

# A evolução como tema central e unificador no ensino de biologia: questões históricas e filosóficas

Leonardo Augusto Luvison Araújo \*

**Resumo:** A importância central da teoria evolutiva para o estudo dos seres vivos é reconhecida, atualmente, por todos os biólogos. Também há consenso entre os educadores de ciências sobre a centralidade da evolução no ensino de biologia. No entanto, é muito comum que professores de biologia ensinem evolução como um conteúdo isolado do currículo. A literatura sobre ensino de ciências já levantou algumas razões que explicam essa discrepância, como um vício herdado pelo professor nos seus próprios cursos de formação, seja por não romperem com o ensino isolado da teoria evolutiva, seja por não sanarem dificuldades pessoais na compreensão de conceitos básicos de evolução. A estrutura dos livros didáticos que trata da teoria evolutiva apenas em um capítulo ou seção particular, assim como a oposição de grupos religiosos ativamente anti-evolucionistas, são outras razões já apontadas. Além destas, também são debatidas questões históricas e filosóficas relativas aos desafios para estabelecer a centralidade da evolução no ensino de biologia. Defendo neste trabalho que a chamada síntese evolutiva tem baseado o ensino de biologia nos níveis básico e superior, perpetuando uma série de desafios para a centralidade da evolução no contexto pedagógico. O artigo aborda especificamente de que forma a proeminência da genética, o foco na seleção natural como explicação padrão da evolução e a distinção entre causas próximas e últimas, característicos da síntese evolutiva, são elementos que dificultam constituir a evolução como tema central e unificador no ensino de biologia.

**Palavras-chave:** evolução biológica; ensino de evolução; filosofia da biologia; história da biologia; unificação da biologia.

**Evolution as a central and unifying theme in biology education: historical and philosophical issues**

---

\* Doutorando em Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Paulo Gama, 110, Porto Alegre, RS, Brasil. CEP: 90046-900. E-mail: leonardo\_luvison@hotmail.com

**Abstract:** All biologists now recognize the central importance of evolutionary theory for the study of living beings. There is also a consensus among science educators about the centrality of evolution in the teaching of biology. However, it is prevalent for biology teachers to teach evolution as an isolated content of the curriculum. The science teaching literature has already raised some reasons that explain this discrepancy, such as an addiction inherited by the teacher in his training courses, either because they do not break with the isolated teaching of evolutionary theory, or because they do not solve personal difficulties in understanding basic concepts of evolution. The structure of textbooks dealing with evolutionary theory only in a particular chapter or section, as well as the opposition of actively anti-evolutionary religious groups, are other reasons already mentioned. Historical and philosophical issues related to the challenges of establishing the centrality of evolution in teaching biology are also discussed. This paper argues that the so-called evolutionary synthesis has based the teaching of biology at the primary and higher levels, perpetuating a series of challenges for the centrality of evolution in the pedagogical context. The article explicitly addresses how the prominence of genetics, the focus on natural selection as a standard explanation of evolution, and the distinction between proximate and ultimate causes, characteristic of evolutionary synthesis, are elements that make it challenging to make evolution a central and unifying theme in the biology teaching.

**Keywords:** evolutionary biology; evolutionary teaching; philosophy of biology; history of biology; unification of biology.

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da teoria evolutiva para a biologia como um todo é reconhecida por muitos autores (Dobzhansky, 1973; Meyer e El-Hani, 2005). Argumenta-se que as ideias evolutivas passaram a ocupar papel central e organizador do pensamento biológico.

A evolução biológica é também considerada um eixo central e unificador do ensino de biologia (Oleques, 2014; Zamberlan e Silva, 2012). No contexto brasileiro, os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1997) e as Orientações Curriculares Nacionais (Brasil, 2006) estabelecem que os conteúdos de biologia sejam baseados em explicações ecológicas e evolutivas, com a evolução funcionando como um eixo integrador do conhecimento (Brasil, 2006, p. 22).

Esse aspecto orientador, em que a evolução deve ser considerada um elemento integrador de conteúdos da biologia, pode ser entendido de distintas formas. Um sentido seria pedagógico, sendo a evolução

eleita como eixo central por sua capacidade de facilitar o aprendizado (Medrado e Selles, 2015). As relações evolutivas facilitariam o aprendizado em biologia por sua forma de se compreender e estudar os seres vivos e a sua classificação. O princípio da ancestralidade comum, por exemplo, pode oferecer um sentido à imensa quantidade de conhecimento biológico, permitindo compreender como organismos aparentemente distintos possuem similaridades na organização molecular, morfológica e comportamental (Meyer e El-Hani, 2005, p. 14).

Contudo, a centralidade da evolução não é justificada apenas por questões pedagógicas, mas principalmente epistêmicas. Por sua abordagem histórica da vida, podemos justificar que a evolução é realmente um dos princípios ordenadores e unificadores do conhecimento biológico, dando um sentido para as semelhanças, diferenças e padrões de distribuição das espécies. Esta justificativa tem como base a ideia de que a biologia evolutiva é uma área com características que permite essa ampla ligação entre as formas de vida, os conteúdos e as disciplinas biológicas.

