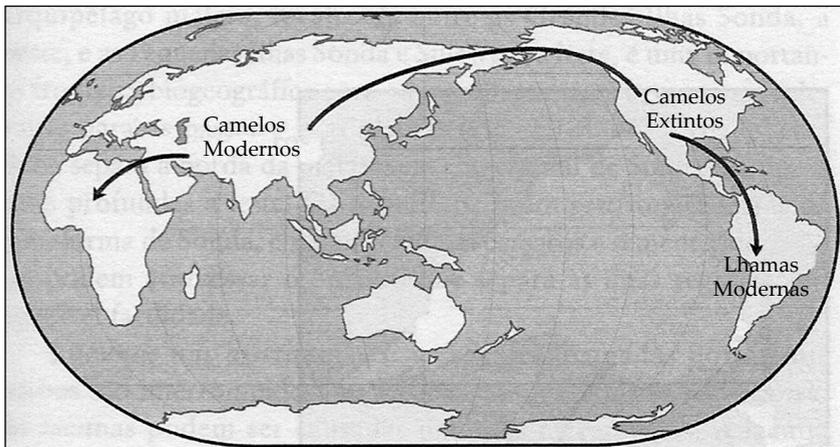
7 BIOGEOGRAFIA

A distribuição dos seres vivos no planeta e a similaridade entre organismos isolados geograficamente também são uma evidência da ocorrência da evolução. Darwin mostrou que a atual distribuição dos animais e plantas se deve à história de sua dispersão a partir de seus pontos de origem, e que quanto mais tempo dois continentes tenham estado isolados um do outro, mais distintas são as suas biotas.

Um exemplo disto é a relativa similaridade entre as biotas da América do Norte e da Europa, contra a grande distinção dos organismos da América do Sul e da África. Não havia explicação para este caso até a descoberta de que, no início do terciário (há 40 milhões de anos), havia uma larga ponte de terra que unia a América do Norte e a Europa. Desta forma, os organismos que habitavam estas regiões tinham livre trânsito entre os continentes, hoje separados.

Já a América do Sul e a África estão separadas há muito mais tempo (cerca de 80 milhões de anos), de forma que as suas biotas divergiram muito durante o longo isolamento, e exemplos de semelhança entre espécies destes continentes são exceções. Porém, uma evidência de que a biota destes dois continentes é composta por ancestrais comuns e sofreu modificação após este isolamento, parece ser a presença de camelos na Ásia e na África e de lhamas na América do Sul. Para ainda haver tal grau de semelhança entre estas duas espécies, o isolamento entre as mesmas teria que ter ocorrido após a separação entre estes continentes, ou seja, deveria haver algum organismo semelhante habitando a América do Norte. Porém isto não ocorre. Foi então sugerido que em algum momento do passado deveria haver camelos na América do Norte, servindo como um elo entre os camelos asiáticos e os sul-americanos. No devido tempo, essa conjectura foi confirmada pela descoberta, na América do Norte, de um grande número de camelos no período Terciário.

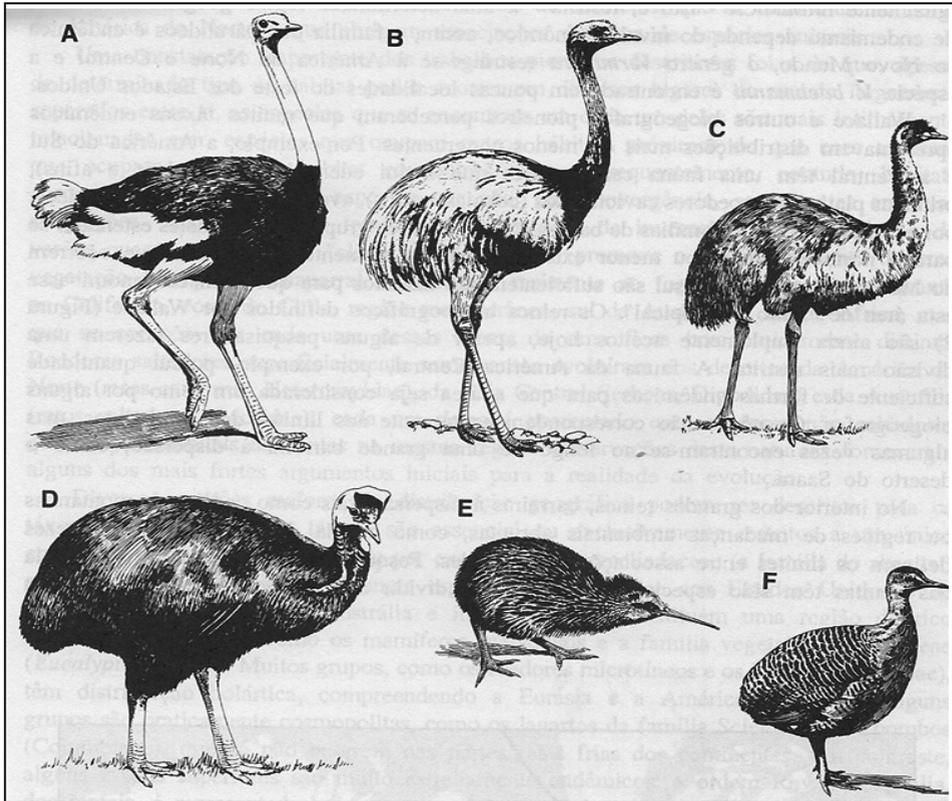
FIGURA 12 – A DESCOBERTA DE UM GRANDE NÚMERO DE FÓSSEIS DE CAMELOS DO PERÍODO TERCIÁRIO NA AMÉRICA DO NORTE MOSTROU QUE NO PASSADO A DISTRIBUIÇÃO DESSES CAMELOS ERA CONTÍNUA



FONTE: Mayr (2009, p. 55)

Outro exemplo é a distribuição das aves ratitas, que incluem o avestruz africano (Struthionidae), as emas (Rheidae) e os inhambus (Tinamiformes) da América do Sul e o emu (Dromiceidae) e casuares (Casuariidae) da região australiana. (FUTUYMA, 2002).

FIGURA 13 – AS FAMÍLIAS VIVAS DE AVES RATITAS. (A) AVESTRUZ AFRICANO (STRUTHIONIDAE). (B) EMA (RHEIDAE) DA AMÉRICA DO SUL. (C) EMU (DROMICEIIDAE) DA AUSTRÁLIA. (D) CASUAR (CASUARIIDAE) DA AUSTRÁLIA E NOVA GUINÉ. (E) KIWI (APTERYGIDAE) DA NOVA ZELÂNDIA. (F) INHAMBU (TINAMIDAE) DA AMÉRICA DO SUL



FONTE: Futuyma (2002, p. 395)

Portanto, muitas vezes os padrões curiosos de distribuição podem ser explicados como o resultado de uma origem comum e, algumas vezes, de extinções subsequentes. Portanto, a evolução continua a fornecer explicações para muitas observações antes enigmáticas.

8 EVIDÊNCIAS MOLECULARES

Com o avanço da biologia molecular, os pesquisadores da área descobriram que as moléculas também evoluem e, de modo geral, quanto mais próximo o parentesco entre dois organismos, mais semelhantes são as suas moléculas. Em muitos casos, onde há dúvida entre o parentesco entre dois organismos devido a evidências morfológicas ambíguas, um estudo em nível molecular permite verificar o grau de parentesco entre eles.

Um exemplo é o que ocorre entre o ser humano e o chimpanzé. Embora as linhagens destas duas espécies tenham se separado há no mínimo seis milhões de anos, as moléculas das hemoglobinas destas duas espécies ainda são praticamente idênticas. Quando é realizada uma filogenia baseada em características morfológicas e comportamentais, ela em geral se revela praticamente idêntica a uma filogenia baseada apenas em características moleculares.

A vantagem em se utilizar análises moleculares é que a estrutura molecular básica de todos os organismos é muito antiga, enquanto que estruturas particulares adquiridas pelos filós de animais, plantas e fungos para que os mesmos pudessem sobreviver em determinados nichos ecológicos, são bem mais recentes. Desta forma, a análise destas estruturas diz muito pouco sobre o grau de parentesco entre os organismos e até mesmo acarretam uma análise precoce da relação entre estes filós. Um exemplo disso é que os fungos sempre foram considerados parentes mais próximos das plantas do que os animais e eram objetos de estudo dos botânicos. Porém, a análise molecular mostrou que, em grande parte da sua química básica, os fungos são muito mais próximos dos animais do que das plantas.

Uma discussão mais detalhada acerca das análises moleculares será feita no Tópico 4 da Unidade 2, quando discutiremos especificamente este tema.

9 REGISTRO FÓSSIL

A análise filogenética dos organismos vivos fornece evidências indiretas de muitos aspectos da sua história evolutiva. Porém, a única evidência direta dessa história é dada pelos registros fósseis. (FUTUYMA, 2002).

É através da descoberta e análise dos fósseis que muitas questões sobre a evolução que inicialmente pareciam forçadas tornam-se inteiramente viáveis. Um exemplo foi a descoberta de fósseis do *Archaeopteryx* em 1861 (figura a seguir), que permitiu confirmar a dedução realizada pelos anatomistas de que as aves provavelmente descendiam de ancestrais reptilianos.

FIGURA 14 – IMAGEM DE UM FÓSSIL DE ARCHAEOPTERYX



FONTE: Disponível em: <<http://www.evolucaoemfoco.com.br/wp-content/uploads/2010/07/Romulo02.png>>. Acesso em: 24 fev. 2011.

Mais detalhes sobre os fósseis serão dados na Unidade 3, quando nos atermos ao estudo da Paleontologia.

LEITURA COMPLEMENTAR

OS OLHOS BRASILEIROS DE DARWIN

Nas selvas catarinenses, o alemão Fritz Müller fez descobertas que encantaram o pai da evolução e os cientistas europeus.

Salvador Gomes

Um lugar distante, de clima imprevisível, com animais estranhos e plantas desconhecidas. Quando o alemão Fritz Müller chegou ao interior de Santa Catarina, em 1852, era como se pousasse em outro planeta. Um planeta onde ele realizou estudos minuciosos, que lhe renderam fama internacional e o apelido de “príncipe dos exploradores” – cortesia de seu ídolo e fã, Charles Darwin.

O fascínio pela fauna e flora abaixo do Equador foi o que atraiu o médico e filósofo de 31 anos ao Vale do Itajaí, um deserto verde onde dois anos antes Hermann Blumenau havia criado uma colônia alemã com o seu sobrenome.

Agnóstico, Müller não se entendeu com o fundador luterano e mudou-se para Desterro (hoje, Florianópolis). Foram 11 anos como professor de matemática e aluno autodidata da vida marinha. Graças a seus estudos, conquistou o prestigiado cargo de naturalista viajante do Museu Nacional do Rio de Janeiro, que garantiria financiamento para suas pesquisas em Blumenau.

Tudo lhe interessava: dissecou plantas para entender a composição de seus órgãos, estudou as asas das borboletas, descreveu a organização social das formigas, pesquisou os formatos de colmeias e analisou os hábitos de águas-vivas e pássaros. Entre crustáceos, insetos, aves e plantas, o alemão identificou 248 novas espécies.

Boa parte dessas descobertas foi dividida com um correspondente muito especial: entre 1865 e 1882, Müller e Darwin trocaram 70 cartas. Não se sabe quem escreveu primeiro, mas o *romance* começou em 1864, quando Müller publicou na Alemanha *Für Darwin* (“Para Darwin”), conjunto de suas observações científicas defendendo a Teoria da Evolução. O inglês encomendava várias pesquisas a Müller e maravilhava-se ao ver a precisão com que o alemão desenhava plantas e dissecava animais. Em 1881, lhe escreveu: “Não acredito que haja alguém no mundo que admire o seu zelo pela ciência e seu grande poder de observação mais do que eu”.

Além de ser uma honra, ajudar o autor de *A Origem das Espécies* (1859) bombava o currículo: Darwin remetia os estudos de Müller a outros cientistas e promovia sua publicação na Europa. Apesar de distantes, Fritz Müller estava incluído na comunidade científica.

Ainda assim, o alemão jamais deixou o Brasil. “Não troco o meu mato pela Europa”, dizia. Admirado como o mais notável dos naturalistas brasileiros, Müller morreu em Blumenau em 1897, quando tinha 75 anos e pesquisava bromélias – uma planta pela qual jamais se interessara, mas que vinha cultivando para atender ao desejo dos dois netos de tê-las no quintal.

FONTE: GOMES, Salvador. Os olhos brasileiros de Darwin. **Super Interessante**, junho, 2009.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você pôde aprofundar seu conhecimento nos seguintes conteúdos:

- Algumas evidências da evolução ocorrem em uma escala de tempo humana de forma que se tornam **fatos observáveis**. Um exemplo deste tipo de evidência foi a modificação dos fenótipos da mariposa sarapintada *Biston betularia* devido à poluição.
- Através da **manipulação experimental** também é possível gerar mudanças evolutivas por um processo que é conhecido como seleção artificial. Este é o caso da criação das raças de cães e da maioria das variedades da agricultura.
- A **homologia**, processo que explica as semelhanças entre espécies que não são explicadas pela necessidade funcional, mas sim pela descendência de um ancestral comum, também é uma evidência da evolução. A presença de membros pentadáctilos em animais tetrápodes se encaixa neste grupo.
- As **estruturas vestigiais** remanescentes, que foram funcionais nos ancestrais destes organismos, mas que tiveram a sua utilidade reduzida a partir da modificação na utilização de nichos ecológicos, são um indicativo do curso prévio da evolução.
- A **embriologia** permite verificar algumas características peculiares à linhagem filética a que os organismos pertencem, revelando desta forma o seu parentesco. Ainda, o estudo dos estágios embrionários permite inferir de que maneira um estágio ancestral comum se transforma ao longo do tempo em diferentes ramos da árvore filogenética, proporcionando uma melhor compreensão dos caminhos evolutivos.
- **Biogeografia** é o estudo da distribuição dos seres vivos no planeta e a similaridade entre organismos isolados geograficamente.
- Muitas vezes os padrões curiosos de distribuição podem ser explicados como o resultado de uma origem comum e, algumas vezes, de extinções subsequentes.
- Em muitos casos onde há dúvida entre o parentesco entre dois organismos devido a evidências morfológicas ambíguas, um estudo em nível **molecular** permite verificar o grau de parentesco entre eles.
- O **registro fóssil** é a única evidência direta da história da evolução dos organismos.

AUTOATIVIDADE



1 Um caso famoso utilizado como prova de que a evolução ocorre foi a mudança ocorrida nas populações da mariposa-sarapintada *Biston betularia*. Explique o que ocorreu com estas mariposas e por que isto pode ser considerado um caso em que a evolução ocorreu.



2 O que são órgãos homólogos e por que eles são uma evidência da evolução?



3 Escolha duas categorias de evidência da evolução e discorra sobre elas.

4 Quem foi Fritz Müller e qual foi a sua importância no desenvolvimento da teoria da Evolução?



FATORES EVOLUTIVOS

1 INTRODUÇÃO

Agora que já discutimos as evidências que provam a existência da evolução, vamos então conhecer os fatores que permitem que este processo ocorra.

A base da evolução é a existência de variação entre os indivíduos. Apenas assim a seleção natural poderá atuar em uma determinada característica. Há diversas fontes de variação e elas variam em intensidade e importância. Neste tópico veremos as principais delas.

2 MUTAÇÃO

Você já teve contato com este processo ao estudar Genética. Nesta disciplina, você teve a oportunidade de estudar o significado do termo e as diferentes formas em que a mutação pode ocorrer. Portanto, não nos ateremos a estes aspectos e focaremos apenas o ponto de vista evolutivo.

As mutações não ocorrem com uma função preestabelecida. Ao contrário, elas são fruto do acaso. Sendo assim, a probabilidade de ocorrência de uma dada mutação não é afetada pela sua utilidade.

Qualquer mutação que provoque modificações no fenótipo de um indivíduo pode ser favorecida ou discriminada negativamente pela seleção natural, de forma que, evolutivamente falando, há três tipos:

- **Mutações benéficas:** são aquelas que permitem aos indivíduos uma maior adaptabilidade ao meio onde vivem, sendo, desta forma, favorecidos pela seleção natural. Um exemplo é o caso da anemia falciforme, que protege as pessoas da malária em certos casos na África, por fazer com que seus portadores sejam mais resistentes a esta doença.
- **Mutações neutras:** são mutações que não afetam a adaptabilidade do fenótipo do indivíduo. São muito mais frequentes do que as benéficas.
- **Mutações deletérias:** são negativas e tendem a ser eliminadas da população. Quando são recessivas, podem sobreviver em indivíduos heterozigotos. Quando resultam na morte do indivíduo antes que ele possa se reproduzir, são chamadas **letais**. Um exemplo é a Síndrome de Down.

Os indivíduos cujos genótipos possuem uma mutação benéfica são favorecidos pela seleção natural, porém, são raros os casos em que isso acontece, uma vez que, quase todas as mutações benéficas concebíveis em uma população estável já foram selecionadas no passado. As mutações neutras, por outro lado, são mais comuns e podem ter grande importância caso haja mudanças no ambiente onde há organismos com estas mutações. Por fim, as mutações deletérias geralmente levam à morte do indivíduo que as contém, mas quando são recessivas podem sobreviver em indivíduos heterozigotos. O valor seletivo desse gene dependerá de sua interação com o restante do genótipo.

3 FLUXO GÊNICO

Adicionalmente à variação genética devida à mutação, uma população frequentemente tem variações genéticas que vieram de outras populações, por meio do fluxo gênico.

Mas você pode se perguntar: o que vem a ser o fluxo gênico?

Fluxo gênico é o processo que permite o intercâmbio de genes entre populações vizinhas, a menos que estas estejam isoladas umas das outras. Este fluxo é possível devido à migração de indivíduos entre as populações, de forma que o acervo genético de cada uma delas seja incrementado com a imigração de indivíduos da outra.

O fluxo gênico é considerado um dos responsáveis pela estabilidade de espécies de distribuição territorial extensa e pela estase (estagnação) de espécies, ou seja, similaridade gênica, com populações numerosas. Desta forma, pode ser considerado um fator conservador no processo evolutivo.

A intensidade de ocorrência de fluxo gênico entre populações varia de acordo com as características das espécies. Assim, pode ser pouco frequente, no caso das espécies possuírem hábitos sedentários (filopátricas), ou abundante, para espécies com grande tendência para se dispersarem (panmíticas).

Um fator a ser considerado é que, dentro de uma determinada população, diferentes indivíduos podem possuir diferentes tendências para a dispersão. Alguns indivíduos podem ser muito filopátricos e reproduzirem-se no entorno do local do seu nascimento. Outros indivíduos podem se dispersar por distâncias relativamente pequenas. Por último, alguns poucos indivíduos podem se afastar de maneira considerável, sendo os mais importantes no ponto de vista evolutivo.

É provável que grande parte dos indivíduos que se deslocar a grandes distâncias não seja bem-sucedida, por não estarem bem adaptados à sua nova localidade; mas, em alguns casos, esses colonizadores de longa distância podem formar **populações fundadoras**.

4 DERIVA GENÉTICA

Deriva genética é o nome dado à variação aleatória da frequência de genes em uma população devido a processos estocásticos (aleatórios), o que pode levar à perda de genes. Este fenômeno tem pouca importância em grandes populações, pois o fluxo gênico logo se encarrega de repor os genes perdidos localmente nas gerações seguintes.

Porém, no caso de pequenas populações, tal como as populações fundadoras, citadas anteriormente, onde pode haver uma amostra bastante distorcida da distribuição de genes da população original, a deriva genética pode facilitar uma reestruturação do genótipo dessas populações.

5 ACASALAMENTO NÃO ALEATÓRIO

Em todas as espécies em que ocorre seleção sexual, um dos parceiros pode ter predileção por determinado fenótipo do companheiro, o que leva ao favorecimento de determinados genótipos. Um exemplo é a preferência por parte das fêmeas do tentilhão-africano (*Euplectes progne*) por machos de caudas longas àqueles de caudas curtas.

Em alguns casos, o acasalamento não aleatório pode resultar em especiação simpátrica, que consiste na formação de uma espécie diferente dentro de uma população devido à formação de um mecanismo de isolamento.

Isto ocorre em alguns peixes em que as fêmeas preferem acasalar com machos que habitam determinados subnichos, como, por exemplo, a zona bentônica de um lago, mesmo que seja possível a esta espécie se alimentar tanto na zona pelágica quanto bentônica. Assim, mesmo havendo machos se alimentando em zona pelágica, as fêmeas darão preferência aos machos da zona bentônica. Neste caso, o acasalamento e a alimentação deixam de ser aleatórios e pouco a pouco podem surgir duas subpopulações, uma que se alimenta na zona bentônica e outra que se alimenta na zona pelágica. Em longo prazo, estas duas subpopulações podem evoluir a tal ponto em que formem duas espécies simpátricas totalmente isoladas.

6 SELEÇÃO NATURAL

Até o momento nós vimos os mecanismos pelos quais é possível explicar a variação existente entre os organismos. Agora veremos como a seleção natural faz a “triagem” dessa variação ao longo do tempo.



Seleção natural pode ser definida como o processo pelo qual as formas de organismos de uma população que estão mais bem adaptadas ao ambiente aumentam em frequência, em relação às formas menos adaptadas, ao longo de uma série de gerações.

Toda espécie de ser vivo produz um número muito maior de indivíduos do que o ambiente é capaz de sustentar. Alguns exemplos disso são a enorme quantidade de ovos postos pelas tartarugas marinhas ou pelos peixes e as inúmeras sementes geradas por um único fruto de uma planta da família *Melastomataceae*.

Cada um destes indivíduos é diferente do ponto de vista genético e é exposto aos mais diferentes perigos antes mesmo de nascer. Assim, a maioria esmagadora morre antes de conseguir se reproduzir e apenas uns poucos, em média dois filhos por casal, sobrevivem e se reproduzem.

O que faz com que estes poucos indivíduos sobrevivam? Isto ocorre ao acaso ou há algo que determina a sua sobrevivência?

Darwin já defendia e diversos estudos demonstraram que esses “vencedores” não são uma amostra da população colhida ao acaso. Eles possuem certos atributos que tornam mais provável a sua sobrevivência.

Desta forma, os genitores da geração seguinte de uma população serão os indivíduos que sobreviveram por sorte ou por possuírem características que os tornam mais bem adaptados às condições ambientais vigentes. Todos os demais membros daquela mesma prole serão eliminados pelo processo de seleção natural.

A seleção natural ocorre em duas etapas (MAYR, 2009, p. 150):

1ª etapa - Produção de variações a partir das mais diversas formas, como vimos anteriormente;

2ª etapa - Aspectos não aleatórios da sobrevivência e da reprodução, tal como a superioridade de certos fenótipos para enfrentar os desafios da vida, quanto à capacidade de encontrar parceiros ou qualquer outro fator que aumente a probabilidade de sucesso reprodutivo.



Apesar de a segunda etapa da seleção natural ser em grande parte determinada, isto não quer dizer que não ocorram eventos casuais de seleção natural. Isto ocorre, por exemplo, quando há catástrofes naturais, tais como furacões, terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas, tempestades de neve e enchentes.

Quase todos os oponentes da teoria da seleção natural de Darwin ignoram o fato desse mecanismo agir em duas etapas, de maneira que alguns dizem que a seleção natural é um processo aleatório e acidental, enquanto outros a consideram determinista. A verdade é que a seleção é uma mistura de ambas.

Mayr (2009, p. 151) cita que “outro erro comum a respeito da evolução é considerá-la um processo teleológico (que tem por objetivo uma causa final). A seleção não tem uma meta a longo prazo, mas ao contrário, age a cada nova geração”.



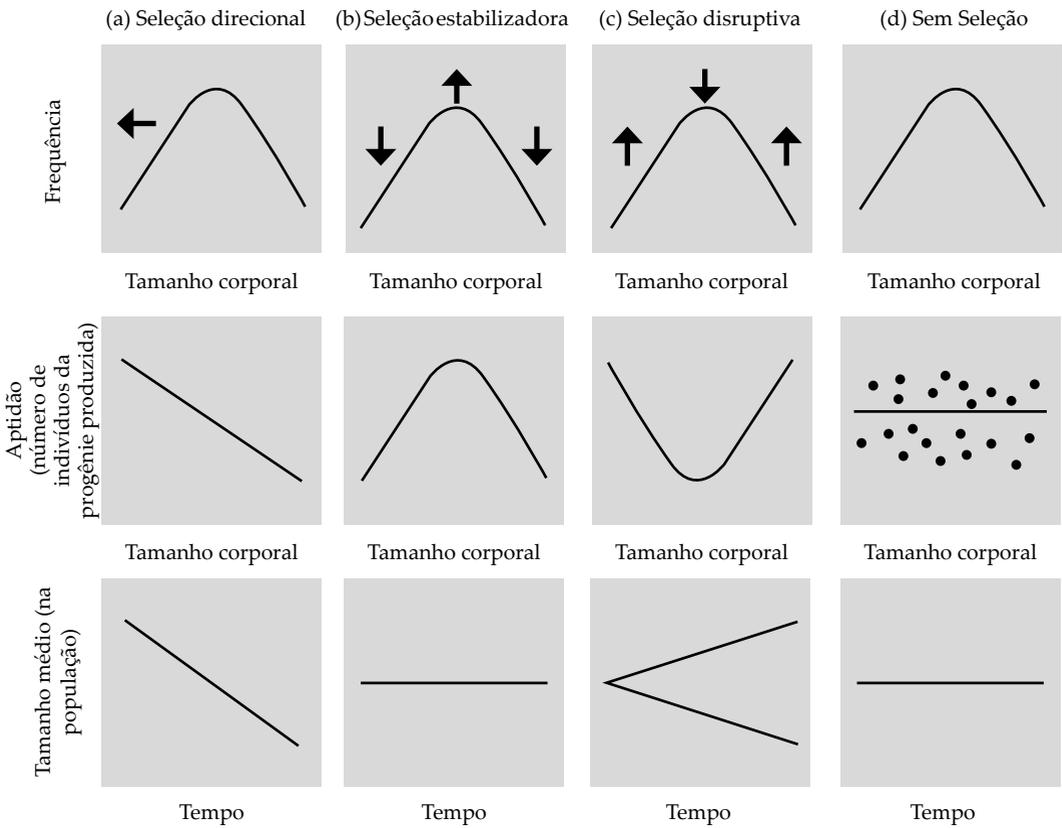
A seleção natural não é apenas capaz de produzir mudanças evolutivas, ela também pode fazer com que uma população se mantenha constante. Se o ambiente é constante e não surge uma forma superior na população, a seleção natural manterá essa população como está. (RIDLEY, 2006, p. 105).

A seleção natural não ocorre de uma única forma. Ao contrário disso, dependendo do caso ela pode ser denominada direcional, estabilizadora ou disruptiva. Isto é particularmente válido para os casos onde os caracteres de determinadas espécies não são tipos distintos. Para explicar melhor, usaremos como exemplo o tamanho corporal humano.

Considere uma determinada população humana. Não haverá nela indivíduos com apenas duas categorias de altura, por exemplo, 1,50 metro e 1,80 metro. Ao contrário disso, haverá um gradiente de altura em que a maioria das pessoas terá uma altura intermediária entre estes dois valores, e alguns poucos se encaixarão em cada um dos extremos, não é mesmo?

Se colocássemos a altura de cada indivíduo em um gráfico, a representação da população apresentaria um formato semelhante ao demonstrado na primeira fileira de gráficos, de acordo com a figura a seguir.

FIGURA15 – OS TRÊS TIPOS DE SELEÇÃO: (A) SELEÇÃO DIRECIONAL. (B) SELEÇÃO ESTABILIZADORA. (C) SELEÇÃO DISRUPTIVA. (D) AUSÊNCIA DE SELEÇÃO. A LINHA SUPERIOR MOSTRA A FREQUÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DO CARÁCTER. A SEGUNDA LINHA MOSTRA A RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO CORPORAL E A APTIDÃO. A LINHA INFERIOR MOSTRA A ALTERAÇÃO ESPERADA NA FREQUÊNCIA DO CARÁCTER AO LONGO DO TEMPO



FONTE: Ridley (2006, p. 107)

Observe que o gráfico reflete a frequência com que cada valor de tamanho corporal aparece na população, havendo uma alta frequência de aparecimento de valores intermediários de tamanho contra uma baixa frequência de pessoas com tamanhos corporais muito pequenos ou grandes. Caso você não tenha compreendido o gráfico, apresentaremos a seguir uma breve explicação do mesmo. Porém, se você tiver entendido, vá adiante.



Você lembra que todo o gráfico apresenta dois eixos, o eixo X e o eixo Y? O eixo X, ou eixo das abscissas, que é representado por uma reta no sentido horizontal na parte inferior do gráfico, é o eixo que apresenta os valores de determinadas medidas obtidas: no nosso caso, o tamanho corporal dos indivíduos de uma dada população. O eixo Y, ou eixo das ordenadas, apresenta-se na vertical e corresponde aos valores com que uma determinada característica ocorre: neste caso particular, a frequência de indivíduos em cada tamanho corporal.

Pois bem, a partir destes dois valores – o da medida e o da frequência – é possível fazer a ligação entre estes pontos no gráfico e depois traçar uma linha ligando todos eles. Esta linha poderá apresentar formato reto, sinuoso ou ainda de parábola (forma de U ou n). O ponto mais alto na linha do gráfico é onde se encontra a maioria das medidas.

No gráfico da nossa figura, a linha apresenta o formato de uma parábola em U invertido (n). Assim, a linha está mais alta na sua porção central, que representa os valores intermediários de tamanho corporal. Então, é possível deduzir que a maioria dos indivíduos apresenta uma altura mediana e poucos possuem um tamanho corporal menor ou maior do que a média.

Agora imaginemos que ocorra uma seleção natural **direcional**. O gráfico que representa a ocorrência deste tipo de seleção é o gráfico (a) da primeira fileira de gráficos da figura. Observe que a seta mostra que a seleção está ocorrendo em favorecimento dos indivíduos com menor tamanho corporal e que o gráfico logo abaixo mostra que, de fato, a aptidão dos indivíduos diminui com o seu maior tamanho corporal. Por fim, o último gráfico mostra que com o passar do tempo a próxima geração de indivíduos da população em questão terá um tamanho corporal menor devido à eliminação daqueles cujo tamanho corporal os fez menos aptos a sobreviver.

Um exemplo da ocorrência deste tipo de seleção é o decréscimo no tamanho corporal que o salmão do Pacífico (*Onchorhynchus gorbuscha*) vem sofrendo ao longo dos anos. Desde 1945 os pescadores passaram a ser pagos por peso e não por indivíduo, como até então era feito. Desta forma, os pescadores incrementaram as suas táticas de pesca de maneira que fossem pescados apenas indivíduos de grande porte. Após esta prática começar a ser empregada, os peixes menores passaram a ter uma maior chance de sobrevivência e a seleção passou a favorecer o menor tamanho na população em questão. De fato, o tamanho do salmão diminuiu em torno de um terço nos 25 anos seguintes. Outro exemplo é a resistência de bactérias a antibióticos e de insetos a inseticidas, havendo sempre a necessidade de se desenvolver novos produtos.

Vamos prosseguir? Observe agora o gráfico (b). Percebeu que as setas indicam que a seleção natural está agindo de forma a favorecer os indivíduos com valores intermediários de tamanho corporal em detrimento daqueles com

tamanho corporal pequeno ou grande? Este tipo de seleção natural é denominado seleção **estabilizadora**, pois age contra mudanças no tamanho corporal e mantém a população constante ao longo do tempo. Para confirmar, observe os dois gráficos abaixo deste primeiro, o que mostra que os indivíduos que têm tamanhos intermediários (e, portanto, a maioria da população) são mais aptos, e o último gráfico, que mostra que o tamanho médio dos indivíduos da população permanece constante ao longo do tempo.

Para este caso, podemos relacionar o peso no nascimento em seres humanos. Alguns estudos realizados entre os anos de 1935 e 1946 mostraram que bebês mais pesados ou mais leves do que a média sobreviviam menos do que bebês com peso médio. Ridley (2006, p. 106) comenta que esta seleção estabilizadora vem operando sobre o peso no nascimento em populações humanas desde a época da expansão evolutiva de nossos cérebros, em torno de 1 a 2 milhões de anos, até o século XX. Atualmente, a seleção vem sendo relaxada devido à melhora no cuidado em partos prematuros e ao aumento de cesarianas.

Chegamos ao nosso terceiro tipo de seleção: a seleção **disruptiva**. Ela ocorre quando os dois extremos são favorecidos em relação aos intermediários. É o que nos mostra o gráfico (c). No nosso caso, isso significa que os indivíduos com tamanhos corporais intermediários têm uma aptidão menor do que aqueles com tamanho corporal pequeno ou grande (observe o segundo gráfico). Assim, ao longo do tempo, a população apresentará mais indivíduos com tamanhos extremos e poucos indivíduos com tamanhos intermediários. Este tipo de seleção é particularmente importante, porque pode aumentar a diversidade genética da população e promover a especiação, assunto do nosso próximo tópico.

O tamanho do bico do tentilhão-africano (*Pyrenestes ostryunus*) se encaixa neste caso. Pesquisadores que acompanharam as populações desta espécie, que se especializou em se alimentar de sementes de ciperáceas, perceberam que a maioria dos indivíduos apresenta bico grande ou pequeno. Após um longo período de estudos, foi descoberto que há várias espécies de ciperáceas nos locais onde esta ave vive, mas há duas espécies predominantes – uma que produz sementes duras e outra que produz sementes macias. Assim, há dois picos de aptidão, um formado por indivíduos com bicos maiores e capazes de manipular sementes duras, e outro formado por indivíduos com bicos pequenos, melhor adaptados ao consumo das sementes macias.

No último caso, quando não há seleção natural (gráfico d), todos os indivíduos apresentarão aptidão semelhante, independente do seu tamanho corporal, de forma que o tamanho corporal médio da população manter-se-á constante ao longo do tempo.



Ficou com dúvidas? Não hesite em reler o texto quantas vezes forem necessárias e, caso ainda restem questionamentos, consulte os tutores internos. Eles terão o maior prazer em ajudá-lo.

7 GENÉTICA DE POPULAÇÕES

Como foi discutido no segundo tópico, após a Síntese Moderna a genética passou a ser um elemento importantíssimo no estudo da Evolução. Desta forma, antes de prosseguirmos nosso estudo, precisamos entender um pouco como estão distribuídas as frequências alélicas e genotípicas nas populações de organismos e como estas frequências podem ser alteradas, bem como as consequências destas mudanças.

7.1 FREQUÊNCIAS ALÉLICAS E GENOTÍPICAS

Antes de começarmos a conversar sobre as frequências alélicas e genotípicas, é importante você relembrar estes termos. **Consulte o seu Caderno de Genética!**

Refrescou a memória? Então vamos em frente, mas, sempre que necessário, retome a leitura dos termos no seu caderno!

O material genético dos organismos propriamente dito é o genoma (haploide) ou o genótipo (diploide). É ele que controla a produção dos tecidos e todos os demais atributos biológicos. O genoma humano, a partir das estimativas atuais, possui algo como 30 mil locos gênicos.

Para os nossos estudos, focaremos em um único loco de cada vez e somente naqueles em que houver mais que um alelo, “porque mudanças evolutivas não ocorrem em um loco que possua duas cópias do mesmo alelo”. (RIDLEY, 2006, p. 126).

A teoria da genética de populações em um loco baseia-se em duas variáveis: a frequência alélica e a frequência genotípica. Para entendermos como se calculam estas frequências, vamos considerar uma população de oito indivíduos, cuja característica é determinada em um único loco gênico, com dois alelos (A e a) e três genótipos (AA, Aa e aa), exemplo retirado de Ridley (2006, p. 126). Cada indivíduo possui dois genes em um loco, que estão distribuídos da seguinte forma:

Distribuição gênica para um indivíduo com dois genes apenas:

Aa							
----	----	----	----	----	----	----	----

Para obtermos as frequências genotípicas, simplesmente contamos o número de indivíduos com cada genótipo, assim:

Frequência de AA = $3/8 = 0,375$

Frequência de Aa = $3/8 = 0,375$

Frequência de aa = $2/8 = 0,25$

De maneira geral, as frequências genotípicas são simbolizadas com as letras P, Q e R, como demonstrado a seguir:

Genótipo	AA	Aa	aa
Frequência	P	Q	R

Estas letras são expressas como porcentagens ou proporções, de forma que em nossa população: P = 0,375; Q = 0,375; e R = 0,25. Para saber se estes valores estão corretos, basta somá-los. O resultado deve ser igual a 1% ou 100%.

Pronto, encontramos as frequências genotípicas! Agora vamos ao cálculo das frequências alélicas.

A frequência alélica também é medida por meio da contagem das frequências de cada gene na população. Note que cada genótipo contém dois genes, de forma que há um total de 16 genes por loco na nossa população de oito indivíduos. Assim:

Frequência de A = $9/16 = 0,5625$

Frequência de a = $7/16 = 0,4375$

Costuma-se representar a frequência de **A** como **p**, e a frequência de **a** como **q** (**ao consultar outras literaturas, você pode encontrar o termo frequência gênica em lugar de alélica, mas no sentido exato o segundo termo é o correto, e por isso foi o escolhido por nós**). As frequências alélicas são calculadas a partir das frequências genotípicas, de forma que:

$$(1) p = P + \frac{1}{2}Q \rightarrow p = 0,375 + \frac{1}{2}0,375 \rightarrow p = 0,375 + 0,1875 \rightarrow p = 0,5625$$

$$(2) p = P + \frac{1}{2}Q \rightarrow p = 0,25 + \frac{1}{2}0,375 \rightarrow p = 0,25 + 0,1875 \rightarrow p = 0,4375$$

7.2 EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG

Continuemos com o nosso exemplo anterior. Nossa questão agora é: se sabemos as frequências genotípicas em uma geração, que os cruzamentos são aleatórios e que não há diferenças seletivas entre os genótipos, como saberemos as frequências genotípicas na próxima geração?

Em 1908, os cientistas Hardy e Weinberg formularam um teorema que permite que estas frequências sejam estimadas. Porém, isto se aplica apenas em populações infinitamente grandes, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso e sobre as quais não há a ação de fatores evolutivos. Nestes casos a estimativa é possível porque as frequências genotípicas e alélicas permanecerão constantes.

Uma população assim caracterizada encontra-se em equilíbrio genético.

Qual é a vantagem deste método? O teorema de equilíbrio de Hardy-Weinberg é importante porque ele permite que se calcule as frequências alélicas e/ou genotípicas de dada população como se ela estivesse nas condições ideais para fazê-lo e depois se compare os resultados com dados obtidos na prática. Se os valores forem significativamente diferentes do esperado, pode-se inferir que fatores evolutivos estão atuando sobre esta população. Em caso contrário, conclui-se que a população está em equilíbrio genético e, portanto, não está evoluindo.

A fórmula que expressa as probabilidades dos diversos genótipos para um par de alelos na população é:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

onde **p** é a frequência de um alelo e **q** é a frequência do outro alelo. Assim, **p²** e **q²** representam as frequências dos homozigotos de um e do outro alelo, e **2pq** representa a frequência dos heterozigotos.

Vamos então voltar ao nosso exemplo. Sabendo que o valor de $p = 0,5625$ e de $q = 0,4375$ e $p^2 + 2pq + q^2 = 1$:

$$\begin{aligned}
 &0,5625^2 + 2(0,5625 \cdot 0,4375) + 0,4375^2 = \\
 &0,3164 + 2 \cdot 0,2461 + 0,1914 = \\
 &0,3164 + 0,4922 + 0,1914 = 1
 \end{aligned}$$

Se a população estiver em equilíbrio, as frequências dos alelos e dos genótipos deverão permanecer constantes ao longo das gerações.

Enfim, chegamos ao final da Unidade 1 do nosso Caderno de Estudos. Ao longo desta unidade vimos quais foram as teorias de origem da vida propostas ao longo do tempo e como hoje acreditamos que a vida tenha surgido. Vimos também as diversas correntes de pensamento sobre a origem das formas de vida atuais, desde o criacionismo (visão mais antiga e ainda vigente) até o neodarwinismo.

Pudemos ainda discutir algumas evidências de que a evolução ocorreu no passado e continua agindo atualmente, e verificar de que forma ela atua sobre os organismos. Foi um bocado de coisa, não?

Mas ainda tem muito mais pela frente. Por isso, relaxe, descanse, assista a um filme ou leia um bom livro. Depois volte à leitura da Unidade 2, onde discutiremos alguns fenômenos resultantes da evolução dos organismos e as diferentes escalas onde este processo ocorre.

