ISSN 1980-3540

Genética na Escola

03.02, 13-19 (2008)
www.sbg.org.br

ENTENDENDO A ÁRVORE DA VIDA: CONEXÕES EVOLUTIVAS

Daniel Toffoli

Laboratório de Genética de Populações e Evolução, Departamento de Genética e Evolução, Universidade Federal de São Carlos

E-mail: toffolidan@yahoo.com.br

Evidências da Evolução

Uma semente, trazida pelo vento, pousa sobre o solo e lá fica até as primeiras chuvas. Ao germinar, suas raízes começam a se desenvolver, e logo surge o primeiro ramo, e outro a partir deste, e mais outro, até o vicejar de uma árvore, com muitos galhos e folhas.

É exatamente da analogia de uma árvore ramificando-se em múltiplos galhos que Charles Darwin, o arquiteto maior da teoria da Evolução, utilizou-se para explicar a origem e diversificação da vida no planeta Terra. Segundo Darwin, a vida surgiu uma única vez (ou pelo menos só uma única linhagem primordial deu origem a todos os seres viventes de hoje, sendo outras extintas – ancestral esse denominado recentemente de cenoancestral) e, a partir de variações surgidas ao acaso nesse ser vivo primordial, novas espécies foram surgindo, e outras se extinguindo, com estimativas recentes de que existam atualmente pelo menos 3,6 ou até 117,7 milhões de espécies no planeta (Wilson, 1994). Ainda hoje, com o extraordinário avanço de tecnologias e do conhecimento acerca da origem e diversificação das espécies, tal analogia, a da árvore da vida, continua robusta e amplamente aceita.

Darwin publicou, no ano de 1859, o livro "A Origem das Espécies", numa época em que a teoria dominante que explicava o surgimento das espécies era baseada na idéia criacionista, segundo a qual todos os organismos vivos foram criados por Deus e se mantiveram imutáveis até o presente. O livro de Darwin propôs ao mundo a idéia de que as espécies "não são independentemente criadas, mas descendem, como variedades, de outras espécies" (ex.: variedades como as raças de cachorros, tão diferentes entre si, são variedades de uma mesma espécie, descendentes da dos lobos, domesticados há milhares de anos pelo homem).

Desde Darwin, o conhecimento científico vem acumulando um grande número de evidências, oriundas de diferentes disciplinas das Ciências Naturais, que suportam a teoria de que uma espécie surge a partir de modificações de uma outra espécie ancestral. Evidências evolutivas marcantes vêm da observação de estruturas vestigiais encontradas em algumas espécies, dos fósseis, das homologias e, mais recentemente, dos estudos sobre o DNA (ácido desoxirribonucléico).

Uma estrutura vestigial é uma parte não funcional do corpo (versão rudimentar) que, no entanto, apresenta uma função importante em outras espécies proximamente relacionadas. Por exemplo, a espécie de peixe *Astyanax mexicanus* vive em cavernas do México e apresenta olhos rudimentares, incapazes de proporcionar visão. A explicação para esse fato é que o olho "foi herdado" de sua espécie ancestral que vivia em águas banhadas pelo sol, mas que perdeu função, quando se adaptou à vida em ambiente desprovido de luminosidade - as cavernas.

O estudo do registro fóssil também traz uma série de fabulosas evidências sobre a origem das espécies a partir de modificações de espécies ancestrais. Fósseis são traços de qualquer organismo que viveu no passado, por exemplo, esqueletos que foram soterrados e que se mineralizaram com o passar dos anos. Se as espécies se modificam com o passar do tempo, então é de se esperar que se encontrem formas com características morfológicas em estado intermediário entre os principais grupos de organismos que conhecemos.

