

---

## ARTIGOS

---

# ENSINO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA UTILIZANDO A ESTRUTURA CONCEITUAL DA SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA - II

*Charles Morphy Dias Santos*

*Adolfo Ricardo Calor*

### Hipóteses científicas

No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) para o Ensino Médio sugerem que os conteúdos das aulas de biologia sejam tratados como tópicos trans-disciplinares fundamentados em explicações ecológicas e evolutivas. É clara a necessidade de se apresentar as disciplinas de ciências em um contexto histórico-filosófico, possibilitando aos estudantes um primeiro contato com as particularidades da produção desse tipo de conhecimento. O uso da abordagem filogenética nas escolas está de acordo com as orientações dos PCN, uma vez que ela abrange todos os aspectos do ensino de biologia por meio da teoria evolutiva e os apresenta conectados à história do desenvolvimento científico, à filosofia e à prática da ciência.

Geralmente, o ensino de ciências é deficiente na exposição dos critérios de avaliação das teorias científicas e não estimula perguntas a respeito de como as hipóteses foram criadas, se há teorias alternativas, se existem muitas (ou poucas) questões ainda a serem respondidas etc. Não obstante, trabalhar com idéias conflitantes, com critérios

delimitados para a escolha e descarte de conjecturas e com a idéia de que a ciência é um campo aberto, são formas de introduzir os alunos ao mundo científico e de fornecer-lhes ferramentas para melhor compreender a realidade que os cerca. Dessa forma, o ensino de biologia passa a ser encarado como um exercício constante de avaliação e discernimento de hipóteses científicas.

Como qualquer idéia nas ciências, os cladogramas são hipóteses sobre as relações filogenéticas entre entidades biológicas e podem ser considerados mais ou menos confiáveis (com maior ou menor poder explanatório) quando comparados à conjecturas baseadas em outras classes de evidências (de Pinna, 2001; Amorim, 2002). As filogenias não representam cenários conclusivos sobre a história evolutiva dos organismos estudados, e sim hipóteses transitórias sobre as relações de parentesco, baseadas em conjuntos particulares de dados. Ao apresentar o conhecimento científico como dinâmico e não hermético, a abordagem filogenética traz a discussão sobre a filosofia das ciências para a sala de aula, especialmente sobre conceitos

relacionados à natureza transitória das teorias e a importância do espírito crítico em relação a métodos e hipóteses. Ainda, a filogenética sugere ao professor uma mudança nas suas concepções sobre a construção do conhecimento científico, permitindo que ele passe a enxergar as perspectivas da filosofia da ciência como facilitadoras do processo de aprendizagem. Em contrapartida, os alunos são estimulados a utilizar a argumentação para escolher entre hipóteses rivais, ultrapassando a mera assimilação de conteúdos conceituais e factuais. É preciso deixar claro que a abordagem aqui proposta demanda do professor um esforço para compreender a estrutura conceitual da sistemática filogenética e as suas implicações, o que, na maioria das vezes, extrapola o tratamento superficial sobre o assunto dado pela maioria dos livros-texto disponíveis. Leitura e atualização constantes, incluindo consultas a obras originais, revisões, compêndios e sites confiáveis sobre os tópicos estudados são de grande importância para evitar caricaturas e simplificações excessivas do método.

### **Problemas conceituais**

Apesar do grande valor de uma abordagem que tome a evolução como base, e que é fortemente fundamentada em critérios filosóficos, ainda permanece não resolvido o problema das difundidas interpretações errôneas sobre evolução e como lidar com elas na sala de aula (para comentários adicionais e exemplos de erros comuns veja Roque, 2003; Meyer &

El-Hani, 2005; Amorim, 2008; Bizzo, 2008; Santos & Calor, 2008).

Muitos fatores contribuem para a aprendizagem da teoria evolutiva, incluindo os conceitos sobre o assunto trazidos pelos estudantes, sua visão do mundo biológico e suas crenças religiosas. A maior parte dessas informações é obtida fora do espaço escolar, o que se traduz em interpretações amplificadas pela falta de conhecimento elementar sobre evolução por parte do público não-especializado e da mídia de massa, as quais refletem a defasagem generalizada de formação científica, em qualquer área, da maioria da população. A disseminação de interpretações incorretas ou superficiais pela publicidade, televisão, cinema, histórias em quadrinhos, revistas, jornais e internet acaba por afetar diretamente a forma como os conceitos sobre as ciências serão compreendidos na sala de aula, o que fica patente nas aulas de evolução.