Talvez a frase mais conhecida que expressa a centralidade da evolução no ensino de biologia possa ser atribuída ao geneticista Theodosius Dobzhansky (1900-1975), em um artigo para *American Biology Teacher*: “Nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução”.

Nesse trabalho, o autor argumenta que:

Vista à luz da evolução, a biologia é, talvez, intelectualmente a ciência mais satisfatória e inspiradora. Sem essa luz, torna-se uma pilha de fatos diversos, alguns deles interessantes ou curiosos, mas sem uma imagem significativa do todo. (Dobzhansky, 1973, p. 129)

Apesar de certo consenso científico para a centralidade da evolução no ensino de biologia, é muito comum que professores de biologia ensinem evolução como apenas mais um conteúdo do currículo (Price e Perez, 2016). Pesquisas com professores de ensino básico mostram que a evolução biológica é tratada em sala de aula como um tema da lista de conteúdos e não como um eixo integrador da biologia (Oleques, 2014). Esta mesma tendência também é encontrada no ensino superior brasileiro, onde, mesmo no curso de ciências biológicas, a evolução não é tratada como um eixo central (Goedert, 2004). Tal cenário não

está restrito ao contexto brasileiro, sendo um problema encontrado em diferentes países (Geher *et al.*, 2019).

Se há muito tempo se compreende que uma aprendizagem significativa em biologia só é possível com a evolução como eixo central, por que muitos estudos apontam que a biologia é rotineiramente ensinada sem a integração com evolução? Os estudos mencionados atribuem esse cenário a alguns elementos, como a oposição de grupos religiosos, abordagens inadequadas de livros didáticos, formação insuficiente de professores e dificuldades conceituais básicas.

Além destas questões, mais recentemente os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) perderam validade como norteadores dos currículos em nosso país. Desde 2018, os currículos passaram a ser orientados pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aprovada no Conselho Nacional de Educação em dezembro de 2017, na qual, toda centralidade curricular está em competências e habilidades almejadas para cada nível do ensino. Na BNCC do Ensino Médio, por exemplo, a teoria da evolução biológica é utilizada para a Competência Específica 2, onde se lê:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (BNCC, 2017, p. 542)

Assim, torna-se ainda mais necessário o aprofundamento da discussão sobre o papel da teoria evolutiva no âmbito curricular.

## **2 A SÍNTESE EVOLUTIVA E OS DESAFIOS PEDAGÓGICOS PARA A CENTRALIDADE DA EVOLUÇÃO**

O empreendimento mais ambicioso para reformar o ensino em consonância com o ideal de unificação da biologia a partir da evolução biológica – o qual teve uma grande influência no Brasil – foi o *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS), nos anos 1950-1960. Essa iniciativa teve a participação de alguns importantes nomes da síntese evolutiva, como George Ledyard Stebbins (1906-2000) e George Gaylord

Simpson (1902-1984), entre outros influentes evolucionistas (Smocovitis, 1996).

Tal reforma se materializou em coleções didáticas destinadas ao ensino secundário, com três versões diferentes de materiais, cada uma com enfoque diferente: a Versão Azul, que enfatiza o nível molecular e bioquímico; a Versão Verde, que enfatiza a ecologia; e a Versão Amarela, que trata do nível celular e genético.

No Brasil, esses materiais didáticos, bem como a produção de *kits* para o uso em escolas, foram coordenados e traduzidos pelo Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBEEC). Esse foi um dos passos essenciais para a substituição da disciplina história natural pela disciplina escolar biologia (Lorenz, 2008). Basta lembrar que até meados do século XX a história natural embasou os currículos brasileiros de ensino básico e superior, englobando estudos sobre zoologia, botânica, geologia e mineralogia (Marandino, Selles e Ferreira, 2009).

Segundo Marandino, Selles e Ferreira (2009, p. 57), o BSCS tornou-se uma referência para gerações de professores no Brasil, sendo considerado um instrumento na construção da disciplina escolar biologia. As autoras analisam os volumes da versão azul do BSCS e argumentam que há um papel central da evolução, usado para sustentar a visão de uma biologia unificada. Essa análise é compartilhada pelo trabalho de Smocovitis (1996), que também considera um papel significativo da versão azul do BSCS na veiculação das ideias evolutivas, sustentando uma visão de ciência moderna e unificada.

Desse modo, o ideal de unificação da biologia que parece ter sido incorporado na estruturação da disciplina escolar biologia foi oriundo da síntese evolutiva (Smocovitis, 1996; Marandino, Selles e Ferreira, 2009). Apesar da ampla influência da síntese evolutiva no ensino de biologia nos últimos cinquenta anos, a evolução paradoxalmente não é um elemento central da prática pedagógica, como mencionado anteriormente.

Neste artigo, defendo que uma das razões para este cenário é que a própria síntese evolutiva perpetuou uma série de desafios para estabelecer a centralidade da evolução no contexto de ensino. Discuto a seguir de que forma a proeminência da genética, o foco na seleção natural como explicação padrão na evolução e a distinção entre causas

próximas e últimas trouxeram dificuldades para que a evolução pudesse constituir tema central e unificador no ensino de biologia.