Um exemplo muito bem documentado de formas intermediárias está representado na história evolutiva das baleias e golfinhos. Por que esses animais, completamente adaptados à vida exclusivamente aquática, respiram por pulmões e apresentam glândulas mamárias, amamentando-se de leite, como os humanos? À primeira vista, seria mais lógico supor que ambos respirassem por brânquias, como os peixes, ao invés de terem que buscar ar na superfície das águas, constantemente, para encher os pulmões de oxigênio. Interpretado à luz da evolução, esse padrão nos leva a supor que esse grupo de mamíferos é descendente de um ancestral terrestre e, portanto, tinha membros para se locomoverem em terra e respiravam por pulmões. Entre os ancestrais terrestres e as baleias modernas, então, deveriam existir algumas espécies que existiram anteriormente e que possuíam membros

adaptados à locomoção terrestre e natação ao mesmo tempo. Várias espécies intermediárias foram identificadas no registro fóssil e ajudam a contar essa história. Uma delas, chamada de *Ambulocetus natans* tinha membros posteriores enormes que a fariam "desastrada" em terra, mas que provavelmente conferiam-lhe excelentes habilidades natatórias. É estimado que essa espécie tenha vivido há cerca de 50 milhões de anos. Um bom exemplo de mamífero aquático da atualidade, com membros adaptados à natação e pouco ágeis em terra, semelhante ao *Ambulocetus*, é a lontra. Outra espécie, chamada de *Basilosaurus* foi claramente um animal aquático exclusivo, mas que possuía membros posteriores pequenos e não-funcionais, embora totalmente desenvolvidos (estrutura vestigial). Figuras como essas e outras espécies desse exemplo evolutivo podem ser conferidas no site http://www.edwardtbabinski.us/whales/evolution_of_whales/.

Ao se comparar os membros locomotores entre espécies de vertebrados terrestres, é observada uma variedade de formas, como as nadadeiras das baleias, asas dos morcegos, pernas dos jacarés, todas adequadas ao modo de vida de seus possuidores. Entretanto, apesar das diferenças morfológicas externas, essas estruturas apresentam um padrão esquelético e muscular similar, tanto nas estruturas anatômicas constituintes (ossos e músculos) quanto na posição relativa entre essas estruturas (fêmur; tíbia e fíbula; artelhos, Figura1). Entende-se que esse padrão compartilhado deve-se à herança do padrão dos membros a partir do ancestral comum dos vertebrados terrestres. Dá-se o nome de homologia à similaridade herdada de um ancestral comum. Homologia é outra evidência da existência da evolução. Pense na analogia de um engenheiro que precisa construir uma hélice para impulsionar um barco e também as asas de um avião. Ele utilizaria matéria-prima e peças diferentes e as encaixaria umas às outras de forma totalmente diferentes para a construção das duas estruturas. Entretanto, a natureza, no caso dos membros locomotores, parece ter esticado, fundido e entortado, sempre a partir de um mesmo modelo básico (Figura 1). Os vertebrados terrestres herdaram de seu ancestral os membros locomotores, que se modificaram, por seleção natural (ver explicação mais abaixo), nas diferentes formas que conhecemos hoje, adaptadas a diferentes condições ambientais.