Até a Unidade 2!

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você pôde aprofundar o seu conhecimento nos seguintes conteúdos:

- A evolução só é possível porque há variação entre os indivíduos. A fonte dessa variação é diversa, podendo incluir: mutação, fluxo gênico, deriva genética, variação dirigida, elementos móveis e acasalamento não aleatório.
- As mutações não ocorrem com uma função preestabelecida e, de acordo com as modificações ocasionadas no fenótipo de um indivíduo, podem ser favorecidas ou discriminadas negativamente pela seleção natural. Assim, há três tipos de mutação: benéfica, neutra e deletéria.
- Fluxo gênico é o processo que permite o intercâmbio de genes entre populações vizinhas, a menos que estas estejam isoladas umas das outras. É considerado um dos responsáveis pela estabilidade de espécies de distribuição territorial extensa e pela estase (estagnação) de espécies com populações numerosas. Desta forma, pode ser considerado um fator conservador no processo evolutivo.
- Deriva genética é o nome dado à variação aleatória da frequência de genes em uma população devido a processos estocásticos (aleatórios), o que pode levar à perda de genes.
- A deriva genética tem pouca importância em grandes populações, pois o fluxo gênico logo se encarrega de repor os genes perdidos localmente nas gerações seguintes. Contudo, em pequenas populações pode facilitar uma reestruturação do genótipo destas.
- Em todas as espécies em que ocorre seleção sexual, um dos parceiros pode ter predileção por determinado fenótipo do companheiro, o que leva ao favorecimento de determinados genótipos. Em alguns casos, o acasalamento não aleatório pode resultar em especiação simpátrica, que consiste na formação de uma espécie diferente dentro de uma população devido à formação de um mecanismo de isolamento.
- Seleção natural é o processo pelo qual as formas de organismos de uma população que está melhor adaptada ao ambiente aumentam em frequência em relação às formas menos adaptadas, ao longo de uma série de gerações.
- A seleção natural ocorre em duas etapas:
1ª etapa – Produção de variações a partir das mais diversas formas.
2ª etapa – Aspectos não aleatórios da sobrevivência e da reprodução.

- Há três tipos de seleção natural: a seleção direcional, a seleção estabilizadora e a seleção disruptiva.
- É possível estimar se uma população está em equilíbrio ou sob ação da seleção natural através do Teorema de Hardy-Weinberg.
- O Teorema de Hardy-Weinberg se aplica apenas em populações infinitamente grandes, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso e sobre as quais não há a ação de fatores evolutivos. Uma população assim caracterizada se encontra em equilíbrio genético.



1 Para que a evolução ocorra através da seleção natural é necessário que haja variação entre os indivíduos. De que forma esta variação pode ser gerada?



2 A seleção natural age da mesma forma sobre todos os tipos de mutação? Explique.

3 Relacione as colunas, utilizando o código a seguir:



(a) Seleção direcional. (b) Seleção natural. (c) Fluxo gênico. (d) Seleção disruptiva. (e) Mutação benéfica.	()	Tipo de seleção que ocorre quando os dois extremos são favorecidos em relação aos intermediários.
	()	Processo que permite o intercâmbio de genes entre populações vizinhas, a menos que estas estejam isoladas umas das outras.
	()	Um exemplo da ocorrência deste tipo de seleção é o decréscimo no tamanho corporal que o salmão do Pacífico vem sofrendo.
	()	É aquela que permite aos indivíduos uma maior adaptabilidade ao meio onde vivem, sendo, desta forma, favorecidas pela seleção natural.
	()	Processo pelo qual as formas de organismos de uma população que está melhor adaptada ao ambiente aumentam em frequência em relação às formas menos adaptadas, ao longo de uma série de gerações.



Agora, você desenvolverá uma atividade laboratorial da disciplina de Evolução e Paleontologia, retirada do Manual de Atividades Laboratoriais e didático-pedagógicas de Ciências Biológicas.

PRÁTICA – PRODUZINDO “FÓSSEIS” EM SALA DE AULA

1 INTRODUÇÃO



Para a realização desta prática, é necessário realizá-la uma semana antes do início da disciplina de Evolução e Paleontologia, pois para a obtenção dos resultados, o gesso precisa estar totalmente seco para desenformar os “fósseis”.



Para a realização desta prática, é necessário providenciar os materiais previamente.

Evidências indiretas de que os seres vivos evoluíram são vistas na análise filogenética. Entretanto, quando se encontram registros fósseis, obtemos evidências diretas de sua história evolutiva.

Os fósseis são restos de seres vivos de milhões de anos preservados em rochas. Geralmente, apenas as partes duras permaneceram. Mesmo quando nenhuma parte do ser vivo é encontrada, é possível observar as impressões deixadas por ele, como, por exemplo, uma pegada. Peles escamosas e excrementos também ajudam na identificação de seres vivos que habitaram há milhões de anos, assim como sua alimentação.

As descobertas e análises dos fósseis permitem que muitas questões evolutivas, que antes eram deduzidas por características apresentadas por seres atuais, tornam-se viáveis.

Por meio dos fósseis, é possível confirmar deduções sobre a evolução das espécies. Temos um exemplo clássico da descoberta do fóssil do *Archaeopteryx* em 1861 em que se comprovou que as aves provavelmente descendiam de ancestrais reptilianos.

É importante destacar que o conteúdo desta prática relaciona-se com outras disciplinas do curso e/ou áreas afins, especialmente Zoologia I, Zoologia II, Microbiologia, Ecologia, Química Geral e Orgânica, Botânica I, Botânica II e Bioquímica.

Desejamos bom estudo ao longo desta disciplina. Que você perceba a cada leitura e/ou atividade realizada, a satisfação de consolidar a formação do seu conhecimento, tanto profissional como pessoal.

Lembre-se de que, além do seu Tutor Externo, Coordenador, Articulador do Polo de Apoio Presencial, você também pode contar com o Apoio dos Supervisores de Disciplina e os Tutores Internos.

Boa prática!



Esta prática pode ser realizada em grupo, portanto, gerencie seu tempo para práticas que ocupam mais de um encontro presencial.

2 OBJETIVOS

O objetivo desta prática é:

- facilitar a compreensão do mecanismo de fossilização e a formação de alguns tipos de fósseis como: impressão, contramolde e molde.

3 MATERIAIS

- massa de modelar;
- gesso em pó;
- facas e colheres de plástico;
- tigela de plástico;

- copos de plástico grandes;
- tampas de caixa de sapato;
- conchas de moluscos;
- folhas de plantas com nervuras bem evidentes;
- pequenos animais de plástico.

4 PROCEDIMENTO

Etapa 1:

- 1) Em uma tigela de plástico, misture o gesso com água até obter uma massa homogênea e consistente. A proporção é de 1/2 copo de água para 5 colheres de gesso.
- 2) Preencha a tampa de caixa de sapato e alise sua superfície.
- 3) Coloque com cuidado folhas e/ou conchas sobre a superfície do gesso pressionando e deixe secar.
- 4) Quando estiver completamente seco, retire as folhas e/ou conchas e observe as marcas deixadas na superfície do gesso.

FIGURA 1: MODELO DE FOSSILIZAÇÃO DO TIPO IMPRESSÃO



FONTE: Disponível em: <http://3.bp.blogspot.com/_1U-gN6qTBZY/RXnTapsRuxl/AAAAAAAAACY/qtgGlrz1aA/s400/P1010031.JPG>. Acesso em: 1 out. 2012.

Etapa 2:

- 1) Despeje a massa de gesso em um copo de plástico, preenchendo-o até a metade.
- 2) Coloque um animal de plástico ou uma concha, pressionando sobre o gesso.
- 3) Em seguida, despeje mais gesso até cobrir o animal de plástico ou a concha e deixe secar.

- 4) Quando estiver completamente seco, desenforme o gesso, retirando o plástico.
- 5) Com um martelo, quebre o gesso e observe as marcas do animal ou na concha na superfície dos fragmentos de gesso.

FIGURA 2: MODELO DE FOSSILIZAÇÃO DO TIPO CONTRAMOLDE



FONTE: Disponível em: <http://2.bp.blogspot.com/_WeTj4rDmCkU/TBLe7xQWffI/AAAAAAAAAZo/PKtWJyky8tE/s1600/IARA+037.jpg>. Acesso em: 1 out. 2012.

Etapa 3:

- 1) Com a massa de modelar, coloque uma concha ou um animal de plástico sobre a superfície da massa, pressionando-o com força.
- 2) Retire com cuidado a concha ou o animal de plástico para não alterar a marca deixada na massa de modelar.
- 3) Despeje com cuidado a massa de gesso nas depressões da massa de modelar e deixe secar.
- 4) Retire as peças de gesso.

FIGURA 3: MODELO DE FOSSILIZAÇÃO DO TIPO MOLDE



FONTE: Disponível em: <<http://eb1n34.blogspot.com.br/2011/05/fosseis-em-15-minutos.html>>. Acesso em: 1 out. 2012.

5 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização da prática, descreva os resultados obtidos e discuta-os a partir dos questionamentos a seguir:

- 1) Que tipo de fóssil foi simulado em cada experimento?
- 2) Como esses processos ocorreram e se preservaram?
- 3) Você consegue diferenciar cada tipo de fóssil? Explique como diferenciá-los.

REFERÊNCIAS

BRANDT, Cláudia Sabrine; TORRES, Edson. **Evolução e paleontologia**. Indaial: UNIASSELVI, 2011.

<<http://entendendoovelhodarwin.blogspot.com.br/2010/09/tarefa-aula-pratica-produzindo-fosseis.html>>. Acesso em: 1 out. 2012.

<<http://www.angelfire.com/ar/paccanaro/oqueum.html>>. Acesso em: 1 out. 2012.

MECANISMOS E PROCESSOS EVOLUCIONISTAS

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Nessa unidade vamos:

- reconhecer a especiação como processo responsável pela origem de novas espécies;
- perceber o papel da adaptação dos organismos como premissa para a ocorrência do processo evolutivo;
- conhecer o principal método utilizado para classificar as relações ancestrais entre as espécies;
- verificar que a evolução pode atuar acima ou abaixo do nível populacional;
- conceber o ser humano como espécie animal resultante do processo evolutivo da ordem Primates.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade de estudos está dividida em seis tópicos. Ao final de cada um deles, você encontrará atividades que o/a auxiliarão na apropriação dos conteúdos apresentados.

TÓPICO 1 – ESPECIAÇÃO

TÓPICO 2 – ADAPTAÇÃO

TÓPICO 3 – CLADOGRAMAS

TÓPICO 4 – EVOLUÇÃO MOLECULAR

TÓPICO 5 – MACROEVOLUÇÃO

TÓPICO 6 – EVOLUÇÃO HUMANA

1 INTRODUÇÃO

Anteriormente discutimos os processos evolutivos aos quais uma população está sujeita. Porém, se esses fossem os únicos processos possíveis, o número total de espécies no mundo não poderia aumentar. Se a espécie se extinguisse, não haveria como substituí-la e, conseqüentemente, haveria pouca diversidade.

Assim, qual é o processo responsável pela formação de novas espécies?

Esta pergunta é feita há muito tempo. Lamarck, por exemplo, já se preocupava com esta questão e tentou resolvê-la ao propor que as espécies poderiam surgir a partir da geração espontânea (ver Unidade 1, Tópico 1). Hoje sabemos que isto não é possível.

Mas então, como as mais diversas espécies surgem? Os cientistas levaram muito tempo para resolver este enigma. Darwin foi um dos que tentou explicar a origem de tamanha diversidade, mas não teve êxito. O trabalho de Mendel causou retrocesso maior ainda a esta busca, pois a partir dele os pesquisadores passaram a focar seus estudos no âmbito dos genes, cuja metodologia não é a mais adequada a este tipo de estudo.

Foi somente por volta de 1940, após a chamada síntese evolucionista, que os geneticistas e naturalistas-taxonomistas começaram a trocar informações e pôde-se perceber que o estudo da especiação exige algumas etapas. Assim, não é suficiente estudar uma única população em tempos distintos. É preciso estudar diferentes populações contemporâneas de uma espécie (as chamadas **demes**) ao mesmo tempo. A partir de então, passa-se a acompanhar as diferentes raças geográficas de uma mesma espécie, isoladas ou não geograficamente. Por fim, estudam-se as diferenças entre as espécies, principalmente as simpátricas, que parecem mais próximas. Colocando estes diferentes tipos de população na sequência correta, é possível reconstituir o processo de especiação.

2 ESPECIAÇÃO

A especiação é o processo de produção de várias novas espécies a partir de uma única espécie parental, através do isolamento reprodutivo. Não existe um único caminho pelo qual a especiação ocorre. Ao contrário, os cientistas têm proposto diferentes formas com que a formação de novas espécies é possível. A seguir veremos algumas delas.

2.1 ESPECIAÇÃO GEOGRÁFICA OU ALOPÁTRICA

A especiação alopátrica é aquela em que uma nova espécie surge quando uma população adquire mecanismos de isolamento enquanto está separada da população que lhe deu origem. Este tipo de especiação, que parece ser o modo exclusivo de especiação entre aves e mamíferos, é o mais estudado entre os cientistas. (MAYR, 2009).

A especiação alopátrica ocorre da seguinte maneira. Nem todas as populações de uma determinada espécie estão em contato umas com as outras, trocando genes ativamente. Algumas populações encontram-se isoladas geograficamente das demais, por barreiras ocasionadas por rios, montanhas, desertos e outras situações desfavoráveis à permanência da espécie. Desta forma, estas populações não conseguem manter um fluxo gênico constante, de maneira que começam a evoluir de forma distinta das demais populações que mantêm a troca de material genético. Esta população que evolui de forma isolada das demais populações recebe o nome de **espécie incipiente**.

Em uma população isolada, alguns processos genéticos podem ocorrer de forma distinta àquela que acontece nas demais populações. Podem haver mutações, recombinações, eventuais imigrações de outras populações, e o fator talvez mais importante: uma população isolada encontra-se em um ambiente, pelo menos em parte, diferente daquele da população parental, de forma que a seleção pode atuar de forma particular sobre ela. Caso esse processo continue por um tempo suficientemente longo, a população isolada poderá se tornar geneticamente diferente, ao ponto de ser considerada uma espécie distinta.



Das diversas espécies incipientes formadas a todo o momento, grande parte delas se reintegra à população que lhe deu origem antes que o processo de especiação alopátrica se complete. Apenas uma pequena parcela completa o processo de especiação.

A especiação alopátrica pode ser dividida em dois tipos: especiação **vicariante** e especiação **peripátrica**.

- **Especiação vicariante:** neste tipo de especiação, o isolamento da população é ocasionado pelo surgimento de uma barreira geográfica entre duas regiões habitadas por uma mesma espécie. (MAYR, 2009). Este é o caso dos exemplos dos camelos e lhamas e das aves ratitas, citado na Unidade 1, Tópico 3, ao falar das evidências da evolução proporcionadas pela Biogeografia. Dois exemplos brasileiros são os da jararaca-ilhoa (*Bothrops insularis*) e o preá-da-ilha-Moleques-do-Sul (*Cavia intermedia*).

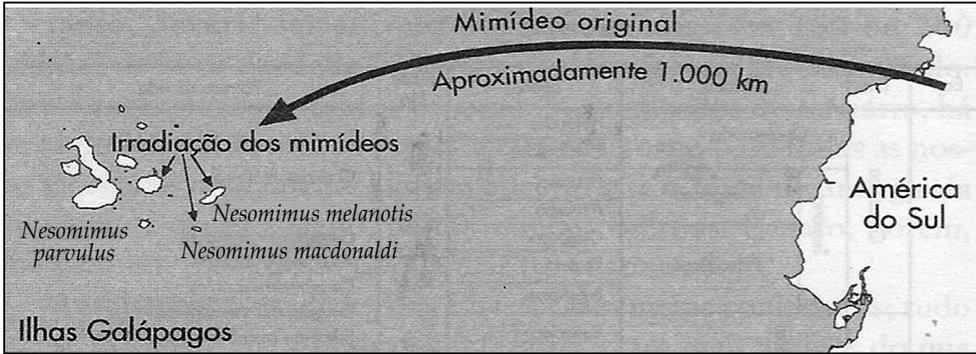


Para informações sobre a jararaca-ilhoa e o preá-da-ilha-Moleques-do-Sul, consulte <<http://eco.ib.usp.br/labvert/insularis%20ciencia%20hoje.pdf>> (jararaca-ilhoa) e <http://www.oeco.com.br/reportagens/1154-oeco_12594> (preá).

- **Especiação peripátrica:** ocorre quando o isolamento é ocasionado pela colonização de uma dada área fora da região originalmente ocupada por uma espécie por uma população fundadora (ver Unidade 1, Tópico 4, Fluxo Gênico). Esta população fundadora está separada das demais populações por uma barreira natural e pode evoluir de forma particular.

Esta foi a explicação utilizada por Darwin para explicar a ocorrência de espécies de aves da família Mimidae em diferentes ilhas do arquipélago de Galápagos. Segundo ele, estas espécies são resultantes da colonização destas ilhas por um mimídeo da América do Sul, e sua posterior evolução até tornarem-se espécies distintas (Figura 16).

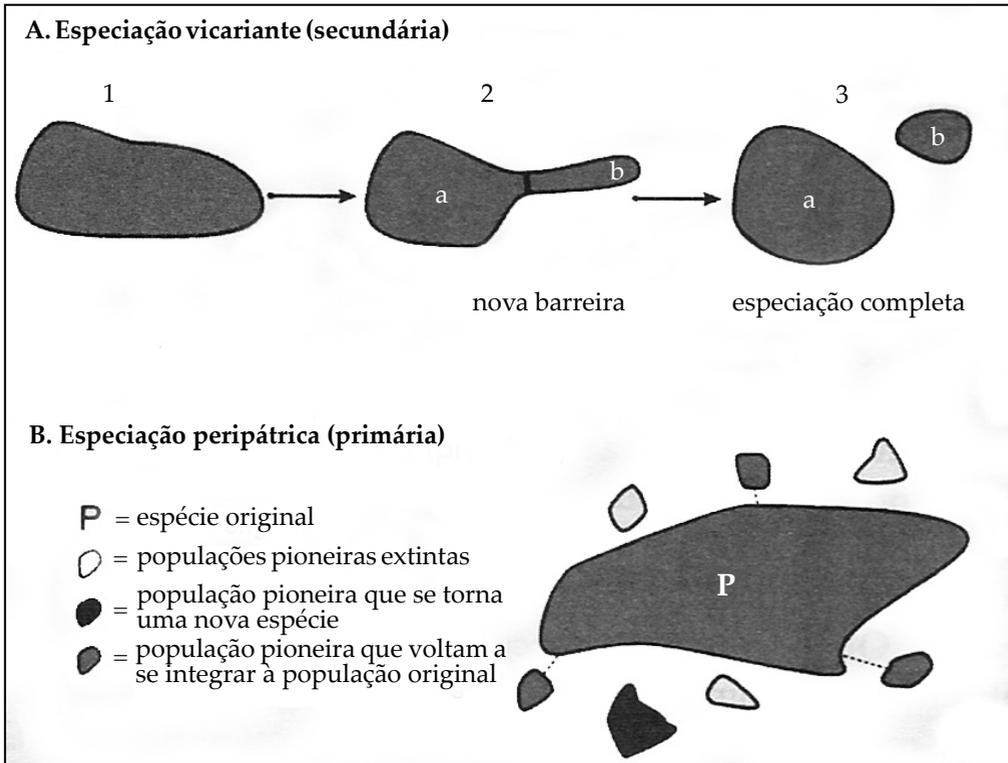
FIGURA 16 – COLONIZAÇÃO DAS ILHAS GALÁPAGOS POR UM MIMÍDEO DA AMÉRICA DO SUL E SUA SUBSEQUENTE EVOLUÇÃO EM TRÊS ESPÉCIES LOCAIS



FONTE: Mayr (2009, p. 42)

Uma representação destes dois tipos de especiação alopátrica é apresentada na próxima figura.

FIGURA 17 – DUAS FORMAS DE ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA



FONTE: Mayr (2009, p. 212)

2.2 ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA

Este tipo de especiação acontece nos casos em que o isolamento reprodutivo, e posterior formação de uma nova espécie, ocorre dentro dos limites de uma população panmítica (ver Unidade 1, Tópico 4, Fluxo Gênico).

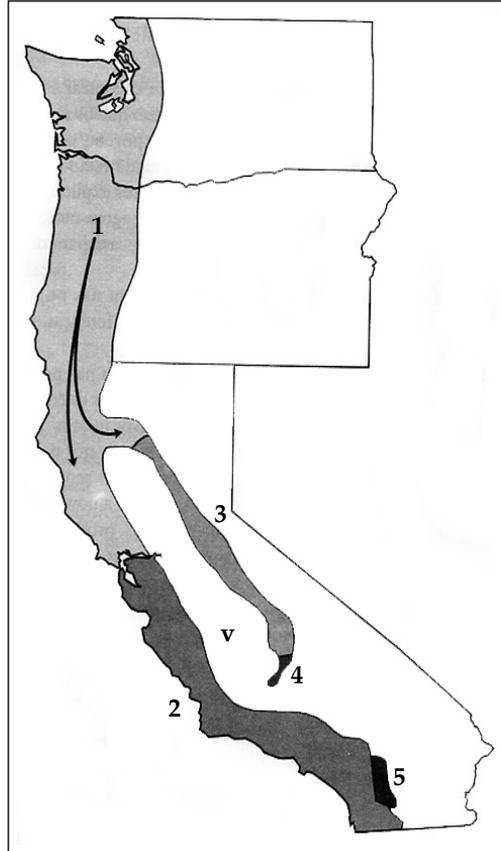
Muitos modelos de especiação simpátrica se baseiam na seleção disruptiva e, portanto, um exemplo é o do tentilhão-africano citado no tópico anterior (Tópico 4, Unidade 1). Este tipo de especiação também parece ser a melhor explicação para a existência de duas ou mais espécies de peixes de água doce muito semelhantes entre si habitando a mesma região.

Todavia, a maioria dos modelos existentes para este tipo de especiação é muito controversa. (FUTUYMA, 2002).

2.3 ESPECIAÇÃO PELA DISTÂNCIA (SOBREPOSIÇÃO CIRCULAR)

A especiação pela distância ocorre nas espécies que possuem uma longa cadeia de populações que se volta sobre si mesma. Para entender melhor, observe a figura a seguir:

FIGURA 18 – SOBREPOSIÇÃO CIRCULAR DA SALAMANDRA *Ensatina eschscholtzii*. A ESPÉCIE PARTIU DO NORTE (1) E SE DIVIDIU EM DOIS RAMOS (2 E 3), CONTORNANDO O VALE CENTRAL (V). UM DOS RAMOS ACOMPANHOU A SIERRA NEVADA, DANDO ORIGEM ÀS SUBESPÉCIES 4 E 5; O OUTRO SEGUIU AS CADEIAS COSTEIRAS. OS DOIS RAMOS SE ENCONTRARAM NO SUL DA CALIFÓRNIA, REGIÃO 5, E HOJE COEXISTEM SEM SE ENTRECruZAR



FONTE: Mayr (2009, p. 217)

Conforme você verificou no exemplo anterior, o que ocorre é que as populações nas extremidades da cadeia são tão diferentes geneticamente que os indivíduos não conseguem mais se entrecruzar, comportando-se, portanto, como se pertencessem a espécies distintas.

Um questionamento que tem sido feito pelos cientistas é se uma cadeia deste tipo deve ser considerada como uma única espécie ou deve ser dividida em duas (ou mais) espécies? As pesquisas mais recentes favorecem a segunda alternativa.

A especiação geralmente não é adaptativa por si mesma, sendo o subproduto da diferenciação adaptativa sob seleção. Porém, ela apresenta consequências para a adaptação e para a evolução a longo prazo. (FUTUYMA, 2002).

A rapidez com que o processo de especiação ocorre, ao que tudo indica, é determinada por fatores ecológicos. Por exemplo, quando ocorre uma barreira geográfica ou ecológica e quase não há fluxo gênico entre as diferentes populações, a especiação ocorre de maneira rápida e eficaz. O mesmo ocorre em arquipélagos e regiões continentais com padrões insulares de distribuição. Porém, em regiões continentais uniformes, quase não há especiação. (MAYR, 2009).

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A especiação é o processo de produção de várias novas espécies a partir de uma única espécie parental, através do isolamento reprodutivo.
- A especiação pode ocorrer de várias formas, entre as quais as mais comuns são: especiação alopátrica, especiação simpátrica e especiação pela distância.
- A especiação alopátrica é aquela em que uma nova espécie surge quando uma população adquire mecanismos de isolamento enquanto está separada da população que lhe deu origem. Há dois tipos de especiação alopátrica: especiação vicariante e especiação peripátrica.
- A especiação simpátrica acontece nos casos em que o isolamento reprodutivo, e posterior formação de uma nova espécie, ocorre dentro dos limites de uma população panmítica.
- A especiação pela distância ocorre nas espécies que possuem uma longa cadeia de populações que se volta sobre si mesma.



1 Por que uma população isolada é mais susceptível à formação de uma nova espécie do que populações que mantêm certa migração de indivíduos?



2 A especiação alopátrica pode ser dividida em dois tipos. Cite-os e aponte a diferença entre eles.



3 Complete as lacunas das sentenças a seguir:



a) A especiação _____ ocorre quando duas _____ das extremidades de uma cadeia circular são tão diferentes em termos _____ que não conseguem mais se entrecruzar.

b) As especiações alopátrica e simpátrica diferenciam-se principalmente devido à primeira ocorrer quando a população está _____ geograficamente, enquanto que na especiação simpátrica este processo é apenas _____.

ADAPTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Ao longo deste caderno, você provavelmente leu várias vezes os termos “apto” e “adaptação”. Você saberia defini-los?

De maneira geral, costumamos utilizar a palavra adaptação para designar as mudanças ocorridas nas características de algo ou alguém a fim de satisfazer as nossas necessidades, não é mesmo?

Na Biologia Evolutiva o termo adaptação tem uma conotação semelhante, sendo conceituado como uma característica que, devido ao aumento que confere no valor adaptativo, foi moldada por forças específicas de seleção natural que atuam sobre a variação genética. O que muda é a escala de atuação, como veremos a seguir.

Ao longo deste tópico vamos discutir o porquê e como o processo de adaptação ocorre na natureza e “molda” as diferentes espécies de seres vivos.

2 ADAPTAÇÃO

Quando observamos um aquário, podemos perceber que os peixes possuem um formato que facilita o seu deslocamento, nadadeiras que os auxiliam na natação e brânquias que permitem a sua respiração dentro da água. Podemos dizer, portanto, que estes animais estão adaptados ao ambiente aquático.

As plantas de ambientes xéricos (ambientes mais secos), com a ausência de folhas e presença de espinhos, também parecem adaptadas ao seu local de ocorrência.

Porém, devemos ter cuidado ao utilizarmos este termo, porque nem todas as características de um organismo são de fato adaptações, o que torna crítica a questão de como definir se um determinado traço é ou não adaptativo.

Uma das melhores formas para buscar informações sobre as adaptações foi criada por Darwin e é chamada de **método comparativo**. Este método consiste em tentar correlacionar as diferenças entre as espécies com os fatores ecológicos. Porém, não basta obter-se uma correlação entre o número de espécies que possuem determinada característica em comum. É necessário contar o número de vezes em que um caracter surgiu, independentemente da filogenia, e determinar se cada um desses eventos evolutivos ocorreu em um contexto seletivo particular.

Portanto, este método é mais poderoso quando se baseia em casos de evolução convergente, como o exemplo das plantas xéricas citado anteriormente, que, apesar de não serem aparentadas, compartilham características que lhes conferem adaptação ao ambiente desértico.

Atualmente acredita-se que os atributos que favorecem o indivíduo na luta pela sobrevivência tenham sido adquiridos pela seleção natural ou, se tiverem surgido ao acaso, tenham sido favorecidos pela seleção.

É muito importante ter em mente que a adaptação é a propriedade de um **indivíduo**, seja uma estrutura, um traço fisiológico, um comportamento ou outra coisa que o indivíduo possua e tenha sido favorecida pela seleção natural em relação às propriedades alternativas. Assim, a adaptação não é um processo pelo qual o traço favorável é adquirido, uma vez que o indivíduo não é capaz de moldar as suas características: ou ele é adaptado ou ele não é! Em caso positivo, e havendo seleção natural, este indivíduo permanecerá na população. Em caso negativo, sob as mesmas condições, ele será eliminado.



É importantíssimo que você compreenda que a adaptação não é um processo teleológico, ou seja, que tenha uma meta em longo prazo, mas sim um resultado *a posteriori* de uma eliminação ou seleção.

As adaptações adotadas por algumas espécies são surpreendentes, tal como as adaptações dos albatrozes do Oceano Antártico para maximizar o seu sucesso reprodutivo. Veja o quadro a seguir:

QUADRO 1 – A BAIXA FECUNDIDADE DO ALBATROZ

Característica	Albatroz	Outras aves
Número de ovos por postura	1	2 a 10
Idade de Reprodução	7 a 9 anos	1 ano ou menos
Ciclo sexual	2 anos ou mais	1 ano ou menos
Expectativa de vida	Estimada em 60 anos ou mais	Menos de 2 anos

FONTE: Adaptado de: Mayr (2009, p. 183)

Como é possível verificar no quadro, os albatrozes iniciam suas atividades reprodutivas mais tardiamente do que a maioria das aves e possuem uma baixa taxa de fecundidade por postura, colocando apenas um ovo a cada dois anos. Como a seleção natural teria agido de tal forma a selecionar um modo de vida tão extremo?

Alguns pesquisadores intrigados com o assunto passaram a acompanhar as populações de albatrozes e perceberam que estas aves nidificam em alto-mar, local extremamente volúvel a tempestades e outras intempéries. Por outro lado, eles têm a vantagem de poder colonizar espaços livres de predadores e outros potenciais competidores, e um longo tempo para aprimorar as suas táticas para encontrar rotas onde o alimento esteja disponível em quantidade suficiente para alimentar o seu único filhote. Assim, a redução drástica na fecundidade dos albatrozes é compensada pela maior longevidade dos adultos.

3 O NICHU COMO AGENTE SELECIONADOR

Costuma-se dizer que as espécies estão adaptadas ao ambiente onde vivem. Este termo, porém, é bastante vago e confuso, visto que um determinado ambiente é ocupado de maneira bastante diferente por uma formiga e uma cotia, por exemplo. É aqui que entra o nicho.

Você, certamente, já ouviu falar em nicho como sendo a profissão da espécie. Infelizmente, esta é a forma como os livros didáticos o conceituam, sendo responsáveis por essa definição totalmente deturpada do termo. Se você tinha esta como a sua definição de nicho, por favor, esqueça-a!

Nicho é corretamente definido como o conjunto específico de propriedades ambientais que proporcionam a uma espécie as condições necessárias à sua sobrevivência. Ele é um espaço n-dimensional, no sentido de que há uma infinidade de propriedades envolvidas. Estas dimensões podem ser, por exemplo, a disponibilidade de água, o pH do solo, o nível de insolação, a declividade do terreno, a existência de troncos podres, a ausência de luz, a intensidade do vento, a pressão atmosférica etc. Não há uma diferença enorme no conceito citado nos livros didáticos com o aqui apresentado?

Na natureza há milhões de nichos potenciais que estão ocupados pelas inúmeras espécies que a eles se adaptaram.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você pôde aprofundar os seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- Na Biologia Evolutiva o termo adaptação tem uma conotação semelhante, sendo conceituado como uma característica que, devido ao aumento que confere no valor adaptativo, foi moldada por forças específicas de seleção natural que atuam sobre a variação genética.
- Uma das melhores formas para buscar informações sobre as adaptações foi criada por Darwin e é chamada de **método comparativo**. Este método consiste em tentar correlacionar as diferenças entre as espécies com os fatores ecológicos.
- Atualmente, acredita-se que os atributos que favorecem o indivíduo na luta pela sobrevivência tenham sido adquiridos pela seleção natural ou, se tiverem surgido ao acaso, tenham sido favorecidos pela seleção.
- A adaptação é a propriedade de um **indivíduo**, seja uma estrutura, um traço fisiológico, um comportamento ou outra coisa que o indivíduo possua e tenha sido favorecida pela seleção natural em relação às propriedades alternativas.
- Nicho é corretamente definido como o conjunto específico de propriedades ambientais que proporcionam a uma espécie as condições necessárias à sua sobrevivência. Ele é um espaço n-dimensional, no sentido de que há uma infinidade de propriedades envolvidas. Estas dimensões podem ser, por exemplo, a disponibilidade de água, o pH do solo, o nível de insolação, a declividade do terreno, a existência de troncos podres, a ausência de luz, a intensidade do vento, a pressão atmosférica.

AUTOATIVIDADE



1 Classifique V para as sentenças verdadeiras e F para as falsas:



- () No método comparativo, instituído por Darwin, basta obter uma correlação entre o número de espécies que possuem determinada característica em comum.
- () Nicho é corretamente descrito como a profissão da espécie.
- () Acredita-se que os atributos que favorecem o indivíduo na luta pela sobrevivência tenham sido adquiridos pela seleção natural ou ao menos tenham sido favorecidos por este processo.
- () A similaridade em alguma característica entre espécies não aparentadas, que ocupam nichos semelhantes, pode ser uma evidência de que esta é fruto da seleção natural.

2 Por que se costuma dizer que a adaptação é uma propriedade do indivíduo?



CLADOGRAMAS

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande número de espécies de seres vivos descritas (algo em torno de dois milhões de espécies, sendo que, destes, 1,5 milhão só de animais!), percebe-se a necessidade de criação de um sistema de classificação.

Diversos métodos já foram sugeridos, mas, atualmente, em biologia, utilizam-se principalmente dois métodos: um baseado no princípio fenítico ou fenotípico de classificação e outro baseado no princípio filogenético.

Os métodos baseados no princípio fenítico ou fenotípico, como o próprio nome sugere, levam em consideração as semelhanças morfológicas, sem fazer relação alguma com a evolução das espécies. Os métodos filogenéticos, por sua vez, têm como princípio a evolução. Assim, só os organismos que possuem relações evolutivas podem ser classificados por este método.

Considerando o tema abordado em nosso caderno, focaremos nossa discussão nos métodos de classificação filogenética, apesar de, na maioria dos casos biológicos reais, os princípios fenotípicos e filogenéticos coincidirem.

2 CLADISMO OU SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA

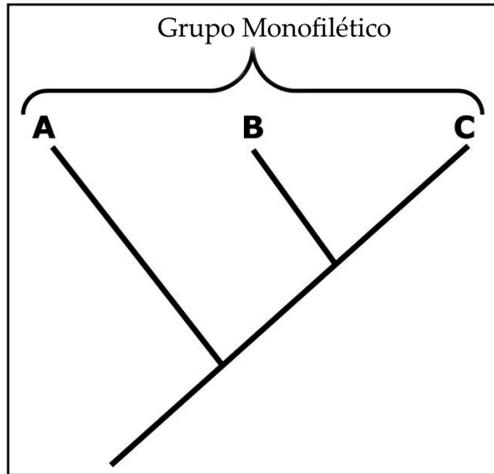
A classificação baseada na filogenia das espécies é chamada de sistemática filogenética ou cladismo (*clado = ramo*) e é atualmente a mais aceita pela maioria dos biólogos, por ser bem justificada teoricamente.

Esta forma de classificação relaciona as espécies de acordo com a recentidade com que elas compartilham um ancestral comum, de forma que o fundamento das relações cladísticas são relações ancestrais. A hierarquia de ramificações das relações ancestrais é única, retrocedendo até o começo e incluindo tudo o que é vida. Quanto mais distante for o ancestral comum de duas espécies, maior será a distância entre as classificações de seus respectivos agrupamentos.

Para os cladistas é importante distinguir os grupos monofiléticos, parafiléticos e polifiléticos, cujas definições constam a seguir:

Grupo Monofilético: grupo de espécies que possui um único ancestral comum (Figura 19).

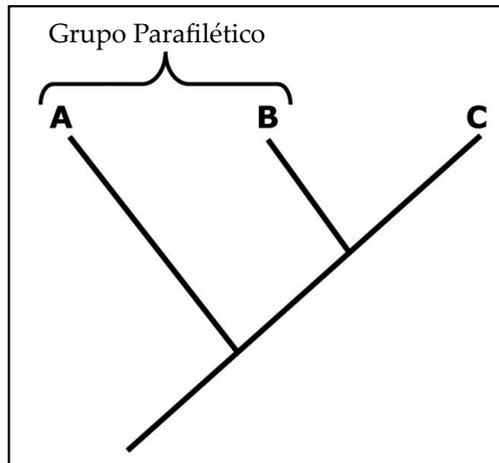
FIGURA 19 – EXEMPLO DE GRUPO MONOFILÉTICO (DESTACADO PELO COLCHETE)



FONTE: Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/paleodigital/images/taxonomia3.jpg>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

Grupo Parafilético: contém alguns, mas não todos os descendentes de um ancestral comum.

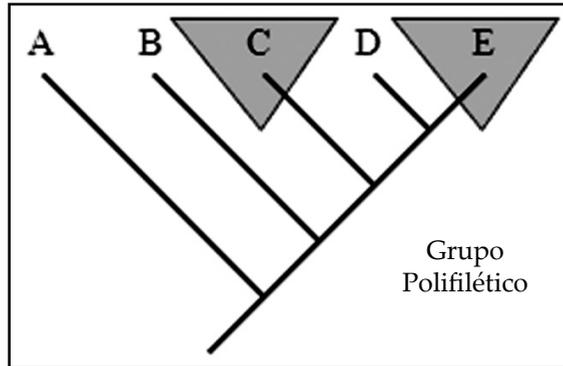
FIGURA 20 – EXEMPLO DE GRUPO PARAFILÉTICO (DESTACADO PELO COLCHETE)



FONTE: Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/paleodigital/images/taxonomia4.jpg>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

Grupo Polifilético: há duas linhagens que se desenvolveram, convergentemente, apresentando condições de caráter semelhante.

FIGURA 21 – EXEMPLO DE GRUPO POLIFILÉTICO (DESTACADO PELOS TRIÂNGULOS)

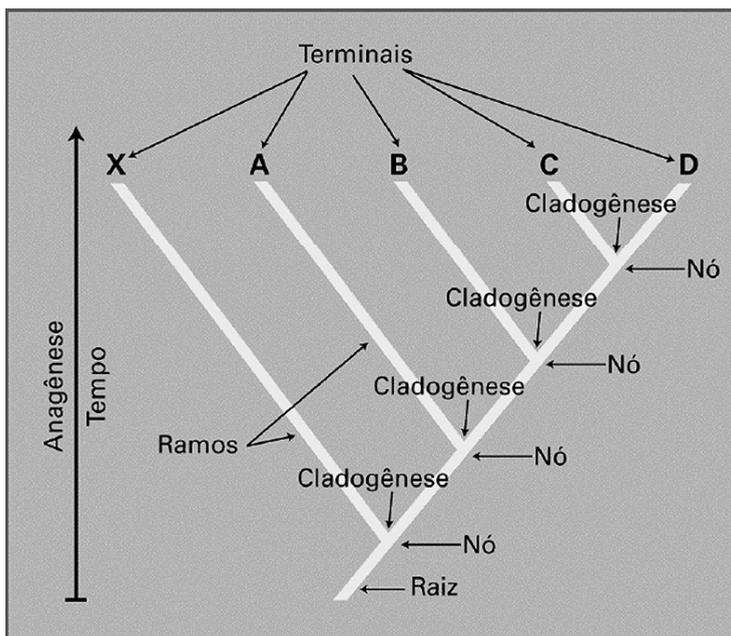


FONTE: Disponível em: <<http://www.coccinellidae.cl/paginasWebChile/ImagenesOriginal/Varios/polifiletico.gif>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

A despeito de as espécies poderem ter relações monofiléticas, parafiléticas ou polifiléticas, o cladograma (representação gráfica do processo de evolução) só pode ser construído a partir de relações monofiléticas, porque só elas têm o arranjo hierárquico evidente da árvore filogenética.

Veja a seguir um exemplo de cladograma:

FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO DE UM CLADOGRAMA E DE SEUS COMPONENTES



FONTE: Mendonça e Lopes (2011)

Como você pôde observar, um cladograma é formado pela raiz, pelos nós, pelos ramos e pelos terminais. Segue a definição de cada um destes termos:

- **Raiz:** simboliza um provável grupo (ou espécie) ancestral do grupo a ser considerado.
- **Nós:** pontos onde ocorreram eventos cladogênicos.
- **Ramos:** linha que conduz a um ou mais ramos, grupos terminais.
- **Terminais:** indica o surgimento do táxon em questão (espécie, gênero, família etc).