## 2.1 A proeminência da genética de populações na teoria evolutiva

Os historiadores que se dedicam à síntese evolutiva têm apontado a complexidade desse movimento. Richard Burian (1988, p. 249) considera a síntese evolutiva “um alvo móvel”, sendo um movimento histórico complexo para ser caracterizado em linhas gerais.

De qualquer forma, uma série de elementos fundadores têm sido destacados na historiografia da biologia. William B. Provine (2001) sustenta uma visão que tem prevalência entre os historiadores da biologia, interpretando os primórdios da síntese evolutiva a partir da articulação da escola biométrica com o trabalho dos geneticistas que ampliaram os princípios mendelianos. Três figuras foram centrais para o movimento inicial: Ronald Fisher (1890-1962), J.B.S. Haldane (1892-1964) e Sewall Wright (1889-1988). O surgimento da genética de populações, baseada nos princípios mendelianos e na escola biométrica, proporcionou práticas experimentais e modelos matemáticos para o desenvolvimento da pesquisa evolutiva no início do século XX.

Outro componente fundamental da síntese evolutiva é a noção de uma unificação de conhecimento entre genética, sistemática, botânica, citologia, entre outras disciplinas biológicas (Delisle, 2009, p. 120). A incorporação dos preceitos desenvolvidos pela genética de populações às disciplinas biológicas vizinhas foi um marco importante na promoção de uma biologia unificada entre 1930 e 1950, principalmente a partir do surgimento de um grupo de biólogos que serviram como “arquitetos” (Smocovitis, 1996). Desse modo, a genética de populações passou a ser central não apenas na teoria evolutiva, mas também no próprio movimento de unificação da biologia a partir do conhecimento evolutivo.

A crescente importância dos genes para a evolução resultou em uma relação hierárquica da genética de populações em relação às outras disciplinas biológicas. Como Sewall Wright destacou mais tarde: “[...] a genética está vinculada à biologia em todos os níveis, das macromoléculas às espécies, em uma disciplina unificada” (Wright, 1959, p. 959).

A centralidade da genética na teoria evolutiva e na biologia como um todo logo foi perpetuada no contexto de ensino, influenciando gerações de estudantes ao redor do mundo. Dobzhansky atuou ativamente na produção de materiais didáticos para a formação acadêmica de biólogos e evolucionistas (Smocovitis, 1996). Uma característica bem conhecida de seus trabalhos teóricos e de seus livros texto é a posição firme de que os processos evolutivos estão baseados na genética. Para ele, “evolução é a mudança na composição genética das populações. O estudo dos mecanismos evolutivos é da competência da genética de populações” (Dobzhansky, 1951, p. 16). No meu entender, esse modo de apresentar a evolução biológica tem restringido as principais explicações evolutivas à genética de populações, com uma grande ênfase nos mecanismos de alteração das frequências gênicas, como mutação, deriva genética, fluxo gênico e seleção natural. Essa abordagem também está relacionada a uma suposição epistêmica e metafísica subjacente, segundo a qual os fenômenos de nível superior são determinados por fenômenos de nível inferior. Além de Dobzhansky, outros arquitetos da síntese como, por exemplo, George G. Simpson, consideravam os fenômenos microevolutivos suficientes para a explicação da maioria dos padrões macroevolutivos (Futuyma, 2017, p. 9).

Tal ponto de vista metafísico e epistêmico influenciou a formulação dos currículos e livros didáticos de biologia. Um exemplo que envolve diretamente a organização curricular do ensino de biologia é a ideia de que para ocorrer o aprendizado sobre evolução biológica é necessário o conhecimento de genética (Bizzo e El-Hani, 2009a). Em muitos países, os currículos apresentam genética aos estudantes do ensino secundário como uma espécie de pré-requisito para a aprendizagem de evolução. A abordagem mais tradicional ensina sequencialmente genética mendeliana, base cromossômica da herança, meiose e genética de populações, para somente depois ensinar evolução (Bizzo e El-Hani, 2009b).

De fato, esses temas são relevantes no ensino de evolução biológica, mas o pensamento evolutivo pode ser trabalhado em diferentes dimensões sem o conhecimento sobre genética. Basta lembrar que

Darwin desenvolveu o pensamento evolutivo sem ter os conhecimentos da genética, que se desenvolveu apenas no século XX<sup>1</sup>.