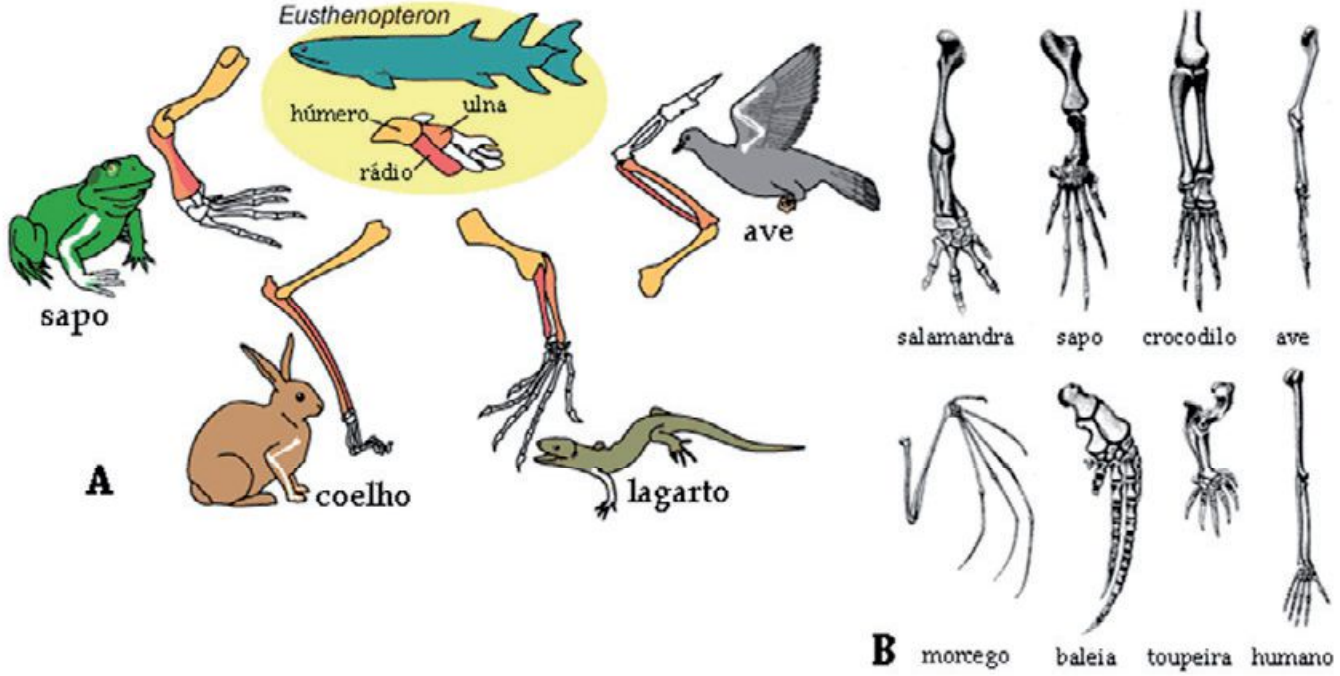

Figura 1. *Exemplos de homologia, que é definida por similaridade na forma e posição de estruturas herdadas de ancestral comum. A) identidade e posição dos ossos do membro anterior do* Eushenopteron*, peixe extinto pertencente à linhagem que originou os vertebrados terrestres, e quatro espécies viventes. B) Desenhos dos ossos do membro anterior de vertebrados que realizam diferentes funções com esses membros. Notar que, apesar da forma diferente, a identidade e ordem dos ossos é praticamente a mesma em todas as espécies. Fontes: http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/similarity_hs_01 http://wiki.cotch.net/index.php/Homology.*

Uma das evidências mais arrebatadoras da existência da árvore da vida, ou seja, de que espécies surgem de outras espécies, veio a partir da descoberta da estrutura e função do DNA. Os cientistas descobriram que o DNA é a molécula orgânica que contém a informação para a produção de proteínas, que por sua vez são importantes moléculas responsáveis pela estrutura e a regulação do desenvolvimento de todos os organismos, de bactérias a elefantes, podendo assim ser considerada a Biblioteca da Vida. Alguns vírus, como o HIV, carregam a informação genética em moléculas de RNA, mas só produzem proteínas e replicam-se depois que o RNA se transforma em DNA e é incorporado ao genoma do seu hospedeiro.

A presença de material genético é uma característica comum a todos os seres vivos, incluindo bactérias, plantas, fungos, vermes, insetos, peixes, aves. O código genético é, portanto, universal. Uma vez que a estrutura e organização do material genético é muito similar em todos os organismos vivos, hipotetiza-se que esse código genético foi herdado, ainda que com modificações, por todas as espécies**,** a partir de uma espécie ancestral comum que viveu nos mares há mais de três bilhões e meio de anos.

Com o aumento do conhecimento sobre o funcionamento do código genético universal e da similaridade desse código entre as diferentes espécies, hoje os cientistas são capazes de desenvolver uma verdadeira engenharia genética. Por exemplo, os cientistas isolaram genes que codificam proteínas fluorescentes do genoma de águas-vivas e corais e os inseriram no genoma do peixe paulistinha (*Danio rerio*). Esses genes codificam proteínas que absorvem e, posteriormente, emitem luminosidade verde, vermelha e laranja nesses animais geneticamente modificados, que passam a brilhar quando expostos à luz (Figura 2). Outro exemplo de engenharia genética foi a inserção do gene da insulina humana no genoma da bactéria *Escherichia coli* (que vive naturalmente no intestino humano). A maquinaria celular da bactéria passa a produzir o produto do gene humano. Dada a facilidade de manipulação de *E. coli* em laboratório e sua atividade celular muito acelerada, o homem gerou uma "fábrica natural" para produção de insulina, ajudando milhões de diabéticos no mundo.