Você percebeu que à esquerda da figura há uma seta apontando para cima e a palavra anagênese escrita ao lado? Esta seta indica a direção do tempo, ou seja, a ordem cronológica dos eventos. A palavra anagênese, por sua vez, representa a progressiva evolução de caracteres que surgem ou se modificam, alterando a frequência genética de uma população.



Um exemplo de cladograma construído com informações reais você obtém no seu livro de Zoologia II!

Agora que você conheceu o que é um cladograma, vamos construí-lo. Observe o quadro a seguir:

Característica	Tartaruga	Ornitorrinco	Gambá	Gato
Coluna Vertebral	Presente	Presente	Presente	Presente
Presença de pelos e glândulas mamárias	Ausente	Presente	Presente	Presente
Gestação: presença de placenta	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Longo período de gestação	Ausente	Ausente	Ausente	Presente

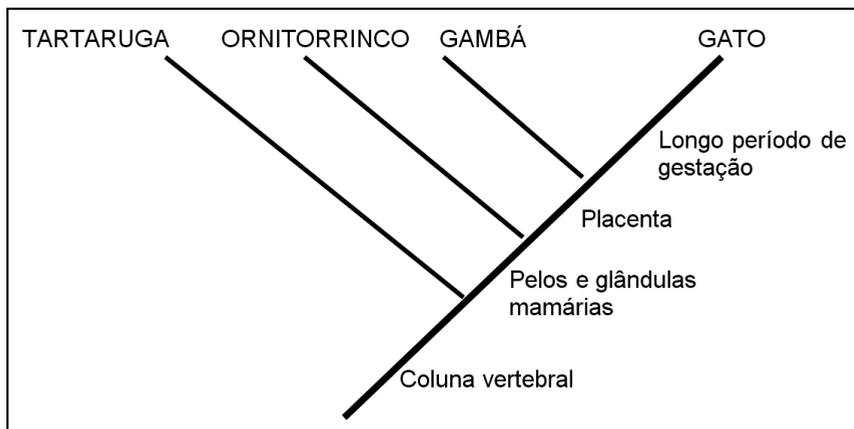
A única característica comum a todas as quatro espécies é a presença da coluna vertebral. Como todas elas descendem de um mesmo ancestral (veja os pressupostos para construir um cladograma), é possível inferir que o nosso cladograma deve iniciar com esta característica.

Vamos adiante. Das nossas características restantes, a presença de pelos e glândulas mamárias é a que é compartilhada pelo maior número de espécies. Assim, ela deve ter sido o segundo passo evolutivo.

Das duas últimas características, a gestação com presença de placenta é compartilhada por duas espécies, enquanto o longo período de gestação é encontrado apenas no gato. Desta forma, a placenta surgiu primeiro.

A partir dos dados obtidos, o nosso cladograma ficará da seguinte forma:

FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DO CLADOGRAMA DE ORIGEM DA TARTARUGA, DO ORNITORRINCO, DO GAMBÁ E DO GATO A PARTIR DA EVOLUÇÃO DE UM ANCESTRAL COMUM



FONTE: Adaptado de: Mendonça e Lopes (2011)

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A biologia utiliza principalmente dois métodos, um baseado no princípio fenítico ou fenotípico de classificação, e outro baseado no princípio filogenético.
- A classificação baseada na filogenia das espécies é chamada de sistemática filogenética ou cladismo e é atualmente aceita pela maioria dos biólogos, por ser bem justificada teoricamente.
- O cladograma só pode ser utilizado para classificar grupos monofiléticos.

AUTOATIVIDADE



1 Relacione os termos utilizados em cladograma com o seu significado correto:



- | | |
|-----------------|---|
| (a) Terminal. | () Indica o ponto onde ocorreu a cladogênese. |
| (b) Raiz. | () Indica o surgimento do táxon de interesse. |
| (c) Ramo. | () É o ancestral tomado como ponto de partida. |
| (d) Nó. | () Conduz a mudança até o táxon de interesse. |

2 Os grupos taxonômicos podem ser classificados em monofiléticos, parafiléticos e polifiléticos. Explique a diferença existente entre eles.



EVOLUÇÃO MOLECULAR

1 INTRODUÇÃO

A evolução em nível molecular pode ser definida como a troca de nucleotídeos no DNA e de aminoácidos nas proteínas. Esta troca é comumente chamada de substituição, e a sua ocorrência, tanto no âmbito gênico quanto nucleotídico, significa que uma forma de um gene (ou de um nucleotídeo) aumentou em frequência, passando de rara para comum na população. Por exemplo, se uma espécie possui o nucleotídeo A em um determinado sítio e outra espécie possui o nucleotídeo G no mesmo sítio, isso significa que deve ter havido pelo menos uma substituição na linhagem evolutiva que liga estas duas espécies.

Outra forma de estudar a evolução molecular é através da análise de polimorfismo dentro de uma espécie. Um polimorfismo existirá se, por exemplo, alguns indivíduos de uma população tiverem o nucleotídeo A em um sítio e outros indivíduos possuírem o nucleotídeo G. Neste caso, não terá ocorrido uma substituição completa, pois ambos os nucleotídeos terão frequências razoavelmente altas, porém, permite inferir que alguns processos devem ter elevado a frequência de um ou de ambos os nucleotídeos no passado.

Os processos de seleção natural e de deriva genética explicam o polimorfismo em uma espécie ou as trocas evolutivas entre as espécies, tendo importante função na evolução molecular. O papel destes processos na evolução era pouco estudado até 1960, quando a técnica de eletroforese em gel começou a ser utilizada para estudar o polimorfismo, permitindo a disponibilização das sequências de aminoácidos de algumas proteínas para várias espécies.

As primeiras evidências obtidas a partir da eletroforese levaram à criação da **teoria neutra da evolução molecular**. Esta teoria pressupõe que a evolução em nível do DNA e das proteínas seja dominada por processos aleatórios (deriva aleatória), de forma que a maior parte da evolução em nível molecular seria não adaptativa. Apenas uma pequena parte da evolução ocorreria devido à seleção, o que explicaria alguns eventos de adaptação.

Contrastando com esta teoria, há a ideia de que quase toda a evolução molecular ocorreu devido à seleção natural. Ambas as teorias, selecionista e neutralista da evolução molecular, concordam que a seleção natural dirige a evolução adaptativa. A discordância é sobre que fração da evolução molecular é adaptativa. (RIDLEY, 2006).

Atualmente, a explicação neutra para a evolução molecular é amplamente aceita, de forma que pode-se dizer que a maior parte da evolução molecular origina-se por deriva aleatória e não por seleção. Porém, isso não significa dizer que a seleção não tenha papel importante nesta história. É a seleção que guia a evolução adaptativa. Porém, passados 35 anos de estudos da evolução molecular, ainda não há um método decisivo para encontrar a importância relativa da deriva e da seleção.

2 A CONTRIBUIÇÃO DA BIOLOGIA MOLECULAR NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO

A respeito da importância da seleção natural e da deriva genética sobre a evolução no âmbito molecular, a análise molecular trouxe grandes contribuições para o entendimento da evolução. Por exemplo, a descoberta de que a estrutura molecular básica de todos os organismos é muito antiga permitiu utilizar estas estruturas para classificar os seres vivos. Assim, algumas classificações baseadas em estruturas adaptativas dos organismos foram alteradas ao se levar em conta as relações moleculares.

Um exemplo prático e já citado neste Caderno de Estudos é a classificação dos animais, dos fungos e das plantas. De acordo com o método de classificação baseado nas estruturas adaptadas, os fungos eram considerados parentes mais próximos das plantas do que dos animais. Entretanto, com a análise molecular foi possível perceber que, em grande parte da sua química básica, os fungos estão muito mais próximos dos animais do que das plantas. (MAYR, 2009).

Outros exemplos importantes da contribuição da análise molecular para a evolução foram a redução gradual na quantidade de filos de “protistas” (inicialmente havia 58 filos) e a organização das angiospermas em grupos de ordens e famílias afins.

Segundo Mayr (2009), talvez a maior vantagem da abordagem molecular seja a existência de muitos traços potenciais a serem examinados. Assim, quando estudos com um gene levam a resultados ambíguos, há milhares de outros genes para se testar uma possível relação.



Uma discussão mais detalhada pode ser encontrada em Ridley (2006).

2.1 O RELÓGIO MOLECULAR

Dois pesquisadores, Zuckerkandl e Pauling, no ano de 1962 mostraram que muitas moléculas, talvez a maioria, apresentam taxa de mutações razoavelmente constante ao longo do tempo, de forma que podem servir como uma espécie de relógio molecular. Este recurso pode ser particularmente interessante quando não há registro fóssil suficiente para determinar a idade geológica de determinadas linhagens evolutivas. Fósseis bem datados e com descendentes modernos podem ajudar a fornecer uma escala para equilibrar e tornar o relógio molecular mais confiável.

O relógio molecular foi utilizado, por exemplo, para datar a época em que houve a bifurcação entre o chimpanzé e o homem. Através deste método pôde-se inferir que a bifurcação ocorreu entre cinco e oito milhões de anos, e não entre 14 e 16 milhões de anos, como se supunha.

Todavia, o uso dos relógios moleculares deve se feito com cautela, pois os mesmos parecem ser bem menos regulares do que se pensava, pois não só as moléculas diferentes apresentam diferentes taxas de mudança, como uma única molécula pode variar sua taxa com o tempo ou com as condições existentes. Assim, em caso de diferenças muito discrepantes entre o relógio molecular e a análise baseada em um fóssil, é sempre aconselhável determinar também a taxa de mudança de uma molécula diferente e tentar encontrar outro fóssil adequado.

2.2 A EVOLUÇÃO DO GENÓTIPO COMO UM TODO

Devido aos diversos avanços tecnológicos, atualmente é possível determinar a sequência completa de DNA do genoma de um organismo completo. Entre os organismos que já possuem o seu genoma mapeado, estão várias bactérias (eubactérias e arqueobactérias), uma levedura (*Saccharomyces*), uma planta (*Arabidopsis*) e alguns animais, como o nematódeo (*Caenorhabditis*), a mosca da fruta (*Drosophila*) e o ser humano!

As sequências de DNA dos genomas têm sido utilizadas para os mais diversos estudos comparativos. Isto porque, apesar de o gene evoluir, a sua função impõe severos limites a estas mudanças, de forma que a sua estrutura básica permanece a mesma por milhões de anos. Assim, é possível realizar o estudo da filogenia de cada gene, o que já propiciou resultados impressionantes, como a descoberta de que muitos genes da levedura, do verme e da mosca, anteriormente citados, são atualmente formas derivadas de um mesmo gene ancestral.

2.3 A ORIGEM DE NOVOS GENES

Os primeiros organismos a surgirem (bactérias e protistas) possuem um genoma bem pequeno em comparação com organismos mais recentes (Tabela 1).

TABELA 1 – TAMANHO DO GENOMA E QUANTIDADE DE DNA

Organismo	Tamanho do genoma (pares de bases x 10⁹)	DNA Codificante
Bactéria (<i>Escherichia coli</i>)	0,004	100
Levedura (<i>Saccharomyces</i>)	0,009	70
Nematódeo (<i>Caenorabditis</i>)	0,09	25
Inseto (<i>Drosophila</i>)	0,18	33
Anfíbio (<i>Triturus</i>)	19,0	1,5 – 4,5
Homem (<i>Homo sapiens</i>)	3,5	9 – 27
Peixe pulmonado (<i>Protopterus</i>)	140,0	0,4 – 1,2
Planta florífera (<i>Arabidopsis</i>)	0,2	31
Planta florífera (<i>Fritillaria</i>)	130,0	0,02

FONTE: Adaptado de: Mayr (2009, p. 62)

O surgimento de diversos novos genes que possibilitaram um aumento considerável no genoma de alguns organismos foi possível, em grande parte, devido à duplicação de um gene existente e à sua inserção no cromossomo em posição adjacente ao gene parental. Com o passar do tempo este gene pôde adotar uma nova função. É preciso considerar ainda que a duplicação muitas vezes afeta não só um único gene, mas um conjunto inteiro de cromossomos, ou mesmo um genoma inteiro!

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A evolução em nível molecular pode ser definida como a troca de nucleotídeos no DNA e de aminoácidos nas proteínas.
- Os processos de seleção natural e de deriva genética explicam o polimorfismo em uma espécie ou as trocas evolutivas entre as espécies, tendo importante função na evolução molecular.
- A descoberta de que a estrutura molecular básica de todos os organismos é muito antiga permitiu utilizar estas estruturas para classificar os seres vivos.
- Uma das maiores vantagens da abordagem molecular é a existência de muitos traços potenciais a serem examinados. Assim, quando estudos com um gene levam a resultados ambíguos, há milhares de outros genes para se testar uma possível relação.
- Muitas moléculas, talvez a maioria, apresentam taxa de mutações razoavelmente constantes ao longo do tempo, de forma que podem servir como uma espécie de relógio molecular. Este recurso pode ser particularmente interessante quando não há registro fóssil o suficiente para determinar a idade geológica de determinadas linhagens evolutivas.
- As sequências de DNA dos genomas têm sido utilizadas para os mais diversos estudos comparativos. Assim, é possível realizar o estudo da filogenia de cada gene.
- O surgimento de diversos novos genes é possível, em grande parte, devido à duplicação de um gene existente e à sua inserção no cromossomo em posição adjacente ao gene parental.



1 Qual é o significado do termo relógio molecular e qual a sua importância?



2 Qual é a vantagem da análise molecular em relação à datação dos fósseis?

3 Qual é a origem dos novos genes que possibilitaram o aumento considerável dos genomas dos seres vivos ao longo do tempo?



MACROEVOLUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Quando se consideram os fenômenos envolvendo a evolução, pode-se observar a existência de duas classes distintas. A primeira delas envolve todos os eventos que ocorrem no âmbito da espécie ou abaixo deste, como a variabilidade e as mudanças adaptativas das populações, as variações geográficas e a especiação. Esta classe pode ser chamada de microevolução e ocorre quase que exclusivamente no âmbito populacional.

Há, porém, outros tipos de evolução que ocorrem acima do nível de espécie, como a origem de novos táxons superiores, a ocupação de novas zonas adaptativas e aquisição de novidades evolutivas. Este tipo de fenômeno denomina-se macroevolução.

A linha convencional que separa a micro e a macroevolução situa-se na especiação, de modo que o conjunto de eventos abaixo desse nível é chamado microevolução e acima dele é denominado macroevolução. Porém, não devemos esquecer que todos os processos macroevolutivos ocorrem em populações e nos genótipos de indivíduos. Portanto, existem sempre processos simultâneos de microevolução. (MAYR, 2009).

A seguir veremos alguns fenômenos que ocorrem em escala macroevolutiva.

Boa leitura!

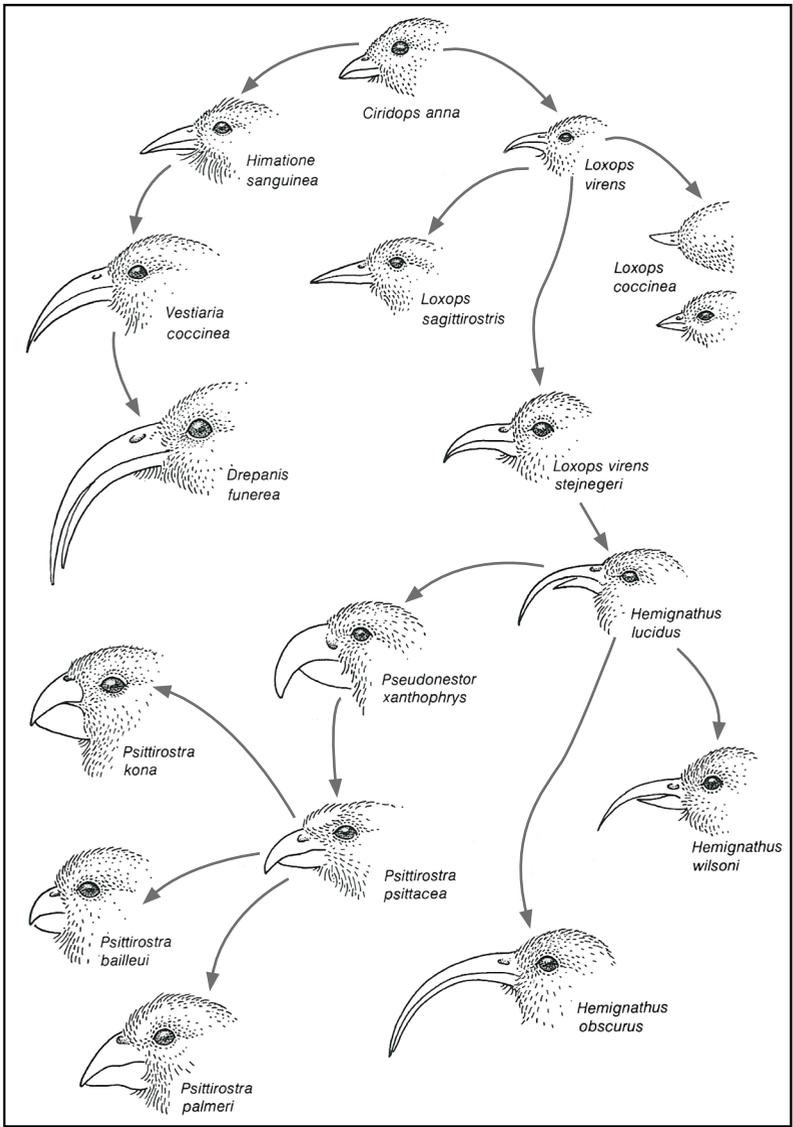
2 RADIAÇÃO ADAPTATIVA

A radiação (ou irradiação) adaptativa é o termo utilizado para descrever a diversificação em diferentes nichos ecológicos das espécies derivadas de um ancestral comum. Este processo pode ocorrer em todos os níveis taxonômicos e escalas geográficas. De certo modo, a progressão da vida na Terra desde a sua origem até o presente pode ser considerada uma radiação adaptativa em escala máxima.

Em escalas menores, pode-se citar a radiação adaptativa em aves passeriformes havaianas da família Drepanididae (Figura 24), a radiação de drosófilas em centenas de espécies nas ilhas havaianas, entre outros exemplos.

Porém, a radiação adaptativa pode ocorrer em áreas geográficas muito mais amplas, como, por exemplo, a radiação dos répteis, que deram origem a crocodilos, tartarugas, lagartos, cobras, ictiossauros e pterossauros. É possível citar ainda a radiação dos mamíferos, com o surgimento de camundongos, macacos, morcegos e baleias; e das aves, com a formação de gaviões, beija-flores, pinguins, avestruzes, entre outros.

FIGURA 24 – RADIAÇÃO ADAPTATIVA EM AVES HAVAIANAS (DREPANIDIDAE). ALGUMAS ESPÉCIES SIMILARES FORAM OMITIDAS. AS SETAS INDICAM POSSÍVEIS MUDANÇAS EVOLUTIVAS PELAS QUAIS AS FORMAS DE BICO PODEM TER EVOLUÍDO ATRAVÉS DE ESTÁGIOS INTERMEDIÁRIOS



FONTE: Futuyma (2002, p. 34)

A radiação adaptativa pode ocorrer em diversas circunstâncias.

- 1 Colonização de uma nova área onde não há competidores: em locais onde existem áreas com recursos inexplorados, uma espécie que inicialmente colonizou este ambiente pode irradiar-se em uma variedade de formas capazes de explorar estes recursos. Este parece ser o caso da radiação das drosófilas e das aves havaianas, citadas anteriormente.
- 2 Extinção de competidores: a radiação dos mamíferos é um evento subsequente à extinção dos dinossauros, que abriu um espaço ecológico até então ocupado pelos grandes répteis.
- 3 Substituição de competidores: ocorre quando um táxon torna-se superior a outro devido a mudanças ambientais ou devido a uma adaptação nova, permitindo que o mesmo ocupe de maneira mais eficaz o recurso limitado, e leve o táxon competidor inferior à extinção.
- 4 Barreiras adaptativas: ocorrem quando um táxon desenvolve uma adaptação nova que permite que ele explore um recurso até então inexplorado. Um exemplo pode ser a conquista do ambiente terrestre pelas plantas e animais.

3 COEVOLUÇÃO

O processo denominado coevolução ocorre quando duas ou mais espécies interagem de forma que uma exerce uma força seletiva sobre a(s) outra(s) e ambas terminam por evoluírem juntas. A coevolução pode ocorrer entre a relação de um predador e sua presa, de um parasita e de seu hospedeiro, e de polinizadores e suas flores, entre outros. A seguir veremos alguns exemplos.

A seleção individual deve, de um modo geral, gerar espécies presas à evolução de características protetoras e em espécies predadoras e à evolução da capacidade para capturar e dominar suas presas, mesmo que isso resulte na diminuição ou extinção da população da presa.

Grande parte dos modelos de coevolução predador-presa considera uma espécie predadora e uma espécie presa, as quais devem evoluir em uma “luta” constante. Como consequência, ao longo do tempo haverá a extinção de uma das espécies, a não ser que o avanço evolutivo de uma espécie seja exatamente neutralizado pelo avanço da outra.

Um exemplo dado por Mayr (2009) é dos caramujos marinhos e os caranguejos. Os caramujos marinhos são presas dos caranguejos e para se protegerem evoluem de forma a produzir conchas cada vez mais duras. Por consequência, os caranguejos desenvolvem pinças mais fortes, capazes de quebrar mesmo as conchas mais duras, o que estimula os caramujos a produzirem conchas ainda mais resistentes.

Segundo os modelos de coevolução entre presa e predador, a competição evolutiva entre estes deve reduzir ou cessar caso a seleção para maior resistência ou capacidade fosse neutralizada pelo seu maior “custo”. Este custo pode ser devido ao fato de que as características de uma espécie presa que proporcionam resistência a um predador podem torná-la mais vulnerável a outros predadores. Futuyma (2002) usa o exemplo das cucurbitacinas no pepino, que aumentam a resistência a ácaros, mas atraem certos besouros herbívoros. Do lado oposto, o aumento da capacidade de um predador em lidar com uma espécie presa pode ocasionar um decréscimo na lida com outras presas. Portanto, quanto mais predadores uma espécie presa tenha que resistir e quanto mais espécies presas um predador puder contar, mais lenta vai se tornar a ocorrência da coevolução.

Um exemplo desta interação entre um parasita e seu hospedeiro envolve o coelho e o vírus do mixoma, que causa a doença mixomatose. Esta doença é ocasionada em coelhos da América do Sul, *Sylvilagus brasiliensis*, e tem manifestação branda, raramente matando o hospedeiro. Porém, no coelho europeu *Oryctolagus cuniculus*, geralmente é fatal. Na década de 1950, o vírus do mixoma foi introduzido na Austrália para combater o coelho europeu que havia virado praga local. Quando a doença foi inicialmente introduzida na Austrália, ela matou mais de 90% dos coelhos europeus infectados. A taxa de mortalidade caiu para 90% após um ano e, em oito anos, diminuiu para menos de 30%.

O que ocorreu neste caso é que, quando o vírus foi introduzido, as suas linhagens mais virulentas matavam os coelhos tão depressa que nem havia tempo suficiente para o vírus passar de um indivíduo para o outro. Assim, as linhagens mais virulentas foram extintas e aquelas com grau de virulência menor, por permitir um período de sobrevivência maior do coelho, eram passadas adiante. Com o passar do tempo, surgiram linhagens cada vez menos virulentas que permitiam a sobrevivência da maior parte dos coelhos. Ao mesmo tempo, os coelhos mais susceptíveis morreram e a população restante evoluiu e se tornou menos susceptível ao vírus do mixoma.

No caso de plantas e herbívoros, podemos citar algumas plantas que, para se protegerem, produzem substâncias tóxicas chamadas de alcaloides, impalatáveis para os herbívoros. Com o tempo, porém, os herbívoros desenvolvem enzimas que neutralizam estas toxinas. Consequentemente, as plantas precisam desenvolver novas toxinas, às quais os herbívoros desenvolvem novas enzimas combatentes, levando a uma “corrida armamentista evolutiva” sem fim.

Os polinizadores de plantas, tais como borboletas, abelhas, aves e morcegos, por sua vez, estão adaptados a certas flores de suas plantas hospedeiras, que também desenvolvem mecanismos que tornam a polinização mais eficiente. Isto pode ser observado, de um lado, pelo tamanho da probóscide das abelhas e borboletas, do formato e tamanho do bico das aves, entre outros, e, do outro lado, pela coloração das pétalas, localização do pólen, tamanho da corola, odor, horário de abertura etc., das flores das plantas.

4 SIMBIOSE

A simbiose pode ser definida como a colaboração entre dois ou mais tipos de organismos em que ambos são beneficiados. A associação de um fungo e uma alga unicelular, chamada de líquen, é um exemplo. Outro caso é a associação existente entre cupins e protozoários, os primeiros obtendo grande quantidade de madeira e os segundos digerindo a celulose de forma que o seu produto possa ser captado pelos cupins. As bactérias e as raízes de leguminosas (Fabaceae) também são um caso de simbiose: no ciclo do Nitrogênio, bactérias do gênero *Rhizobium* produzem compostos nitrogenados que são assimilados pelas leguminosas, que, por sua vez, fornecem a estas bactérias a matéria orgânica necessária ao desempenho de suas funções vitais.

O acontecimento mais importante da história da vida na Terra, a produção dos primeiros eucariontes, ao que tudo indica, foi resultado da simbiose entre uma eubactéria e uma arqueobactéria (Teoria da Endossimbiose), que com o passar do tempo levou à formação de uma quimera entre estes dois tipos de bactérias. Posteriormente, novos simbioses foram incorporados a este simbiote: a bactéria púrpura, que deu origem às mitocôndrias e, no caso das plantas, a cianobactéria, que originou os cloroplastos. (MAYR, 2009).

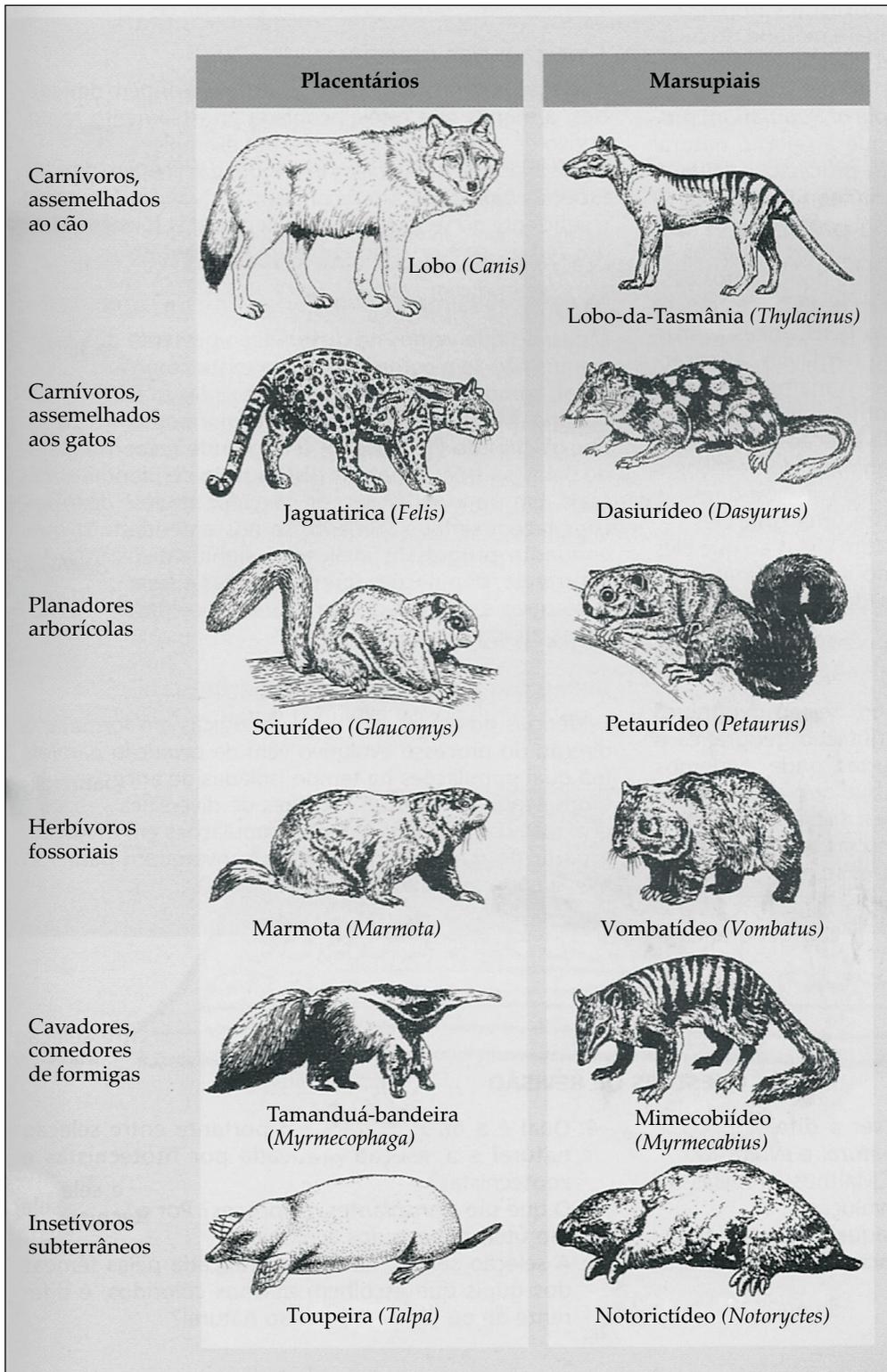
5 EVOLUÇÃO CONVERGENTE

A evolução convergente é um processo que demonstra a força da seleção natural. Um determinado nicho ou zona adaptativa é ocupado em diferentes continentes por diversas espécies, bastante semelhantes, que não possuem qualquer relação de parentesco próximo. O que ocorre é a oportunidade oferecida por determinados nichos que requerem a evolução de fenótipos semelhantes – a chamada **convergência**.

Existem muitos exemplos de organismos que evoluíram isolados uns dos outros e convergiram em extraordinária similaridade de forma e de comportamento. Esta semelhança chama mais a atenção quando papéis similares são desenvolvidos por estruturas cujas origens evolutivas são completamente diferentes – as chamadas estruturas análogas. (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2006). (Ver Unidade 1, Tópico 3).

Um caso de evolução convergente bastante conhecido é o dos marsupiais australianos. Estes mamíferos, na ausência de espécies placentárias, produziram tipos análogos aos dos mamíferos placentários existentes em outros continentes (Figura 25). Mayr (2009) cita que espécies adaptadas à vida subterrânea e com fenótipos similares surgiram de forma independente em quatro ordens de mamíferos e em oito famílias diferentes de roedores.

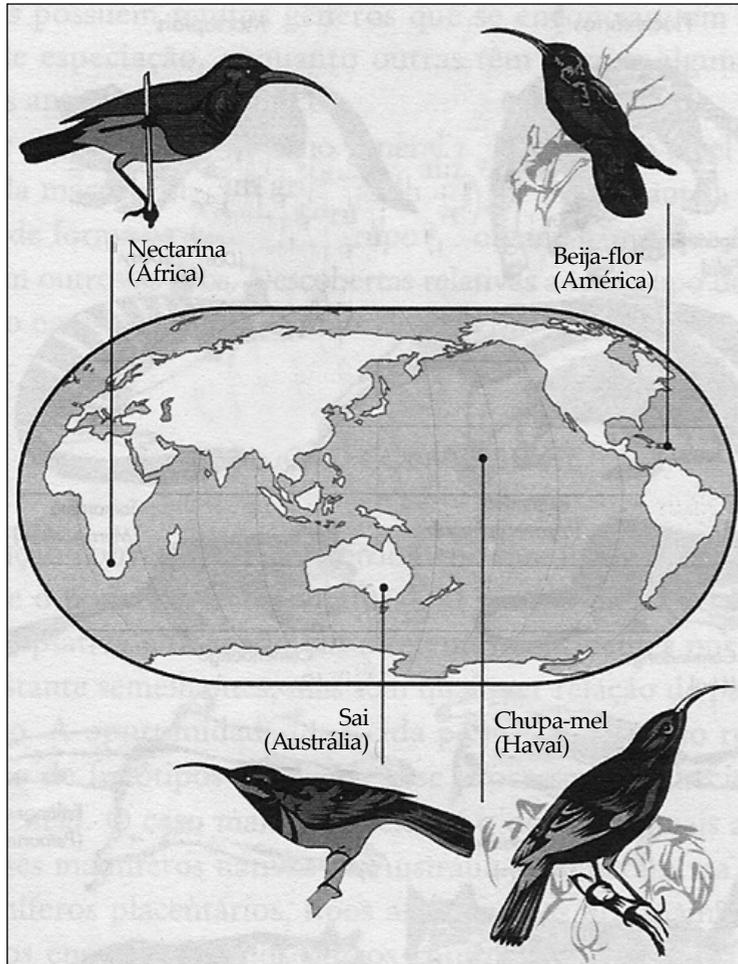
FIGURA 25 – EVOLUÇÃO CONVERGENTE DE MAMÍFEROS MARSUPIAIS E PLACENTÁRIOS. OS PARES DE ESPÉCIES SÃO SIMILARES TANTO NA APARÊNCIA QUANTO EM HÁBITOS E, GERALMENTE, EM ESTILO DE VIDA



FONTE: Townsend; Begon; Harper (2006, p. 95)

A evolução convergente é também a explicação para a similaridade entre as aves que se alimentam de néctar das flores – o beija-flor (Trochilidae) na América, os nectarinídeos (Nectariniidae) na África e no sul da Ásia, os melifagídeos na Austrália e os trepanidíneos no Havaí (Figura 26).

FIGURA 26 – EVOLUÇÃO INDEPENDENTE DE QUATRO AVES QUE SE ALIMENTAM DE NÉCTAR DAS FLORES



FONTE: Mayr (2009, p. 260)

A evolução convergente aconteceu também nas plantas, o que pode ser verificado ao se comparar os cactos encontrados na América e alguns tipos de euforbiáceas na África (Figura 27).

A convergência é uma evidência de como a seleção natural pode fazer uso da variabilidade intrínseca dos organismos para gerar tipos adaptados a praticamente qualquer nicho ecológico. (MAYR, 2009).

FIGURA 27 – EXEMPLO DE EVOLUÇÃO CONVERGENTE DE UM CACTO AMERICANO (À ESQUERDA DA FOTO) E UMA EUFORBIÁCEA AFRICANA



FONTE: Disponível em: <http://4.bp.blogspot.com/_F01Oy2sMzDg/TQptuBd1HUI/AAAAAAAAAM4/u8_UXMxCsRM/s1600/Cactos1.jpg> e *Euphorbia* sp, *Euphorbiaceae*..
Fotografia. *Britannica ImageQuest, Encyclopædia Britannica*, 25 Mai 2016. <quest.eb.com/search/126_175368/1/126_175368/cite>. Acesso em: 18 set. 2018.

Alguns autores separam a evolução convergente da evolução paralela. Para eles, a evolução convergente ocorre quando populações em evolução, a partir de diferentes ancestrais, convergem para formas e comportamentos muito similares, como o exemplo do cacto e da euforbiácea. A evolução paralela, por sua vez, seria aquela em que populações há muito tempo isoladas dos ancestrais comuns seguiram padrões similares de diversificação, a exemplo dos mamíferos placentários e marsupiais. Porém, ambos os tipos podem ser denominados simplesmente como casos de evolução convergente.

6 COMPETIÇÃO ENTRE ESPÉCIES

O suprimento do(s) recurso(s) utilizado(s) pelos indivíduos de uma população pode(m) ser limitado(s). Nestes casos, haverá disputa entre os integrantes da população, de forma a existir competição entre eles. Este tipo de competição recebe o nome de competição intraespecífica.

Porém, devido ao objeto de estudo deste tópico, estamos aqui interessados na competição existente entre as espécies – a chamada competição interespecífica. Este tipo de competição, da mesma forma que a competição intraespecífica, apenas ocorrerá em casos onde os recursos disponíveis sejam limitados e/ou escassos, de forma que as espécies necessitem “lutar” pela utilização desses recursos disponíveis.

Existem duas formas de competição interespecífica – a competição por interferência e a competição por exploração. Não vamos nos aprofundar nesses conceitos, já que sua importância é mais ecológica do que propriamente evolutiva. Mas, em termos gerais, podemos definir a competição por interferência como sendo aquela em que os indivíduos utilizam o recurso em momentos distintos, podendo nem se encontrar. Por exemplo, um morcego e uma ave nectarívoros

podem competir pelo néctar de uma planta mesmo tendo hábitos diferentes (noturno *versus* diurno). Assim, se este recurso for limitado, o consumo pelo morcego diminuirá sua disponibilidade para a ave e vice-versa, sendo uma forma de competição.

Já a competição por exploração requer o contato direto entre os indivíduos das espécies em questão, como, por exemplo, a briga por uma caça entre leões e hienas.

Quando duas espécies competem de maneira muito acirrada por um determinado recurso, poderá haver a extinção de uma delas, fenômeno conhecido como **exclusão competitiva**. Assim, as espécies podem coexistir apenas se alguns dos recursos, mas não todos, forem os mesmos entre elas. Um exemplo de exclusão competitiva foi a extinção da vespa parasita *Aphytis chrysomphali* na Califórnia, logo após a introdução de uma outra vespa parasita, *A. lingnanensis*, da Ásia, para controlar a cochonilha oliva neste Estado americano.

Em geral, a competição é um componente importante de pressão seletiva sobre duas espécies que utilizam um mesmo recurso limitado, parecendo muitas vezes ser a responsável pela extinção de uma delas, tem sido utilizada para explicar a observação de que as espécies coexistentes tipicamente diferem nos recursos que utilizam.

7 EXTINÇÕES EM MASSA

A história da vida na Terra é uma história de extinções. Desde o surgimento do Universo a vida em nosso planeta passou por inúmeras transformações, que levaram a mudanças nas formas de vida.

Estima-se que a biodiversidade atual corresponda a cerca de 5% daquela que já existiu neste planeta, o que significa que aproximadamente 95% de todas as espécies que habitaram o globo terrestre estão extintas. Neste aspecto, tem suma importância o termo extinção em massa, que corresponde ao evento onde uma grande porcentagem da biota é exterminada em um curto espaço de tempo na escala geológica. Ao contrário das extinções individuais, que são, em grande parte, resultantes de causas ecológicas, as extinções em massa são ocasionadas por causas físicas.

A primeira extinção teria ocorrido há 440 milhões de anos, na Era Paleozoica. Nesta época, o clima mudava com muita frequência, ocasionando sucessivas extinções em massa das espécies recém-surgidas.

A segunda extinção em massa ocorreu há cerca de 365 milhões de anos, ainda na Era Paleozoica, no Período Devoniano, quando a Terra era dominada por peixes e braquiópodes. Estima-se que 97% de todas as espécies existentes tenham sido extintas.

A terceira extinção ocorreu há cerca de 250 milhões de anos, na era Paleozoica, Período Carbonífero, em que grandes florestas e pântanos foram formados e destruídos sucessivamente, resultando nos depósitos de carvão explorados até hoje. Esta época foi marcada pelo domínio dos anfíbios e pelo surgimento dos tubarões.

O quarto evento de extinção em massa ocorreu há cerca de 205 milhões de anos, na era Mesozoica, nos Períodos Triássico e Jurássico. Cerca de 20% de todas as famílias marinhas e de arcossauros (com exceção dos dinossauros) foram extintas, o mesmo ocorrendo com os grandes anfíbios da época. Este evento possibilitou o domínio dos dinossauros ocasionado pela liberação de nichos ecológicos até então ocupados pelas espécies que se extinguíram.

A quinta extinção em massa é a mais conhecida e ocorreu no final do Cretáceo, resultando na extinção dos dinossauros e de muitas outras espécies marinhas e terrestres. Hoje acredita-se que este evento tenha sido consequência da queda de um asteroide na Terra, há cerca de 65 milhões de anos. A gigantesca nuvem de poeira produzida pelo impacto do asteroide teria ocasionado uma queda brusca da temperatura e outras mudanças adversas, provocando a extinção da maior parte da biota existente na época.

Alguns cientistas afirmam que a sexta extinção em massa está para acontecer e será ocasionada pelo próprio homem. Calcula-se, por exemplo, que cerca de dois terços de todas as espécies de aves, mamíferos e plantas serão extintos dentro de um século.