Segundo Bizzo e El-Hani (2009a), tal perspectiva está fortemente baseada em pressupostos epistemológicos e históricos sobre as relações entre os trabalhos de Gregor Mendel e Charles Darwin:

O argumento seria o seguinte: faltava à Darwin o arcabouço teórico da genética mendeliana e, portanto, ele não foi capaz de desenvolver a chamada síntese evolutiva, algo que tomou forma apenas a partir da década de 1930, mediante a fusão do trabalho dos dois cientistas. A escola poderia, então, oferecer um atalho epistemológico aos estudantes, mostrando o trabalho de Mendel como estando diretamente ligado ao de Darwin. Assim, quando os alunos começassem a estudar evolução, teriam já passado pelo aprendizado da genética, algo que lhes proferiria o que faltara ao próprio Darwin. O ambiente escolar poderia oferecer, assim, uma “via rápida” em termos do aprendizado da evolução biológica. (Bizzo e El-Hani, 2009a, p. 250)

Essa organização curricular, visivelmente ancorada na síntese evolutiva, acaba por empurrar as discussões evolutivas para o final da educação básica. Em entrevistas com professores brasileiros, encontram-se relatos de que a evolução é trabalhada no terceiro ano do ensino médio, no final do ano letivo e em poucas aulas (Oleques, 2014). A evolução também está usualmente colocada nos últimos capítulos dos livros didáticos destinados aos terceiros anos do ensino médio no Brasil (Zamberlan e Silva, 2012). E no ensino superior a situação é bastante semelhante, uma vez que a genética é comumente considerada um pré-requisito para o ensino de evolução (Goedert, 2004).

A presença do pensamento evolutivo apenas no final da educação acarreta uma baixa compreensão por parte dos estudantes, os quais muitas vezes interpretam os princípios evolutivos de forma equivocada (Oliveira, Bizzo e Pellegrini, 2016). Um tema complexo e permeado por questões de ordens cultural e existencial não deveria ser contemplado de forma pontual e superficial. Além de levar a resultados

---

<sup>1</sup> Naturalmente, antes da emergência da genética, os fenômenos da herança eram estudados e compreendidos, desde a Antiguidade, segundo teorias distintas, como a teoria da pângenese, adotada por Darwin.

ineficazes, esse arranjo curricular não cumpre o papel integrador que a evolução possui no conhecimento biológico.

## 2.2 O monopólio da genética mendeliana

Como discutido anteriormente, a genética é central para a teoria evolutiva. Mas não foi toda e qualquer abordagem sobre genética e hereditariedade que fez parte da síntese evolutiva original. O livro *Les théories de l'évolution* (1909) de Yves Delage e Marie Goldsmith nos dá uma ideia da amplitude de concepções sobre evolução e hereditariedade antes da consolidação da síntese. Dos vinte e um capítulos dessa obra, oito tratam de concepções de diferentes pesquisadores sobre hereditariedade. As teorias da hereditariedade abordadas são oriundas de diferentes tradições de pesquisa em disciplinas como fisiologia, embriologia e citologia.

Essas diferentes abordagens perderam força na comunidade científica em pouco tempo, surgindo certo consenso para as questões sobre herança e evolução na figura da genética mendeliana (Provine, 2001). A genética mendeliana considera a hereditariedade como a passagem de genes entre as gerações, sendo praticamente independente dos fenômenos do desenvolvimento biológico e da influência do meio (Araújo e Araújo, 2015, p. 271).

Mesmo algumas abordagens que nasceram na própria genética tiveram pouco impacto no pensamento evolutivo. Um exemplo é a chamada “genética fisiológica”, que buscava integrar a hereditariedade com processos do desenvolvimento e da fisiologia (Goldschmidt, 1940). As diferentes pesquisas desse tipo, centradas no desenvolvimento, simplesmente não foram incorporadas pela síntese evolutiva (Waddington, 1957). Para a genética de população, a herança mendeliana é o modelo exclusivo que opera na evolução, constituindo a “matéria prima” sobre a qual os mecanismos evolutivos atuam.

Essa perspectiva persiste até hoje no contexto de ensino, apesar de algumas críticas relativas ao determinismo genético e ao genecentrismo perpetuados por tal abordagem (Jamieson e Radick, 2017). Para Jamieson e Radick (2017), começar o estudo da hereditariedade e evolução com a genética mendeliana pode mais complicar do que ajudar. Por exemplo, o conceito de dominância produz um senso exagerado do poder determinista dos genes. Além do mais, iniciar o estudo da

hereditariedade com a discussão sobre alelos dominantes e recessivos faz parecer que esse é o caso usual na natureza.

As exceções aos padrões mendelianos são coletivamente caracterizadas como “herança não-mendeliana” (co-dominância, pleiotropia, penetrância, plasticidade fenotípica, fatores epigenéticos, etc.). E ao menos na educação básica há pouco espaço para a herança não-mendeliana, como se esses casos em conjunto fossem menos usuais que os padrões mendelianos.

Uma situação semelhante ocorre na herança poligênica ou polialélica, uma vez que a abordagem mendeliana trata de características com um gene e dois alelos. Como consequência, é usada a linguagem de um “gene para uma característica” e de genes “controlando ou sendo responsáveis por” características fenotípicas. Tal visão é contrária ao entendimento mais recente dos estudos genômicos, segundo os quais características expressas por um único gene são muito raras (Jamieson e Radick, 2017).