O uso da sistemática filogenética pode ser útil para resolver algumas dessas concepções errôneas, possibilitando aos estudantes o acesso a hipóteses alternativas àquelas aceitas pelo senso comum. No entanto, com o objetivo de desconstruir esses pré-conceitos, vale trabalhar o conhecimento prévio dos alunos, permitindo a eles discutir e analisar cientificamente o seu referencial (Calor & Santos, 2004). Apesar das críticas a essa perspectiva, assumindo o critério de cientificidade do filósofo austríaco Karl Popper e do filósofo húngaro Imre Lakatos (Popper, 1959; Lakatos, 1979), segundo o qual apenas hipóteses falseáveis são consideradas científicas, a contradição entre as

concepções convencionais sobre evolução e o raciocínio evolutivo próprio da sistemática filogenética pode ser apresentada e utilizada para o benefício dos estudantes. A comparação e discussão de ambas as classes de conhecimento – o científico, baseado em evidências, perguntas e critérios, e o pseudocientífico, criado sem evidências claras ou metodologias definidas – pode lançar luz sobre o processo de construção das ciências, tornando explícita a conexão entre hipóteses científicas e as suas bases de dados e observações. Isso está de acordo com os elementos do construtivismo aplicados ao ensino de ciências (para discussões adicionais a esse respeito, ver Alters & Nelson, 2002 e Gil-Pérez *et al.*, 2002).

Uma das grandes falácias sobre evolução é a tentativa de se representar grandes cadeias de organismos sucedendo-se continuamente, pretensamente conectados pelo processo evolutivo, que corresponderia, assim, à sobreposição de linhagens no tempo (Gould, 1994). Essa perspectiva parte da idéia de que é possível estabelecer quais são os grupos ancestrais dos grupos recentes, e leva a anomalias conceituais como a célebre ilustração que mostra uma série de antropóides caminhando em linha reta, tendo o *Homo sapiens* como primeiro da fila. Outras concepções artísticas sobre evolução incorrem no mesmo erro. Isso sugere, especialmente para o iniciante no assunto, que a teoria evolutiva descreve como os grupos de espécies se substituem no tempo – basta verificar as concepções artísticas tradicionais que apresentam a história biológica através de grandes “eras” (o

Paleozóico seria a “era dos artrópodes”, o Mesozóico, a “era dos dinossauros”, e assim por diante), bastante comuns e continuamente utilizadas no ensino. A idéia da evolução como transformação linear de um grupo mais simples em outro com maior grau de complexidade contraria as proposições originais de Darwin e Wallace, uma vez que o seu diferencial foi a percepção da história evolutiva dos organismos como uma grande “árvore” ramificada. Tendo por base o conceito de evolução como descendência com modificação a partir de um ancestral comum, isto é, ramificação no tempo, pode-se começar a repensar o ensino de biologia dentro de um arcabouço evolutivo. Aí se encaixa a sistemática filogenética, com sua apresentação das relações de parentesco entre os organismos através de cladogramas.

Para Darwin, os padrões genealógicos ramificados eram a essência do processo evolutivo e sua representação como uma grande árvore, a metáfora mais correta. Nas suas próprias palavras,

*“(...) Algumas vezes tem-se usado uma figura de uma grande árvore para representar todos os seres da mesma classe. Acredito que esta é a maneira mais adequada para isso. Os ramos e os gomos representam as espécies existentes, as ramificações produzidas durante os anos precedentes representam a longa sucessão das espécies extintas. A cada período de crescimento, todas as ramificações tendem a estender os ramos por toda parte, a superar e a destruir as ramificações e os ramos ao redor, da mesma maneira que as espécies na grande luta pela sobrevivência. As bifurcações do tronco, que se dividem em grossos ramos, e este em ramos menos grossos e mais numerosos,*

*tenham, quando a árvore era nova, apenas ramificações com brotos. (...) Desde o crescimento inicial da árvore, mais de um ramo deve ter murchado e caído. Ora, esses ramos caídos, de espessura diferente, podem representar ordens, famílias e gêneros inteiros, que não possuem exemplares vivos e que apenas conhecemos em estado fóssil. (...) Os ramos mortos e quebrados são sepultados nas camadas da crosta terrestre, enquanto que as suas suntuosas ramificações, sempre vivas e incessantemente renovadas, cobrem a superfície” (Darwin, 1859, p.195).*