RESUMO DO TÓPICO 5

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A evolução pode ocorrer em duas classes distintas, denominadas microevolução e macroevolução.
- A microevolução envolve todos os eventos que ocorrem no âmbito da espécie ou abaixo deste, como a variabilidade e as mudanças adaptativas das populações, as variações geográficas e a especiação.
- A macroevolução abrange os tipos de evolução que ocorrem acima do âmbito de espécie, como a origem de novos táxons superiores, a ocupação de novas zonas adaptativas e aquisição de novidades evolutivas.
- São exemplos de fenômenos macroevolutivos: a radiação adaptativa, a coevolução, a competição entre espécies, a simbiose e a evolução convergente e extinções em massa.
- A radiação (ou irradiação) adaptativa é o termo utilizado para descrever a diversificação em diferentes nichos ecológicos das espécies derivadas de um ancestral comum.
- O processo denominado coevolução ocorre quando duas ou mais espécies interagem de forma que uma exerce uma força seletiva sobre a(s) outra(s) e ambas terminem por evoluírem juntas. Ela pode ocorrer entre a relação de um predador e sua presa, de um parasita e de seu hospedeiro e de polinizadores e suas flores, entre outros.
- A simbiose pode ser definida como a colaboração entre dois ou mais tipos de organismos, na qual ambos são beneficiados.
- A evolução convergente é um processo que demonstra a força da seleção natural. Um determinado nicho ou zona adaptativa é ocupado em diferentes continentes por diversas espécies, bastante semelhantes, que não possuem qualquer relação de parentesco próximo.
- A competição interespecífica ocorre em casos nos quais os recursos disponíveis sejam limitados e/ou escassos, de forma que as espécies necessitem “lutar” pela utilização destes recursos.
- A extinção em massa corresponde ao evento onde uma grande porcentagem da biota é exterminada em um curto espaço de tempo na escala geológica.

AUTOATIVIDADE



1 Relacione as colunas, estilizando o código a seguir:



(a) Coevolução. (b) Simbiose. (c) Evolução convergente. (d) Radiação adaptativa.	()	É ocasionada pela existência de nichos ecológicos semelhantes, que requerem a existência de adaptações também semelhantes.
	()	A progressão da vida na Terra desde a sua origem pode ser considerada um exemplo deste fenômeno.
	()	Um dos desencadeadores deste fenômeno é a relação existente entre presa e predador.
	()	Um exemplo clássico deste processo são os líquens.

2 Explique o que é a coevolução e cite as três interações que são consideradas as principais causadoras deste processo ecológico.



EVOLUÇÃO HUMANA

1 INTRODUÇÃO

Pense rapidamente em cinco exemplos de animais. Pensou? A espécie humana esteve entre os exemplos? Arriscamos ao dizer que não.

Esse é um problema recorrente em nossa sociedade. Mesmo as pessoas mais esclarecidas ainda têm dificuldade de associar o ser humano ao restante dos animais. Essa problemática tem origem religiosa, cuja visão imperante é a de que o ser humano foi feito à imagem e semelhança de Deus e tem plena liberdade para utilizar os recursos naturais da maneira que lhe convier.

No entanto, não podemos deixar de citar os progressos que têm sido feitos. O número de argumentações e evidências a favor da ancestralidade primata da nossa espécie tem tornado cada vez mais incontestáveis os argumentos acerca da nossa origem.

Vamos discutir alguns destes pontos neste tópico.

2 A POSIÇÃO FILOGENÉTICA DA ESPÉCIE HUMANA

A ordem Primata (Primates) está entre as primeiras ordens de Eutheria (placentários) que aparecem no registro fóssil do Cretáceo e do Paleoceno. A esta ordem pertencem os prossímios, os tásios, os macacos do Novo Mundo, os macacos do Velho Mundo e os antropoides (Quadro 2).

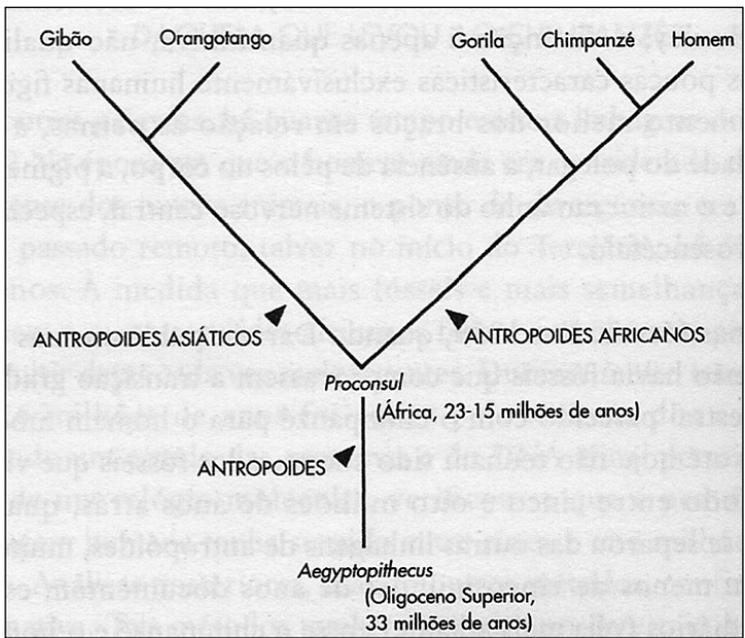
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS PRIMATAS

- Ordem Primates
 - Subordem Prosimii
 - Infraordem Lemuriformes (lêmures)
 - Infraordem Lorisiformes (galalos, lóris)
 - Subordem Tarsiiformes (társios)
 - Subordem Anthrooidea
 - Infraordem Platyrrhini (macacos do Novo Mundo)
 - Infraordem Catarrhini (macacos do Velho Mundo)
 - Superfamília Hominoidea (antropóides)
 - Família Hylobatidae (gibões)
 - Família Hominidae
 - Subfamília Ponginae (orangotango)
 - Subfamília Hominae (antropóides africanos, homem)

Adaptado de: Mayr (2009, p. 270)

Os fósseis mais antigos de primatas encontrados até hoje são do Cretáceo Superior. Mas foram os macacos do Velho Mundo que deram origem aos antropóides, entre 33 e 24 milhões de anos. A seguir é apresentada a filogenia dos antropóides (Figura 28).

FIGURA 28 – FILOGENIA DOS ANTROPOIDES



FONTE: Mayr (2009, p. 271)

Os antropoides atuais podem ser divididos em dois grupos: os antropoides africanos (gorila, chimpanzé, bonobo e homem) e os antropoides asiáticos (gibão e orangotango). Há diferenças nítidas entre estes grupos, cuja ramificação parece ter ocorrido entre 12 e 15 milhões de anos.

3 EVIDÊNCIAS DA ORIGEM PRIMATA DO HOMEM

As evidências de que o ser humano descende dos primatas são incontestáveis e podem ser divididas em três categorias:

- **Evidências anatômicas:** as estruturas anatômicas humanas são muito semelhantes com as dos antropoides africanos, em especial com as do chimpanzé. Entre as poucas características exclusivas do homem pode-se citar o comprimento menor dos braços em relação às pernas, maior mobilidade do polegar, ausência de pelos no corpo, pigmentação da pele e maior tamanho do sistema nervoso central. (MAYR, 2009).
- **Evidências fósseis:** quando Darwin publicou suas descobertas ainda não havia fósseis que as sustentassem, ou seja, ainda não haviam sido encontrados fósseis que comprovassem a transição gradual de um ancestral parecido com o chimpanzé para o homem moderno. Atualmente, muitos fósseis documentam estágios intermediários entre o chimpanzé e o homem. Análises moleculares destes fósseis permitiram determinar que a separação entre as linhagens do chimpanzé e do homem é mais recente do que a separação entre a linhagem do chimpanzé e do gorila. Assim, o chimpanzé é o nosso parente mais próximo e este é mais aparentado ao homem do que ao gorila.



É importante que tenhamos claro que o homem não descende do chimpanzé ou dos macacos, como alguns argumentam. O que ocorre é que todos, homem, chimpanzé e macacos, descendem de um ancestral comum.

- **Evidências moleculares:** a comparação entre as macromoléculas humanas com as dos antropoides permitiu verificar que as moléculas do homem são mais parecidas com as moléculas dos chimpanzés do que com qualquer outro organismo. Ainda, foi possível verificar que os antropoides africanos são mais parecidos com o homem do que com qualquer outro primata. Mayr (2009) comenta que a semelhança é tão grande que algumas enzimas e proteínas do homem e do chimpanzé, tal como a hemoglobina, se mantêm praticamente idênticas. Outras são ligeiramente distintas, mas a diferença é menor do que a existente entre os chimpanzés e outros macacos.

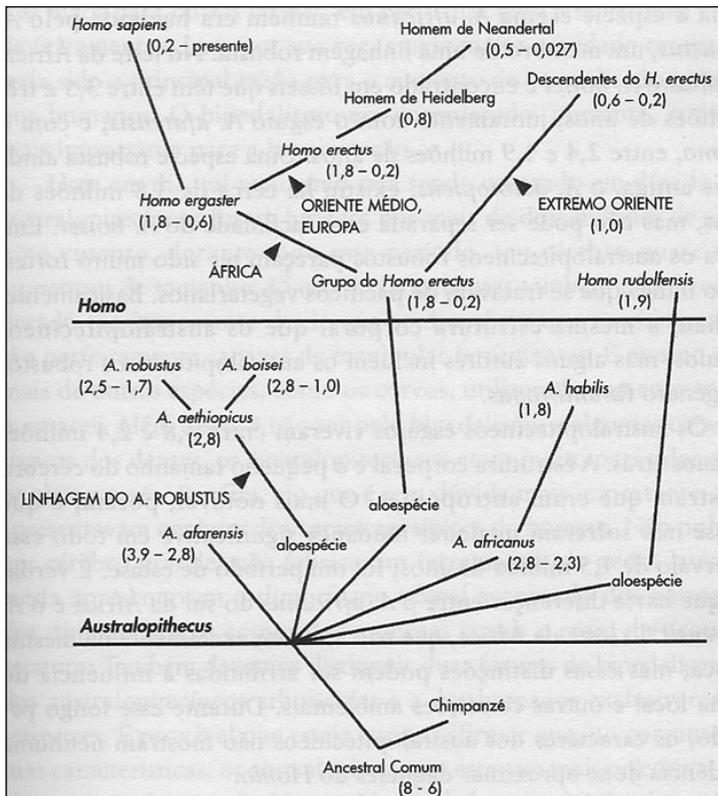
4 A EVOLUÇÃO HOMINÍDEA

Até o ano de 1924, poucos registros de fósseis hominídeos haviam sido encontrados e os que haviam sido descobertos representavam estágios mais recentes da hominização (surgimento do gênero *Homo*). Estas descobertas foram feitas na Europa, Java e China, o que levou à suposição de que o homem teria se originado na Ásia.

Embora alguns autores argumentassem que a nossa origem possivelmente fosse africana devido à semelhança do homem com o chimpanzé e o gorila, foi somente a partir de 1924, com a descoberta do primeiro fóssil hominídeo na África (o *Australopithecus africanus*), que tal argumentação ganhou base. Depois deste evento, vários outros fósseis foram encontrados, de forma que hoje não existem mais dúvidas de que a África foi o berço da humanidade.

Os fósseis hominídeos mais antigos estão nos depósitos do Leste da África e datam de aproximadamente 3,9 a 3,6 milhões de anos. Eles possuem algumas características dos macacos, tais como, ossos dos dedos curvos, caninos levemente projetados e crânios pequenos, porém, eram bípedes. Estes fósseis foram agrupados dentro da espécie *Australopithecus afarensis*. A partir deste ponto considera-se ter havido o início do estágio de hominização (Figura 29).

FIGURA 29 – RECONSTITUIÇÃO PROVISÓRIA DA FILOGENIA HOMINÍDEA



FONTE: Mayr (2009, p. 271)

4.1 ESTÁGIOS DA HOMINIZAÇÃO

Apesar de ainda haver algumas lacunas ocasionadas pela ausência de fósseis que atuem como elos perdidos entre algumas formas de homínídeos, mesmo assim o registro fóssil fornece informações valiosas. A certeza mais importante é de que o *Homo sapiens* é o produto final de duas grandes mudanças ecológicas (preferência de hábitat) de nossos ancestrais homínídeos. (MAYR, 2009).

Desta forma, pode-se dividir o processo de hominização em três estágios:

Estágio da floresta úmida	Chimpanzé
Estágio da savana arbórea	<i>Australopithecus</i>
Estágio da savana arbustiva	<i>Homo</i>

Estágio dos chimpanzés: os antropoides das florestas úmidas permanecem grande parte do tempo em cima das árvores, locomovendo-se entre elas pulando de galho em galho, utilizando os braços e a cauda como sustentação. A alimentação era composta de vegetais (frutos, folhas, caules etc). Seu cérebro é pequeno e há dimorfismo sexual acentuado.

Estágio dos australopitecíneos: há mais ou menos entre cinco e oito milhões de anos, algumas espécies de antropoides semelhantes aos chimpanzés começaram a se aventurar pelas savanas arbóreas, talvez em busca de novos recursos alimentares. Estas espécies conseguiram estabelecer populações fundadoras neste novo hábitat e evoluíram para os australopitecíneos. Ao que tudo indica, eles tiveram grande sucesso, devendo ter ocupado todas as savanas arbóreas africanas.

Devido a algumas particularidades existentes na savana arbórea em relação à floresta úmida, como, por exemplo, uma maior distância entre as árvores, os antropoides tiveram que adotar o hábito bípede, pois agora era necessário locomover-se por terra. Porém, eles continuaram essencialmente arborícolas, incluindo a característica de construir seus ninhos nos galhos das árvores. Outra adaptação necessária foi a adoção de dentes mais fortes e compridos, que fossem mais adequados ao consumo de vegetais mais duros, tal como tubérculos, rizomas, bulbos, em substituição às frutas macias tropicais, escassas neste novo ambiente.

Existem duas espécies bem documentadas de australopitecíneos: o *Australopithecus afarensis* e o *A. africanus*, ambos já citados anteriormente. Ambos possuem um cérebro pequeno, com um volume entre 430 a 485 cm³.

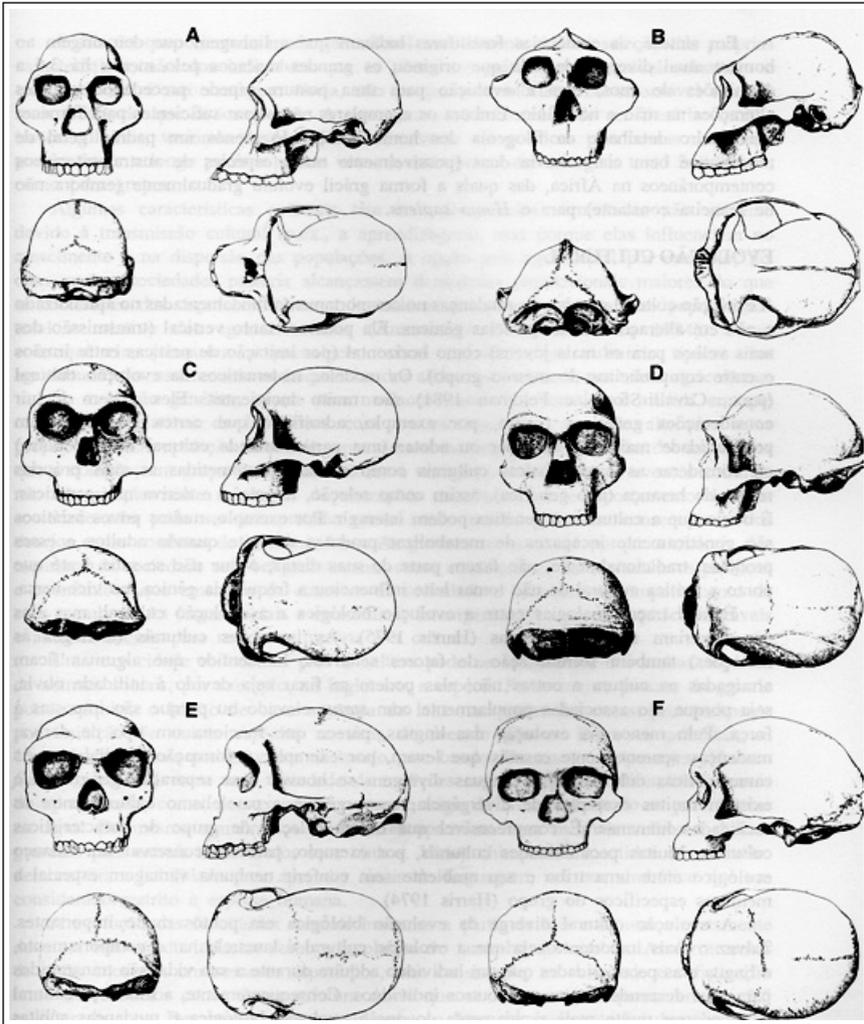
Uma questão que já gerou muito debate está no fato de os australopitecíneos serem antropoides ou humanos. Sobre esta questão, Mayr (2009) comenta que é provável que o correto seja afirmar que, no conjunto de suas características, os australopitecíneos estão mais próximos dos chimpanzés do que do *Homo*, portanto se encaixam melhor na definição de antropoides. Na verdade, a transição do estágio do *Australopithecus* para o *Homo*, com certeza, foi o evento mais importante da história da hominização. (MAYR, 2009).

Estágio dos hominídeos: com a proximidade da chegada da era glacial no Hemisfério Norte, o clima e, conseqüentemente, a vegetação da África tropical sofreu profundas modificações, tornando-se característica de ambientes áridos. Assim, aos poucos as savanas arbóreas foram sendo substituídas por savanas arbustivas. Como os australopitecíneos eram essencialmente arborícolas, perderam o seu refúgio principal e passaram a ser uma presa fácil para leões, leopardos, hienas e cães selvagens. Quase todos os australopitecíneos desapareceram devido ao evento anteriormente citado, mas alguns conseguiram escapar da extinção por algum tempo, como o *A. habilis*, o *A. robustus* e o *A. boisei*.

Algumas populações dessas três espécies, porém, conseguiram sobreviver apurando a inteligência para desenvolver mecanismos de defesa, como pedras, ou instrumentos feitos a partir de madeira ou outros materiais vegetais, além, é claro, do fogo. É provável que dormissem em acampamentos protegidos por fogueiras. Estes australopitecíneos foram os primeiros a fabricar ferramentas de pedra lascada e provavelmente utilizavam pedras afiadas como lanças. Desta forma, estes descendentes dos australopitecíneos, já em processo de transição evolutiva para o gênero *Homo*, sobreviveram e prosperaram.

Foi nesta transição que o bipedalismo arborícola dos australopitecíneos se transformou no bipedalismo terrícola dos hominídeos, característica essa que é considerada a decisiva na evolução de uma série de características importantes do novo gênero *Homo*. Por exemplo, o tamanho do cérebro aumentou rapidamente e mais que dobrou no *H. erectus* (para visualizar a diferença nos crânios ao longo da evolução dos hominídeos, consulte a Figura 30). O dimorfismo sexual diminuiu de 50% para 15% a mais de peso para os machos. Os dentes, particularmente os molares, se tornaram bem menores. Os braços ficaram mais curtos e as pernas, mais longas.

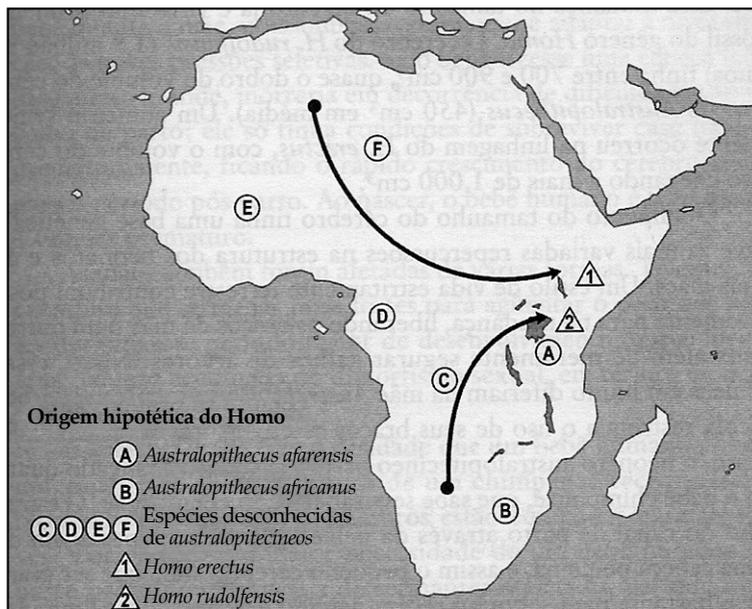
FIGURA 30 – VISTAS FRONTAIS, POSTERIORES E SUPERIORES DOS CRÂNIOS DE VÁRIOS FÓSSEIS HOMINÍDEOS (A) *Australopithecus africanus*. (B) *A. robustus*. (C) *Homo habilis*. (D) *H. erectus*. (E) *H. sapiens*. (F) *H. sapiens neanderthalensis*



FONTE: Futuyma (2002, p. 541)

4.2 A ORIGEM DO *HOMO SAPIENS*

O *Homo erectus* parece ter sido muito bem-sucedido, pois os fósseis encontrados demonstram que ele foi o primeiro hominídeo a se espalhar para além da África. Esta espécie é caracterizada pelo uso de um conjunto de ferramentas simples feitas de pedra, mas também por ter aprendido a usar o fogo, o que provavelmente representou o passo decisivo para a hominização (Figura 31).

FIGURA 31 – POSSÍVEL ORIGEM DO *HOMO* A PARTIR DE ALOESPÉCIES AUSTRALOPITECÍNEAS

FONTE: Mayr (2009, p. 285)

Como já citado anteriormente, com o surgimento do gênero *Homo*, houve um rápido aumento no tamanho do cérebro. Isto provavelmente se deveu pelo fato de o *H. erectus* e outra espécie de homínídeo existente na época, o *H. rudolfensis*, necessitarem, para a sua sobrevivência, de sua inventividade para compensar a posição indefesa no ambiente em que viviam.

O *H. erectus* foi o primeiro homínídeo dotado de alto grau de mobilidade e, por esta razão, deu origem a várias raças diferentes, como o homem de Neandertal e o *H. heidelbergensis*, que habitaram a Inglaterra, a Alemanha, a Grécia e Java. O homem de Neandertal existiu há cerca de 250 mil, 100 mil e 30 mil anos. O seu território foi invadido pelo *Homo sapiens* provavelmente proveniente do norte da África, onde surgiu há mais ou menos 150 ou 200 mil anos.

O *Homo sapiens* derivou de populações africanas de *H. erectus*. Ao que tudo indica, o *H. sapiens* permaneceu isolado do *H. erectus* asiático durante pelo menos 500 mil anos e teria sido durante este período que ele adquiriu as suas características de *sapiens*. O deslocamento de populações dessa espécie atingiu a Ásia por volta de 60 mil anos, a Austrália há cerca de 50 mil anos, a Europa há 40 ou 50 mil anos, e as Américas entre 35 a 15 mil anos.

Somente há cerca de 12 mil anos o homem passou de caçador a agricultor, sendo possível o surgimento das primeiras civilizações. A partir do momento em que o *H. sapiens* passou a viver em sociedade, houve uma grande evolução cultural, que possibilitou o acúmulo de conhecimento e hábitos, assim como o desenvolvimento da linguagem, que inclui um complexo sistema de símbolos.

LEITURA COMPLEMENTAR

FÓSSIL DE CRIANÇA AJUDA A ENTENDER EVOLUÇÃO HUMANA

Capacidade cognitiva que caracteriza o homem moderno surgiu após
Homo erectus

Eliana Pegorim

Um estudo recente traz pistas sobre o momento da evolução em que surgiu um aspecto que diferencia a espécie humana: o desenvolvimento tardio do cérebro. Nos bebês humanos, este órgão se desenvolve ao longo da infância; já nos outros primatas, seu crescimento termina logo após o nascimento. Essa característica foi fundamental para o desenvolvimento das habilidades cognitivas que diferenciam nossa espécie.

O estudo de um fóssil de 1,8 milhão de anos por um grupo de pesquisadores da França, Alemanha e Indonésia sugere que esta mudança possivelmente aconteceu no ancestral comum do *Homo sapiens* e *H. neanderthalensis*. A equipe, coordenada por Héléne Coqueugniot, da Universidade de Bordeaux, na França, analisou o crânio de uma criança *H. erectus* encontrado na Indonésia e concluiu que essa espécie não dispunha das capacidades cognitivas que caracterizam os humanos modernos.

Análises detalhadas, feitas por tomografia computadorizada e comparações com vários crânios de humanos atuais e chimpanzés, revelam que quando esse indivíduo morreu, com um ano de vida, tinha cerca de três quartos da capacidade cerebral de um *H. erectus* adulto. Essas conclusões foram publicadas na *Nature* em 16 de setembro.

Esse modelo de crescimento cerebral se assemelha ao dos macacos atuais, mas é diferente do verificado entre os humanos. “Uma mãe gastaria muita energia para alimentar um bebê que tivesse um cérebro quase do tamanho de um adulto”, explica à *CH ON-LINE* Jean Jacques Hublin, um dos autores do estudo. “Como somos bípedes, precisamos ter uma bacia estreita, o que torna impossível o nascimento de bebês com cérebros grandes”.

A adaptação evolutiva para esse problema foi o surgimento de bebês com cérebros menores. “O cérebro humano se desenvolve com certo atraso em comparação com outros órgãos”, conta Hublin. Na maioria dos primatas, o cérebro quase não cresce após o nascimento.

O atraso no desenvolvimento cerebral tem consequências sociais: os humanos modernos precisam do apoio dos pais durante mais tempo. Essa característica também permitiu o desenvolvimento de habilidades cognitivas

mais sofisticadas. “É improvável que um Hominídeo sem essa dependência pudesse ter desenvolvido uma linguagem complexa comparável com a dos humanos modernos”, afirma Hublin.

Grande parte do nosso desenvolvimento cerebral acontece depois que nascemos e muitas de nossas habilidades são formadas na primeira infância. Segundo Hublin, nosso cérebro é treinado para controlar o trato vocal e os músculos faciais nos primeiros anos de vida.

No *H. erectus*, o período de aprendizado era menor e o desenvolvimento de interações sociais e as atividades de aprendizado não delineavam as conexões cerebrais de modo comparável com humanos. “A dependência dos pais gerada pela necessidade de bebês com cérebro menor foi uma adaptação evolutiva que permitiu o desenvolvimento de habilidades cognitivas humanas”, concluiu Hublin.

FONTE: Adaptado de: PEGORIN, Eliana. Ciência Hoje On-line. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/133856>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

A EVOLUÇÃO DA CULTURA HUMANA

A postura ereta foi a mais radical mudança anatômica na evolução humana. Ela requereu grandes mudanças nos pés, pélvis e coluna vertebral. O aumento do encéfalo foi a segunda grande mudança anatômica. O encéfalo de fetos de animais não primatas cresce rapidamente, mas o ritmo de crescimento geralmente diminui e para pouco tempo após o nascimento. Já o encéfalo de fetos de primatas continua crescendo após o nascimento, e o período desse crescimento é maior nos humanos do que nos outros primatas. Além disso, o cuidado com a prole ocorre por um período mais longo na espécie humana do que nos demais primatas, e as crianças têm a possibilidade de aprender com a experiência dos pais.

A essência da cultura humana é a transmissão do conhecimento acumulado ao longo das gerações. A principal maneira pela qual isso ocorre é por meio da linguagem escrita e falada.

A evolução cultural é contínua, mas três momentos são considerados especiais:

- o primeiro começou com os nômades, que caçavam e coletavam alimentos na África há cerca de 2 milhões de anos. Eles construíam ferramentas, realizavam atividades coletivas e divisão de trabalho;
- o segundo momento veio com o desenvolvimento da agricultura na África, na Eurásia e nas Américas, o que ocorreu há cerca de 15 a 10 mil anos. Junto com a agricultura veio o estabelecimento permanente de populações, dando origem às primeiras cidades;

- o terceiro estágio na evolução cultural humana ocorreu com a Revolução Industrial, que teve início no século XVIII. Desde então, novas tecnologias têm sido desenvolvidas em escala exponencial.

A evolução cultural fez do *Homo sapiens* uma nova força da história da vida: uma espécie que pode desafiar sua limitação física e sua curta evolução biológica. O ser humano não precisa esperar para se adaptar ao meio pela seleção natural: ele simplesmente muda o ambiente para que fique de acordo com suas necessidades. Mais numerosos e com a maior dispersão dentre todos os animais vertebrados, os seres humanos provocam mudanças no meio, aonde quer que eles vão.

Não há nada de novo na mudança ambiental. A história da vida é a história da evolução biológica num planeta em constantes mudanças. Mas essas mudanças nunca foram tão rápidas quanto estão sendo na era dos humanos. As mudanças introduzidas são mais rápidas do que a capacidade de muitas espécies se adaptarem a elas. A taxa de extinção no século XX foi cinquenta vezes maior do que a média estimada para os cem mil anos anteriores.

Essa alta taxa de extinção é resultado, principalmente, da destruição do *habitat*, decorrente da evolução cultural humana e da superpopulação. Alimentação, vestuário e habitação para cerca de 6 bilhões de pessoas existentes hoje, quantidade que cresce em ritmo acelerado, impõem um enorme esforço sobre a capacidade da Terra de sustentar a vida.

Atualmente, não apenas espécies individuais, mas ecossistemas inteiros, a atmosfera, os oceanos e os rios estão seriamente ameaçados. Os cientistas mal começaram a estudar muitos dos ecossistemas da Terra, e várias espécies podem se tornar extintas antes mesmo de terem sido descobertas.

Das muitas crises que ocorreram na história da vida, o impacto de uma só espécie, a *Homo sapiens*, é o maior de todos.

FONTE: Adaptado de: Campbell, Reece; Mitchell, Biology, (1999 apud LOPES; ROSSO, 2008).

RESUMO DO TÓPICO 6

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- Os fósseis mais antigos de primatas encontrados até hoje são do Cretáceo Superior. Entretanto, foram os macacos do Velho Mundo que deram origem aos antropoides, entre 33 e 24 milhões de anos.
- Os antropoides atuais podem ser divididos em dois grupos: os antropoides africanos (gorila, chimpanzé, bonobo e homem) e os antropoides asiáticos (gibão e orangotango). Há diferenças nítidas entre estes grupos, cuja ramificação parece ter ocorrido entre 12 e 15 milhões de anos.
- Há evidências anatômicas, fósseis e moleculares de que o ser humano descende dos primatas.
- Os fósseis hominídeos mais antigos estão nos depósitos do Leste da África e datam de aproximadamente 3,9 a 3,6 milhões de anos.
- O *Homo sapiens* é o produto final de duas grandes mudanças ecológicas (preferência de hábitat) de nossos ancestrais hominídeos.
- O processo de hominização ocorreu em três estágios: floresta úmida, savana arbórea e savana arbustiva.
- O estágio da floresta úmida também pode ser chamado de estágio dos chimpanzés e durante este período os antropoides viviam sobre as árvores.
- O estágio da savana arbórea também é chamado de estágio dos australopitecíneos. Estes começaram a se aventurar através deste novo ambiente e passaram a utilizar esporadicamente o solo.
- O estágio da savana arbustiva, também conhecido como o estágio dos hominídeos, ocorreu quando houve a mudança climática que ocasionou mudanças, também, na vegetação. Os australopitecíneos passaram a utilizar mais o solo e a desenvolver a postura bípede.
- O *Homo sapiens* derivou de populações africanas de *H. erectus*. Ao que tudo indica, o *H. sapiens* permaneceu isolado do *H. erectus* asiático durante pelo menos 500 mil anos e teria sido durante este período que ele adquiriu as suas características de *sapiens*.

AUTOATIVIDADE



1 O processo de humanização pode ser dividido em três estágios principais. Cite-os e comente os principais eventos ocorridos em cada um deles.



2 Sobre os eventos mais importantes para a evolução hominídea, pode-se citar:



- a) () A perda da cauda e visão frontal.
- b) () Bipedalismo e aumento do crânio.
- c) () Bipedalismo e perda da cauda.
- d) () Visão frontal e aumento do crânio.
- e) () A perda da cauda e aumento do crânio.

PALEONTOLOGIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade você será capaz de:

- compreender a importância da Paleontologia como ciência;
- conhecer as divisões da Paleontologia;
- relacionar os conceitos de Tempo, Tempo Geológico e Escala de Tempo Geológico;
- compreender as técnicas de datação de fósseis;
- compreender a diversificação da vida ao longo das eras geológicas;
- compreender a estratigrafia e a paleografia;
- identificar os processos de fossilização;
- conhecer os processos da Tafonomia;
- conhecer e estudar algumas aulas práticas no ensino de Evolução e Paleontologia.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade de estudos divide-se em quatro tópicos. Ao final de cada um deles, você encontrará atividades que o/a auxiliarão na apropriação dos conteúdos apresentados.

TÓPICO 1 – IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA

TÓPICO 2 – TEMPO GEOLÓGICO

TÓPICO 3 – PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO

TÓPICO 4 – METODOLOGIAS DE ENSINO EM EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA

IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA

1 INTRODUÇÃO

A Paleontologia pode ser caracterizada como uma ciência de caráter dinâmico e multidisciplinar, situada na interface entre as Ciências Biológicas e as Geociências, preocupada em estudar as interações entre os organismos e o meio ambiente. Por abordar várias áreas do conhecimento, a Paleontologia fornece subsídios para os estudantes se envolverem com a ciência, integrando diversos campos do saber. Deste modo, se bem explorada pedagogicamente, possui um grande potencial para se constituir em um instrumento facilitador e orientador do processo de investigação científica e de transformação de uma visão fragmentada para uma visão integrada da ciência.

A Paleontologia, neste contexto, busca entender como a evolução física da Terra, no que se refere a mudanças na sua geografia (paleogeografia), no clima (paleoclima) e nos ecossistemas (paleoecologia), influenciou a evolução das formas de vida pré-históricas. E, neste meio, o paleontólogo é o cientista que estuda a vida pré-histórica a partir das evidências fornecidas pelos fósseis e pelas rochas. Os paleozoólogos são os cientistas especializados em Paleontologia de Invertebrados, ramo da Paleozoologia que estuda os animais sem ossos, ou em Paleontologia de Vertebrados, estudando os fósseis de animais com ossos; os paleobotânicos estudam as plantas fósseis, e ainda os micropaleontólogos estudam fósseis microscópicos, ou seja, microrganismos fósseis de parede orgânica (polens) ou mineralizada (foraminíferos).

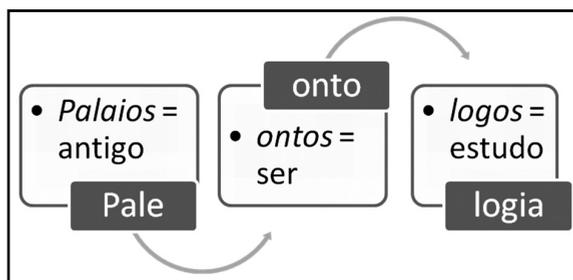
E assim a Paleontologia se divide em vários ramos, cada ramo com sua especificidade e importância, seja para as ciências, seja para a economia. Neste tópico você vai estudar os conceitos ligados à Paleontologia, suas divisões e sua importância. Vamos lá!

2 CONCEITOS

A Paleontologia é a ciência que estuda evidências da vida animal e de plantas pré-históricas preservadas nas rochas (os fósseis). Essa ciência visa conhecer a vida do passado geológico sob vários aspectos, obter dados de grande importância para o entendimento evolutivo e temporal e também a aplicação na busca de bens minerais e energéticos.

O termo Paleontologia, usado na literatura geológica pela primeira vez em 1834, foi formado a partir das palavras gregas: *palaios* = antigo, *ontos* = ser, *logos* = estudo. Já a palavra fóssil originou-se do termo latino *fossilis* = extraído da terra. (CASSAB apud CARVALHO, 2004).

FIGURA 32 – REPRESENTAÇÃO DA FORMAÇÃO DO TERMO PALEONTOLOGIA A PARTIR DE PALAVRAS GREGAS



FONTE: Os autores

A Paleontologia se consolidou como ciência no início do século XIX, com o surgimento das primeiras sociedades científicas paleontológicas, que, com a divulgação de pesquisas, serviram de suporte para o pleno desenvolvimento desta ciência (CASSAB, 2004), hoje considerada uma ciência autônoma. O seu progresso se deu muito devido ao estímulo exercido pela indústria de petróleo e, sobretudo, à incessante pesquisa de caráter imediatista dos numerosos pesquisadores.



Nas últimas décadas, a Paleontologia tem passado por uma verdadeira revolução científica, devido, em parte, à grande popularidade de filmes e documentários, que, por meio dos seres pré-históricos, como os dinossauros, pterossauros e outros répteis associados, todos extintos, têm gerado novas maneiras de se investigar os fósseis no campo e de estudar o passado da vida em laboratório.

Existem duas ciências que fundamentam a Paleontologia e que são importantes também no seu processo metodológico, chamadas Biologia e Geologia. Por serem restos de organismos vivos o objeto de estudo, o paleontólogo busca subsídios na Biologia. Em contrapartida, é fornecida aos biólogos a dimensão temporal do estabelecimento dos ecossistemas atuais e complementos às teorias evolutivas. Por outro lado, é na Geologia que se utilizam os fósseis como ferramentas para datação e ordenação das sequências sedimentares, interpretando os ambientes

antigos de sedimentação e a identificação das mudanças ocorridas na superfície da Terra através do tempo geológico. (CASSAB apud CARVALHO, 2004).

Para ter sucesso nesse campo, o pretendente a paleontólogo precisa adquirir excelentes conhecimentos geológicos e fundamentos sólidos de biologia. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000). Isso se dá uma vez que a paleontologia não é uma ciência apenas descritiva, mas que se preocupa com o conhecimento dos organismos que antecederam os atuais, com seu modo de vida, condições ambientais sob as quais se desenvolveram, causa da sua morte ou da sua extinção e prováveis relações filogenéticas. (MENDES, 1988).

2.1 PALEONTOLOGIA E ARQUEOLOGIA

Existem diferenças entre a Paleontologia e a Arqueologia, apesar de essas duas ciências compartilharem de muitas técnicas de investigação. Os **arqueólogos** diferenciam-se dos **paleontólogos** porque não trabalham com restos de seres vivos – é uma ciência social. Ambas as ciências diferem principalmente no tipo e na idade dos objetos de estudo, cabendo à Arqueologia as culturas humanas e civilizações, principalmente dos últimos 10.000 anos, e à Paleontologia o estudo dos fósseis que compreendem qualquer evidência, direta ou indireta, de vida mais antiga. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).



Um **arqueólogo** estuda as culturas e os modos de vida humana do passado a partir da análise de vestígios materiais. Um **paleontólogo**, entre outras coisas, é um biólogo ou geólogo e estuda restos ou vestígios de diversas formas de vida (animal, vegetal etc.) através da análise do que restou delas e da sua atividade biológica.

A paleontologia estuda todos os organismos que viveram na Terra, incluindo a evolução primata-homem, mas não o ser humano como o conhecemos hoje, pois o estudo e seguimento da vida antropocultural se restringe a disciplinas ligadas à arqueologia, à paleoantropologia, à biologia e à medicina. Normalmente, a paleontologia estuda organismos mortos há mais de 11 mil anos; quando os vestígios ou restos possuem menos de 11 mil anos, são denominados de **subfósseis**. De uma maneira muito simplificada, um paleontólogo estuda os restos ou vestígios de seres vivos desde o início da vida na Terra até há cerca de 10 mil anos, incluindo os restos de hominídeos.

Mas você sabe por que o limite de 10 mil anos para se distinguir entre dois objetos arqueológicos e paleontológicos?

Essa data representa um divisor temporal entre as investigações da maioria dos dois grupos de cientistas, uma vez que marca o início da mais recente era geológica, ou seja, o Holoceno. A subsequente mudança climática favorecerá a expansão demográfica de nossos ancestrais e desencadeou grandes transformações culturais. Esse rico registro está tipicamente registrado em materiais pouco consolidados e associados a restos de animais e plantas comuns até hoje. Em contraste, o registro paleontológico das épocas mais antigas, repleto de fósseis de organismos extintos, encontra-se invariavelmente litificado (sem alteração de sua forma original ou consolidado). (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

3 DIVISÕES DA PALEONTOLOGIA

A Paleontologia é estudada através de duas vertentes principais:

- a) **Descritiva:** objetiva a identificação, reconstituição e relações filogenéticas dos fósseis, estabelecendo as correlações cronoestratigráficas e interpretações paleoambientais; e
- b) **Paleobiológica:** enfatiza a identificação das leis que atuaram em ocorrências como a origem da vida, formação e estruturação da biosfera, fenômenos de extinção e o estudo da influência dos paleoambientes na evolução dos organismos. (HOFFMAN, 1990).