Figura 2. *Paulistinha* (Danio rerio) *com genes de água-viva e corais marinhos inseridos em seu genoma, conferindo bioluminescência nas cores vermelha, verde e laranja (no canto inferior direito, sua coloração natural). O funcionamento de um gene de espécie tão diferente em outra é uma forte evidência de que todos os organismos vivos descendem de um ancestral comum que possuía DNA com herança genética. Fonte: imagem de livre permissão para a utilização, retirada do site http://en.wikipedia.org/wiki/Glofish.*

A similaridade de estrutura e função do DNA entre os diferentes organismos, a ponto de permitir que, por exemplo, um gene humano funcione em bactéria, é evidência robusta de que todas as espécies de organismos vivos descendem de um ancestral comum que possuía a informação genética no DNA para a produção de proteínas.

Evolução e a árvore da Vida

Foi apresentada ao longo do texto uma série de evidências que mostram que as espécies são relacionadas entre si e modificam-se a partir de um ancestral comum. Darwin propôs uma forma gráfica semelhante a uma árvore para representar esse processo. A essa representação, em termos gerais, dá-se o nome de **árvore evolutiva** ou **filogenia** (Gregory, 2008). Existem diferentes formas e informações que podem ser expressas em filogenias, sendo que apresentarei apenas um exemplo. Notar que na Figura 3, o eixo vertical do diagrama representa do tempo remoto (embaixo) ao mais recente (em cima). No eixo horizontal está representada a divergência morfológica, ou seja, quanto mais distantes horizontalmente, maiores são as diferenças na forma quando se comparam dois representantes da árvore. Diferenças na morfologia são mais evidentes, mas essas também ocorrem nos espectros genético, fisiológico, e comportamental. Cada letra representa um táxon. Táxon significa qualquer grupo de organismos, podendo ser, por exemplo, uma população de uma mesma espécie; uma espécie; uma família, e assim por diante, dependendo das finalidades que um pesquisador queira ilustrar. A letra A (maiúscula) representa o táxon ancestral desse exemplo. Digamos, por exemplo, que estamos estudando populações de uma espécie hipotética de mariposa. Essa mariposa se reproduz quando chega a um ano de idade, e depois de se reproduzir, morre; ou seja, uma nova geração surge a cada ano. Cada população dessa mariposa tem, em média, cerca de 100 indivíduos. Os indivíduos que formam a população ancestral (A) se reproduzem, vão repondo os indivíduos que morrem no mesmo local e podem fundar novas populações em outras localidades geográficas. Surgem então as perguntas: "*de onde* surgiu a primeira população?" Supõe-se que tenha surgido por modificação a partir de outra espécie de mariposa ancestral. Notar na Figura 3 que, após 1.000 gerações, ou seja, em 1.000 anos, seis novas populações surgiram, com modificações morfológicas entre si, sendo que dessas, quatro se extinguiram e apenas duas (a^1 e m^1) continuaram existindo. Observar ainda que as linhagens d, s, i, k, l não deixaram descendentes no presente, ou seja, se extinguiram. Assim, desde a origem do ancestral comum, observa-se um processo contínuo de surgimento de novas populações, com diferenças entre si, sendo o número de linhagens extintas maior que o número de linhagens sobreviventes. Neste exemplo, com o passar das (várias) gerações, somente três táxons sobrevivem (a^{10}, f^{10} e m^{10}). A ponta da árvore representa o tempo atual, ou seja, se fôssemos, hoje, ao seu habitat natural procurar por representantes de mariposa, encontraríamos três populações morfologicamente distintas entre si, possivelmente caracterizadas como novas espécies. Notar que as populações a^{10} e f^{10} apresentam um ancestral comum mais recente no tempo (há 5.000 gerações) e que, portanto, muito provavelmente serão mais semelhantes entre si.