Outra crítica para a abordagem mendeliana é que ela divide o organismo em duas partes, entre genótipo e fenótipo. Há muito tempo se reconhece determinados problemas gerados a partir da estrita dicotomia genótipo-fenótipo na biologia evolutiva (Lewontin, 1974). Como Lewontin discute em seu livro *The genetic basis of evolutionary change* (A base genética da mudança evolutiva):

É a evolução do fenótipo que nos interessa. Os geneticistas de população, em seu entusiasmo ao lidar com as mudanças nas frequências genotípicas que estão por trás das mudanças evolutivas, esquecem que o que deve ser explicado em última análise é a miríade e sutil mudança no tamanho, forma, comportamento e interação com outras espécies, que constituem as coisas reais da evolução [...] Concentrar-se apenas na mudança genética, sem tentar relacioná-la com os tipos de evolução fisiológica, morfológica e comportamental que se manifestam no registro fóssil e na diversidade dos organismos e comunidades existentes, é esquecer completamente o que estamos tentando explicar em primeiro lugar. (Lewontin, 1974, p. 19)

A dicotomia genótipo-fenótipo permite que a biologia evolutiva se concentre na dinâmica dos genes, fazendo com que a evolução seja pensada no domínio do genótipo. Como Lewontin alerta, essa ênfase faz esquecer que é a evolução do fenótipo que interessa à biologia

evolutiva em primeiro lugar. Além disso, essa dicotomia também carrega consigo uma concepção linear entre genótipo e fenótipo, deixando de lado os processos que conectam os dois.

A natureza essencialmente genética da evolução e a relação direta entre genótipo e fenótipo acabam por explicitar pontos cegos da teoria evolutiva, que sobrevalorizam o poder causal dos genes e excluem explicações alternativas, relacionados com a evolução morfológica, comportamental e ecológica (Lewontin, 1974).

No contexto de ensino isso gera uma série de consequência que dificultam tomar a evolução como eixo central da biologia. A origem das novidades evolutivas, por exemplo, torna-se sinônimo de mutação genética aleatória. Novidades evolutivas são estruturas que surgem em determinada espécie, sendo qualitativamente diferentes de qualquer estrutura dos seus ancestrais (Love 2008). Exemplos de novidades evolutivas são as mandíbulas dos vertebrados e a evolução das penas nas aves. Na perspectiva da genética mendeliana, as novidades evolutivas são estudadas a partir de mudanças quantitativas nas frequências dos genes. As explicações sobre novidades evolutivas, no entanto, têm envolvido a contribuição de muitos campos biológicos, incluindo paleontologia, biologia do desenvolvimento e morfologia (Brigandt, 2010).

Ao enfatizar que existe uma relação direta entre genótipo e fenótipo, o ensino de biologia perde de vista a complexidade biológica em seus diferentes níveis. O gene tornou-se uma poderosa ferramenta conceitual para simplificar o estudo da evolução. No contexto de ensino isso representa uma oportunidade perdida de abordar a evolução em diferentes disciplinas que contribuem para elucidar a evolução fenotípica.

### **2.3 Seleção natural como explicação padrão da evolução**

A síntese evolutiva sofreu uma mudança paulatina ao longo do tempo, enfatizando explicações adaptativas e baseadas na seleção natural. Stephen Jay Gould (1983) chamou essa mudança de um “endurecimento” da síntese evolutiva e ilustra tal deslocamento ao analisar o trabalho de alguns de seus importantes arquitetos, como Dobzhansky, Simpson e Wright.

A abordagem que busca estritamente na seleção natural a explicação para a origem e a existência das características encontradas nos seres

vivos é chamada de adaptacionista (Sepulveda e El-Hani, 2008). Tal abordagem remete ao ideal de que a seleção natural deve ter restrições mínimas, de modo que a adaptação seria a causa primária de toda forma, função e comportamento exibido pelos seres vivos (Gould e Lewontin, 1979).

Gould e Lewontin (1979) apresentam uma série de críticas a essa perspectiva. Uma delas é a tendência de assumir funcionalidade para qualquer característica encontrada nos seres vivos. Ao criar hipóteses adaptativas e explicar a existência das características por meio da seleção natural, essa abordagem não considera cenários não-seletivos.

Outra crítica apresentada pelos autores é que o programa adaptacionista é baseado em uma biologia de partes/genes e não de organismos. Os organismos são entidades integradas, de modo que muitas das características neles observadas são resultantes de restrições estruturais que afetam as interações dos elementos que formam o todo. A biologia do organismo envolve aspectos moleculares, ontogenéticos, fisiológicos e comportamentais que não são simplesmente redutíveis às partes/genes que compõe o todo. O DNA não produz sozinho o fenótipo e a evolução da forma; função e comportamento resultam de múltiplas interações e *feedbacks* entre DNA, organismo e ambiente em variados níveis e escalas de tempo (Félix, 2016).

O ensino de biologia parece em grande medida adotar a versão “endurecida” da síntese, assumindo a seleção natural como uma explicação padrão e encarando a evolução principalmente em termos de adaptação. Segundo Price e Perez (2016), mecanismos evolutivos além da seleção natural não são proeminentes nos currículos de ensino secundário e de graduação. Essa ênfase acaba levando muitos estudantes a interpretar toda a evolução através da seleção natural e a inclusive igualar a palavra evolução com seleção natural (Jakobi, 2010).