Partindo dessas duas vertentes, os estudos paleontológicos compreendem uma série de aspectos e particularidades dos quais podemos distinguir as seguintes divisões ou grupos de abrangência da Paleontologia, conforme apresentamos no quadro a seguir.

QUADRO 3 – DIVISÕES DA PALEONTOLOGIA E SUAS DETERMINAÇÕES

DIVISÕES DA PALEONTOLOGIA	DETERMINAÇÕES
Paleobotânica ou Fitopaleontologia	Estudo dos fósseis de plantas.
Paleozoologia	Estudo dos fósseis de animais e que admite duas subdivisões: a Paleozoologia de Invertebrados (ocupada com fósseis de animais sem estrutura óssea ou cartilaginosa) e a Paleozoologia de Vertebrados (preocupada com os animais portadores de uma estrutura óssea, importantes no estudo da evolução orgânica. (CARVALHO, 2004)).
Micropaleontologia	Estudo dos fósseis de micro-organismos ou de partes de organismos maiores com auxílio de lupas e microscópios. Por exemplo, estudo dos foraminíferos, nanofósseis calcários, radiolários, diatomáceas, dinoflagelados etc. (CARVALHO, 2004).
Macropaleontologia	Estudo dos fósseis visíveis a olho nu.

Palinologia	Estudo dos polens e esporos, células reprodutoras vegetais que variaram grandemente com a evolução e o clima da Terra. (CARVALHO, 2004).
Bioestratigrafia	Estudo da datação das rochas por meio da vida presente nos diferentes estratos sedimentares. Isto pode ser obtido da análise da composição e das características dos animais e plantas fósseis (CASSAB, 2004).
Paleogeografia	Estudo dos organismos para se conhecer a morfologia geográfica do planeta no passado.
Paleoecologia	Estudo da observação de como os organismos se adaptaram ou reagiram, buscando reconstituir o meio físico em que estes mesmos organismos viveram. Para tal, usam os componentes da fauna e flora e vários parâmetros, tenta inferir dados como profundidade, salinidade, produção orgânica, nível de oxigenação do meio e as condições climáticas da época. (CASSAB, 2004).
Paleoclimatologia	Estudo dos climas passados, auxiliados pelos modernos estudos de Palinologia.
Paleoicnologia	Estudo dos traços fósseis (icnofósseis). (CASSAB, 2004).
Paleoetologia ou Paleotatanose	Estudo do comportamento animal, mais especificamente de artrópodes. Tem como ferramentas as outras divisões da Paleontologia, sendo então possível inferir aspectos paleocomportamentais. Um exemplo é a preservação em inclusões em âmbar onde é possível inferir Paleotatanose em artrópodes.
Tafonomia	Estuda a integração da informação biológica no registo geológico, ou seja, a formação dos fósseis e das jazidas fossilíferas e do registo paleontológico. De um modo geral, pode-se dizer que a Tafonomia nasceu da necessidade do paleontólogo em entender como os organismos e seus restos chegaram à rocha e quais foram os fatores e processos que atuaram na formação das concentrações fossilíferas. A Tafonomia é importante também para a identificação de eventos sedimentares e <i>causa mortis</i> de organismos fósseis, permitindo reconstruções paleoecológicas acuradas e/ou auxiliando na determinação do padrão de comportamento social em paleocomunidades. (SIMÕES; HOLZ, 2004).
Sistemática	Classificação e agrupamento dos organismos com base na análise comparativa de seus atributos e nas relações entre eles (CASSAB, 2004).

FONTE: Os autores

4 IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA

A Paleontologia desempenha um papel importante nos dias de hoje. Não pode mais ser encarada como uma ciência hermética, restrita aos cientistas e universidades, já que todos se interessam pela história da Terra e de seus habitantes durante o passado geológico, para conhecer melhor suas origens. (CASSAB apud CARVALHO, 2004).

Também pode-se dizer que já passaram os dias em que o paleontólogo descrevia um ossinho ou uma conchinha pelo prazer de lançar um novo nome científico na literatura especializada, pois os fósseis armazenam muito mais informação do que se imaginava antigamente. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

As informações fundamentam estudos de **evolução e biodiversidade** do passado. Cada achado possui uma história própria, desde a morte do organismo (animal, planta ou micro-organismo), à passagem por todas as fases determinantes até sua transformação definitiva em fóssil. Essa história pode revelar detalhes do **paleoclima**, dos ambientes antigos de sedimentação e dos processos físico-químicos que afetaram os sedimentos desde sua deposição. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

A informação sobre a **vida do passado geológico** (como eram os organismos do passado, como viviam, como interagiam com o meio, como evoluiu a vida ao longo do tempo) está contida nos fósseis e na sua relação com as rochas e os contextos geológicos em que ocorrem. O mundo biológico que hoje conhecemos é o resultado de milhares de milhões de anos de evolução. Assim, só estudando paleontologicamente o registo fóssil – o **registo da vida na Terra** – é possível entender e explicar a diversidade, a afinidade e a distribuição geográfica dos grupos biológicos atuais.

Este tipo de estudo tornou-se viável através dos trabalhos de Georges Cuvier, que mediante a aplicação de suas leis da Anatomia Comparada, comprovou o processo da extinção e da sucessão biótica. Ao possibilitar as reconstruções paleontológicas de seres que apresentavam seu registo fóssil fragmentado, por exemplo um único osso, Georges Cuvier abriu caminho para posteriores elaborações de sequências evolutivas, que deram suporte às teorias sobre a **evolução orgânica**. (FARIA, 2010).

Com base no princípio de que “o presente é a chave do passado”, enunciado por Charles Lyell, partindo do conhecimento dos seres vivos atuais e ainda de seu estudo biológico, é possível extrapolar-se muita informação sobre os organismos do passado, como o **modo de vida**, tipo trófico, de locomoção, de reprodução, entre outros, e isso é fundamental para o estudo e a compreensão dos fósseis.

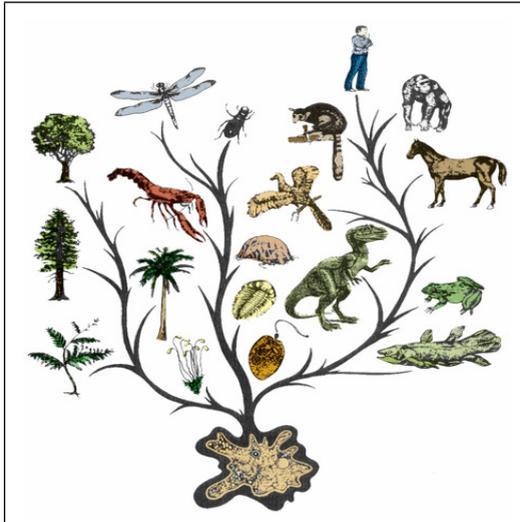


Novas tecnologias, principalmente na área da “paleontologia molecular”, têm propiciado avanços impressionantes na compreensão dos princípios de vida na Terra e da cronologia das inovações evolutivas subsequentes. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

A partir dos fósseis, uma vez que eles são vestígios de organismos de grupos biológicos do passado que surgiram e se extinguíram em épocas definidas da história da Terra, pode-se fazer a **datação relativa das rochas** em que ocorrem e estabelecer correlações (isto é, comparações cronológicas, temporais) entre rochas de locais distantes que apresentem o mesmo conteúdo fossilífero. O estudo dos fósseis e a sua utilização como indicadores de idade das rochas são imprescindíveis, por exemplo, para a **prospecção e exploração de recursos geológicos** tão importantes como o carvão e o petróleo.

De forma geral, podemos dizer que a Paleontologia envolve o conhecimento da vida pré-histórica cuja importância está atrelada aos aspectos científicos, evolutivos e econômicos. Veja as principais funções por meio da próxima figura.

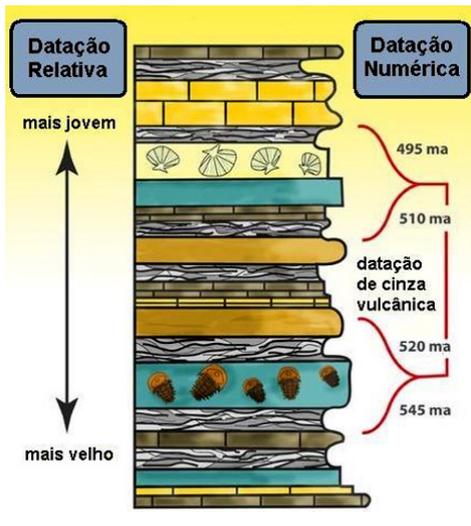
FIGURA 33 – IMPORTÂNCIA DA PALEONTOLOGIA



A – EVOLUÇÃO BIOLÓGICA DOS SERES VIVOS
 FONTE: Disponível em: <http://bigbangtheory.wikia.com/wiki/Evolution?file=Evolution.jpg>. Acesso em: 20 set. 2018.



B – MODO DE VIDA (ECOLOGIA) DOS SERES VIVOS
 FONTE: Disponível em : <http://pt.nextews.com/c3ad1faa/>. Acesso em: 20 set. 2018.

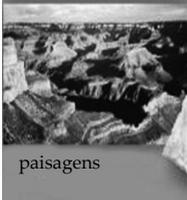


C – DATAÇÃO RELATIVA DAS ROCHAS
 FONTE: <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/registro-geologico>. Acesso em: 20 set. 2018.



D – RECONSTRUIR AMBIENTE PRÉ-HISTÓRICO
 FONTE: Disponível em: *Animais e seres humanos pré-históricos*. [Fotografia]. Obtido do *Encyclopædia Britannica ImageQuest*. https://quest.eb.com/search/132_1236637/1/132_1236637/cite. Acesso em: 20 set. 2018.

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA		
FANEROZÓICO	CENOZÓICA	Quaternário	Holoceno	0,01	
			Pleistoceno	1,8	
		Terciário	Plioceno	5,3	
			Mioceno	24	
			Oligoceno	33	
			Eoceno	54	
			Paleoceno	65	
	MESOZÓICA	Cretácico		142	
		Jurássico		206	
		Triásico		248	
	PALEOZÓICA	Pérmico		290	
		Carbonífero		354	
		Devónico		417	
		Silúrico		443	
		Ordovícico		495	
		Câmbrico		545	
	PROTEROZÓICO				2.500
	ARCAICO				4.500 (Ma)



rochas



fósseis



minerais



água



vulcões



estratos



petróleo e gás

E – HISTÓRIA GEOLÓGICA DA TERRA
 FONTE: Disponível em: <<http://espacociencias.com.pt/site/ciencias-7o-ano/a-terra-conta-a-sua-historia/a-escala-do-tempo-geologico/>>.
 Acesso em: 20 set. 2018.

F – GEOLOGIA ECONÔMICA (CARVÃO E PETRÓLEO)
 FONTE: Disponível em: <<http://webpages.fc.ul.pt>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

Conforme Carvalho (2000), podemos mencionar que a Paleontologia contribui da seguinte forma:

- fornece dados para o conhecimento da evolução biológica dos seres vivos através do tempo;
- possibilita o conhecimento sobre o modo de vida dos organismos do passado;
- estima a datação relativa das camadas, pelo grau de evolução ou pela ocorrência de diversos grupos de plantas e animais fósseis. A sucessão das camadas de rochas e seu conteúdo fóssil está resumida na coluna cronoestratigráfica, em que os grandes grupos e sistemas estão arranjados em sequências, com as rochas mais antigas na base e mais novas no topo;
- reconstrói o ambiente em que o fóssil viveu, contribuindo para a paleogeografia e paleoclimatologia;
- auxilia na reconstituição da história geológica da Terra, através do estudo das sucessões faunísticas e florísticas preservadas nas rochas. A distribuição das espécies nos diversos ecossistemas durante o passado geológico torna possível a identificação da sequência de eventos na história da Terra, que muitas vezes ocorre em escala global;
- identifica as rochas em que podem ocorrer substâncias minerais e combustíveis, como o fosfato, carvão e o petróleo, servindo de apoio à Geologia Econômica.

LEITURA COMPLEMENTAR**A IMPORTÂNCIA DAS COLEÇÕES OSTEOLÓGICAS PARA O ESTUDO DA BIODIVERSIDADE**

Márcio José da Silveira
Edson Fontes de Oliveira

Atualmente, a biodiversidade constitui o objeto de estudo de pesquisadores em todo o mundo e tem nas coleções científicas sua documentação básica. Essas coleções têm como principal objetivo armazenar, preservar e ordenar o acervo de espécimes representando a diversidade biológica de uma determinada área.

Os estudos na área da biodiversidade necessitam de ferramentas e inúmeras informações que podem ser adquiridas por meio das coleções osteológicas (ossos), as quais são de grande importância científica tanto em museus como nas universidades. Na Europa, sabe-se que essa atividade teve grande desenvolvimento durante a Renascença. As grandes viagens de descobertas feitas por Portugal e, posteriormente, por outros países, mostraram faunas e floras radicalmente diversas daquelas do Continente Europeu. O impulso que se instalou na época em colecionar essas raridades levou à criação dos famosos “gabinetes de curiosidades”, os quais serviam de entretenimento para a nobreza e ricos comerciantes. As partes de animais mais fáceis de preservar eram, naturalmente, as ósseas, e logo surgiram coleções de esqueletos com peças isoladas ou montadas.

Certos países demonstram importância incontestável às coleções. Destacam-se os Estados Unidos, onde só o “National Museum of Natural History”, de Washington, mantém um inventário de 60 milhões de espécimes, incluindo peças taxidermizadas, coleções de ossos e invertebrados, provenientes de diversas partes do mundo, servindo de base de referência fundamental e, muitas vezes, única para o desenvolvimento de diferentes pesquisas de diversos países.

O Brasil, por ser um dos países mais ricos em biodiversidade, passa a ter posição de destaque no potencial de informações osteológicas da fauna tropical. O aumento do número de espécies descritas se deve a um maior esforço de coleta empregado pelos pesquisadores, a um aumento significativo das coleções científicas brasileiras, bem como ao crescente número de especialistas atuando no Brasil. Por outro lado, os mesmos dados apontam para a necessidade de maiores investigações na área, com o intuito de viabilizar a elaboração de um quadro mais estável sobre a biodiversidade dos vertebrados brasileiros. Os estudos paleontológicos são de fundamental importância para o conhecimento da biodiversidade existente no planeta em tempos passados.

A conservação de esqueletos fósseis é diretamente influenciada pela presença de poros e cavidades nos ossos e pelo tipo de sedimento ou rocha. Os principais tipos de preservação do material osteológico fóssil se dão de cinco maneiras: (I) preservação sem alteração da composição química e sem alteração mineralógica e de textura; (II) com alteração mineralógica; (III) com mudanças na textura; incrustação, (IV) revestimento de uma parte dura por uma crosta mineral; e (V) permineralização, ou seja, preenchimento de poros ou pequenas cavidades do objeto por um determinado mineral.

As coleções didáticas destinam-se ao ensino por meio de exposições, demonstrações em aula ou treinamento de pessoal. Este tipo de acervo deve suportar o manuseio e o transporte frequentes. Podem conter exemplares sem dados, pois servem apenas para mostrar semelhanças e diferenças entre grupos de indivíduos, ou também para a prática de atividades como a identificação. Alguns importantes museus brasileiros, como o Museu da História Natural Carlos Ritter e o Museu Paraense Emílio Goeldi, localizados respectivamente em Pelotas no Rio Grande do Sul e Belém no Pará, possuem uma importante coleção osteológica e recebem visitas diárias, atuando como plataforma de divulgação científica para o público em geral.

A manutenção de coleções zoológicas, embora tenha grande importância para o Ensino e a Pesquisa, é negligenciada em muitas instituições, e mesmo as mais criteriosas possuem acervos considerados incompletos. Por exemplo, é alarmante que quase um terço dos espécimes de aves não esteja representado em nenhuma coleção do mundo e é possível que isso ocorra em relação a outros grupos zoológicos. Nestes referidos acervos de museus e instituições de ensino e pesquisa, é ideal a presença de dois tipos de esqueletos, um articulado e outro desarticulado. O desarticulado ajuda a identificar ossos isolados, lembrando que em sítios arqueológicos é completamente normal se encontrar fragmentos dos ossos, e não o animal inteiro, sendo a identificação realizada muitas vezes por meio de detalhes isolados. O uso de esqueletos auxilia nas atividades científicas e didáticas, pois fornecem informações seguras sobre as adaptações específicas dos vertebrados, como, por exemplo, sustentação, postura e modo de locomoção, e há grande importância no uso dos esqueletos como ferramentas fundamentais para a pesquisa científica, na identificação de caracteres para análises anatômicas e filogenéticas.

A Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo possui um museu no qual a proposta conceitual é apresentar a anatomia de diferentes animais vertebrados, procurando relacionar a estrutura óssea com aspectos da adaptação desses seres ao ambiente. Para isso, a exposição trabalha, basicamente, com conteúdos sobre a relação entre forma e função, adaptação e anatomia comparada, apresentando as características morfológicas, taxonômicas e biológicas (hábitat, alimentação, reprodução e classificação) dos animais. Isto é feito através da exposição de órgãos, sistemas, ossos e esqueletos, informando também a distribuição geográfica dos seres e ambientes onde são encontrados.

No entanto, vários detalhes referentes à organização dessas coleções devem ser levados em consideração, como, por exemplo, a preparação de esqueletos que futuramente serão incorporados ao acervo. Desta forma, alguns fatores, como a necessidade de desarticulação completa ou manutenção de cartilagens e articulações, devem ser levados em consideração. Com isso, o objetivo didático do uso das peças deve ser definido antes da escolha da técnica a ser utilizada. Alguns métodos de preparação, tais como a maceração química, que se não for feita com critério, podem danificar os ossos e dessa forma tornar as peças inúteis para estudos paleontológicos, ecomorfológicos e de morfologia funcional, que necessitem de comparação de determinadas características entre indivíduos ou espécies.

A FAP – Faculdade de Apucarana – desenvolve um projeto intitulado “A FAP abrindo caminhos para o ensino de Ciências e Biologia”, que consiste em visitas de alunos da rede de ensino da cidade e da região para conhecer os laboratórios da Faculdade, e por isso é fundamental que a instituição apresente materiais de exposição sempre atualizados e bem diversificados. O museu da instituição possui uma coleção osteológica que sustenta suas atividades didáticas e dos projetos que ela realiza, apresentando diversos exemplares de ossos de diferentes classes zoológicas, a maioria desarticulados, como, por exemplo, o acervo de crânios, que apresenta peças de répteis, aves, mamíferos e anfíbios. No entanto, algumas peças apresentam articulação completa, fazendo com que os alunos possam entender cada peça isolada e também conseguir compreender como os ossos são estruturados e articulados nos animais. O conhecimento sobre esqueletos cranianos para o ensino de biologia/anatomia é de grande relevância para os alunos, pois auxilia na compreensão da evolução das espécies através dos crânios anápsidos, diápsidos e sinápsidos.

Devido à importância das coleções osteológicas para ampliação do conhecimento sobre a biodiversidade, é de grande relevância que as universidades, em seus laboratórios de zoologia de vertebrados, mantenham a prática constante da osteologia e incrementem cada vez mais suas coleções. Desta forma é necessário um incentivo maior das instituições de ensino e pesquisa, juntamente com seus docentes, aos alunos que queiram desenvolver essa prática, e assim abrir caminhos a esses acadêmicos, para que futuramente possam colaborar com suas pesquisas para novos conhecimentos sobre as diversas classes de vertebrados por meio das coleções osteológicas.

FONTE: Disponível em: <<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios2/article/view/133/50>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos.

- A Paleontologia é a ciência que estuda evidências da vida animal e de plantas pré-históricas preservadas nas rochas (os fósseis).
- Um arqueólogo estuda as culturas e os modos de vida humana do passado a partir da análise de vestígios materiais. O paleontólogo estuda restos ou vestígios de diversas formas de vida através da análise do que restou delas e da sua atividade biológica.
- Vestígios ou restos que possuem menos de 11 mil anos são denominados de subfósseis.
- A Paleontologia é estudada através de duas vertentes principais: descritiva e paleobiológica.
- A Paleontologia pode se distinguir nas seguintes divisões: Paleobotânica ou Fitopaleontologia; Paleozoologia; Micropaleontologia; Macropaleontologia; Palinologia; Bioestratigrafia; Paleogeografia; Paleoecologia; Paleoclimatologia; Paleoicnologia; Paleotologia ou Paleotanatose; Tafonomia e Sistemática.
- A Paleontologia tem sua importância atrelada aos aspectos científicos, evolutivos e econômicos.

AUTOATIVIDADE



Caro(a) acadêmico(a)! Para fixar melhor o conteúdo estudado, vamos exercitar um pouco. Leia as seguintes questões e responda-as em seu caderno. Bom trabalho!

1 Complete as lacunas das sentenças a seguir:



A _____ é a ciência que estuda evidências da vida animal e de plantas _____ preservadas nas _____. Essa ciência busca o entendimento _____ e _____ e está fundamentada em duas ciências chamadas _____ e _____.

2 Diferencie o trabalho de um paleontólogo do de um arqueólogo.



3 Cite as principais funções desempenhadas pela Paleontologia.



4 Com relação às divisões da Paleontologia, associe as colunas:

	<input type="checkbox"/>	Classifica e agrupa os organismos com base na análise comparativa.
1) Tafonomia.	<input type="checkbox"/>	Estuda a integração da informação biológica no registo geológico.
2) Paleoeecologia.	<input type="checkbox"/>	Estudo do comportamento animal, mais especificamente de artrópodes.
3) Bioestratigrafia.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos traços fósseis.
4) Palinologia.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos climas passados.
5) Paleobotânica.	<input type="checkbox"/>	Estudo da observação de como os organismos se adaptaram.
6) Paleogeografia.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos organismos para se conhecer a morfologia geográfica do planeta no passado.
7) Paleoclimatologia.	<input type="checkbox"/>	Estudo da datação das rochas.
8) Paleicnologia.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos pólenes e esporos.
9) Paleotologia.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos fósseis de animais.
10) Sistemática.	<input type="checkbox"/>	Estudo dos fósseis de plantas.
11) Paleozoologia.	<input type="checkbox"/>	

TEMPO GEOLÓGICO

1 INTRODUÇÃO

É próprio do ser humano pensar sobre si e sobre o mundo que o cerca. Assim, o ser humano possui o domínio do tempo presente, mas também o desejo de saber do seu passado e da origem do mundo em que vive, para entender seu lugar, sua natureza e enfrentar o futuro. E é a Geologia que nos auxilia nesta tarefa difícil, uma vez que é uma ciência histórica, fundamentalmente dependente do elemento tempo. O geólogo e o paleontólogo buscam entender fenômenos findados há milhares, milhões e até bilhões de anos, pelo exame do registro geológico das rochas, fósseis e estruturas geológicas. Esse trabalho é complicado, devido à natureza incompleta e muito complexa do registro e também devido à superposição e repetição de fenômenos ao longo da história geológica.

Os fósseis são registros de espécies que existiram em determinado intervalo de tempo da história da Terra. Estes fósseis apresentam um estágio da evolução dos seres vivos. Se considerarmos que a evolução ocorreu numa ordem definida, os fósseis constituem uma importante ferramenta para diferenciar as rochas mais antigas das relativamente mais jovens. A escala de tempo geológico continua sendo aperfeiçoada até hoje, e fundamenta-se nesse preceito.

Com o objetivo de ordenar e comparar os eventos passados, os geólogos desenvolveram uma escala de tempo padronizada. Neste tópico veremos como é a relação entre o tempo e o tempo geológico, como se divide o Tempo Geológico e como está padronizado em uma escala de tempo. Veremos como é possível estabelecer a idade das rochas por meio do estudo dos fósseis e pela medição de isótopos radioativos. Também vamos estudar sobre a Estratigrafia e a Bioestratigrafia.

2 TEMPO E A CONCEPÇÃO DO TEMPO GEOLÓGICO

A ideia de que a Terra seria muito antiga surgiu nesses últimos dois séculos, devido a dois grandes movimentos da cultura ocidental que consolidariam a Geologia como uma ciência:

- Durante o Iluminismo o ser humano substituiu as explicações sobrenaturais para fenômenos da Natureza por leis naturais, fruto de descobertas da observação, pesquisa científica e emprego do senso comum.
- Com a Revolução Industrial, incrementou-se a demanda por matérias-primas e recursos oriundos da Terra.

Antes destes acontecimentos, não se pensava que o mundo pudesse ser muito antigo por causa da forte influência religiosa. O judaísmo pré-cristão concebia a Terra como tendo apenas poucos milhares de anos e uma ideia parecida se difundiu ao longo da Idade Média e Renascença, por sábios na Europa. Estes afirmavam que a criação do mundo, em coerência com a Bíblia, se deu há cerca de 6.000 anos.

O cômputo da Idade da Terra

<i>Da Criação até o Dilúvio</i>	<i>1.656 anos</i>
<i>Do Dilúvio até Abraão</i>	<i>292</i>
<i>Do Nascimento de Abraão até Êxodo do Egito</i>	<i>503</i>
<i>Do Êxodo até a Construção do Templo</i>	<i>481</i>
<i>Do Templo até o Cativoiro</i>	<i>414</i>
<i>Do Cativoiro até o Nascimento de Jesus Cristo</i>	<i>614</i>
<i>Do Nascimento de Jesus Cristo até hoje</i>	<i>1.560</i>
<i>Idade da Terra</i>	<i>5.520 anos</i>

Conceito medieval da idade da Terra. Este é um cálculo da idade da Terra baseado nas escrituras Bíblicas publicado na Crônica de Cooper, em Londres, em 1560.

FONTE: Disponível em: <http://www.ofitexto.com.br/conteudo/deg_230626.htm>. Acesso em: 24 mar. 2011.

Nos séculos XVII e XVIII permanecia a ideia do ser humano como centro do Universo, e a Terra como de seu uso exclusivo. Foi aí que começou a surgir a Geologia. O dinamarquês Nils Stensen, conhecido como Nicolau Steno (1638-1686), foi quem primeiro anunciou os princípios dessa nova ciência. Ele estabeleceu os três princípios que regem a organização de sequências sedimentares: superposição, horizontalidade original e continuidade lateral. Esses princípios são fundamentais na análise geológica das relações temporais e espaciais entre corpos rochosos.

Já na segunda metade do século XVIII, o netunismo predominava. De acordo com esta ideia, quase todas as rochas, incluindo as ígneas, teriam se precipitado das águas do mar primordial, por isso o nome netunismo, em homenagem ao deus do mar, Netuno. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

No século XIX, os trabalhos de James Hutton (1726-1797) serviriam de base para transformar a Geologia em ciência. Ele percebeu que a história da Terra era muito mais longa do que se pensava em sua época. Portanto, a partir de James Hutton, vários cientistas tentaram calcular a idade da Terra e, com as técnicas utilizadas e as novas descobertas sobre geologia, foram sendo criadas escalas de tempo geológico.

Com a percepção do significado geocronológico da radioatividade no limiar do século XX, permitiu-se a subdivisão do imenso registro geológico pouco fossilífero do Pré-Cambriano, bem como a ordenação e calibração mais precisa da história geológica da Terra. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

Assim, atualmente, podemos entender o tempo geológico como o tempo decorrido desde o final da etapa de formação da Terra até os dias atuais. (MENDES, 1988). O estudo do tempo geológico é chamado de Geocronologia e refere-se exclusivamente ao tempo que é uma grandeza imaterial. (CARVALHO, 2004).



Desde que a geocronologia surgiu no início do século XX, um dos seus maiores objetivos foi a determinação da idade correta da Terra. Mas somente em 1956 é que o geocronólogo Claire Patterson conseguiu datar com precisão, por meio do método isotópico ^{207}Pb - ^{206}Pb (Pb = chumbo). Ele constatou que a Terra tem 4,56 bilhões de anos. (FAIRCHILD apud TEIXEIRA et al., 2000).

3 ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO

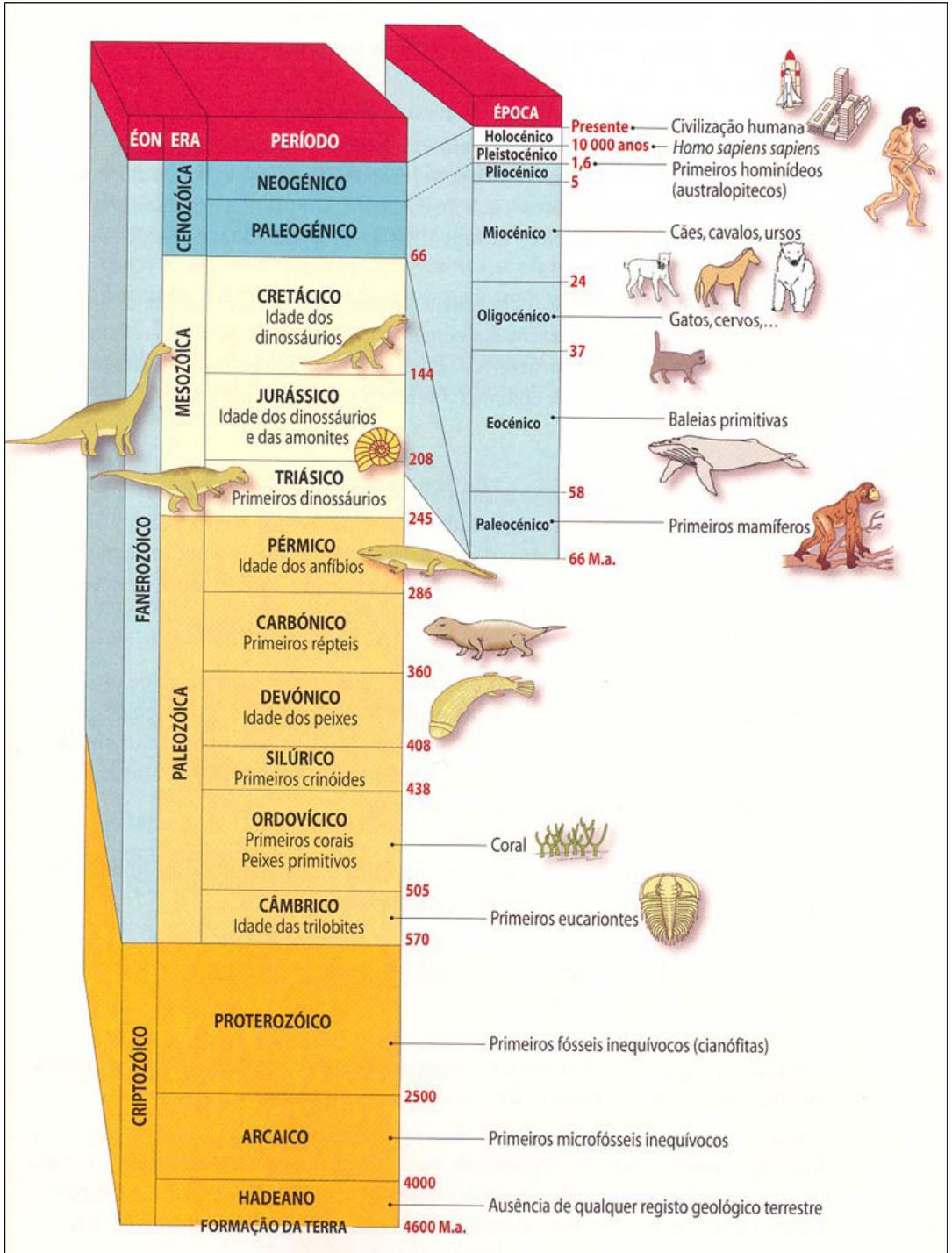
Quando estudamos o tempo geológico, precisamos nos familiarizar com os termos Cronoestratigrafia e Geocronologia. A Cronoestratigrafia está intimamente relacionada à Geocronologia. A Cronoestratigrafia classifica os estratos de acordo com a sua idade e a Geocronologia refere-se exclusivamente ao tempo.

A idade de uma rocha pode ser absoluta ou relativa. A idade absoluta é expressa em anos, usando-se as abreviações: Ma = milhões de anos; Ba ou Ga = bilhões de anos. O principal método para realizar datações absolutas é o radiométrico, o qual se baseia no cálculo do tempo envolvido no decaimento de certa quantidade de isótopos desde o “momento” da cristalização de um mineral ou da solidificação de uma rocha. Quando não estão disponíveis datações absolutas, a idade das rochas é expressa em termos relativos. Utilizam-se denominações como “Período Devoniano”, “Era Paleozoica”.

FONTE: Adaptado de: <<http://www.cesad.ufs.br/Catalogo%20Digital/PDF/Introducao%20a%20Paleontologia/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20Paleontologia%20aula%2002.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

As denominações empregadas na tabela de tempo geológico começaram a ser criadas a partir do século XVIII, quando o engenheiro inglês William Smith constatou as sucessões ordenadas de fósseis nas rochas. Outros pesquisadores, inicialmente da Grã-Bretanha, depois de outros países da Europa, também se empenharam para comparar os estratos quanto ao seu conteúdo paleontológico. Eles tinham muita dificuldade porque ainda não se sabia quais fósseis realmente seriam úteis para as correlações. Em cada área, as camadas começaram a ser designadas por nomes locais, que passaram a ser aplicados em áreas cada vez mais amplas à medida que as correlações eram estendidas para diversas bacias. (CARVALHO, 2004).

FIGURA 34 – TABELA DE TEMPO GEOLÓGICO



FONTE: Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=581>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

As origens de alguns nomes consagrados da Cronoestratigrafia e da Geocronologia são as seguintes: Cambriano em alusão à Cambria, o nome latino de Gália; Ordoviciano, nome derivado de Ordoviees, uma antiga tribo celta; Siluriano, relativo a Silures, nome dos antigos habitantes do oeste da Inglaterra e do País de Gales; Devoniano, nome de afloramentos próximos a Devonshire, na Inglaterra; Carbonífero, designação dada aos estratos com camadas de carvão do centro-norte da Inglaterra; Mississipiano e Pensilvaniano, unidades também portadoras de carvão na América do Norte; Permiano, nome derivado da província russa de Perm, no lado oeste das Montanhas Urais; Triássico, nome proposto para um conjunto de rochas subdividido em três partes da Alemanha; Jurássico, em alusão às Montanhas Jura entre a França e a Suíça; Cretáceo, denominação derivada da palavra latina ereta, que significa greda ou giz. (CARVALHO, 2004).

A Tabela de Tempo Geológico é subdividida em **éons, eras, períodos, épocas e idades** (Figura 35). Na Cronoestratigrafia, as unidades são **eonotemas, eratemas, sistemas, séries e andares** (MENDES, 1988).



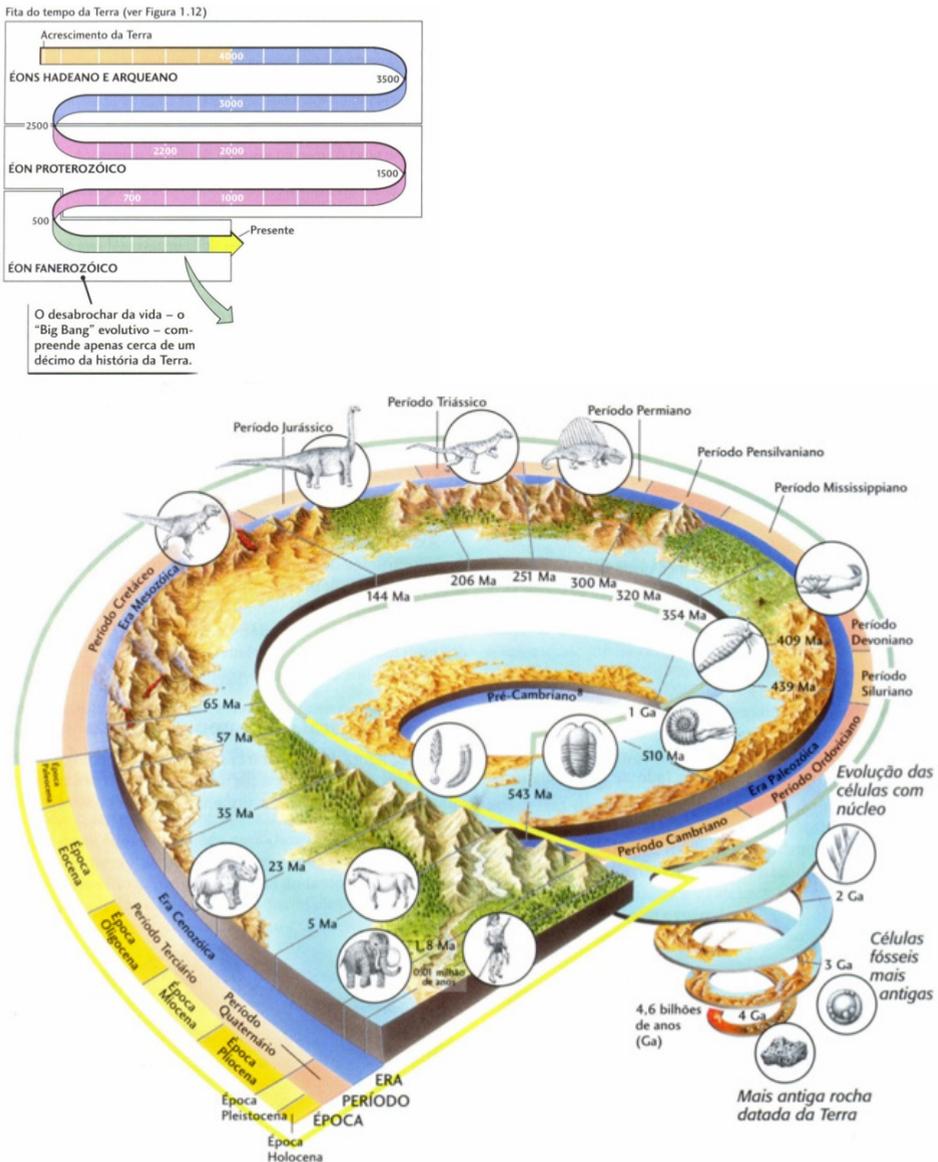
A Tabela Estratigráfica Internacional completa pode ser obtida no site da Comissão Internacional de Ciências Geológicas. Acesse em: <<http://www.stratigraphy.org/>>.

A unidade fundamental da Cronoestratigrafia é o sistema correspondente ao conjunto de rochas depositadas num período geológico. Por exemplo, o Sistema Devoniano foi depositado durante o Período Devoniano. Já os sistemas Terciário e Quaternário derivam da antiga classificação das rochas em Primário, Secundário, Terciário e Quaternário utilizada no século XVII. Contudo, ao invés de Terciário, muitos autores adotam os sistemas Paleógeno e Neógeno. Os sistemas fazem parte de unidades maiores, designadas eratemas e eonotemas. As respectivas unidades de tempo são as eras e os éons.

As rochas mais antigas da Terra eram anteriormente referidas como pertencentes à “Série Primária”. Corresponderiam a rochas de caráter cristalino subjacentes a estratos fossilíferos. Na escala de tempo, estas rochas atualmente são atribuídas aos éons Arqueano e Proterozoico. O intervalo de tempo ainda anterior, compreendendo a formação da Terra até a geração das rochas mais antigas preservadas, é designado Éon Hadeano. Estes três intervalos são informalmente designados como “Pré-Cambriano”, por terem antecedido o Período Cambriano, quando surgiram os primeiros invertebrados dotados de conchas ou esqueletos duros. O intervalo de tempo do Cambriano até hoje corresponde ao Éon Fanerozoico. O Fanerozoico é subdividido nas eras Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico. (CARVALHO, 2004).

Os sistemas são subdivididos em séries, as quais compreendem as rochas depositadas nas respectivas épocas do tempo geológico. As séries frequentemente são designadas como sendo as subdivisões “inferior”, “médio” e “superior” dos sistemas, correspondendo às subdivisões “eo ...”, “mesa ...” e “neo ...” dos períodos. No caso do Sistema Terciário, as séries receberam denominações já consagradas (Paleoceno, Eoceno etc.), inicialmente introduzidas com base nas proporções de espécies de invertebrados marinhos atuais nas faunas fósseis. Para o Quaternário, as séries Pleistoceno e Holoceno foram originalmente propostas para designar os depósitos glaciais e os pós-glaciais. As séries são divididas em andares e as épocas em idades. (CARVALHO, 2004).

FIGURA 35 – (A) FITA DO TEMPO DA TERRA. (B) LINHA DO TEMPO GEOLÓGICO DA HISTÓRIA DA TERRA



FONTE:Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/YagoVerling/tempo-geolgico02-10>> Acesso em: 20 set. 2018.