A árvore filogenética representada pela Figura 3 pode representar a evolução de qualquer linhagem de organismos vivos que viveram e ainda vivem no planeta. O ancestral A da Figura 3 poderia representar a espécie ancestral, que apresentava herança genética sob a forma de DNA, de todos os organismos vivos. As linhagens que já se extinguiram representariam espécies como escorpiões gigantes, os dinossauros, mamutes, o homem de Neandertal. As linhagens viventes a^{10}, f^{10} e m^{10} representariam as espécies viventes, como a jabuticabeira, a barata e o homem. Estima-se, baseado no registro fóssil, que 99% das espécies que existiram foram extintas.

Como surgem as variações entre as populações? Imaginemos uma ninhada de gatos. Nenhum filhote será igual ao outro, alguns serão maiores; outros, com olhos amarelos e outros, com pêlo rajado. Tais características são herdáveis, ou seja, passam dos pais para os filhos. Com o passar das gerações, mutações no DNA se acumulam ao acaso no genoma das espécies e algumas delas conferem mudanças no fenótipo (conjunto de características) dos indivíduos, como cores diferentes de pêlo, por exemplo. Algumas dessas mutações aumentam a vantagem adaptativa dos indivíduos que as possuem, ou seja, aumentam a sua probabilidade de sobrevivência e de ter mais filhos. Uma vez que esses indivíduos deixam mais descendentes, aumenta-se a proporção de indivíduos que possuem essa mutação vantajosa na próxima geração. Por exemplo, voltando às mariposas, uma mutação no gene que codifica pigmento em suas asas pode passar a conferir vantagem adaptativa para a população (ex.: coloração cinza em asas de mariposas que passaram a viver nas cidades, cheias de concreto cinza, que lhes confere camuflagem e "defesa" contra predadores) e, assim, a maioria das mariposas terá essa cor na próxima geração. Somente as mutações que ocorrem nos gametas e que, portanto, serão transmitidas aos descendentes, são herdáveis.

Imaginemos que os indivíduos dessa espécie de mariposa vivam em pastagens, e apresentem as cores de asas: verde, ou cinza ou branca. Os pássaros que se alimentam dessas mariposas enxergam mais facilmente os indivíduos de coloração cinza e branca, que contrastam com o fundo verde das pastagens e, por isso, esses serão mais freqüentemente eliminados. Assim, sobreviveriam mais mariposas verdes e, na época da reprodução, esses indivíduos gerariam mais descendentes na próxima geração. Se contássemos 1.000 mariposas na próxima geração, então haveria um número muito maior de mariposas de asas verdes (p.ex.: 896 verdes) e poucas das outras cores