Os manuais contemporâneos de biologia evolutiva para a educação superior descrevem como processos evolutivos apenas os mecanismos que alteram diretamente as frequências gênicas, sobretudo a seleção natural. Segundo Laland *et al.* (2015), processos do desenvolvimento, plasticidade fenotípica, herança não genética e construção de nicho são, na melhor das hipóteses, modestos e, mais comumente, ausentes nos livros didáticos de biologia evolutiva para o ensino superior.

Dessa forma, o foco na seleção natural, combinada com o monopólio da genética mendeliana, contribui para a simplificação do estudo da evolução fenotípica. Muitas subáreas da biologia abordam aspectos da construção fenotípica – como biologia celular, biologia molecular, biologia do desenvolvimento e fisiologia –, mas a tendência de interpretar toda e qualquer característica em termos de adaptação impede uma abordagem mais ampla e complexa da evolução. Uma abordagem centrada no organismo permitiria o aporte de diferentes disciplinas e conteúdos biológicos, contribuindo para a centralidade da evolução.

A reificação do poder causal da seleção natural também estabelece que os processos que ocorrem no nível da população sejam suficientemente responsáveis por padrões de larga escala na história da vida (Nehm e Kampourakis, 2014; Futuyma, 2017). Na escola, os alunos são introduzidos à seleção natural desde o início da unidade sobre biologia evolutiva, construindo modelos abstratos de populações em vez de visualizar mudanças em grande escala, como origem de grupos taxonômicos, tendências evolutivas, radiação adaptativa e extinção (Bizzo e El-Hani, 2009b). Mesmo no nível universitário, a paleobiologia não é considerada uma área central para os biólogos e os livros didáticos dão à microevolução maior destaque quando abordam biologia evolutiva (Santos e El-Hani, 2013; Nehm e Kampourakis, 2014).

Alguns pesquisadores relatam que os alunos apresentam dificuldades em conceitos essenciais para a compreensão da macroevolução, como fósseis, especiação, interpretação de filogenias, tempo profundo e padrões evolutivos (Nadelson e Southerland, 2009; Padian, 2010). Essas dificuldades são observadas em estudantes de diferentes níveis, incluindo graduandos de biologia e professores (Catley, 2006).

Uma compreensão completa da evolução simplesmente não é possível com a ausência da macroevolução no contexto de ensino. E os avanços recentes da paleobiologia e biologia evolutiva do desenvolvimento invocam processos que não são contemplados pela abordagem microevolutiva (Catley, 2006).

Por isso, a macroevolução requer conhecimentos de muitos campos diferentes, incluindo biologia do desenvolvimento, filogenia, paleontologia, biologia teórica e ecologia (Brigandt, 2010). Uma abordagem pluralista adaptada à complexidade da macroevolução é fundamental para o aprendizado da teoria evolutiva nos dias de hoje e pode

contribuir para a centralidade da evolução no contexto de ensino por fomentar discussões evolutivas em diferentes disciplinas e conteúdos.

#### **2.4 A distinção entre causas próximas e causas últimas**

Em um artigo de 1961, *Cause and effect in biology* (Causa e efeito em biologia), Ernst Mayr argumenta a favor da dicotomia entre causas próximas e últimas na biologia. Essa distinção tem sido tratada com grande interesse na literatura de história e filosofia da biologia. Filósofos da biologia, e também biólogos, vêm debatendo como tal distinção deve ser entendida e como pode iluminar debates sobre questões evolutivas (Haig, 2013).

Originalmente, Mayr (1961) considera que os cientistas interessados em mostrar como os sistemas biológicos funcionam lidam com causas próximas. Assim, disciplinas como fisiologia tem relação com elementos estruturais, respondendo a perguntas do tipo “como?”. A biologia evolutiva, por outro lado, responde a perguntas do tipo “por que?”, explicando as causas histórico-evolutivas dos seres vivos. Além dessa distinção, a discussão levada a cabo por Mayr tem sido interpretada como: entre causas agindo no passado e causas agindo no presente; entre diferentes tipos de causas no mundo biológico; e/ou sobre o foco de pesquisa de diferentes disciplinas da biologia.

No texto original, Mayr distingue, explicitamente, diferentes tipos de causas que acompanham o trabalho de dois tipos de áreas: a biologia funcional ocupa-se com “a operação e a interação de elementos estruturais”, enquanto a biologia evolutiva estuda “as causas [históricas] das características” (Mayr, 1961, p. 1502). Essa distinção evita a confusão entre níveis de explicação na biologia.

No entanto, segundo autores como Amundson (2005, p. 223) e West-Eberhard (2003, p. 11), tal dicotomia acabou sendo um passo para estabelecer a ideia de que os mecanismos de desenvolvimento são irrelevantes para a evolução. A biologia do desenvolvimento lida com causas próximas e, por essa razão, os seus fenômenos podem ser deixados de lado por aqueles interessados em causas histórico-evolutivas.