Atualmente, ainda há discussões sobre a abrangência dos intervalos cronoestratigráficos e a formalização de subdivisões cada vez menores. A Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS) da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) tem como objetivo estabelecer uma escala estratigráfica padrão, aplicável mundialmente. Comitês de especialistas rigorosamente eleitos procuram definir a base de cada unidade cronoestratigráfica num ponto único de uma seção muito bem selecionada, em que se observa alguma modificação da fauna ou flora muito marcante (aparecimentos e extinções). O ponto, por definição, representa um instante de tempo conhecido e serve como referência para determinar a base da unidade cronoestratigráfica de outros lugares (que não obrigatoriamente coincide com o mesmo instante de tempo. (CARVALHO, 2004)).

As seções de referência para a definição da base das unidades cronoestratigráficas normalmente estão fundamentadas em fósseis marinhos considerados cosmopolitas. Entretanto, em muitos depósitos sedimentares não ocorrem tais fósseis-guias, por diversas razões: os paleoambientes deposicionais contemporâneos talvez tenham sido continentais ou marinhos restritos (com biotas endêmicas) ou simplesmente o registro sedimentar está incompleto. Nesses casos, é necessário estabelecer andares ou séries regionais e locais. (CARVALHO, 2004).

4 DATAÇÃO RELATIVA BASEADA EM FÓSSEIS

A datação de um fóssil está ligada à complexidade do registro paleontológico, que ocorre desde a formação do fóssil até o que ocorre com a camada sedimentar onde este se preservou.

Os fósseis são preservados em rochas sedimentares, que são geradas a partir da fragmentação de outras rochas (ígneas, metamórficas ou sedimentares), resultando em pequenas partículas. Os sedimentos são transportados juntamente com os restos orgânicos do animal ou planta, e são acumulados em áreas chamadas de bacias sedimentares. Nessas bacias, devido a processos físicos e químicos, os sedimentos são transformados em rochas e os restos orgânicos em fósseis. Assim, a idade de um fóssil está ligada à idade da rocha sedimentar onde este tenha se preservado originalmente. (KELLNER, 2008).



No que se refere à datação, dois conjuntos de informações são empregados e fornecem uma datação relativa e uma datação absoluta.

4.1 DATAÇÃO RELATIVA

Existem três princípios fundamentais, conhecidos como princípios de Steno, que ajudam na organização das camadas sedimentares. O princípio da horizontalidade original estabelece que os sedimentos são depositados em camadas geralmente horizontais. O princípio da continuidade lateral determina que as camadas são contínuas, tendendo a se estender até as margens da bacia onde são formadas, ou se afinam lateralmente. Por fim, segundo o princípio da superposição, uma camada é mais velha do que a camada imediatamente acima e mais nova do que a camada imediatamente abaixo dela. (KELLNER, 2008).

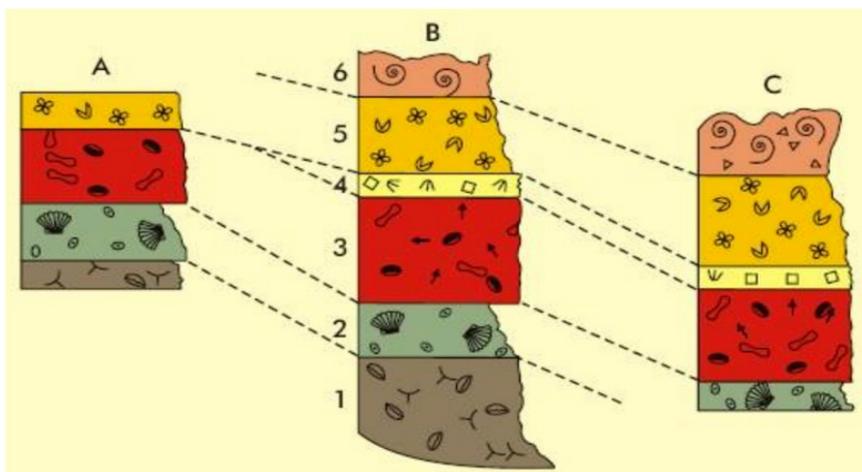


As forças de grande magnitude no interior da Terra podem provocar mudanças nas camadas, fazendo com que elas sejam deslocadas verticalmente ou mesmo dobradas, deixando de ser horizontais. Isto será revelado se for feito um mapeamento geológico na região.

Outra ferramenta importante para a datação das rochas sedimentares são os fósseis. De forma simples, pode ser estabelecido que um período geológico tenha abrigado um conjunto particular de fósseis. Assim, surgiu o princípio da sucessão biótica, que aponta a possibilidade de se estabelecer uma sequência cronológica das camadas a partir de seu conteúdo fossilífero. Esses fósseis também possibilitam uma correlação bioestratigráfica, ou seja, se em duas camadas de regiões distantes são encontradas as mesmas espécies de fósseis, existe uma grande probabilidade de elas terem a mesma idade. (KELLNER, 2008).

É importante esclarecer que nem todos os fósseis são bons indicadores de tempo ou permitem uma correlação bioestratigráfica. Os fósseis mais importantes para esse tipo de estudo são os microfósseis (organismos pequenos, somente observáveis com lupas binoculares). Dinossauros, por exemplo, não são boas ferramentas para esse tipo de análise.

FIGURA 36 – A PARTIR DA CORRELAÇÃO BIOESTRATIGRÁFICA BASEADA EM UM CONJUNTO DE FÓSSEIS É POSSÍVEL ESTABELECEER A COMPOSIÇÃO DA SEQUÊNCIA DAS CAMADAS SEDIMENTARES (COLUNA CENTRAL)



FONTE: Disponível em: <http://www.aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/242780/mod_resource/content/1/9.tempo%20geol%C3%B3gico.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.



Os princípios de Steno, juntamente associados a determinados tipo de fósseis, permitem estabelecer a idade relativa das camadas, mas não uma idade precisa em termos de anos.

4.2 DATAÇÃO ABSOLUTA

A idade absoluta das camadas em anos pode ser determinada com a chamada datação por isótopos radiativos.

As rochas são feitas de minerais formados por elementos químicos que, por sua vez, são compostos de átomos. Alguns desses elementos (os radioativos) possuem átomos instáveis na natureza, cujos núcleos se desintegram espontaneamente até que os átomos se tornem estáveis. O isótopo rubídio-87 (^{87}Rb) forma o isótopo estável estrôncio-87 (^{87}Sr).



Isótopos são átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número de prótons, mas diferentes quantidades de nêutrons. O tempo requerido para que a metade do número inicial de átomos do elemento radioativo se desintegre é chamado de meia-vida. (KELLNER, 2008).

O processo tem início quando um mineral se forma, aprisionando na rede cristalina os elementos radioativos. Estes começam a decair e se transformar em elementos estáveis, que também ficam aprisionados no mineral. A relação entre as quantidades de elementos estáveis e instáveis presentes nos minerais fornecerá a sua idade e, dessa forma, a idade da rocha. Essa medida é feita com um aparelho chamado espectrômetro de massa, que pode medir quantidades bem pequenas de isótopos. A importância dessa atividade fez surgir a geocronologia, um ramo da geologia. (KELLNER, 2008).

4.3 A IDADE DO FÓSSIL

As rochas onde são encontrados os minerais empregados na datação absoluta são as rochas ígneas, e que não preservam fósseis. Em minerais encontrados nas rochas sedimentares não são realizadas datações, pois, nesse caso, eles não irão determinar quando a rocha sedimentar se formou e sim a idade da rocha que deu origem aos sedimentos que terminaram por formar a rocha sedimentar.

Desta maneira, a idade dos fósseis é estimada por meio da associação de datações relativas e absolutas. Se, por exemplo, existir um conjunto de camadas sedimentares situadas entre rochas ígneas onde se possa estabelecer que a mais antiga tenha 100 milhões de anos e a mais nova, 80 milhões de anos, esse pacote sedimentar (e fósseis nele incluídos) será mais novo do que 100 milhões de anos e mais antigo do que 80 milhões de anos.



Você sabia que a idade dos fósseis muitas vezes não é exata? Na maioria das vezes, o paleontólogo sabe que a idade dos fósseis pode ter grande incerteza. Em alguns casos, como nos famosos depósitos de Liaoning (China), onde há rochas sedimentares intercaladas com cinzas vulcânicas (com excelentes minerais para datação absoluta), a idade dos fósseis pode ser obtida com uma precisão maior. (KELLNER, 2008).

5 A DIVERSIFICAÇÃO DA VIDA AO LONGO DAS ERAS GEOLÓGICAS (FILOGÊNESE)

O termo filogênese vem do grego *phylon* = raça, tribo, e foi disseminado no século passado por Haeckel, com o sentido de descendência evolutiva dos organismos, estando implícito o conceito de linhagem evolutiva. Opõe-se à ontogênese, que estuda o ciclo de vida de um indivíduo. Por linhagem evolutiva, ou simplesmente linhagem, entende-se um encadeamento de espécies ou gêneros, dispostos em sucessão cronológica, cujo objetivo é mostrar sua descendência a partir de um determinado táxon, considerado como fonte de origem da linhagem em apreço. Neste tópico vamos tratar apenas da face paleontológica da filogênese. (MENDES, 1988).

No estabelecimento das linhagens a morfologia é um elemento fundamental, sem se perder de vista o elemento, posição estratigráfica. A anatomia comparada tem sido usada mais que qualquer outra fonte de dados para os estudos filogenéticos. As pesquisas filogenéticas visam à construção das chamadas árvores filogenéticas. Uma árvore filogenética é uma representação diagramática de supostas linhas de descendência, baseadas em evidências paleontológicas, morfológicas ou de outra natureza.

FIGURA 37 – REPRESENTAÇÃO DE UMA ÁRVORE FILOGENÉTICA

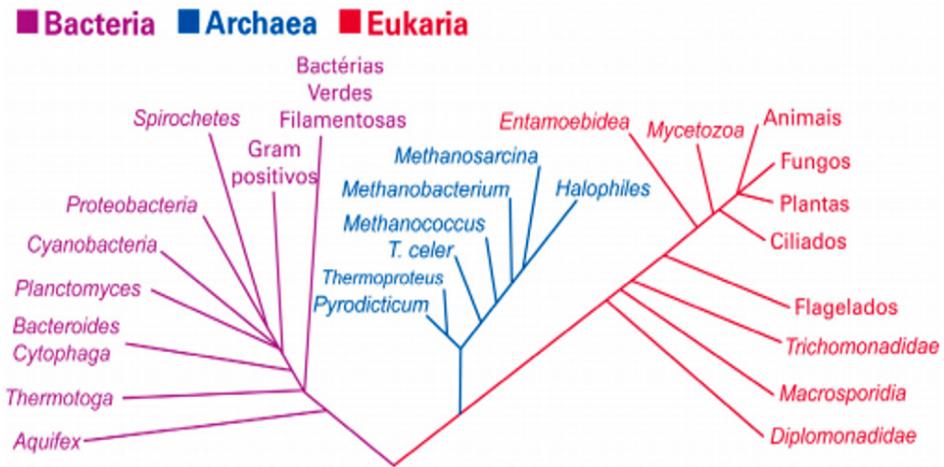


Figura 1.10: Sistema de classificação proposto por Carl Woese. O Domínio Archaea seria mais próximo evolutivamente do Domínio Eucarya do que do Domínio Bacteria / Fonte: CEPA

FONTE: Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/979161/mod_resource/content/1/Bio_Filogenia_top01.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

Um problema é que as opiniões divergem, comumente em torno da construção das árvores filogenéticas. Surgem as controvérsias, em geral, da insuficiência de dados, mas também da diversidade de pontos de vista em que se baseia a filogênese. Assim, os mesmos dados são interpretados de modo diferente. Mas este problema também se configura devido aos vícios do sistema taxionômico vigente. A Taxonomia tem dois propósitos: organizar o conhecimento sobre o mundo orgânico e pôr em evidência os parentescos. (MENDES, 1988).

Para os cladistas é fundamental a distinção entre grupos naturais ou monofiléticos e grupos parafiléticos (= polifiléticos). Os primeiros apresentam uma história genealógica comum (aves, por exemplo). Os segundos não possuem uma ascendência única. Ambas incluem gêneros que são mais intimamente ligados aos de outras ordens que aos representativos das duas ordens mencionadas. São considerados parafiléticos, igualmente, os *Osteichthyes*, os *Amphibia* e os *Reptilia*. O uso de grupos parafiléticos não só é inadequado aos estudos filogenéticos como, também, à apreciação das taxas evolutivas. (MENDES, 1988).

6 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL (ESTRATIGRÁFICA) E HORIZONTAL (PALEOGRÁFICA) DA VIDA NOS ESTRATOS GEOLÓGICOS

6.1 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL (ESTRATIGRÁFICA)

Estratigrafia é a parte da Geologia que trata do estudo de rochas estratificadas, sua descrição, sua interpretação e suas relações mútuas.

O termo **fácies** é empregado para uma rocha com determinadas características, que podem ser litológicas (litofácies), paleontológicas (biofácies) ou outras. Geralmente, as características das fácies permitem interpretar o processo deposicional e o paleoambiente. Alguns pesquisadores discriminam as fácies em função da sua gênese e não pelos caracteres descritivos. Um estrato pode conter uma ou mais fácies. (CARVALHO, 2004).

O dinamarquês Nicolaus Steno (1638-1687) lançou os primeiros importantes conceitos da Estratigrafia, como o Princípio da Superposição, que pode ser traduzido como: em qualquer empilhamento de estratos não perturbados, a camada inferior é a mais antiga e as camadas sucessivamente mais altas são sucessivamente mais jovens. (CARVALHO, 2004).

A Estratigrafia avançou com os trabalhos do engenheiro inglês William Smith (1769-1839), que, ao longo dos anos, verificou que vários estratos ocorrem numa ordem vertical definida. Os estratos de um determinado local puderam ser observados também em outros, sugerindo que eram originalmente contínuos. O reconhecimento dessa relação lateral entre os estratos recebe o nome de **correlação**

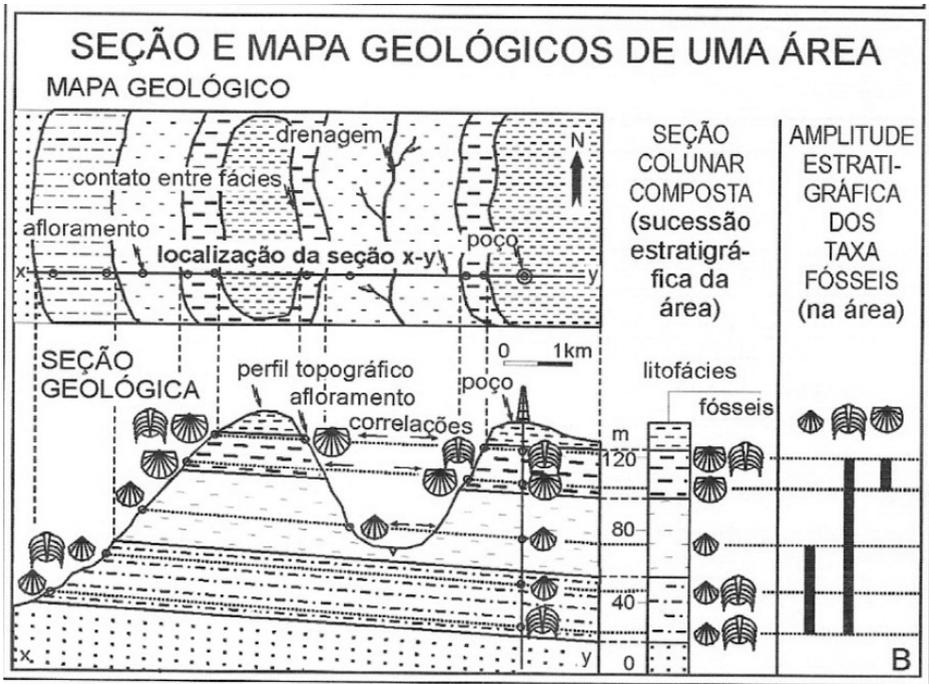
estratigráfica. Smith identificou os estratos em pontos diferentes através do conteúdo fossilífero, das litologias e dos solos típicos dessas litologias. Ele foi capaz de prever as rochas e suas espessuras nas escavações dos seus projetos de engenharia. Colecionando informações intuitivas sobre a sucessão de assembleias fossilíferas, ele estendeu suas correlações para estratos cada vez mais distantes, inclusive quando as litologias eram lateralmente distintas. (CARVALHO, 2004).

Cabe ressaltar que as conclusões de W. Smith antecederam, cerca de 60 anos, a teoria de evolução das espécies de Charles Darwin (1809-1882). Posteriormente, embora ainda ocorressem controvérsias, a sucessão de diferentes tipos de animais e de plantas nos estratos e, portanto, no tempo, passou a ser explicada pela evolução. Assim, foi possível concluir que somente aquelas rochas originadas ao mesmo tempo podem conter assembleias fossilíferas similares. As correlações intuitivamente iniciadas por Smith representam “linhas virtuais de tempo”, ou melhor, horizontes cronoestratigráficos. (CARVALHO, 2004).

A figura a seguir mostra exemplos de correlações estratigráficas, da escala de afloramento à escala de bacia. Em qualquer situação, pode-se enfatizar a importância da Paleontologia para o reconhecimento de estratos de mesma idade.

FIGURA 38 – (A) CORRELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS NUM AFLORAMENTO. (B) CORRELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS NUMA ÁREA COM DIVERSOS AFLORAMENTOS E UM POÇO





Os fósseis mais adequados para correlações a longas distâncias são os fósseis-guias. Além da grande distribuição geográfica, esses fósseis devem ter pequena amplitude vertical (ou seja, evoluído rapidamente ou experimentado rápida extinção), devem ser facilmente identificáveis, abundantes e preferencialmente independentes do tipo de rocha. Muitos microfósseis, especialmente de organismos planctônicos, grãos de pólen e esporos, preenchem estes requisitos. São úteis nas correlações de subsuperfície porque as amostras de poços e de sondagens geralmente não permitem a obtenção de macrofósseis inteiros e em quantidades significativas. (CARVALHO, 2004).

Os estratos podem ser denominados de diversas maneiras, variando de acordo com os critérios de classificação. Por exemplo, a idade das rochas, as litologias ou o conteúdo paleontológico são critérios para estabelecer, respectivamente, a Cronoestratigrafia, a Litoestratigrafia e a Bioestratigrafia. São possíveis também outras classificações estratigráficas (por exemplo, a Sismoestratigrafia e a Magnetoestratigrafia). Em cada país devem ser obedecidas certas normas estratigráficas, como as do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. (CARVALHO, 2004).

6.2 DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL (PALEOGRÁFICA)

A distribuição horizontal ou Paleográfica também é chamada de Bioestratigrafia. Na Bioestratigrafia, os critérios de classificação dos estratos são paleontológicos. Apenas é utilizada a variação do conteúdo fóssilífero na sucessão de estratos que, em teoria, deve refletir a evolução das espécies. As subdivisões fundamentais são as biozonas (ou zonas), que podem ser subdivididas em subzonas ou agrupadas em superzonas. Essas unidades são designadas de acordo com o nome de um ou dois fósseis característicos. (CARVALHO, 2004).

Os limites das biozonas podem ser definidos por distintos critérios paleontológicos, geralmente pelo aparecimento ou desaparecimento de certos *taxa*, pelos intervalos de sua abundância máxima, pela combinação entre o aparecimento de alguns e desaparecimento de outros e também por vários tipos de associações entre *taxa*. Os zoneamentos bioestratigráficos podem ser propostos usando um grupo específico de fósseis ou diversos grupos em conjunto.

Num conjunto de estratos de uma bacia podem ser estabelecidos distintos zoneamentos, com limites completamente independentes. Em qualquer situação, é importante amostrar os fósseis em intervalos adequados para reconhecer a amplitude vertical correta dos *taxa*.

As unidades bioestratigráficas também são totalmente independentes das litoestratigráficas. Entretanto, na prática, determinados fósseis muitas vezes só ocorrem em certas litofácies porque foram condicionados ecologicamente pelo ambiente deposicional. Nesses casos, na realidade, pode-se estabelecer apenas uma “ecoestratigrafia”, porque os níveis de aparecimento e desaparecimento dos *taxa* não refletem seu verdadeiro tempo de existência. (CARVALHO, 2004).

LEITURA COMPLEMENTAR

DESCOBERTA DE FÓSSIL INDICA QUE A ANTÁRTIDA FOI MUITO MAIS QUENTE

Mark Williams

Um novo fóssil descoberto na Antártida indica que a região foi há milhões de anos muito mais quente, o que tem implicações no estudo da evolução da calota polar e das alterações climáticas.

A descoberta, divulgada pela revista britânica “Proceedings of the Royal Society B”, foi realizada por um grupo de cientistas de várias universidades do Reino Unido e dos Estados Unidos na zona dos Vales Secos, no leste do Continente Antártico.

Os fósseis, de um tipo de ostracode (pequenos crustáceos com aspecto de concha), procedem de um antigo lago com 14 milhões de anos e estão bem conservados em três dimensões, incluindo as partes moles, segundo os cientistas.

Mark Williams, do Departamento de Geologia da Universidade de Leicester, afirmou que a existência destes tipos de fósseis, até agora desconhecida, na Antártida, demonstra que essa zona do planeta era mais quente do que na atualidade. A presença de ostracodes de lago a essa latitude, de 77 graus sul, é notável, sublinhou o especialista.

Essa região da Antártida tem temperaturas anuais de 25 graus abaixo de zero, incompatíveis com a subsistência de uma fauna de ostracodes no lago, asseverou. A descoberta desses fósseis, acrescentou, demonstra que houve desde então um arrefecimento substancial e muito intenso do clima antártico, o que é um dado importante para traçar a evolução da calota polar, um fator chave para entender os efeitos do aquecimento global.

Segundo o cientista, os ostracodes dos Vales Secos – assim chamados devido ao seu baixo índice de umidade e ausência de gelo – demonstram a existência de um lago de alta altitude com condições ótimas para a colonização animal. Por sua vez, isso significa que houve uma mudança drástica do clima nessa região, de condições de tundra há 14 milhões de anos, ao clima continental interior intensamente frio de hoje, referiu Williams.

Os cientistas advertem que a descoberta não implica a existência de uma fauna muito extensa de ostracodes em lagos da Antártida. O mais provável, consideram, é que a sua introdução tenha sido casual, talvez através de aves migratórias que teriam dispersado ovos presas nas asas ou nas patas. Os ostracodes antárticos foram descobertos por Richard Thommasson durante uma análise de sedimentos no laboratório de Allan Ashworth, na Universidade do Dakota do Norte (EUA).

Além de Mark Williams, participaram na investigação peritos do British Geological Survey, da Universidade Queen Mary, de Londres, e da Universidade de Boston (EUA).

FONTE: Ciência Hoje: Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo. Disponível em: <<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=26901&op=all>>. Acesso em: 9 mar. 2011.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A ideia de que a Terra seria muito antiga surgiu nesses últimos dois séculos, devido ao Iluminismo e à Revolução Industrial.
- O tempo geológico é o tempo decorrido desde o final da etapa de formação da Terra até os dias atuais.
- O estudo do tempo geológico é chamado de Geocronologia.
- A Cronoestratigrafia classifica os estratos de acordo com a sua idade.
- A idade de uma rocha pode ser absoluta ou relativa.
- A Tabela de Tempo Geológico começou a ser criada a partir do século XVIII, quando o engenheiro inglês William Smith constatou as sucessões ordenadas de fósseis nas rochas.
- A Tabela de Tempo Geológico é subdividida em éons, eras, períodos, épocas e idades.
- Atualmente, ainda há discussões sobre a abrangência dos intervalos cronoestratigráficos e a formalização de subdivisões cada vez menores.
- A datação de um fóssil está ligada à complexidade do registro paleontológico, que ocorre desde a formação do fóssil até o que ocorre com a camada sedimentar onde este se preservou.
- Os fósseis são preservados em rochas sedimentares, geradas a partir da fragmentação de outras rochas.
- A partir da correlação bioestratigráfica, baseada em um conjunto de fósseis, é possível estabelecer a composição da sequência das camadas sedimentares e estimar uma idade.
- A idade absoluta das camadas em anos pode ser determinada com a chamada datação por isótopos radiativos.
- Estratigrafia é a parte da Geologia que trata do estudo de rochas estratificadas, sua descrição, sua interpretação e suas relações mútuas.
- A distribuição horizontal ou Paleográfica também é chamada de Bioestratigrafia e utiliza como critério de classificação os estratos paleontológicos.



Caro(a) acadêmico(a)! Para fixar melhor o conteúdo estudado, vamos exercitar um pouco. Leia as seguintes questões e responda-as em seu caderno. Bom trabalho!

1 Quais os dois períodos que influenciaram os cientistas dos últimos dois séculos a pensarem que a Terra era muito antiga?

2 Complete as lacunas das sentenças a seguir:

A idade de uma rocha pode ser _____ ou _____. A idade _____ é expressa em anos, usando-se as abreviações: Ma = _____ de anos; Ba ou Ga = _____ de anos. O principal método para realizar datações absolutas é o _____, o qual se baseia no cálculo do _____ envolvido no decaimento de certa quantidade de _____ desde o momento da cristalização de um _____ ou da _____ de uma rocha.

3 Para que é utilizada a Tabela do Tempo Geológico?



4 O que estuda a Cronoestratigrafia e a Geocronologia?

5 Quais são os dois métodos utilizados para determinar a idade de um fóssil? Como eles se associam?



6 O que é a Estratigrafia e para que serve?



PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Depois que um ser vivo morre, primeiramente é decomposto por organismos decompositores (bactérias e fungos) que degradam a matéria orgânica. Após a decomposição, o organismo pode ser soterrado ou passar por uma série de processos, como a desarticulação, transporte, entre outros, e só depois sofrer soterramento. O processo de soterramento ocorre quando a água, ou outro agente, transportar o sedimento que irá cobrir o organismo. Após ser soterrado, o organismo irá passar por um processo que consiste na compactação (peso do sedimento) e na cimentação (o sedimento, através de processos químicos, se aglomera e passa a formar uma rocha sedimentar). Esse processo é chamado de diagênese. Após o organismo passar por todas estas etapas, é chamado de fóssil. Este fóssil pode ficar exposto à superfície da Terra devido ao movimento das placas tectônicas.

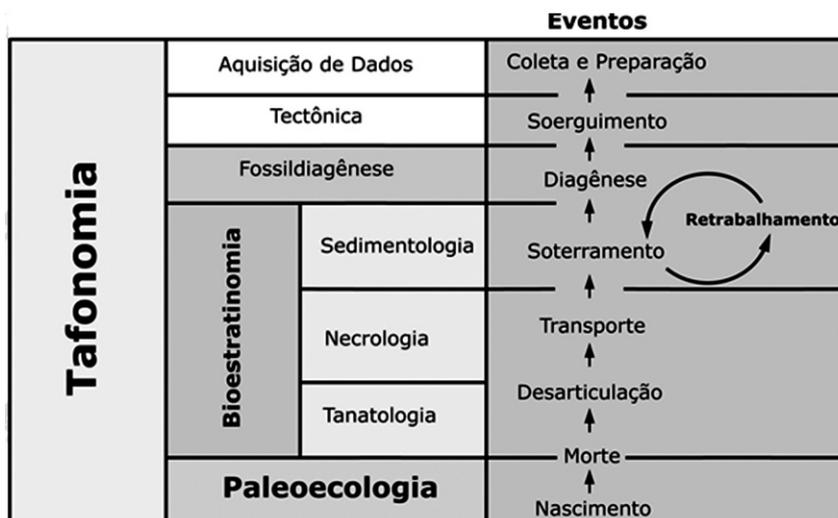
Portanto, neste tópico, vamos estudar detalhadamente todos os processos de fossilização, focados na Bioestratinomia e na Diagênese.

Então, caro/a acadêmico/a, neste tópico, você vai estudar os conceitos ligados à Tafonomia, suas divisões e sua relevância no estudo dos fósseis. Vamos lá!

2 TAFONOMIA

A Tafonomia deriva do grego *tafos* = sepultamento e *nomos* = leis. É o ramo da Paleontologia que estuda as condições e processos que favorecem a preservação de restos de organismos pré-históricos ou de vestígios deixados por esses restos. (CARVALHO, 2004). A Tafonomia se divide em duas fases distintas: uma fase relativamente curta, que vai da morte do organismo até o seu sepultamento em sedimentos; e uma fase bem mais longa, que tem início com a ultimação do seu sepultamento e se estende até a data da coleta dos seus restos ou de vestígios deixados. (MENDES, 1988).

FIGURA 39 – RELAÇÕES ENTRE A TAFONOMIA, SUAS SUBDIVISÕES E OS EVENTOS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS



FONTE: Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/paleodigital/Tafonomia.html>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

A primeira fase é o estudo da Bioestratinomia e a segunda é o estudo de competência da Diagênese dos fósseis (Fossildiagênese). A **Diagênese dos Fósseis** corresponde à fossilização, ou seja, ao conjunto de processos que propiciam a preservação dos restos de organismos ou de vestígios desses restos. Já a **Bioestratinomia** estuda as causas e tipos de morte dos organismos e os problemas ligados à decomposição (necrólise), transporte e sepultamento. O objetivo da Bioestratinomia é a inferência dos mecanismos que, atuando após a morte dos organismos, determinam os padrões de disposição espacial dos seus restos nas camadas sedimentares. Essa definição quase restringe a Bioestratinomia à investigação da gênese da biofábrica, ou seja, da orientação dos fósseis dentro das camadas sedimentares. (MENDES, 1988).



Nem sempre a delimitação e a ordem de sequência das subdivisões da Tafonomia são respeitadas na natureza. A diagênese pode ocorrer durante o sepultamento e até antes dele, e a necrólise pode se dar após o sepultamento. (CARVALHO, 2004).

2.1 BIOESTRATINOMIA

2.1.1 Morte e necrólise

Geralmente os organismos morrem pela idade avançada, por doenças, falta de alimentos, predação (ataque de carnívoros), luta competitiva, entre outros. Contudo, também ocorre a morte catastrófica, que consiste em uma mortalidade em massa durante um curto intervalo de tempo. Este evento propicia grande quantidade de matéria para processos de fossilização. Suas causas são inúmeras: inundações, erupções vulcânicas, tempestades de areia e de neve, aumento brusco da taxa de sedimentação, marés vermelhas, entre outros. (MENDES, 1988).

As marés vermelhas, com grandes concentrações de dinoflagelados no mar, possuem como consequência uma mudança na cor das águas e uma taxa de toxicidade alta para os peixes e outros organismos, causada pelas substâncias liberadas por esses protozoários.

No caso dos vertebrados terrestres, o local de morte é incerto, devido à sua mobilidade. Contudo, existem lugares frágeis onde os carnívoros os apanham com maior frequência: são as margens de rios e fontes, que são procuradas pelos herbívoros para matar a sede.

Atualmente, tem-se empregado demasiada atenção à atividade predatória de diversos organismos como causa de morte.



Entende-se por predação um tipo de reação entre espécies distintas de animais, em que uma mata a outra para se alimentar. Nos ambientes marinhos de águas rasas, os predadores mais comuns de conchas são os caranguejos, peixes, gastrópodes e estrelas-do-mar. Supõe-se que no passado, predadores do mesmo tipo tiveram grande atuação.

Na maioria dos casos, os cadáveres de animais marinhos e de animais terrestres são alvos de ataque de necrófagos, fator que contribui para reduzir o número de indivíduos eventualmente preserváveis. (MENDES, 1988).

A maioria dos fósseis consiste em restos de partes duras, como é o caso dos esqueletos internos dos vertebrados. A possibilidade da **preservação** das partes duras depende não só da sua composição química, resistência ou forma, como também, do que ocorre com os cadáveres na fase intermediária entre a morte e o sepultamento. Você sabe quais fatores podem favorecer a preservação de um

fóssil? Um dos fatores que favorecem a preservação é o sepultamento rápido. Um outro fator é a mortalidade em massa.

Nos ambientes continentais, os cadáveres que escapam aos ataques dos necrófagos e ficam expostos ao ar livre ou cobertos por uma fina lâmina de água estão sujeitos à ação microbiana, iniciando a putrefação. Deste processo resulta a produção e escape de gases como o hidrogênio, gás carbônico, oxigênio, nitrogênio, gás sulfídrico, entre outros. Depois da necrólise, o material mineralizado do esqueleto, sob ação dos agentes atmosféricos, transforma-se em pó ou é dissolvido e levado pelas águas. (MENDES, 1988).

Os esqueletos dos vertebrados raramente se conservam completos e sem distorção, pois geralmente seus cadáveres sofrem ataques de necrófagos, podendo desintegrá-los. De qualquer modo, quando o esqueleto fica completamente descarnado, a ação mecânica das correntes fluviais o desintegra antes de um eventual sepultamento. Também, progride com muita rapidez a destruição das conexões (articulações) entre as partes do esqueleto. O sepultamento mais favorável à preservação é o que se dá em sedimento isento da circulação de ar e de água. Comumente, o local de sepultamento não é o local de vida deste animal. (MENDES, 1988).

2.1.2 Efeitos da abrasão

As partes duras dos organismos estão sujeitas à destruição física, biológica e química. A **destruição biológica** é referente à predação e a destruição química (dissolução) pode ocorrer ainda em vida (conchas de moluscos) ou após o sepultamento. Já a **destruição física** restringe-se aos ambientes deposicionais, a menos que nela se incluam as deformações que os fósseis podem sofrer nas fases diagenética e pós-diagenética (compactação, diastrofismos).

No ambiente marinho de águas rasas, os agentes de destruição física são as ondas e as correntes, favorecendo a abrasão. A resistibilidade das partes duras à abrasão tem sido objeto de pesquisa experimental de laboratório, de campo e de observação de fósseis. (MENDES, 1988).

2.1.3 Efeitos do transporte e da hidrodinâmica deposicional

Normalmente a preservação ocorre em ambientes subaquáticos, nos quais os cadáveres boiantes (como o de baleias e peixes) podem ser transportados por grandes distâncias pelas correntes, antes de submergirem.

Os rios carregam para os mares e lagos os restos de organismos terrestres e fluviais. Nos ambientes subaquáticos as partes duras dos organismos que ali

morrem, ou são transportados depois de mortos, ficam sujeitos à hidrodinâmica deposicional. Dependendo do nível de energia do ambiente e do tamanho unitário das partes duras, estas se mantêm praticamente imobilizadas, sofrem apenas um pequeno deslocamento, ou são transportadas e separadas seletivamente. Entre os agentes de transporte podemos citar as correntes de turbidez, que podem mobilizar material por grandes distâncias. (MENDES, 1988).



Vários organismos marinhos morrem no próprio sítio em que viveram e mantêm a posição original de vida. Um exemplo são os espécimes fósseis de *Pholas* (bivalve) preservados dentro das perfurações que as próprias conchas abriram nas rochas.

2.2 DIAGÊNESE DOS FÓSSEIS (FOSSILDIAGÊNESE)

2.2.1 Fossildiagênese

A **Fossildiagênese** abrange todos os eventos pós-deposicionais ligados à preservação de restos de organismos ou dos vestígios deixados por esses restos. Os processos envolvidos alteram a composição química dos restos e podem causar o fraturamento e/ou sua deformação.

A possibilidade de preservação dos organismos moles ou de partes moles de organismos, mesmo alterados, é pequena. Contudo, conhecem-se alguns exemplos de preservação de organismos moles quase sem alterações. Na maioria das vezes, o que se preserva é apenas a impressão (molde) que o material mole deixa em sedimentos envolventes de granulação fina, quando as circunstâncias propiciam uma decomposição muito lenta. Sendo o oxigênio o agente principal de destruição da matéria orgânica (e inorgânica), a preservação dessa matéria (normalmente alterada) demanda que o ambiente de degradação seja isento desse elemento. Este ambiente é chamado de anóxico. (MENDES, 1988).

Os **ambientes anóxicos** ocorrem no fundo de mares semifechados e no fundo de lagos. Caracterizam-se não só pela ausência de oxigênio como pela estagnação das águas e desenvolvimento de gás sulfídrico. Os cadáveres de animais planctônicos que ali vão estar não sofrem a oxigenação intensa comum em outros ambientes e são sepultados por sedimentos finos. Geralmente, só as partes duras dos organismos se preservam, e estas são dependentes da composição química e da microestrutura interna originais das partes duras, das características dos sedimentos englobantes e dos processos diagenéticos e pós-diagenéticos envolvidos.

A **diagênese** é o conjunto das modificações químicas e físicas sofridas pelos sedimentos após a sua deposição, excluindo-se as resultantes de metamorfismo físico e intemperismo. Nesse quadro de modificações estão envolvidas a compactação, dissolução, recristalização, cimentação e metassomatismo.

FIGURA 40 – PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO, SEGUINDO AS ETAPAS TAFONÔMICAS



Processo de fossilização. Desde à morte do animal, até o afloramento (descoberta dos restos fósseis). Créditos pela imagem: Mybrainsociety.blogspot.com (autor desconhecido).

FONTE: Disponível em: <<http://educacao.hi7.co/processos-e-tipos-de-fossilizacao-5584ee812aec2.html>> Acesso em: 20 set. 2018.

A compactação faz parte da transformação dos sedimentos em rocha (litificação) e consiste numa redução do volume inicial de um sedimento, devido ao peso das camadas que vão recobrir-o. Os índices de compactação dos sedimentos mais finos (argilas) são bem superiores aos dos sedimentos grosseiros (areias ou conglomerados). Denomina-se de dissolução a atividade dissolvente das águas contidas nos interstícios dos sedimentos sobre constituintes destes últimos. (MENDES, 1988).

A **recristalização** é a mudança de tamanho de grãos minerais, com ou sem mudança da espécie mineralógica.

A **cimentação** consiste na precipitação de uma substância mineral entre os espaços existentes nos grãos de um sedimento grosseiro. Este contribui de modo muito efetivo para a transformação de um sedimento friável em material consolidado (rocha).

O **metassomatismo** corresponde tanto à substituição de parte de uma rocha por material externo, como à adição de material de origem externa. A substituição de carbonato por sílica ou a adição de sílica em uma rocha são exemplos de metassomatismo referidos como silicificação. Veremos que todos esses processos têm reflexos na fossilização.



Mesmo após a **litificação** de uma rocha sedimentar, podem ocorrer mudanças químicas que afetam os restos de organismos nela preservados. Estas mudanças são chamadas de **epigenéticas**. (MENDES, 1988).

2.2.2 Composição mineral primária das partes duras

A **biomineralização** é a elaboração de esqueletos duros internos ou externos pelos organismos. Esses esqueletos são formados por substâncias minerais e de uma matriz orgânica. Assim, as conchas dos moluscos, por exemplo, constituem-se de uma substância orgânica chamada conchiolina e de carbonato de cálcio. Para o contexto da preservação de esqueletos o que praticamente conta é sua parte mineralizada, embora podendo haver a possibilidade de preservação da outra.

FIGURA 41 – FÓSSEIS BIOMINERALIZADOS



FONTES: Disponível em: <<http://acienciaeomundo.blogspot.com/2009/12/processos-de-fossilizacao.html>>; http://prof-marcosalexandre.blogspot.com/2010_05_01_archive.html>. Acesso em: 24 mar. 2011.

Neste item abordaremos a composição mineral primária das partes duras dos organismos, devido ao interesse apresentado para o entendimento de certos tipos de preservação. A composição mineral primária é a composição inalterada, pré-diagenética. (MENDES, 1988).

Os principais compostos que constituem as partes duras dos organismos atuais são, em ordem decrescente de importância: carbonato de cálcio, fosfato de cálcio e sílica. Dois são os minerais comuns de carbonato de cálcio: calcita e aragonita, e, em alguns casos, ambos ocorrem no mesmo esqueleto. (MENDES, 1988).

Qualifica-se como magnesianas a calcita que apresenta mais de 4% de magnésio. Esta variedade de calcita tende a transformar-se em calcita normal. Já o fosfato de cálcio ocorre nos ossos e nos dentes dos vertebrados sob a forma de hidroxiapatita, associada ao carbonato, e nas conchas dos braquiópodes inarticulados. A sílica ocorre sob a forma de opala.

2.2.3 Preservação das partes duras com ou sem alteração química

Alguns dos minerais que compõem os sedimentos e as partes duras neles contidas são menos resistentes que outros às mudanças nas condições químicas do ambiente diagenético ou pós-diagenético. Esses minerais recebem o nome de instáveis e podem vir a recristalizarem-se ou sofrerem dissolução e serem substituídos por outros minerais. No conjunto dos instáveis encontra-se a aragonita, que tende a transformar-se em calcita, a calcita magnesianas, que tende a transformar-se em calcita normal, e a opala, que tende a transformar-se em calcedônia.