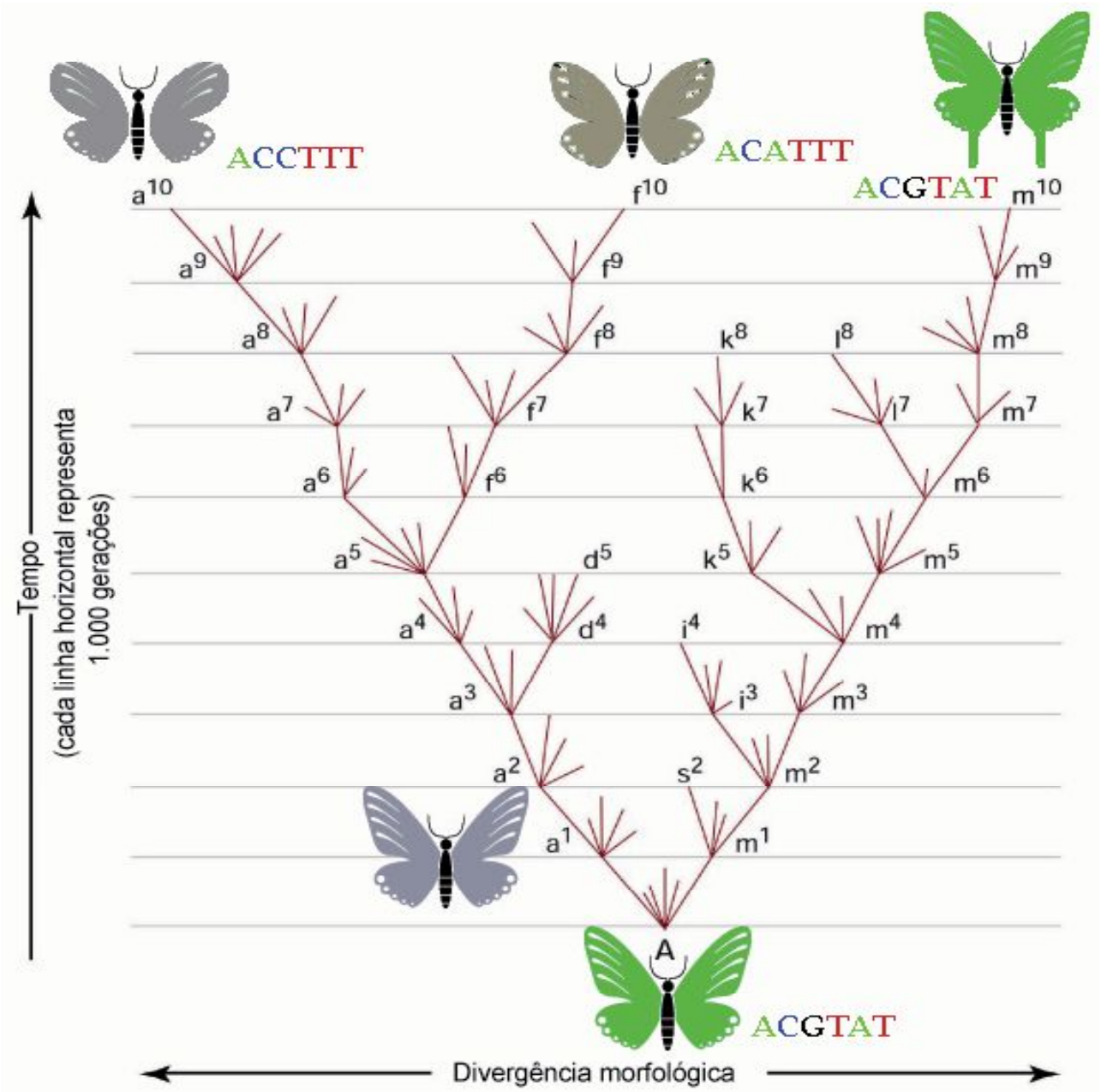

Figura 3. *Filogenia representando o surgimento e a extinção hipotéticos de táxons a partir de um ancestral ao longo das gerações. Notar que somente três populações (ou espécies em potencial) existem no tempo presente (a^{10}, f^{10}, e m^{10}). a^{10} e f^{10} compartilham ancestral comum mais recente no tempo (a^5) e, portanto, compartilham um maior número de características comuns (morfologia e genes). A cor da asa das mariposas é conferida por um gene hipoteticamente representado pela seqüência de DNA, ilustrado pelas siglas das bases nitrogenadas (A, T, C e G) em letras coloridas. Os táxons a^{10}, f^{10}, e m^{10} serão novas espécies caso haja isolamento reprodutivo entre elas. O táxon a^1 representa a população de mariposas de São Paulo (vide texto). Fonte: imagem modificada do livro Evolutionary Analysis (vide bibliografia).*

(p.ex.: 72 cinzas e 32 brancas). A população de mariposas tornou-se mais adaptada (passam a ter mais chances de sobrevivência) ao ambiente de pastagens. No entanto, se uma população migrasse dos ambientes de pastagens e passasse a habitar a cidade de São Paulo, que possui muitas construções em concreto (portanto, um ambiente predominantemente de cor cinza), as mariposas de asas cinza passariam a ser menos predadas e, conseqüentemente, mais freqüentes na próxima geração (hipotetizando que haja algum pássaro nessa cidade que delas seja predador). Ao longo das gerações, a grande maioria dos indivíduos dessa população recém estabelecida passaria a ter cor cinza (a^1, após 1000 gerações, Figura 3). É por essa dinâmica de seleção preferencial de indivíduos que apresentam mutações vantajosas em uma determinada condição ambiental que as populações naturais vão se diferenciando umas das outras, ao longo de várias gerações. Charles Darwin deu a esse processo o nome de Seleção Natural.