Um dos principais temas do livro de Mary Jane West-Eberhard, *Developmental plasticity and evolution* (Plasticidade do desenvolvimento e evolução), refere-se à forma como as “causas próximas” do desenvolvimento, sobretudo a plasticidade fenotípica, afetam fenômenos de

interesse para os biólogos evolutivos. Mais recentemente, Laland *et al.* (2011) argumentam que alguns processos evolutivos importantes seriam considerados causas próximas segundo a distinção original de Mayr. Os autores argumentam que algumas discussões da biologia evolutiva têm mostrado que processos do desenvolvimento, construção de nicho e comportamento animal não são relevantes apenas como causas próximas, mas desempenham um importante papel nas explicações históricas. Esse reconhecimento difere claramente da dicotomia original de Mayr, desafiando essa distinção estrita.

Como a dicotomia próxima/última também conduz o trabalho de áreas distintas da biologia, ela acaba estabelecendo que a biologia funcional lida apenas com causas próximas e não desempenha um papel importante nas explicações históricas. Por essa razão, a dicotomia de Mayr gera uma segregação nas principais tendências de pesquisa biológica, assim como nas disciplinas que em princípio lidam com evolução. Embriologia, fisiologia, bioquímica, biologia celular, entre outras disciplinas, seriam irrelevantes para elucidar as causas últimas.

Por isso, não é de estranhar que tais disciplinas não sejam encaradas como importantes para o estudo de evolução no contexto pedagógico. Ao discutir a importância de uma biologia das causas últimas no contexto de ensino, Cummins e Remsen (1992, p. 205) argumentam que “(...) bioquímica, biologia celular, fisiologia e outras áreas da biologia que estudam as causas próximas não geram um estudante capaz de raciocinar usando a causalidade final”. Tal concepção expressa a ideia de que a biologia funcional não lida com explicações histórico-evolutivas e, por consequência, não inclui evolução em sua discussão.

Essa concepção pode ter dificultado a presença da evolução biológica nas variadas disciplinas biológicas. Para estabelecer a importância central da teoria evolutiva no ensino de biologia como um todo, torna-se imperativo, portanto, reconhecer a relevância da biologia funcional para a evolução. Caso contrário, a evolução estará ausente na maior parte do currículo das áreas biológicas.

### 3 CONCLUSÃO

A síntese evolutiva estabeleceu alguns pressupostos que permitiram aos biólogos de diferentes áreas trabalharem juntos, particularmente em relação aos problemas evolutivos. A proeminência da genética de

populações na teoria evolutiva, a primazia da seleção natural e a distinção entre causas próximas e últimas<sup>2</sup> são alguns desses pressupostos (Laland *et al.*, 2015). No entanto, como discutido ao longo do artigo, tais aspectos dificultaram estabelecer a evolução como eixo central e unificador no ensino de biologia.

Esses pressupostos geraram um estreitamento nas disciplinas e conteúdos que lidam com as explicações evolutivas, dificultando um arranjo curricular em que a evolução seja tomada como eixo central. Compreendendo essas limitações, nós podemos entender porque a evolução não atua como um elemento central da prática pedagógica, apesar da ampla influência da síntese evolutiva no ensino de biologia nos últimos cinquenta anos.

Como um ensino fortemente ancorado nesses pressupostos e limitado em termos de contato entre as diferentes áreas da biologia pode auxiliar em uma compreensão da biologia em que a evolução seja um eixo central e unificador? De que maneira os estudantes poderiam desenvolver essa capacidade se as relações entre a evolução e outras disciplinas são fortemente pautadas na genética mendeliana? Uma vez que é no ensino superior que se formam professores, pesquisadores e autores de materiais didáticos, a pretensão de que os estudantes da educação básica e superior estabeleçam pontes entre a evolução e os diferentes conteúdos da biologia mostra-se contraditória.

As reflexões históricas e filosóficas apresentadas aqui nos impelem a pensar na necessidade de outras perspectivas de ensino em consonância com uma biologia mais pluralista em termos de abordagens e disciplinas que lidam com explicações evolutivas. Uma visão geral da evolução precisa considerar aspectos moleculares, bioquímicos, ontogenéticos, fisiológicos, morfológicos e comportamentais, processos ecológicos, populacionais e geológicos, incluindo escalas de tempo de poucas gerações até milhões de anos. Dessa forma, praticamente todas as disciplinas biológicas podem contribuir para a compreensão da evolução ao investigar o funcionamento de determinado grupo de

---

<sup>2</sup> É importante ressaltar que a distinção entre causas próximas e últimas não foi um pressuposto da síntese evolutiva original dos anos 1940. No entanto, após os debates da década de 1970 em torno do poder explicativo da seleção natural, a dicotomia causas próximas/últimas foi integrada como uma das críticas direcionadas às abordagens de pesquisas debitárias da síntese evolutiva (Amundson, 2005, p. 211).

organismo ou nível biológico. Embriologia, paleontologia, ecologia, botânica, zoologia, microbiologia, entre outras disciplinas, podem elucidar questões genuinamente evolutivas.