A dissolução se deve à atividade das águas intersticiais, no caso da diagênese, e das águas subterrâneas e superficiais, no caso do intemperismo. No processo da dissolução, a variação do pH no ambiente tem grande influência. Também são fatores influentes a presença de poros e cavidades nas partes duras e o tipo de sedimento ou rocha. (MENDES, 1988).

Os **principais tipos de preservação** das partes duras, por meio da modalidade de preservação sem alteração da composição química, são cinco: preservação sem alteração da composição química e sem alteração mineralógica, mas com alteração da textura; preservação sem alteração da composição química, mas com alteração mineralógica; incrustação; permineralização.

A preservação sem alteração da composição química e sem alteração mineralógica trata de partes duras, compostas de minerais geralmente estáveis. Contudo, os minerais instáveis, como a aragonita, podem se conservar inalterados. (MENDES, 1988).



A preservação com mudança apenas na textura original corresponde a uma variedade de recristalização. Pode ser exemplificada com o caso de uma concha calcítica cujo material mineral primitivo se recristaliza em grãos maiores ou menores.

No terceiro caso, tem-se uma alteração mineralógica de eventual reflexo na preservação da microestrutura interna da concha. Trata-se, por exemplo, da transformação da aragonita em calcita (calcitização) ou da opala em calcedônia. A calcitização corresponde a outra variedade de recristalização; a passagem da opala para a calcedônia constitui a mudança de um mineral amorfo para um criptocristalino. Dá-se o nome de polimorfos aos minerais que possuem a mesma composição química, mas se cristalizam em sistemas diferentes. (MENDES, 1988).

A incrustação corresponde ao revestimento de uma parte dura por uma crosta mineral. Esse processo ocorre no assoalho de grutas calcárias, onde os ossos ou gastrópodes terrestres podem ser envolvidos por uma crosta delgada de carbonato de cálcio. Este material é depositado pelas águas que gotejam do teto da gruta e com o prosseguimento da deposição de carbonato, a crosta evolui para uma matriz calcária. Chama-se de matriz a porção de uma rocha circundante a um fóssil.

A permineralização consiste no preenchimento de poros ou pequenas cavidades do objeto por um mineral qualquer. A parte mineral dos ossos de um dinossauro, por exemplo, preservada sem alteração química, pode ter os seus poros preenchidos por calcita, mineral frequente na permineralização. (MENDES, 1988).

A alteração química consiste na dissolução e remoção do material mineralizado pelas águas intersticiais, com deposição simultânea ou tardia de material. Esse tipo de preservação é conhecido como substituição.

Segundo a natureza do mineral substituinte, fala-se em calcificação, silicificação, limonitização, piritização, entre outros.

Se a substituição se der assincronicamente em relação à dissolução, a destruição do objeto deixa um espaço estreito, correspondente à sua forma. O preenchimento desse espaço por um mineral pode recuperar, com uma fidelidade razoável, a primitiva forma geral do objeto, embora, obviamente, nunca a sua primitiva microestrutura interna. Denomina-se essa reprodução de pseudomorfo. (MENDES, 1988).

Em certos tipos de matriz, na falta de um preenchimento do espaço criado pela dissolução de uma concha de bivalve, por exemplo, a pressão do molde externo sobre o molde interno pode transferir para estes traços a morfologia superficial da concha em questão.

A gênese dos moldes tem papel relevante na cimentação, embora não seja essencial. Os materiais cimentantes mais comuns são os carbonatos e os compostos de ferro. Os sedimentos que preenchem o interior de conchas de moluscos podem sofrer, aparentemente, uma cimentação mais rápida que a matriz envolvente. (MENDES, 1988).

2.2.4 Preservação das partes orgânicas

O oxigênio é o agente principal de destruição da matéria orgânica, razão pela qual sua preservação depende do soterramento dos restos em ambientes anóxicos ou subanóxicos. A preservação de partes moles inalteradas é incomum, mesmo assim, conhecem-se vários exemplos de preservações figuradas de matéria orgânica.

O exame com o microscópio eletrônico de varredura acusou a presença de conchiolina (escleroproteína) em conchas fósseis do Pleistoceno. Preservam-se, também, as substâncias orgânicas não figuradas. Nos ossos de idade pleistocênica, por exemplo, tem sido registrada a presença de paleoproteínas. (MENDES, 1988).

Quando a degradação de um organismo mole é demorada, este pode deixar moldes externos na matriz. Vamos iniciar pelos casos de preservação total ou parcial das partes moles sem alteração. Os exemplos bem conhecidos dessa modalidade de preservação são o dos mamutes pleistocênicos conservados em solos gelados da Sibéria e do Alasca, e o dos insetos e aranhas preservados em nódulos de âmbar do Oligoceno. Os mamutes foram preservados pelo rápido congelamento dos tecidos com permeação das células por gelo microcristalino. Esse processo recebe o nome de criopreservação.



A mumificação corresponde a uma preservação parcial das partes moles por dessecação.

Normalmente o processo de preservação das partes moles ricas em carbono é o da **carbonização** ou destilação. É um processo de fossilização relativamente comum dos vegetais, mas também de alguns animais. Este processo consiste na perda progressiva de elementos voláteis (oxigênio, nitrogênio), devido à atividade bacteriana e concentração de carbono. Culmina com uma grande redução em espessura da matéria orgânica, que pode restringir-se a uma simples película; mas, em muitos casos, ainda permite inferir, em grau variável, as características morfológicas primitivas. (MENDES, 1988).

A **carbonização** ocorre em meio aquático e essa modalidade de preservação é denominada de compressão carbonizada. O processo desenvolve-se em ambientes anóxicos e subanóxicos e inicia-se pelo amolecimento das paredes celulares e colapso dos espaços intracelulares. É frequente a combinação de compressões carbonizadas com moldes externos.

A **permineralização celular** é uma variedade de permineralização em que uma substância mineral penetra nos interstícios dos tecidos e nas células de um organismo. É o caso comum de preservação de muitas madeiras fósseis geralmente referidas como madeiras “petrificadas”.

A **degradação total**, mas lenta, das partes moles propicia a preservação da morfologia através de moldes. Para tanto, devem combinar situações de um ambiente tranquilo e pobre em oxigênio e uma matriz fina. Há casos especiais de moldagem natural originária do envolvimento de organismos por lavas vulcânicas. (MENDES, 1988).

2.2.5 Retrabalhamento e deformações pós-deposicionais

Após terem sido sepultadas e até terem sofrido alguma alteração diagenética, as partes duras dos organismos, inclusive as não mineralizadas, podem ser exumadas pela erosão subaquática dos sedimentos que as abrigavam. A sua resistibilidade a esse retrabalhamento depende, em boa parte, das características químicas e físicas adquiridas durante o intervalo de soterramento primário. Algumas tornam-se mais resistentes devido à permineralização, fato comum no caso dos ossos.

Nesse período de pré-fossilização, o material sedimentar que preenche o interior das conchas (moldes internos) pode cimentar-se mais rapidamente que a matriz e tornar-se, por isso, muito resistente ao retrabalhamento.



As principais modalidades de deformação que os fósseis podem sofrer na longa história pós-deposicional decorrem, sobretudo, da compactação de sedimentos e dos fenômenos tectônicos. As causas principais de deformação são a compactação dos sedimentos e os eventos tectono-metamórficos. (MENDES, 1988).

LEITURA COMPLEMENTAR

O CORPO ESTÁ INTACTO, MAS NÃO DÁ PARA CLONAR

Gabriela Carelli

Os mamutes foram extintos há relativamente pouco tempo, considerando-se a história da vida no planeta. Os últimos espécimes desapareceram há 4.000 anos. Hoje, fósseis desses gigantes pré-históricos são encontrados com frequência na Sibéria quando se vasculha o chamado permafrost, a camada de terra permanentemente congelada da região. Uma das mais espetaculares dessas descobertas foi anunciada na semana passada. Um bebê mamute, que viveu há 10.000 anos e morreu aos 6 meses de idade, foi encontrado na Península de Yamal. O que espanta os cientistas é o extraordinário estado de conservação do fóssil. O corpo, a tromba e os olhos do mamute, uma fêmea, estão intactos, assim como boa parte do pêlo. “Já encontramos muitas carcaças, mas nada se compara com essa em termos de preservação. Ela não tem defeito. Falta-lhe apenas o rabo”, diz o paleontólogo Alexei Tikhonov, diretor do Instituto Zoológico da Academia Russa de Ciências. Para muitos geneticistas, a descoberta do bebê mamute siberiano reacende a esperança de que, no futuro, se consiga criar clones de mamute e de outros animais extintos. Dessa forma, seria possível fazer com que espécies desaparecidas voltassem a habitar a Terra.

O processo para criar clones de animais extintos não seria muito diferente daquele mostrado no filme *Jurassic Park*, de Steven Spielberg. No caso dos mamutes, o que tornaria possível recriá-los, em teoria, é seu parentesco com os elefantes. Geneticamente, os mamutes são 95% idênticos aos elefantes que vivem na Ásia e na África. Primeiro, é preciso encontrar no fóssil uma célula que possua o DNA intacto. O próximo passo é substituir o código genético original do núcleo de um óvulo de elefanta pelo material genético retirado do fóssil do mamute. A

seguir, o óvulo fertilizado é implantado no útero de uma elefanta. “Quanto mais bem preservado o animal, maiores as chances de conseguirmos amostras de DNA intactas e, assim, recriarmos espécies extintas”, disse a VEJA Larry Agenbroad, diretor do Centro de Estudos de Mamutes, laboratório independente de Dakota do Sul. A maior dificuldade para clonar um animal extinto está justamente em conseguir uma amostra de DNA intacta. Quando o congelamento se dá em condições especiais, como se faz nos laboratórios, o material genético da célula pode ser preservado indefinidamente. Mas as condições de congelamento nos permafrosts estão muito aquém das ideais – tudo o que se encontrou até hoje foram fragmentos de DNA.

Nem por isso os cientistas desistem. O biólogo Don Colgan, do Museu Australiano, tenta há quase uma década clonar o tigre-da-tasmânia, extinto em 1936. Colgan já conseguiu reproduzir milhões de cópias de fragmentos do DNA de um tigre-da-tasmânia morto há 140 anos, mas admite que as chances de ter um clone da espécie são “muito pequenas”. A carcaça do filhote de mamute recém-descoberta será encaminhada à Universidade Jikei, no Japão, destino de grande parte dos fósseis congelados encontrados na região do Ártico. Animais bem preservados são a maior fonte de informações sobre como era o planeta no tempo em que eles viveram. Ao analisá-los, consegue-se descobrir o seu tipo de dieta, a fauna e flora locais e as condições climáticas do período. “Nos últimos 3 milhões de anos houve 27 ciclos glaciais e interglaciais. Uma das poucas formas de desvendá-los é por meio desses fósseis”, diz Jefferson Cardia Simões, coordenador do Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ainda não há uma certeza sobre o que provocou a extinção dos mamutes. Uma das hipóteses, levantada em pesquisas, é que tenham sido caçados extensivamente pelo homem. Armados com lanças com pontas de pedra lascada e fogo, os caçadores, ao que tudo indica, acuavam os mamutes até que eles caíssem de penhascos. Até hoje, os fósseis de animais extintos permitiram aos geneticistas apenas iniciar o sequenciamento do DNA das espécies. O maior especialista do mundo em genética arqueológica, o sueco Svante Paabo, está prestes a sequenciar o DNA de um exemplar do homem de Neandertal, um parente próximo do homem moderno que desapareceu há 30.000 anos. “O trabalho de Paabo é importante porque permitirá a comparação entre o Neandertal, o homem e os primatas, e assim será possível entender o nosso passado evolucionário”, diz o geneticista mineiro Sérgio Danilo Pena. “Mas, por enquanto, a possibilidade de clonar mamutes ainda pertence ao terreno da ficção científica”, ele avalia.

FONTE: Disponível em: <<http://paterlex.com.br/Jornais-revistas/2007/Mamute.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2011.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- A Tafonomia é o ramo da Paleontologia que estuda as condições e processos que favorecem a preservação de restos de organismos pré-históricos ou de vestígios deixados por esses restos.
- A Tafonomia é dividida em Bioestratinomia e Diagênese.
- A Bioestratinomia é a inferência dos mecanismos que, atuando após a morte dos organismos, determinam os padrões de disposição espacial dos seus restos nas camadas sedimentares.
- A Diagênese corresponde à fossilização, ou seja, ao conjunto de processos que propiciam a preservação dos restos de organismos ou de vestígios desses restos.
- Os fatores que influenciam a Bioestratinomia são: a morte e necrólise, os efeitos da abrasão, do transporte e da hidrodinâmica deposicional.
- Os processos da diagênese são a compactação, dissolução, recristalização, cimentação e metassomatismo.
- A Fossildiagênese abrange todos os eventos pós-deposicionais ligados à preservação de restos de organismos ou dos vestígios deixados por esses restos.



Caro(a) acadêmico(a)! Para fixar melhor o conteúdo estudado, vamos exercitar um pouco. Leia as seguintes questões e responda-as em seu caderno. Bom trabalho!

1 A fossilização é:



- a) () Conjunto de processos físicos e químicos que levam à formação de um fóssil.
- b) () Conjunto de seres vivos.
- c) () Um processo muito frequente.
- d) () Um tipo de fóssil.

2 Relacione as colunas, utilizando o código a seguir:



A - Conservação.	() As substâncias que constituem o ser vivo são substituídas pelos minerais das rochas.
B - Mineralização.	() O ser vivo não é alterado. Ex.: inclusão em âmbar.
C - Moldagem.	() Fica apenas a forma copiada para a rocha.

3 Quais são os principais processos de fossilização?



4 Identifique os processos de fossilização dos seguintes fósseis:

- a) Mamutes totalmente preservados no gelo. _____.
- b) Pegadas de dinossauro. _____.
- c) Dente de tubarão mineralizado. _____.

METODOLOGIAS DE ENSINO EM EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA

1 INTRODUÇÃO

Em nosso país a ciência ligada à evolução e à paleontologia tem uma longa história, que remonta há quase 200 anos. Uma história marcada por várias descobertas científicas relevantes no cenário internacional, e cujo resultado é um importante acervo depositado em museus, institutos de ensino e pesquisa. (CARVALHO, 2000). Embora a Evolução e Paleontologia sejam importantes ciências para a compreensão mais ampla de questões geológicas, biológicas, ambientais e evolutivas, existe ainda pouca divulgação de seus conteúdos com os estudantes do Ensino Fundamental e Médio. Como disciplina, a Evolução e Paleontologia tem sido ministrada, tradicionalmente, aos egressos dos cursos de graduação em Geologia e Ciências Biológicas (SCHWANKE; SILVA, 2004) e também aos estudantes de Ecologia e, mais recentemente, de Licenciatura em Geociências e Meio Ambiente.

Os fundamentos oferecidos por essas ciências têm papel crucial no estudo de Ciências e Biologia, por garantir sustentação teórica sobre a Evolução do Planeta e dos Seres Vivos, a noção de Tempo Geológico e sobre a Distribuição das Plantas e dos Animais, no contexto da Tectônica Global. Cada vez mais temas paleontológicos, evolutivos e geológicos têm estado presentes nos livros didáticos do ensino fundamental e médio do Brasil. Consequentemente, essa presença traz consigo a inserção dos fundamentos dessas ciências cada vez mais cedo na vida escolar dos estudantes brasileiros. (NEVES; CAMPOS; SIMÕES, 2008).

O ensino de Evolução e Paleontologia nos apresenta conceitos fundamentais para a formação de cidadãos conhecedores dos fenômenos naturais e reconstituição da história natural. Contudo, para que esse conhecimento seja efetivamente incorporado e disseminado é preciso criar um espaço na sala de aula que permita ao aluno questionar e refletir sobre as informações e o conteúdo a eles apresentados. Esse momento pode ser realizado a partir de atividades que estimulem o interesse dos alunos. Para isso, pode-se fazer uso de jogos, que são recursos relevantes que os professores podem utilizar para motivar seus alunos ao aprendizado.

De um modo geral, os jogos desempenham sua função como material didático auxiliar, estimulando a aprendizagem por parte dos alunos e auxiliando os professores, com um recurso a mais nas aulas de Biologia. O jogo didático pode ser incorporado de forma efetiva à educação escolar do indivíduo, devendo ser utilizado de forma construtiva, tendo como objetivos a socialização, a cooperação, a confiança, a cognição, a interdependência, o desenvolvimento da identidade pessoal e a transmissão de conteúdos específicos (nesse caso, Paleontologia) de forma prazerosa. (NEVES; CAMPOS; SIMÕES, 2008).

Além dos jogos podem ser apresentados aos alunos filmes, documentários, práticas com materiais diversos, demonstrações de peças, murais didáticos, excursões a museus e outros lugares que contenham materiais para que os alunos possam analisar, e outros. Assim, é interessante que novos recursos didáticos sejam preparados para que as aulas sejam proveitosas e prazerosas para os alunos que as freqüentam, deixando-os interessados sobre o tema.

Então, caro(a) acadêmico(a), nesse tópico iremos apresentar algumas práticas que você poderá desenvolver para estimular o aprendizado científico em sala de aula, uma vez que a educação científica possui objetivos específicos, como: ensinar de modo significativo e interessante a todos, colocar a prática como um ponto de partida tendo como inspiração o contexto da pesquisa, criar as condições necessárias para a formação do espírito científico. (NEVES; VALE apud NARDI, 1998).

2 IMPORTÂNCIA DAS AULAS PRÁTICAS

A relevância de estudar a utilização de aulas práticas no ensino das ciências vem da oportunidade de mostrar como a teoria funciona na prática e de mostrar onde e como podemos utilizar essa teoria a nosso favor. Resolver ou minimizar o problema da falta de aulas práticas faz com que o ensino se torne mais agradável e de fácil entendimento para os alunos. Integra a teoria com a prática através da experimentação.

As atividades experimentais podem ter importância significativa para a aprendizagem e, por isso, considera-se fundamental valorizar propostas de ensino que demonstrem a potencialidade da experimentação. A experimentação pode ser utilizada como um elemento facilitador da aprendizagem. Os alunos manifestam a ideia de que a atividade experimental é uma estratégia educativa para auxiliar a compreensão dos conhecimentos teóricos. (BARATIERI; BASSO, 2005).

Um outro enfoque visualizado corresponde à contribuição do ensino experimental para aprendizagem de uma forma empirista, pois verifica-se a validação do conhecimento na memorização e na visualização dos fenômenos. Destaca-se que a observação e as atividades de manipulação ocupam posições relevantes em algumas manifestações, pois diante disso os alunos evidenciam que suas aprendizagens são fortalecidas. (CAMPOS; NIGRO, 1999).

Desenvolver uma atividade experimental com êxito precisa ter como objetivo a aprendizagem dos alunos mais do que a transmissão de algum conhecimento pela prática. Uma questão importante a considerar no planejamento de atividades experimentais é a possibilidade de enriquecer o conhecimento sobre a natureza da ciência, pois esse conhecimento influencia a aprendizagem dos estudantes na atividade experimental. Pontua a importância da expansão do ambiente de aprendizagem para além da sala de aula. Além disso, permite-nos argumentar em favor do trabalho em pequenos grupos, pois favorece a socialização dos alunos, que aprendem a respeitar a opinião dos colegas, a negociar e renunciar às suas próprias ideias, ou ainda, a colocar os objetivos pessoais em segundo plano. Nessa perspectiva de socialização, aponta-se para a resolução de problemas em pequenos grupos não apenas como um contexto de socialização, mas como maneira de explicitar o caráter social da ciência. (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

O aluno carrega consigo condicionantes e interesses pessoais que irão influir de forma significativa, pessoal e isenta de neutralidade nas observações e nas interações fenomenológicas advindas da experimentação. Por isso, considera-se que os objetivos propostos para aprendizagem experimental podem falhar, se o professor não considerar o conhecimento teórico e os saberes prévios que seus alunos apresentam no momento da realização das atividades práticas. As atividades práticas precisam proporcionar a discussão das teorias do grupo como modo de favorecer a construção de argumentos mais enriquecidos. Outro aspecto a salientar é a relevância do trabalho em grupo como modo de construir a autonomia do coletivo e de incentivar a socialização dos alunos. Nessa perspectiva, o conhecimento expresso pelos alunos na discussão de uma atividade experimental pode sempre proporcionar o início de um novo ciclo de aprendizagem, auxiliando o professor a mapear os conhecimentos do grupo sobre o tema estudado. Isso exige do professor uma atenção constante ao que está sendo expresso em aula e não apenas no início de uma atividade experimental, como frequentemente é pensado por professores, ao afirmarem que é importante considerar o conhecimento do aluno. (BARATIERI; BASSO, 2004).

A aula prática é um recurso que torna possível o aprendizado da teoria. Outro aspecto que se destaca nas manifestações dos alunos é que há necessidade de primeiro conhecer os aspectos teóricos para depois fazer a experimentação, como se não houvesse teoria ao se fazer a atividade experimental. Percebe-se também que a experimentação é vista como uma atividade física em que o aluno, ao fazer a aula prática, vê a teoria com seus próprios olhos. Existe uma crença muito forte no trabalho experimental como modo de melhorar a aprendizagem em sala de aula. Isso seria resultado das situações propostas, quando atividades experimentais são realizadas fora da sala de aula, ou seja, o aluno, ao sair da sala de aula, interage com colegas e professores, desenvolve atividades em outros ambientes, vivencia situações concretas e, ainda, é estimulado e motivado a vivenciar situações imaginárias. (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

A partir do que foi descrito, parece-nos que uma característica importante em uma atividade prática é o exercício de explicitação do conhecimento de cada um dos participantes, seja pela previsão, justificativa, explanação ou observação do professor sobre como os alunos desenvolvem determinada ação, de maneira a possibilitar que as diferentes teorias pessoais possam ser objeto de análise e discussão crítica em aula.

3 PRÁTICAS PARA ENSINO DA EVOLUÇÃO E PALEONTOLOGIA EM SALA DE AULA

A ciência como prática social é relevante e necessária para a resolução ou encaminhamento de muitos problemas humanos e constitui, atualmente, uma forma simples e eficiente de gerar conhecimento significativo no âmbito das sociedades contemporâneas. É possível afirmar que, nos dias de hoje, a função do conhecimento é preenchida pela ciência. Por isso, pode-se dizer que a Ciência tem como meta alcançar princípios básicos em relação aos seus objetivos: descrever, explicar e prever. (NEVES; VALE, 1998).

Com objetivos de descrever, explicar e prever, você vai conhecer alguns recursos didáticos, colocar sua criatividade em jogo e praticar para ensinar e aprender a aprender, uma vez que não basta apenas saber, é preciso saber fazer.

3.1 A EXPERIÊNCIA DE FRANCESCO REDI

Objetivo: provar que os vermes que surgem na matéria orgânica são provenientes de ovos depositados por insetos.

Público-alvo: ensino fundamental

Materiais:

- dois frascos de vidro médios;
- barbante ou elástico;
- 200 g de carne;
- gaze;
- etiquetas adesivas;
- espátula;
- caneta.

PROCEDIMENTOS:

- 1) Etiquetar os frascos marcando um com a letra “A” e outro com a letra “B”.
- 2) Dividir a carne em duas porções e colocar uma em cada frasco.
- 3) Tampar o frasco “A” com a gaze e deixar o frasco “B” descoberto.
- 4) Colocar os dois frascos em um ambiente externo por aproximadamente uma semana.
- 5) Observar os resultados.

QUESTÕES:

1) O que podemos concluir após as observações?

FONTE: Manual Autolabor – Laboratório Didático Móvel

3.2 CONFRONTANDO O CRIACIONISMO E O EVOLUCIONISMO

Competência: construir argumentação.

Habilidade: confrontar interpretações de fatos históricos e científicos, comparando os diferentes pontos de vista e analisando a validade dos argumentos utilizados.

Público-alvo: estudantes de ensino médio.

3.2.1 Pesquisa com a comunidade

Proponha que os alunos façam uma enquete com a comunidade a partir de perguntas básicas:

- Como surgiram as espécies de plantas e animais atuais?
- Como surgiu a espécie humana?
- Como era o Brasil na época dos dinossauros?
- É possível que as espécies atuais tenham surgido de outras espécies do passado, que já se extingiram?
- A noção de que as espécies se modificam com o tempo pode negar a existência de Deus?

Os grupos devem coletar os dados com entrevistas individuais, nas quais os entrevistados sejam identificados apenas pela idade, sexo e religião declarada.

A partir das respostas, peça para que eles reúnam os dados dos diversos grupos e façam uma síntese. Quais as respostas mais frequentes? Há correlação entre as variáveis do entrevistado (sexo/idade/religião declarada) e as respostas fornecidas?

Incentive os alunos a produzirem gráficos com as respostas. Proponha um debate com a classe com base nos dados coletados.

3.2.2 Pesquisa com religiosos

Entreviste diferentes religiosos com essas mesmas questões e procure sintetizar as respostas. Procure incluir pelo menos uma posição católica e algumas posições cristãs seculares. Apresente para a classe.

FONTE: **Revista Carta na Escola**: atualidades na sala de aula. Número 17, p. 31. 2007.

3.3 A SELEÇÃO NATURAL

OBJETIVOS:

- Descrever como ocorre a Seleção Natural.
- Conceituar Seleção Natural através de estudos de caso.
- Identificar a importância da seleção natural para especiação.
- Compreender os mecanismos de seleção natural através de jogo lúdico.
- Desenvolver a leitura de textos científicos relacionados com o assunto e sua interpretação.

DURAÇÃO DAS ATIVIDADES:

3 horas/aula

CONHECIMENTOS PRÉVIOS TRABALHADOS PELO PROFESSOR COM O ALUNO:

Os alunos deverão conhecer conceitos de espécie, presa e predador, população e comunidade.

COMO OS ALUNOS PODERÃO ATINGIR OS OBJETIVOS PROPOSTOS

Os alunos poderão atingir os objetivos propostos através de atividade lúdica de confecção de jogo, além de discussões entre eles e com o professor, leitura de texto e sua interpretação, bem como a interpretação de vídeos. O professor ativará este processo através do incentivo às discussões entre os alunos, promovendo o ensino, a aprendizagem, além de propor a confecção de jogos lúdicos e apresentação de vídeos e textos sobre o assunto para a turma.

ATIVIDADE INICIAL: INTRODUZINDO O ASSUNTO

Em um primeiro momento da aula, converse com a turma sobre o que eles pensam significar a palavra “selecionar”. Deixe que os alunos se manifestem, escreva os principais conceitos dados pela turma. Leve-os posteriormente à biblioteca da escola, para que consultem no dicionário o

significado da palavra pesquisada. Peça que os alunos escrevam o conceito que encontraram no dicionário. De volta à sala de aula, compare com eles o conceito encontrado e aqueles conceitos dados por eles. Deixe que percebam as semelhanças e diferenças.

DEFININDO A PALAVRA “SELEÇÃO”: ATIVIDADE LÚDICA

Após o momento inicial, promova na turma uma atividade lúdica para que compreendam o significado de “seleção”. Para tanto, você deverá confeccionar anteriormente um material para ser usado neste momento. Abaixo segue descrição:

Materiais necessários:

- 10 caixas de fósforos (ou mais).
- Tinta guache de cores diferentes.
- Pincéis.

Modo de fazer:

Pinte as caixas de fósforo de modo que cada cor escolhida contemple duas caixas ou mais. Espere secar.

Mostre aos alunos as caixas pintadas e peça a um aluno para escolher três caixas. Anote no quadro a escolha feita por ele, depois repita o mesmo com os demais.

Converse com a turma sobre as escolhas feitas por seus colegas, comentando que eles selecionaram as caixas que quiseram, de acordo com a necessidade de cada um, seja porque gostavam mais daquelas cores, aleatoriamente, ou qualquer outro critério que possam ter usado na escolha.

Peça que os alunos anotem no caderno o que conseguiram aprender sobre o significado de seleção, após este momento da aula.

JOGO DA SELEÇÃO

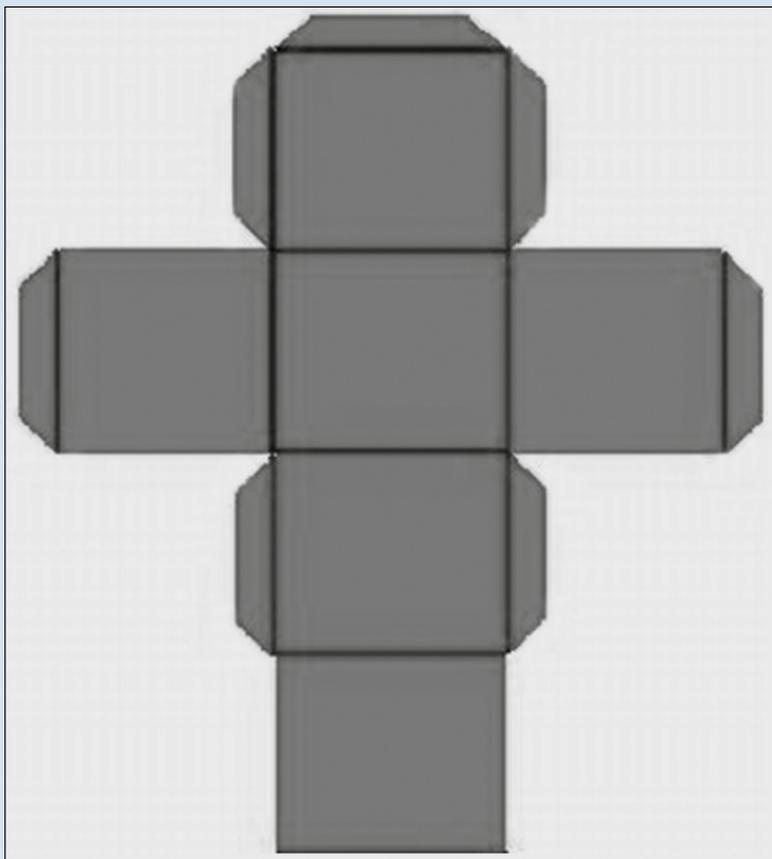
Após a definição do significado da palavra seleção, proponha para a turma um jogo lúdico que tratará da seleção natural. Este jogo ajudará os alunos a compreenderem como acontece a seleção natural de forma divertida. Abaixo segue relação de materiais necessários para a confecção do jogo, bem como seu modo de fazer e a forma de jogar com a turma. Este jogo poderá ser confeccionado pelos próprios alunos, ou pelo professor.

Materiais necessários:

- 4 cartolinas verdes, 4 laranjas e 4 azuis.
- 4 tesouras sem ponta.
- 4 réguas.
- 4 dados (podem ser dados confeccionados pelo professor ou mesmo pelos alunos).

Modo de fazer:

Faça quadrados recortando a cartolina laranja e azul. Estes quadrados deverão ter a mesma metragem dos lados do dado. Pegue o dado e cole em 4 lados o papel laranja e em 2 o papel azul. Se preferir, confeccione o dado em papel e depois pinte os lados com as cores correspondentes. Os outros quadrados laranjas e azuis serão usados durante o jogo. Abaixo segue modelo para confecção de um dado.



Como jogar:

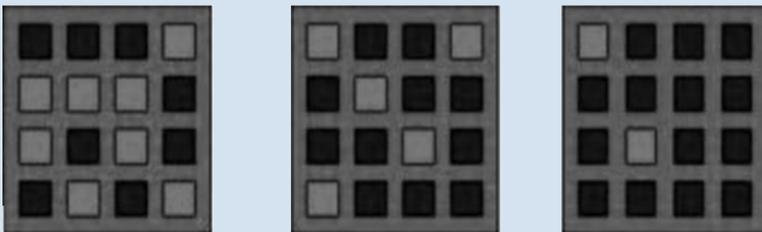
Divida a turma em 4 grupos e distribua igualmente os quadrados coloridos, uma cartolina verde e um dado para cada grupo. Coloque sobre a mesa a cartolina verde (que será o tabuleiro) e distribua sobre ela os quadrados laranjas e azuis.

Cada um do grupo deverá jogar o dado. Sempre que sair a cor laranja, o aluno deverá “capturar” 2 quadrados laranjas (que representam presas), e quando sair a cor azul deverá “capturar” 1 quadrado azul (outro tipo de presa).

Faça 10 rodadas e pare o jogo. Cada aluno deverá contar quantos quadrados de cada cor capturou e anotar.

Essa pausa no jogo indica um período em que as presas estão se reproduzindo. Por isso, neste momento, oriente os alunos a contar quantas duplas de quadrados de cada cor restaram no tabuleiro e para cada dupla eles deverão acrescentar no tabuleiro mais dois quadrados da mesma cor, pois as presas, ao se reproduzirem, geram dois filhotes por casal.

Recomece o jogo, e após mais 10 rodadas, novamente pare o jogo e conte quantos cada aluno capturou e quantos quadrados de cada cor restaram no tabuleiro. Repita o momento de reprodução das presas. Repita o jogo mais duas vezes, e com o tempo os alunos deverão observar que as cartas de cor laranja começam a diminuir. A seguir, um exemplo de como poderá ficar o tabuleiro, após várias rodadas:



Discutindo os resultados do jogo:

Após os grupos terminarem de jogar algumas vezes, faça um levantamento com a turma: Quantas cartas de cada cor restaram ao final do jogo? Por que eles acham que os quadrados laranjas reduziram mais do que os azuis? Deixe que os alunos se manifestem.

Texto para os alunos:

Após as discussões sobre o jogo e seus conceitos, entregue para cada aluno uma cópia de um texto sobre seleção natural, para estudo e interpretação. Peça que cada aluno faça uma leitura prévia, grifando as partes mais importantes. Depois divida a turma em grupos e proponha uma discussão entre os alunos de cada grupo, ressaltando os pontos mais relevantes do texto. Peça que cada grupo pense num outro exemplo de seleção natural hipotética que poderia acontecer.

Após estas discussões nos grupos, disponha a turma em semicírculo e promova com todos os alunos um debate, em que colocarão para os colegas suas impressões e contarão seus casos hipotéticos de seleção natural.

Ferramentas tecnológicas:

Após a leitura e interpretação do texto, com sua discussão em debate, apresente para a turma alguns vídeos sobre a Seleção Natural e Evolução, para que compreendam novos aspectos destes conceitos. Apresente duas vezes cada vídeo para a turma, de forma que cada aluno possa anotar os aspectos mais importantes observados. Após assistirem aos vídeos, peça que cada aluno faça no caderno um pequeno texto sobre o que observaram nos vídeos, para posterior uso destas informações.

"Pílulas de Ciência – Seleção Natural" – Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=Fz6er_HYIT4&feature=related>. Acesso em: 18 mar. 2011.

"A Teoria da Evolução – Darwin" – Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=7aCJP1fIE8&feature=related>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

"Evolução Darwin" – Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=9zDOcu8EIDQ&feature=related>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

"Seleção Natural Fácil De Entender" – Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=b69laOsoQ98&p=E7B25447B0D19AF1&index=6>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

"E Charles Darwin criou o homem" – EVOLUÇÃO – SELEÇÃO NATURAL – Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=YUubROsOlg>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

"A janela da vida: uma representação teatral sobre a evolução biológica" – Disponível em: <<http://www.geneticanaescola.com.br/ano3vol1/8.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

FONTE: Adaptado de: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=23767>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.4 A EVOLUÇÃO DOS PALITOS

Tema: Biologia

Conteúdo: Evolução - Descendência e seleção natural

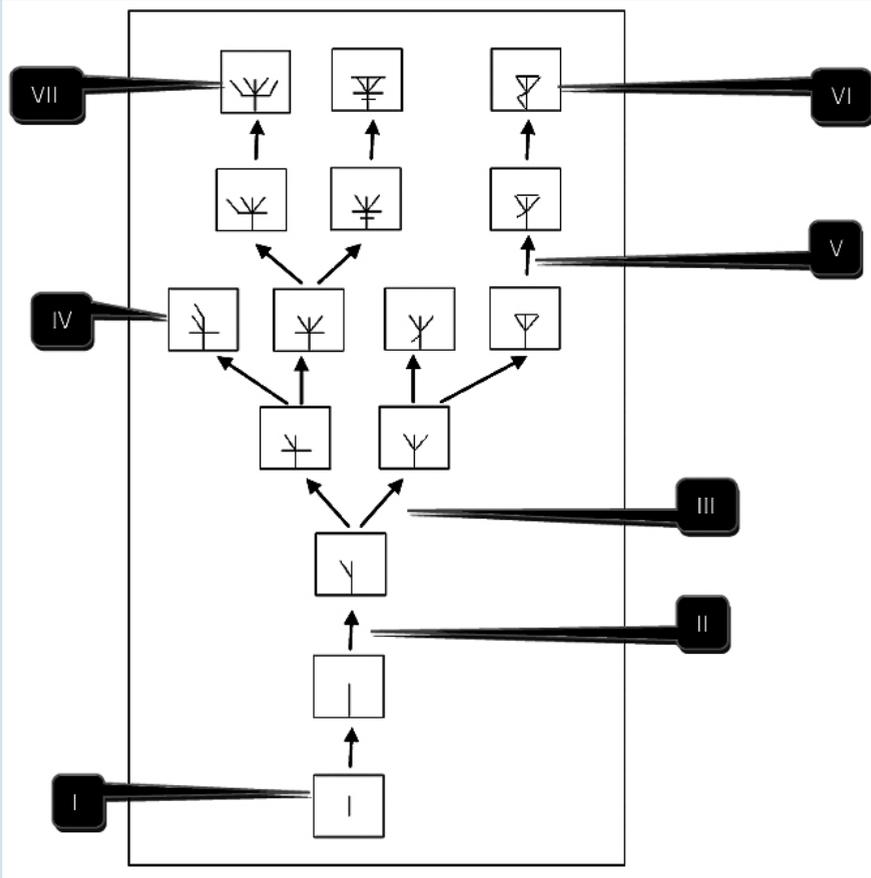
Descrição: O objetivo dessa atividade é que os alunos façam o papel da própria seleção natural e de mutações, selecionando quais indivíduos deixarão descendentes e quais serão extintos. Ela permite um primeiro contato lúdico e prático com a teoria evolutiva. A atividade pode permitir, direta ou indiretamente, a discussão de temas como convergência evolutiva, especiação, homologia, analogia, ancestralidade, extinção e fósseis.

Material: Folhas de papel e canetas.

Regras: O professor elabora um plano inicial, mas que pode ser modificado, da evolução de um (ou mais) organismo, evolução essa que é controlada e dirigida pelos alunos, mesmo que eles não saibam qual o significado do que estão fazendo. Esse plano leva em conta a quantidade de alunos em sala e quais conceitos o professor deseja abordar (veja o exemplo e explicações a seguir para mais detalhes). O objetivo dessa atividade é elaborar um desenho coletivo, que sem os alunos saberem, ao final, deverá ser interpretado como um organismo. Cada aluno contribui com o desenho coletivo fazendo um traço e passa esse desenho para o colega seguinte. As seguintes regras devem ser observadas:

- Cada aluno só pode fazer um traço, sendo este sempre uma linha reta.
- O aluno deve passar seu desenho para o aluno seguinte.
- Com exceção do primeiro aluno, o traço sempre deve ser feito sobre o desenho que o aluno anterior fez.
- Ao receber o papel do colega, o aluno deve fazer uma cópia exata dele, sem alterações. Uma das cópias ele manterá consigo até o final da atividade, e na outra cópia ele fará seu traço e passará esse papel adiante.
- Um aluno deve alterar um ou mais desenhos, conforme determinado pelo professor.
- Os alunos não devem planejar qual será o desenho final, ou seja, o esboço deve evoluir sem intenção de uma forma objetivada. Eles só conhecem as regras, mas não podem saber o que estão fazendo, nem sequer que estão desenhando organismos.

Significado biológico: os primeiros traços esboçados são os organismos primordiais. Cada desenho passado para o colega representa uma geração de indivíduos, e o colega que recebe os desenhos representa a seleção natural, que elimina o desenho do colega anterior; ao mesmo tempo, esse aluno representa também a mutação, já que introduz no descendente uma característica nova. Esse descendente é selecionado positivamente. Nos últimos desenhos (topo da escala evolutiva) estão os organismos melhor adaptados. Seriam, por exemplo, os organismos com os quais convivemos hoje.



A seguir sugerimos alguns conceitos que podem ser trabalhados com essa atividade:

Organismo primordial: é o quadro indicado por I. Esse quadro e os dois seguintes podem também ser considerados fósseis.

Evolução de uma espécie: ilustrado em II e V, observar que caracteres são herdados (descendência) e um novo caractere é desenvolvido (mutação).

Seleção natural: cada vez que um aluno modifica o desenho e passa esse mesmo desenho para o aluno seguinte, o desenho anterior é extinto. Isso porque a seleção natural privilegiou seu desenho novo e determinou o desaparecimento do desenho que lhe foi passado.