A fila indiana da evolução humana, liderada pelo *Homo sapiens* e iniciada por um primata pequeno semelhante a um chimpanzé, o *Australopithecus* (ou mesmo um chimpanzé verdadeiro em algumas das suas variações), é um exemplo claro da permanência de falsas concepções científicas, disseminadas na cultura de massa. A iconografia canônica da evolução (como é chamada por Gould, 1989) esconde uma das maiores deturpações da teoria da evolução: a idéia de progresso na história biológica. A fila indiana é considerada a escalada do mundo orgânico em direção à melhoria e ao aperfeiçoamento, empurrado naturalmente pelo processo evolutivo, um tipo de “evolução” linear que remonta à *Scala Naturae* aristotélica e seus degraus de aumento de complexidade (Mayr, 2000). A partir dessa marcha em linha poder-se-ia inferir a transformação de espécies “primitivas”, “inferiores” ou “não evoluídas” em espécies “superiores” ou “evoluídas”. Essa interpretação errônea é comum nas aulas ou textos de biologia, representando um quadro distorcido do processo evolutivo, centrado na transformação direta de um grupo ‘A’ em

um grupo ‘B’, independentemente deles viverem no mesmo período – é desse raciocínio que provém expressões como “o homem veio do macaco”, quando tanto nossa espécie quanto nossos primos símios vivemos no mesmo horizonte temporal e, portanto, um grupo não pode ter descendido do outro.

Na abordagem filogenética, a noção de evolução ramificada, que implica em uma origem única do mundo vivo e sua ramificação posterior, é garantida através da disposição dos organismos sempre como ramos terminais nos cladogramas. Como discutido anteriormente, o método filogenético é a forma de expressar as relações genealógicas entre as espécies segundo os princípios evolutivos da ancestralidade comum e da descendência com modificação. O método proíbe o posicionamento de ancestrais diretos dos grupos terminais nos nós dos cladogramas – nenhum grupo deve ser interpretado como ancestral de um táxon disposto “acima” deste na filogenia. Como não se pode imputar cientificamente (de forma falseável) a condição de ancestral a nenhuma espécie, mesmo estando ela extinta, os ancestrais em cada um dos nós das filogenias são sempre hipotéticos.

A interpretação correta das relações filogenéticas, no caso da evolução dos antropóides exemplificada na iconografia canônica, deve claramente mostrar que o *Homo sapiens* não é um descendente direto dos chimpanzés ou de algum outro primata moderno (nem mesmo dos *Australopithecus* os quais, apesar de extintos, também são considerados ramos terminais no cladograma), e sim uma linhagem dentro do grupo composto por todos os demais primatas, mais

proximamente relacionado a outras espécies do gênero *Homo* (como o *Homo neanderthalensis*) do que a outras espécies pertencentes a outros gêneros de hominídeos. Para essa mudança de perspectiva, basta associar a iconografia clássica a um cladograma que conecte todos os seus componentes, mostrando os agrupamentos por similaridade sem considerar a possibilidade de um ramo terminal se transformar, diretamente, em outro ramo terminal – os ramos compartilham ancestrais comuns, mas tais ancestrais não são espécies reconhecíveis e sim hipóteses. O posicionamento de grupos fósseis como ancestrais verdadeiros de grupos mais derivados, recentes, é contrário aos fundamentos do método filogenético – ancestrais são sempre construções hipotéticas, idéias a respeito de como podem ter sido as espécies primitivas, impossíveis de serem reconhecidas diretamente. Com a sistemática filogenética, ficou claro que fósseis, por muito tempo considerados a prova de que a evolução havia ocorrido, são meramente partes da hierarquia natural e sujeitos aos mesmos limites de interpretação que os organismos vivos. O método de Hennig marcou o início do fim da busca por ancestrais da paleontologia tradicional, tornando essa disciplina não mais a detentora das verdades evolutivas, mas sim a guarda de partes extintas de hierarquia da natureza.