As condições ambientais de um local recém colonizado por uma população, geralmente são diferentes das do ambiente original, como diferenças na temperatura, vegetação, relevo, umidade etc. A seleção natural molda os indivíduos dessa nova população a se adaptarem a esse novo ambiente. Indivíduos que tenham mutações genéticas favoráveis a essa nova condição deixarão mais descendentes, e os indivíduos menos adaptados deixarão menos descendentes. Com o passar das gerações, as características não-adaptativas serão extintas da população. Ao longo dos anos, as condições ambientais de um dado local também podem mudar, como o soerguimento de montanhas, mudança no curso de rios e clima (vide o aquecimento global). A seleção natural opera da mesma maneira.

Entretanto, a capacidade de populações naturais de se adaptarem a novas condições ambientais não é ilimitada. Ela só será possível se houver pelo menos um indivíduo dentro da população que apresente mutação genética que confira sobrevivência às novas condições. Por exemplo, quando nossas mariposas migraram para São Paulo, já havia alguns indivíduos com cor cinzenta. Caso não houvesse algum, a população seria predada até a extinção, a não ser que surgisse uma mutação no gene da pigmentação, conferindo cor cinza antes do extermínio completo da população. Entretanto, as mutações no DNA acontecem aleatoriamente no genoma, devido principalmente a erros na incorporação das bases nitrogenadas durante o processo de replicação (cópia da molécula de DNA durante a produção de células-filhas) e só raramente ocorrem em um gene específico, nesse caso, o gene da pigmentação. A maquinaria celular é muito precisa na replicação e possui mecanismos de reparo, o que torna o acúmulo de mutações muito raro, da ordem de uma mutação a cada milhão de indivíduos em um gene com 1000 nucleotídeos. Daí a importância de se preservar a variabilidade genética das populações naturais, acumulada ao longo de milhares de anos. Dentro de uma população há indivíduos carregando diferentes alelos (seqüências de DNA diferentes entre indivíduos que codificam um mesmo gene), e mesmo que alguns desses alelos sejam desvantajosos em uma determinada condição ambiental (ex: alelos que codificam cores cinza e branca em ambientes de pastagem), eles podem ser vantajosos em outras condições ambientais a que a espécie pode ser exposta no futuro.

Diferentes populações de uma espécie estão expostas a diferentes condições ambientais e passam a divergir por seleção natural. Mas, como surgem novas espécies? Como surgiram as cerca de 1,5 milhões de espécies que conhecemos? Para o surgimento de novas espécies (especiação) é necessária a evolução de barreiras que impeçam a reprodução entre indivíduos de populações diferentes (isolamento reprodutivo). O sexo (reprodução sexuada) torna homogêneos os alelos que conferem adaptabilidade às diferentes condições ambientais a que as populações estão expostas. Para entender isso, observe o que acontece quando cruzam um pastor alemão e um labrador. Os filhotes serão uma "mistura" do corpo dos pais. Imagine que essas duas raças fossem espécies vivendo na natureza, e as características delas fossem adaptações aos ambientes em que vivessem. O pastor, nesse exemplo hipotético, viveria em um ambiente onde ele se alimentaria de coelhos e por isso necessitaria de tamanho grande e orelhas em pé para melhor caçar. O labrador se alimentaria de patos e precisaria de orelhas caídas para não entrar água. Se alguns indivíduos de pastor migrassem para a área onde vivem os labradores e cruzassem com estes, alguns filhotes nasceriam com orelhas em pé, que infeccionariam mais frequentemente na água e, portanto, diminuiria a adaptação da população de labradores. Dessa forma seria importante que houvesse isolamento reprodutivo entre as populações para preservar as adaptações locais. O isolamento reprodutivo surge entre populações, na maioria das vezes, como subproduto da seleção natural. Existem várias formas em que o isolamento reprodutivo pode surgir na natureza, e explicarei uma das formas, lançando mão de outro exemplo. Imagine que uma terceira população de cachorro na natureza tenha desenvolvido tamanho pequeno (similar ao do poodle, por exemplo) porque se adaptou a viver em buracos estreitos. Quando pastores tentam se reproduzir com essa população, eles não conseguirão devido à diferença de tamanho. Assim, por meio de seleção às diferentes condições ambientais entre as populações (tamanho grande e orelhas em pé para caçar coelhos versus tamanho pequeno para entrar em tocas), evoluiu, como subproduto, o isolamento reprodutivo, devido à diferença no tamanho entre os indivíduos das duas populações. A partir desse momento, as populações não correm o risco de homogeneização dos caracteres adaptativos diferenciais e estão livres para assumir trajetórias evolutivas distintas, como duas novas espécies originadas do mesmo ancestral comum - o cachorro.