Especiação: um organismo sofre duas mutações diferentes (evento III), originando espécies diferentes cujos caracteres diferem. Esses dois organismos

divergiram tanto que não podem mais se reproduzir, e mesmo que consigam, não geram prole fértil.

Extinção em massa: duas espécies são extintas por um evento de extinção em massa. Uma dessas espécies é a IV. Das duas outras espécies restantes, uma sofre especiação e a outra segue a evolução da espécie. Note que a espécie I, e as outras espécies ancestrais, também são extintas no decorrer da atividade.

Homologia: a espécie apontada por I possui apenas um caractere, que é um grande traço central. Observando a espécie apontada em VI, é possível identificar que esse caractere ainda está presente, e possui a mesma função que possuía em I: é a sustentação principal do organismo. Por isso diz-se que esse traço central é um órgão homólogo de I e VI. Analogia: se identificarmos um traço (órgão), inventarmos que ele exerce a função de reprodução, e ele aparece na espécie VII e não na VI, e se dissermos que a espécie VI possui um traço que não está presente em VII e possui essa mesma função, então dizemos que esses órgãos são análogos. Isso porque esses órgãos não possuem ancestralidade comum, mas exercem funções semelhantes. A analogia é uma forma de convergência evolutiva.

Radiação adaptativa: desde o organismo primordial (I) até a evolução das últimas três espécies (no topo da figura), com diferentes adaptações, diz-se que ocorreu um evento de radiação adaptativa. Observações:

O professor pode criar ou excluir quantas ramificações desejar, adaptando a atividade aos conceitos que deseja trabalhar e à quantidade de alunos em sala. Nem sempre os desenhos farão sentido e serão reconhecíveis. Recomendamos que o professor sempre recorra à criatividade dos alunos para que eles sugiram com qual organismo os desenhos se parecem.

O ideal é que o professor faça um plano inicial de como deseja que se forme o cladograma, mas ele deve estar preparado para fazer alterações nesse plano no desenrolar da atividade, e o resultado pode ser até mais interessante do que o planejado.

A partir dos organismos gerados o professor pode fazer pausas na atividade e pedir para os alunos avaliarem o que está ocorrendo: quais caracteres estão surgindo entre os organismos, quais se extinguiram etc.

A quantidade de organismos gerados não necessariamente deve ser igual à quantidade de alunos em sala. Basta que todos estejam atentos ao que os outros estão fazendo, e o professor pode encerrar a atividade mesmo que alguns alunos não tenham feito desenho (pode até haver uma leve frustração de alguns alunos, mas certamente o objetivo de conteúdo pode ser alcançado).

FONTE: Adaptado de: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/9797/evolucao_palitos.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2011.

3.5 PRÁTICA: AS DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL (ATIVIDADE 1)

Objetivos:

Entender o processo de fossilização através do reconhecimento das diferenças entre um organismo fóssil e um organismo atual.

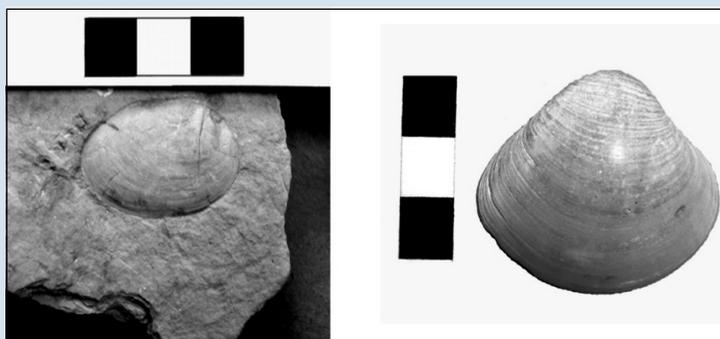
Público-alvo:

Estudantes de ensino fundamental.

Tempo exigido:
30 minutos.

Procedimento:

- 1 Observe as duas figuras a seguir. Uma representa um molusco atual, a outra mostra um molusco fossilizado. As escalas estão em centímetros (cada retângulo, preto ou branco, é igual a 1 cm).



- 2 Liste todas as semelhanças que você consegue observar entre os dois organismos.
- 3 Liste todas as diferenças que você consegue observar entre os dois.
- 4 Qual é o fóssil e qual é o organismo atual?
- 5 Quais foram as características observadas que fizeram com que você diferenciasse o fóssil do organismo atual?
- 6 Se enterrarmos um animal no quintal de casa, será que daqui a 10 anos poderemos considerá-lo um fóssil? Justifique sua resposta.

Cristina Silveira Vega e Eliseu Vieira Dias.

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade1_Fossilizacao.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.6 PRÁTICA: AS DIFERENÇAS ENTRE UM FÓSSIL E UM ORGANISMO ATUAL (ATIVIDADE 2)

Objetivos:

Simulação dos processos de moldagem e impressão de organismos nas rochas.

Público-alvo:

Estudantes de ensino fundamental.

Tempo exigido:

Duas aulas, com intervalo mínimo de três dias.

Materiais:

- 500 g de argila úmida;
- pó de argila;
- água;
- concha de um molusco, uma folha de árvore, osso de galinha;
- recipiente plástico do tamanho do objeto;
- filme de PVC.

Procedimento:

- 1 Espalhe o pó de argila nas paredes do recipiente. Coloque cerca de 2 cm desse pó no fundo do pote.
- 2 Faça uma bolacha de 3 cm de altura com a argila úmida, e coloque no fundo do pote. Aperte até ficar firme. Depois, cubra com o pó de argila.
- 3 Coloque no recipiente o objeto (concha, folha, osso) que será “fossilizado”. Cubra-o com o pó de argila, e pressione bem.
- 4 Coloque uma grande quantidade de pó de argila, até que todo o organismo fique recoberto.
- 5 Faça outra bolacha de argila úmida, colocando por cima de tudo, e aperte firmemente.
- 6 Feche o recipiente com um filme de PVC, e deixe secar por cerca de 3 dias.
- 7 Vire o recipiente ao contrário, batendo de leve no fundo, até que a amostra desgrude.
- 8 Separe as duas porções de argila, onde o “fóssil” se encontra no meio.

Questões:

- a) Descreva o que você pôde observar.

b) Como você relacionaria esse experimento com a formação de moldes durante o processo de fossilização?

Cristina Silveira Vega e Eliseu Vieira Dias.

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade2_Fossilizacao.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.7 PRÁTICA: DATAÇÃO RELATIVA

Objetivos:

Através de uma analogia, demonstrar a utilidade dos fósseis na ordenação das camadas de rochas no tempo.

Público-alvo:

Estudantes de ensino médio.

Tempo de duração:

15 minutos.

Material:

Um conjunto de cartões ilustrados com modelos de carros e um conjunto de cartões ilustrados com figuras de organismos fósseis para cada aluno ou para duplas de alunos.

Procedimento:

1 A seguir estão listados vários acontecimentos científicos que marcaram a história. Tente estabelecer sua ordem cronológica crescente, numerando-os do mais antigo ao mais recente.

- () Chegada do homem à Lua.
- () Descoberta da célula.
- () Fase final do Projeto Genoma.
- () Invenção do computador.
- () Invenção do ônibus espacial.
- () Invenção do plástico.
- () Invenção do telescópio.
- () Primeira enciclopédia.

- () Teoria da Evolução das Espécies de Darwin.
- () Teoria da Relatividade.
- () Teoria do Big-Bang.
- () Lei da Gravidade.
- () Descoberta do DNA.
- () Clonagem da ovelha Dolly.
- () Descoberta da anestesia.
- () Invenção do para-raios.
- () Invenção da máquina a vapor.
- () Invenção da bateria elétrica.
- () Criação da genética.
- () Descoberta dos raios-X.
- () Estabelecimento da mecânica quântica.
- () Descoberta da estrutura do átomo.
- () Invenção da internet.

1 Como você deve ter concluído, é praticamente impossível ordenar cronologicamente todos estes acontecimentos científicos que ocorreram ao longo dos últimos 400 anos!

Talvez você tenha conseguido, em alguns casos, indicar se um acontecimento é mais antigo ou mais jovem em relação a outro, mas não uma ordenação total, não é mesmo? Então, para alcançar seu objetivo de ordenar cronologicamente todos os fatos científicos listados, leia o item 2 e siga em frente.

2 Agora você recebeu uma série de cartões contendo os mesmos fatos científicos apresentados na atividade anterior. Em cada cartão há uma ou mais figuras de diferentes modelos de automóveis que se sucedem ao longo do tempo. Tente novamente ordenar em ordem cronológica os fatos científicos, utilizando, agora, os automóveis como “guias”. Inicie com o fato mais antigo, que é aquele que está acompanhado pelo modelo mais antigo de automóvel (marcado com uma estrela).

Foi fácil, não é mesmo? Com os modelos de carros se sucedendo ao longo do tempo, você teve condições de estabelecer a ordem cronológica dos acontecimentos. No próximo item você poderá entender qual a relação que este exercício tem com a ordenação cronológica das camadas de rochas.

3 Proceda da mesma forma, empilhando, agora, cartões contendo figuras de fósseis. Os cartões representam as rochas contendo grupos de fósseis. Os fósseis sucedem-se ao longo do tempo no registro estratigráfico. Lembrar que, uma vez extinto, um fóssil não ressurgem.

Agora pense sobre as seguintes situações:

4 Essas camadas de rocha (cartões com fósseis) se encontram empilhadas em uma mesma área geográfica. A ordem com que essas camadas foram depositadas no passado sofreu significativas alterações, devido a movimentos tectônicos. Portanto, as camadas encontram-se desordenadas. Como os fósseis podem ser utilizados para se determinar as idades relativas dessas rochas?

5 Cada uma dessas camadas de rochas contendo fósseis (cartões com fósseis) está aflorando em um determinado ponto de uma ampla área geográfica, a qual representa uma antiga bacia sedimentar. Isto significa que essas camadas de rocha foram, no passado, depositadas umas sobre as outras, de forma contínua. Hoje, devido à erosão, somente restou uma camada em cada ponto. Como, neste caso, os fósseis podem auxiliar no empilhamento (ordenação cronológica) dessas camadas de rochas?

Com este exercício você teve a oportunidade de refletir sobre dois dos principais princípios que regem a **Datação Relativa** das camadas de rochas sedimentares contendo fósseis.

1) **Princípio da Sucessão Fóssil**

2) **Princípio da Correlação Fóssil**

Tila Augusto Stock da Rosa.

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade4_Tempo.html>.
Acesso em: 10 mar. 2011.

3.8 PRÁTICA: PRINCÍPIOS DA SUCESSÃO E CORRELAÇÃO FÓSSIL

Objetivo:

Aplicar os princípios da Sucessão Fóssil e da Correlação Fóssil em uma situação hipotética.

Público-alvo:

Estudantes de ensino médio.

Tempo exigido:

90 min.

Procedimento:

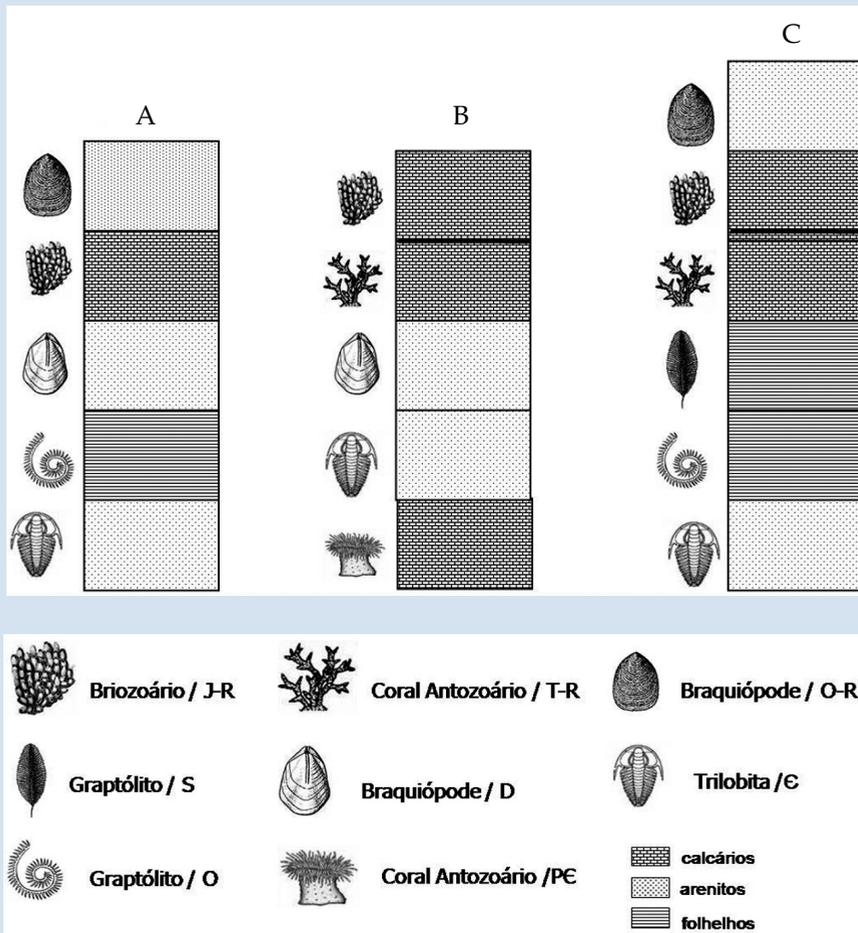
As três colunas abaixo (A, B e C) representam sequências de rochas sedimentares localizadas em pontos diferentes de uma mesma bacia sedimentar. As camadas sedimentares dos três pontos podem ser correlacionadas com base no seu conteúdo fossilífero.

Cada camada foi depositada durante um determinado período geológico e contém apenas um tipo de fóssil. A sequência corresponde ao intervalo de tempo entre os períodos Pré-Cambriano e Cretáceo. As rochas de dois períodos deste intervalo não foram preservadas em nenhum dos três pontos.

Importante! Para a realização desta atividade, devemos nos lembrar de dois princípios. São eles:

PRINCÍPIO DA SUCESSÃO FÓSSIL: grupos de fósseis ocorrem no tempo geológico em uma ordem determinada que reflete a evolução da vida na Terra. Fósseis mais antigos posicionam-se nos estratos mais inferiores e assim sucessivamente. A idade de uma rocha pode ser inferida com base no seu conteúdo fossilífero.

PRINCÍPIO DA CORRELAÇÃO FÓSSIL: fósseis sucedem-se no tempo geológico em idades determinadas, assim, as camadas contendo fósseis podem ser correlacionadas temporalmente.



1 Sabendo que cada camada contém apenas um fóssil e que a sequência inicia no Pré-Cambriano e termina no Cretáceo, indicar o período geológico em que foi depositada cada camada de rocha. Para isso, baseie-se no Princípio de Sucessão Fóssil. Lembre-se de que um dos períodos entre o Cambriano e o Cretáceo não está representado nas rochas.

- 2 Indicar quais períodos entre o Cambriano e o Cretáceo não estão representados em nenhum dos três pontos da seção.
- 3 Com base no Princípio da Correlação Fóssil, representar a correlação temporal entre as camadas dos três pontos, através da delimitação de bio-horizontes. Cada camada deve ser ligada à sua camada correspondente nos outros pontos por meio de linhas pontilhadas que partem da base e do topo da camada.
- 4 Construir a coluna ideal (composta), indicando o período de deposição de cada camada e apontando, também, os períodos cujas rochas não foram preservadas.

Tila Augusto Stock da Rosa

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade4_Tempo.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.9 PRÁTICA: QUE SEGREDOS SOBRE O PASSADO DA TERRA OS MICROFÓSSEIS PODEM REVELAR

Esta atividade foi desenvolvida para que os estudantes possam compreender, a partir de uma analogia com algo concreto, como os paleontólogos conseguem extrair informações a partir do microfósseis encontrados nos sedimentos e rochas.

Público-alvo:

Estudantes do Ensino Fundamental

Material necessário:

Tampas e rótulos de garrafas de refrigerante

Instruções ao professor:

Uma semana antes de realizar a atividade, peça para os alunos recolherem tampinhas e rótulos de garrafas de refrigerante. Desafie os alunos a trazerem tampinhas de garrafa de diferentes marcas, até mesmo as mais raras.

A atividade poderá ser realizada em sala de aula.

Desenvolvimento:

PARTE 1:

- 1 Recolha todas as tampinhas de garrafa que os alunos trouxeram e coloque-as em um saco plástico, misturando-as bem. Recolha todos os rótulos de garrafas de refrigerante. Eles comporão o banco de dados da pesquisa.
- 2 Divida a turma em grupos e peça que cada grupo pegue aleatoriamente um punhado de tampinhas de garrafa.
- 3 Cada grupo terá, então, que descobrir que informações poderão obter a partir das tampinhas que coletaram.

Informações obtidas a partir das tampinhas de garrafa:

- a) Quais os diferentes tipos de marcas de refrigerantes que foram coletados?
- b) Qual foi a marca de refrigerante mais abundante?
- c) Qual foi a mais rara?

Informações obtidas a partir dos rótulos das garrafas:

- a) Onde cada marca de refrigerante foi produzida?
(Discutir a procedência de cada refrigerante. Sugestão: elaborar um mapa da ocorrência de cada marca de refrigerante e relacionar aos microfósseis, que também podem informar de onde vem e sua distribuição geográfica).
- b) Quais refrigerantes foram criados no Brasil e quais foram trazidos de outros países?
(Discutir a relação entre organismos endêmicos e cosmopolitas).
- c) Quais marcas de refrigerantes são produzidas na nossa região (cidade, estado) e quais vêm de longe (outros estados)?
- 4) Peça que eles organizem essas informações na forma de uma tabela.

PARTE 2:

Agora, junto com os alunos, atribua um tipo de microfóssil para cada marca de refrigerante. Por exemplo, a tampa do refrigerante feito de uva corresponde ao grupo dos Foraminíferos, a de laranja aos Ostracodes, e assim por diante.

Peça que cada grupo descubra que informações podem obter a partir dessa assembleia de microfósseis, utilizando a tabela de microfósseis.

Responda:

- a) Quais os diferentes tipos de microfósseis que foram coletados?
(Assim fazem também os paleontólogos, primeiro descobrem que microfósseis estão presentes no sedimento ou rocha que estão estudando).

- b) Qual foi o grupo de microfóssil mais abundante?
(Analisar qual é o microfóssil mais abundante permite fazer inferências sobre o ambiente onde essa assembleia vivia).
- c) Qual o grupo mais raro?
(Permite discutir que os elementos raros das assembleias de microfósseis podem contribuir também na interpretação).
- d) Em que ambiente essa assembleia vivia?
(Continental, água-doce, marinho etc.)
- e) Em que era do tempo geológico esses organismos poderiam ser encontrados vivos?
(Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico etc.)

Fonte: **Gerson Fauth** e **Simone Baecker Fauth**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade4_Microfosseis.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.10 PRÁTICA: CONTANDO A HISTÓRIA DA VIDA ATRAVÉS DOS GRÃOS DE PÓLEN

Nas flores das plantas conhecidas por gimnospermas e angiospermas existem estruturas responsáveis pela sua reprodução: os gametófitos que podem ser masculinos ou femininos dependendo dos gametas que formarão. Estes gametas irão se encontrar, formar um embrião e desenvolver uma nova planta.

Para que isso ocorra o gameta masculino é transportado dentro do grão de pólen até o gameta feminino. Sendo assim, **o grão de pólen é o agente transportador dos gametas masculinos das plantas**. Na maioria das plantas, é o vento que leva o grão de pólen até o óvulo, que é onde se encontra o gameta feminino.

Os grãos de pólen que não conseguem chegar até os gametófitos femininos serão depositados (no solo, nos lagos, nos banhados etc.) e podem ficar preservados por milhares de anos. Como eles apresentam uma grande diversidade de formas e uma excelente preservação em meio anaeróbico, é possível fazer a reconstrução da vegetação e do clima. A extração dos grãos de pólen desses ambientes anaeróbicos especiais (sítios deposicionais) e a identificação da planta que formou estes grãos de pólen é um dos assuntos estudados por uma ciência chamada Palinologia e seus estudiosos são chamados de palinólogos.

Os trabalhos desenvolvidos nesta atividade darão oportunidade aos estudantes de compreenderem o processo de sedimentação dos grãos de pólen nos ambientes deposicionais e, principalmente, como é feita a retirada deste material fóssil, sua identificação e as interpretações ambientais que eles fornecem.

Objetivos:

- a) familiarizar-se com o processo de extração dos fósseis que estão no ambiente deposicional;
- b) compreender a importância da resistência da exina no processo de fossilização dos grãos de pólen e como as diferentes morfologias possibilitam a identificação das espécies;
- c) analisar os dados polínicos e interpretar as relações dos ambientes passados (paleoambientes);
- d) entender como os grãos de pólen fossilizados podem ser uma confiável ferramenta para reconstrução dos paleoambientes.

DESCRIÇÃO:**Público-alvo:**

Alunos do Ensino Fundamental e Médio.

Número de participantes:

20 alunos distribuídos em 5 grupos de 4 alunos.

Tempo necessário:

1 hora para preparação do material e 3 horas para execução das atividades.

Materiais e equipamentos:

Areia grossa.

Areia fina.

Rolhas de E.V.A. (Etileno-acetato de vinila) coloridas (sugestão de cores: verde, vermelho, amarelo, azul e preto) que irão representar os fósseis dos grãos de pólen.

Potes plásticos ou copos descartáveis de 250 ml (cinco para cada grupo).

Bandejas plásticas (ou formas de bolo retangular).

Espátulas ou colheres plásticas.

Pinças.

Planilha para anotação dos dados.

Ficha para identificação das plantas.

Material diverso sobre a vegetação brasileira e sobre alimentos de origem vegetal (livros, revistas, jornais, reportagens).

Moldes dos fósseis (vide Modelo de Ficha para confecção dos Moldes dos Fósseis);

Caneta, lápis preto ou lapiseira.

Conceitos e vocabulário:

O professor e os estudantes deverão ter noções básicas sobre os seguintes assuntos: Reprodução dos vegetais, dispersão dos grãos de pólen, sedimentação de partículas orgânicas, formações vegetacionais do Brasil, principais vegetais utilizados na alimentação, vegetação nativa e exótica.

PROCEDIMENTOS:**Instruções ao professor:**

O desenvolvimento dessa atividade requer, no mínimo, três horas de aula, sendo que algumas etapas devem ser realizadas previamente.

O professor deve, anteriormente, preparar uma mistura de 50% de areia grossa/fina. Repartir igualmente esta mistura colocando-a em cinco potes plásticos (ou copos descartáveis) diferentes.

Preparar os fósseis desenhando nas folhas de E.V.A. um único tipo de fóssil para cor de placa de E.V.A. Recortar os modelos e desenhar, com caneta esferográfica, os detalhes dos fósseis conforme a Ficha de Moldes de Fósseis. No final você deve ter cinco conjuntos de grãos de pólen diferentes representados pelos fósseis em E.V.A., isto é, um conjunto de grãos de pólen para cor de folha de E.V.A. Utilize a ficha de moldes abaixo como sugestão para construção dos fósseis de grãos de pólen.

Distribuir, de modo desigual, um único tipo de fóssil em cada um dos potes plásticos (ou copos descartáveis) e revolver de modo que os “fósseis” fiquem soterrados. Assim, cada pote plástico (ou copo descartável) terá unicamente um tipo de fóssil e em quantidade diferente dos demais.

O professor deve também preparar as Fichas de Anotação de Dados com antecedência e em número suficiente para que cada grupo receba uma ficha.

O fechamento dessa atividade ocorrerá durante o “Congresso de Palinologia”, sendo que algumas questões para o debate estão mencionadas abaixo, no item Questões para discussão.

Desenvolvimento:

1. Escavando Fósseis

Os alunos devem ser divididos em grupos e cada equipe receberá um conjunto composto por: uma bandeja plástica, cinco potes de areia com “fósseis”, espátulas, pinças e ficha de anotação de dados.

O professor deve orientar os alunos para que eles derramem os potes de areia no interior da bandeja, relacionando este fato aos processos de sedimentação que ocorrem na natureza. Lembrar aos alunos que, juntamente com as partículas do solo, sedimentam também outras estruturas, como os grãos de pólen, que não foram utilizados no processo de reprodução dos vegetais e que se dispersaram através do vento.

Cada grupo irá cuidadosamente escavar os sedimentos extraindo com a pinça os “grãos de pólen fósseis”. Anotar na planilha a cor do fóssil (modelo de E.V.A.), a quantidade dos mesmos e realizar uma ilustração do grão de pólen de acordo com sua cor.

2. Identificando Fósseis

Após a extração e contagem dos grãos de pólen é necessário também que se faça a identificação dos fósseis encontrados. Para isto precisamos primeiramente saber o nome da planta que produziu cada grão de pólen.

Para realizar a identificação das plantas, os grupos deverão pegar sua planilha de dados e completar com o nome das plantas. Deverá ser utilizada a bibliografia disponível e as pistas fornecidas pelas fichas de identificação das plantas para a descoberta do nome dos vegetais.

3. Conhecendo grãos de pólen:

Nesta etapa do trabalho, o professor irá fazer a averiguação dos resultados encontrados. Para isso deverão ser utilizadas as fichas abaixo que contêm informações sobre o fóssil (feito em E.V.A) e os nomes científico e popular dos vegetais determinados pelos alunos. Estas fichas apresentam também uma foto, em microscopia óptica, dos grãos de pólen de cada planta identificada.

Mas não basta extrair os grãos de pólen dos sedimentos e saber seus nomes. É preciso comparar os resultados encontrados por você com os dos demais grupos, para isso é necessário organizar um CONGRESSO DE PALINOLOGIA!

Fóssil	Planta Nome Científico/Nome Popular	Foto grão de pólen (em aumento de 1.000x)
Fóssil de cor verde	<i>Araucaria angustifolia</i> pinheiro-do-Paraná	
Fóssil de cor vermelha	<i>Caesalpinia echinata</i> pau Brasil	
Fóssil de cor amarela	<i>Zea mays</i> milho	
Fóssil de cor azul	<i>Achyrocline satureioides</i> macela	
Fóssil de cor preta	<i>Pinus sp.</i> pinus	

4. Organizando o Congresso de Palinologia:

O professor irá orientar os grupos quanto à interpretação dos dados e ao modo de apresentação dos resultados. Em relação à interpretação dos resultados, lembre aos alunos que a quantidade de grãos de pólen encontrada depende do tipo de vegetação existente ao redor do sítio deposicional.

Quanto ao modo de apresentação, por exemplo, um aluno poderá ser o relator dos resultados encontrados pelo grupo em um tempo de exposição em torno de 5min. Após a apresentação oral, os demais alunos podem fazer considerações e questionamentos em um determinado tempo preestabelecido.

Após a discussão, os alunos deverão passar na “secretaria” (organizada na própria sala de aula) para retirar seu certificado de participante e/ou de apresentador de trabalho no Congresso de Palinologia.

Questões para discussão:

As questões abaixo complementam a atividade desenvolvida e servem como guia para as discussões a respeito das interpretações paleoambientais dos resultados encontrados.

- 1 Considerando que o número de grãos de pólen encontrados reflete a vegetação existente ao redor do sítio deposicional, em que região do Brasil está trabalhando o grupo que encontrou mais fósseis do pinheiro-do-Paraná? Qual o tipo de floresta que se desenvolve nesta região?
- 2 O pau-brasil ocorre em regiões litorâneas desde o Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte, portanto, a equipe que contou o maior número de fósseis do pau-brasil estava analisando um sedimento de que tipo de mata? Hoje, esta espécie ainda é abundante nesta mata? Justifique sua resposta.
- 3 O milho trata-se de um vegetal cultivado desde longa data pelos indígenas e sua ocorrência está aliada à presença destes antepassados. Isto significa que, próximo ao sítio deposicional, existiu uma população indígena? Justifique.
- 4 Grãos de pólen de macela indicam ocorrência de ambientes abertos e vegetação de campo. Você espera encontrar grãos de pólen de macela em florestas? Justifique sua resposta.
- 5 Pinus é uma árvore exótica cujo cultivo teve início após a chegada do colonizador europeu em nosso país. O registro de seus grãos de pólen indica a presença do homem branco e a transformação do ambiente incluindo o cultivo de elementos estranhos à vegetação local. A partir de que data é possível haver presença de grãos de pólen de Pinus nos sedimentos? De que maneira o processo de colonização e o progresso afetam a paisagem vegetal e seu registro nos sedimentos?

Pode-se, ainda, ressaltar pontos relevantes, como, por exemplo, de que modo o homem altera a paisagem e como isto se reflete no registro fossilífero, a importância da preservação dos sítios deposicionais e como o conhecimento dos fósseis (microfósseis, neste caso) nos auxiliam a entender o ambiente atual e a importância de sua preservação.

Soraia Girardi Bauermann e Andréia Cardoso Pacheco Evaldt

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade5_Microfosséis.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.1.1 PRÁTICA: QUEM COME QUEM

Público-alvo:

Alunos do Ensino Fundamental.

Objetivo:

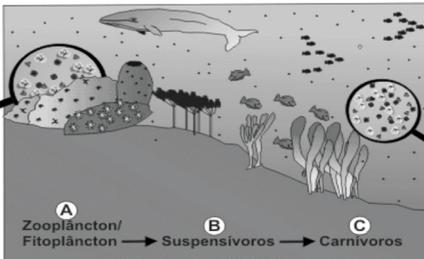
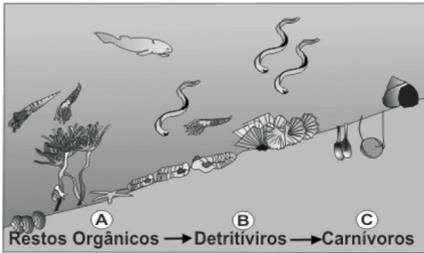
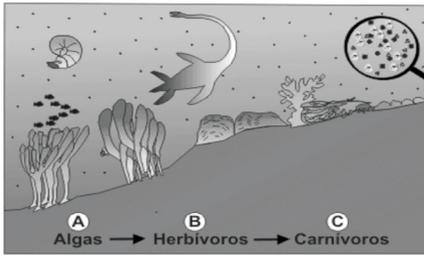
Permitir que os alunos compreendam que diferentes organismos podem compor a cadeia alimentar e que ao longo do tempo geológico estes seres vivos foram sendo substituídos por outros com função semelhante.

Procedimento:

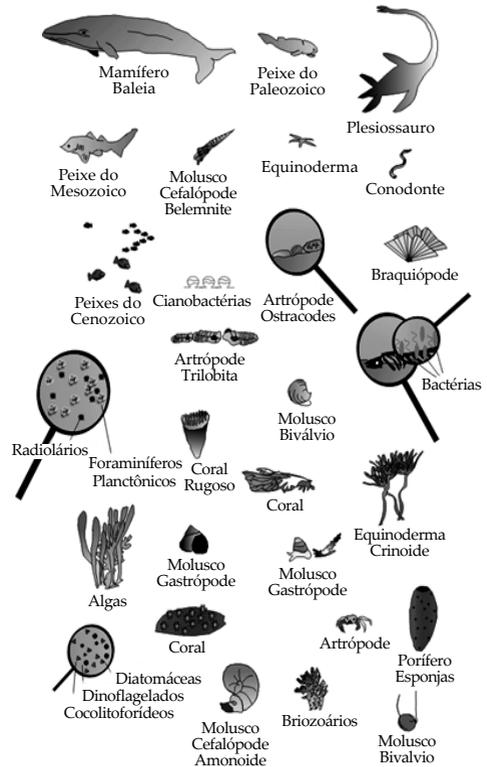
A partir do que você já descobriu sobre os microfósseis e os segredos que eles podem revelar sobre os mares do passado, observe as figuras a seguir:

- 1 Indique com setas os organismos que compõem a cadeia alimentar de acordo com a ordem sugerida em cada figura.
- 2 Determine a Era do Tempo Geológico em que estas paleocomunidades viveram e circule o organismo que indicou a resposta.
- 3 Quem são os produtores?
- 4 Quem são os consumidores?
- 5 Quem são os decompositores?
- 6 Quem eram os predadores?
- 7 Dentre os microfósseis, quem são os produtores e os consumidores?

Quem Come Quem e Quando?



Legenda



QUEM NÃO EXISTE MAIS HOJE?

1 Que animal vivia nos mares do Paleozoico e que não existe mais hoje?

- a) Trilobitas.
- b) Peixes.
- c) Ostracodes.

2 Que animais eram grandes predadores nos mares do Mesozoico e que foram extintos no final do Cretáceo?

- a) Tubarões.
- b) Raias.
- c) Ictiossauros, Mosassauros e Plesiosauros.

3 Qual o grupo de microfósseis que só pode ser encontrado em rochas do Paleozoico e início do Mesozoico?

- a) Foraminíferos.
- b) Dinoflagelados.
- c) Conodontes.

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade1_Microfosses.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

3.12 PRÁTICA: AMBIENTE DE FOSSILIZAÇÃO

Objetivo:

O objetivo deste jogo é propiciar o entendimento dos processos físicos e biológicos que atuam na formação de um fóssil.

Público-alvo:

Estudantes do ensino fundamental (5 à 7 série).

Número de alunos participantes:

15 alunos, divididos em cinco grupos de três, de acordo com os “ambientes” citados abaixo, em negrito.

Tempo exigido:

1h30min

Material:

- cartolina;
- giz de cera e/ou lápis de cor;
- cartões de fossilização (veja a seguir).

Procedimento:

- 1 Separar a turma em cinco grupos de três participantes e peça para que cada grupo escolha um ambiente deposicional, como um lago, uma planície, uma floresta, um rio ou até mesmo o fundo do mar.
- 2 Entregar uma cartolina, um conjunto de giz de cera e os cartões de fossilização para cada um dos grupos. Pedir que os alunos desenhem o ambiente que escolheram (lago, planície, floresta, rio, fundo do mar), ilustrando a vegetação e os animais que vivem no local.
- 3 Fazer três conjuntos de cartões para cada grupo, ou seja, cada participante deverá ter acesso a um cartão dos tipos a seguir.

RESSECAMENTO (MUMIFICAÇÃO)	RESSECAMENTO (MUMIFICAÇÃO)
TRANSPORTADO POR CORRENTES DE ÁGUA	TRANSPORTADO POR CORRENTES DE ÁGUA
TRANSPORTADO PELAS ONDAS	TRANSPORTADO PELAS ONDAS
COMIDO POR CARNICEIROS	COMIDO POR CARNICEIROS
ENGOLIDO POR UM CROCODILO	ENGOLIDO POR UM CROCODILO
DESARTICULADO EM VÁRIAS PARTES	DESARTICULADO EM VÁRIAS PARTES
SOTERRADO VOCÊ SE TORNOU UM FÓSSIL!!!	SOTERRADO VOCÊ SE TORNOU UM FÓSSIL!!!

Cristina Bertoni-Machado

FONTE: Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Atividade1_Tafonomia.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.



Para saber mais a respeito de prática para realizar em sala de aula sobre Evolução e Paleontologia, acesse o livro digital de Paleontologia – A paleontologia em sala de aula. Disponível em: <www.ufrgs.br/paleodigital/Apresentacao.html>. Acesso em: 10 mar. 2011.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você pôde aprofundar seus conhecimentos nos seguintes conteúdos:

- Como disciplina, Evolução e Paleontologia tem sido ministrada nos cursos de graduação em Geologia e Ciências Biológicas e também aos estudantes de Ecologia e Licenciatura em Geociências e Meio Ambiente.
- O ensino de Evolução e Paleontologia apresenta-nos conceitos fundamentais para a formação de cidadãos conhecedores dos fenômenos naturais e reconstituição da história natural.
- Os jogos desempenham sua função como material didático auxiliar, estimulando a aprendizagem por parte dos alunos e auxiliando os professores com um recurso a mais nas aulas de Biologia.
- Além dos jogos podem ser apresentados aos alunos filmes, documentários, práticas com materiais diversos, demonstrações de peças, murais didáticos, excursões a museus e outros lugares que contenham materiais para que os alunos possam analisar.
- A relevância de estudar a utilização de aulas práticas no ensino das ciências vem dar oportunidade de mostrar como a teoria funciona na prática e mostrar onde e como podemos utilizar essa teoria.
- As atividades experimentais podem ter importância significativa para a aprendizagem e, por isso, considera-se fundamental valorizar propostas de ensino que demonstrem a potencialidade da experimentação.
- A aula prática é um recurso que torna possível o aprendizado da teoria.



Caro(a) acadêmico(a)! Para fixar melhor o conteúdo estudado, vamos exercitar um pouco. Leia as questões a seguir e responda-as em seu caderno. Bom trabalho!

- 1 Qual é a importância de se fazer aulas práticas?
- 2 Com base na atividade prática do item 3.5, responda às perguntas e faça uma enquete para saber as respostas de todos os alunos.
 - a) Liste todas as semelhanças que você consegue observar entre os dois organismos.
 - b) Liste todas as diferenças que você consegue observar entre os dois.
 - c) Qual é o fóssil e qual é o organismo atual?
 - d) Quais foram as características observadas que fizeram com que você diferenciasse o fóssil do organismo atual?
 - e) Se enterrarmos um animal no quintal de casa, será que daqui a 10 anos poderemos considerá-lo um fóssil? Justifique sua resposta.

REFERÊNCIAS

BARATIERI, S. M.; BASSO, N. R. de S. Conhecendo as concepções dos alunos sobre as atividades experimentais em química. In: Encontro ibero-americano de coletivos escolares e redes de professores que fazem investigação na sua escola, 4., 2005, Lajeado. **Anais...** Lajeado: UNIVATES, 2005, p.1-6.

CAMPOS, M. C. da C.; NIGRO, R. G. **Didática de ciências: o ensino-aprendizagem como investigação**. São Paulo: FTD, 1999.

CARVALHO, I. S. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

_____. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

CASSAB, R. C. T. Objetivos e Princípios. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2004. v. 1.

FAIRCHILD, T. R.; TEIXEIRA, W; BABINSKI, M. 2008. De Volta ao passado: Paleontologia e paleontólogos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

FARIA, F. F. de A. Georges Cuvier e a instauração da Paleontologia como ciência. (Tese). Universidade Federal de Santa Catarina, 172-185. 2010. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/novosite/arquivos/Tese%20-%20F.%20Felipe%20%20A.%20Faria.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

FUTUYMA, D. J. **Biologia Evolutiva**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC-RP, 2002.

GALIAZZI, M. do C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 326-331. 2004.

GOMES, S. Os olhos brasileiros de Darwin. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/conteudo_474706.shtml>. Acesso em: 24 mar. 2011.

HOFFMAN, A. The past decade and the future. In: BRIGGS, D. E. G.; CROWTHER, P. R. (Eds.). **Palaeobiology: A Synthesis**. Cambridge: Blackwell Scientific Publications, 1990.

KELLNER, A. Determinando a idade dos fósseis. **Ciência Hoje Online**, 2008. Disponível em: <<http://ceticismo.net/ciencia-tecnologia/determinando-a-idade-dos-fosseis/>>. Acesso em: 8 mar. 2011.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Biologia**. São Paulo: Saraiva. 2005.

MARTINS, L. A. P. A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência & Ensino**, 5: 18-21. 1998.

_____. Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 65-100, 2009.

MAYR, E. **O que é a evolução**. Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

MENDES, J. C. **Paleontologia Básica**. São Paulo: T. A. Queiroz Editora/EDUSP, 1988.

MENDONÇA, V. L.; LOPES S. Construindo Cladogramas. Disponível em: <www.editorasaraiva.com.br/biosonialopes>. Acesso em: 17 fev. 2011.

NEVES, J. P.; VALE, J. M. F. do. Educação científica e sociedade. In: NARDI, Roberto. (Org.). **Questões atuais no ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998.

NEVES, J. P.; CAMPOS, L. L.; SIMÕES, M. G. Jogos como recurso didático para o ensino de conceitos paleontológicos básicos aos estudantes do ensino fundamental. 2008. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/viewFile/1166/881>>. Acesso em: 10 mar. de 2011.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ROSE, M. **O espectro de Darwin**: a teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

SANTOS, C. H. V. **História e filosofia da ciência nos livros didáticos de biologia do ensino médio**: análise do conteúdo sobre a origem da vida. 2006. Dissertação. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

SCHWANKE, C; SILVA, M. A. J. Educação e Paleontologia. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SIMÕES, M. G.; HOLZ, M. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: CARVALHO, I. de S. (Ed.). **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2004.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M; HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ZAIA, D. A. M.; ZAIA, C. T. B. Algumas controvérsias sobre a origem da vida. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1599-1602, 2008.

ZIMMER, C. **O livro de ouro da evolução**. Rio de Janeiro: Ediouro. 2003.