É preciso ressaltar a necessidade de cuidado com o assunto, por parte dos professores, para não confundir os alunos. Os ancestrais das espécies recentes existiram, quanto a isso não há dúvidas. Nós só não conseguimos

determinar, com certo grau de certeza, ou com rigor científico, se uma determinada espécie (fóssil ou não) foi realmente o ancestral de qualquer grupo. Apesar de geralmente fósseis precederem os organismos recentes, está além das possibilidades científicas imputar o status de ancestral a qualquer espécie. Assim, é impossível saber se um fóssil representa *de fato* o ancestral de outro grupo ou grupos reconhecíveis (Schuh, 2000). Levando isso em conta, o uso de cladogramas como base para a organização dos conteúdos da biologia permite que as falsas interpretações acerca do progresso evolutivo sejam minimizadas, uma vez que um diagrama ramificado representando as relações de grupo-irmão entre os organismos é essencialmente diferente de uma linha progressiva de espécies mudando rumo à perfeição. Os argumentos que procuram associar a evolução biológica ao progresso caem por terra quando a biodiversidade é filogeneticamente organizada.

Uma vez que está fortemente arraigada à teoria evolutiva, a abordagem filogenética também é útil para suprimir a idéia essencialista de espécies fixas. Através, por exemplo, da comparação entre estruturas homólogas de grupos filogeneticamente relacionados, o professor pode discutir como as espécies mudam e como surgem novas espécies no curso da evolução. Com uma visão científica e não-essencialista do mundo natural, e com um arcabouço filogenético organizando o conhecimento biológico, questões sobre o posicionamento do *Homo sapiens* na evolução podem ser mais bem compreendidas e a idéia de que nossa espécie é a obra-prima da natureza,

facilmente refutada. O posicionamento da nossa espécie entre os demais animais facilita discussões de cunho ético, como a necessidade da conservação da biodiversidade e de cuidados na utilização de animais em experimentos laboratoriais. Para Mayr (1997, p. 17),

*“(...) toda pessoa instruída deveria ter uma compreensão de conceitos biológicos básicos – evolução, biodiversidade, competição, extinção, adaptação, seleção natural, reprodução, desenvolvimento e vários outros (...). A superpopulação, a destruição do meio ambiente e a questão da degradação urbana não podem ser resolvidas por avanços tecnológicos, nem pela literatura ou pela história, mas em última análise somente por medidas que se baseiem na compreensão das raízes biológicas desses problemas. O ‘conhece-te a ti mesmo’ a que os gregos nos incitam requer antes de tudo o conhecimento das nossas origens biológicas”.*

A abordagem filogenética fornece alguns dos subsídios imprescindíveis para compreender o papel da nossa espécie em meio a toda diversidade biológica.

Apesar dos avanços que novas metodologias possam proporcionar, a solução definitiva das interpretações errôneas sobre evolução na escola é uma tarefa árdua e de longo prazo. Grande parte dessas incorreções, derivadas não de conceitos científicos mas de perspectivas do senso comum, aparecem com tal frequência e são tão difundidas na cultura popular que acabam por ser tomadas como verdadeiras durante as aulas – para o rompimento dessa visão deturpada da evolução orgânica o papel do professor é indispensável, especialmente para desestabilizar as “verdades” trazidas pelos alunos, levando-os a raciocinar cientificamente,

via contraposição de hipóteses e levantamento de evidências.

### **Participação ativa dos alunos**

Os estudantes de ciências devem ser participantes ativos do mundo científico. Alunos de ciências precisam ter desenvolvida a sua capacidade de criticar teorias e hipóteses sob a luz da metodologia científica, a fim de minimizar suas próprias concepções errôneas e, conseqüentemente, contribuir para o processo de aprendizado. Vale ressaltar que os alunos não devem ser tratados como cientistas em um sentido estrito, mas sim como sujeitos críticos das informações recebidas e não simples receptores passivos do conhecimento científico, como é praxe no ensino das ciências. Convencionalmente, os conteúdos dessas disciplinas são apresentados pelo professor e os alunos os assimilam sem que seja questionada a natureza desse conhecimento. Não há espaço para discutir se essa ou aquela teoria tem maior ou menor fundamento ou se as classes de evidências utilizadas são aceitáveis. O núcleo da abordagem filogenética para o ensino é apresentar uma biologia dinâmica, que busca aumentar sua compreensão acerca do mundo natural com base na inferência e comparação de hipóteses, que se apóiam em conjuntos de dados, observações e experimentos.