Esse processo de surgimento de novas espécies a partir de uma população ancestral é que justifica a analogia da árvore da vida. Duas espécies (C e D) surgem a partir de um ancestral A. Então, a partir da espécie C, surgem as espécies C_1 e C_2 e de D surgem D_1 e D_2 e assim por diante. Com o passar de milhões de anos, inúmeras espécies surgiram, com modificação do ancestral mais recente e, assim, espécies que compartilham ancestral mais recente serão mais parecidas umas com as outras. O leão, tigre, leopardo e a onça-pintada compartilham ancestral comum mais recente do que qualquer uma dessas espécies com o gato doméstico, evidenciado pelo grande tamanho e capacidade de rugir. Entretanto, todas essas espécies compartilham ancestral mais recente com o gato do que com o lobo, por exemplo, evidenciado pela forma geral do corpo, que nós prontamente identifica-

mos como felinos de uma forma geral. Gatos e cachorros compartilham ancestral comum mais recente entre si do que com os cavalos, por exemplo, evidenciado pela dieta carnívora, e assim por diante. Todas as espécies do planeta Terra compartilham um ancestral comum, uma vez que todos são descendentes do ancestral universal, o cenoancestral.

Conclusão

A partir de populações de um ancestral universal que viveu há mais de 3,5 bilhões de anos (cenoancestral) determinados indivíduos se adaptaram a diferentes condições ambientais por seleção natural. Eventualmente surgiu isolamento reprodutivo entre populações (nas espécies sexuadas) e novas espécies surgiram. Esse processo perdurou por bilhões de anos e continua até hoje e é responsável pela miríade de espécies e formas que conhecemos hoje. A maioria das espécies se extinguiram no caminho. Assim, a árvore da vida nasceu, cresceu e continua emitindo novos ramos.

Bibliografia consultada

Darwin, C. (1859). *A Origem das Espécies e a Seleção Natural.* Madras. 448p.

Freeman S., Herron, J.C. (2004). *Evolutionary Analysis*. 3ed. Pearson Prentice Hall, Estados Unidos. 802p.

Gregory, T.R. (2008) Understanding Evolutionary Trees. *Evo. Edu. Outreach*. 1:121-137

Hammond, P. (1995). The current magnitude of biodiversity. In V.H. Heywood and R.T. Watson (Eds.), *Global Biodiversity Assessment*. (pp. 113-138). Cambridge, U.K: Cambridge University Press.

Weiner, J. (1995). *O bico do tentilhão* – uma história da evolução no nosso tempo. Rocco. Rio de Janeiro.

Wilson, E.O. (1994). *A diversidade da vida*. Companhia das Letras. 466p.

Leitura recomendada

Carroll, S.B. (2006). *Infinitas Formas de Grande Beleza*. Jorge Zahar. 320p.

Dawkins, R. (2007). *O gene Egoísta*. Companhia das Letras. 554p.

Oda, L.M. (2002) *Troca-Troca genético*. Ciência Hoje das Crianças. V.122. http://cienciahoje.uol.com.br/2152. Acesso em 23/04/2008

Zimmer, C. (1999). *À Beira d'água: Macroevolução e a Transformação da Vida*. Jorge Zahar. 335p.

Escorpião pré-histórico gigante é descoberto

http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/11/071121_escorpiaogigante_ba.shtml.

Acesso em 23/04/2008.

Agradecimentos

Agradeço ao Francis M.F. Nunes; à Fabiana F. Aud; à Eleonora E.T. Ribeiro pelas preciosas sugestões apresentadas durante a redação desse artigo.