Como nenhuma teoria é aprendida de forma isolada, seu aprendizado depende do estudo das suas aplicações, incluindo a resolução de problemas. Isso é válido tanto para cientistas quanto para estudantes. A sistemática filogenética

aplicada ao ensino de biologia possibilita aos alunos visualizar problemas evolutivos reais. Como explicar a semelhança entre gatos, leões, tigres e onças? Por que as primeiras etapas da respiração das células eucarióticas são tão semelhantes à fermentação das bactérias? Os parasitas são menos complexos porque mais primitivos ou porque são muito mais modificados que seus primos não-parasitas? Questões como essas podem estimular o aluno, ou funcionar como o próprio mote das aulas. Além da possibilidade de trabalhar com questões evolutivas, o método filogenético fornece as bases para a comparação entre hipóteses alternativas que explicam esses problemas, aproximando os alunos da epistemologia e da prática científica.

Juntamente com a estrutura conceitual a ela subjacente, a abordagem filogenética permite a assimilação de um amplo corpo de conhecimentos úteis para a compreensão de diversos domínios da biologia e das ciências como um todo. O uso de cladogramas como base para as aulas, além de solucionar más interpretações sobre a teoria evolutiva, ajuda professores e estudantes a compreender a evolução como um processo intensamente atuante na história da vida. A apresentação da diversidade biológica sob a forma de cladogramas permite ao professor trabalhar conceitos como homologia e analogia, modificação através do tempo e ancestralidade comum – fundamentais para o pensamento evolutivo – com uma elegante simplicidade, introduzindo para o aluno uma nova forma de enxergar a natureza.

## Referências

- ALTERS, B.J. & NELSON, C. E. Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56 (10), 1891-1901, 2002.
- AMORIM, D.S. Paradigmas pré-evolucionistas, espécies ancestrais e o ensino de Zoologia e Botânica. *Ciência & Ambiente*, 36, 125-150, 2008.
- AMORIM, D.S. *Fundamentos de sistemática filogenética*. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2002.
- BIZZO, N.M.V. Darwin e a evolução humana: desfazendo alguns mitos. *Ciência & Ambiente*, 36, 23-36, 2008.
- BRASIL. MEC. PCN – ENSINO MÉDIO. *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio Parte III - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Ministério da Educação, 2002.
- CALOR, A.R. & SANTOS, C.M.D. Filosofia e ensino de ciências: uma convergência necessária. *Ciência Hoje*, 210 (35), 59-61, 2004.
- DARWIN, C. *Origem das espécies*. São Paulo: Editora Martin Claret, 2004 [1859].
- DE PINNA, M.C. Conrad Gesner e a sistemática biológica. *Ciência Hoje*, 178, 82-84, 2001.
- GIL PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., TORREGROSA, M., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., DUCH, A., DUMASCARRÉ, A., TRICÁRICO, H. & GALLEGU, R. Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11, n.6, p. 557-571, 2002.
- GOULD, S.J. *Vida maravilhosa: o acaso na evolução e a natureza da história*. São Paulo: Companhia das Letras, 1990 [1989].
- GOULD, S.J. A evolução da vida na Terra. *Scientific American Brasil, Edição Especial* nº 5, 2004 [1994].
- LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. Em: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (org.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*, p. 115-141. São Paulo: Editora Cultrix, 1979.

MAYR, E. O impacto de Darwin no pensamento moderno. *Scientific American Brasil, Edição Especial* nº 7, 2007 [2000].

MAYR, E. *Isto é biologia: a ciência do mundo vivo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2008 [1997].

MEYER, D. & EL-HANI, C.N. *Evolução: o sentido da biologia*. São Paulo: Editora Unesp, 2005.

POPPER, K. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Editora Cultrix, 1972 [1959].

ROQUE, I.R. Girafas, mariposas e anacronismos didáticos. *Ciência Hoje*, 34, 64-67, 2003.

SANTOS, C.M.D. & CALOR, A.R. Using the logical basis of phylogenetics as the framework for teaching biology. *Papéis Avulsos de Zoologia*, vol.48, no.18, p.199-211, 2008.

SCHUH, R.T. *Biological Systematics*. Ithaca: Cornell University Press, 2000.

---

*Charles Morphy Dias Santos e Adolfo Ricardo Calor são professores do Departamento de Biologia, Setor de Ecologia e Evolução da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.*

*E-mails, respectivamente:*

*[charlesmorphy@gmail.com](mailto:charlesmorphy@gmail.com) e [acalor@usp.br](mailto:acalor@usp.br)*