Por exemplo, a microbiologia pode discutir em detalhes o papel evolutivo da simbiogênese e a transferência horizontal de genes (Fraga, 2018). A sistemática filogenética reflete a história evolutiva de plantas e animais, mas a botânica e a zoologia podem discutir mecanismos evolutivos. A hibridação em plantas tem-se mostrado uma força criativa para a evolução da biodiversidade na Terra e o comportamento animal pode ter impacto na especiação (Wissemann, 2007; Beans, 2017). A paleontologia não analisa apenas os fósseis e a história da vida, mas também os mecanismos acima do nível de espécie. O mesmo pode ser dito de outras disciplinas não mencionadas aqui, cada uma com suas particularidades. Um melhor equilíbrio da genética e da seleção natural com outras disciplinas e mecanismos evolutivos ao longo do currículo seria uma estratégia interessante para fomentar a centralidade da evolução no ensino da biologia.

Acredito que estas considerações possam orientar novas propostas de ensino e aprendizagem, práticas curriculares e pedagógicas tanto no ensino básico quanto superior. As novidades da teoria evolutiva na interface entre a biologia, empírica e teórica, e a filosofia da biologia tornaram a evolução mais inclinada ao pluralismo, evitando a simplificação excessiva do estudo evolutivo (Brigandt, 2010). Se pretendemos pensar pedagogicamente sobre a biologia contemporânea, devemos analisar em mais detalhe as contribuições das diferentes áreas biológicas para o pensamento evolutivo (Laland *et al.*, 2015; Jablonka e Lamb, 2005; West-Eberhard, 2003). E esta é uma oportunidade singular de estabelecer a evolução como eixo central no ensino de biologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMUNDSON, Ron. *The changing role of the embryo in evolutionary thought: roots of evo-devo*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison; ARAÚJO, Aldo Mellender. Por que o desenvolvimento ontogenético foi tratado como uma “caixa preta” na síntese moderna da evolução? *Principia: An International Journal of Epistemology*, **19** (2): 263-279, 2015.

- BEANS, Carolyn. News Feature: Can animal culture drive evolution? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **114** (30): 7734-7737, 2017.
- BIZZO, Nelio; EL-HANI, Charbel N. O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. *Filosofia e História da Biologia*, **4** (1): 235-257, 2009a.
- . Darwin and Mendel: evolution and genetics. *Journal of Biological Education*, **43** (3): 108-114, 2009b.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2017.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. *Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2 – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, 2006.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC, 1997.
- BRIGANDT, Ingo. Beyond reduction and pluralism: Toward an epistemology of explanatory integration in biology. *Erkenntnis*, **73** (3): 295-311, 2010.
- BURIAN, Richard M. Challenges to the evolutionary synthesis. Pp. 247-269, *in*: HECHT, M.K; MACINTYRE, R.J; CLEGG, M.T (eds.). *Evolutionary biology*. New York: Plenum Press, 1988.
- CATLEY, Kefyn M. Darwin's missing link: a novel paradigm for evolution education. *Science Education*, **90** (5): 767-783, 2006.
- CUMMINS, Catherine L; REMSEN, V. The importance of distinguishing ultimate from proximate causes in the teaching of biology. Pp. 201-210, *in*: Hills, S. (ed.). *History and philosophy of science in science education. Proceedings of the second international conference for history and philosophy in science education, Mathematics Science Teaching Teacher Education Group*. Kingston, Canada: Queens University, 1992.
- DELAGE, Yves; GOLDSMITH, Marie. *Les théories de l'évolution*. Paris: Flammarion, 1909.
- DELISLE, Richard G. The uncertain foundation of neo-Darwinism: metaphysical and epistemological pluralism in the evolutionary synthesis. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, **40** (2): 119-132, 2009.

- DOBZHANSKY, Theodosius. *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press, 1951.
- . Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, **75** (2): 87-92, 1973.
- FÉLIX, Marie Anne. Phenotypic evolution with and beyond genome evolution. Pp. 291-347, in: ORGOGOZO, V. (ed.). *Genes and Evolution*. Cambridge, MA: Academic Press, 2016.
- FRAGA, Fernando Bueno Ferreira Fonseca. Towards an Evolutionary Perspective in Teaching and Popularizing Microbiology. *Journal of microbiology & biology education*, **19** (1): 1-6, 2018.
- FUTUYMA, Douglas J. Evolutionary biology today and the call for an extended synthesis. *Interface Focus*, **7** (5): 20160145, 2017.
- GEHER, Glenn; WILSON, David S; HEAD, Hadassah; GALLUP, Andrew. (Eds.). *Darwin's Roadmap to the Curriculum: Evolutionary Studies in Higher Education*. Oxford: Oxford University Press, 2019.
- GOEDERT, Lidiane. *A formação do professor de Biologia na UFSC e o ensino da evolução biológica*. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Educação Científica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- GOLDSCHMIDT, Richard. *The Material Basis of Evolution*. New Haven: Yale University Press, 1940
- GOULD, Stephen Jay. The hardening of the Modern Synthesis. Pp. 71-93, in: GRENE, M. (ed.). *Dimensions of Darwinism*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- GOULD, Stephen Jay; LEWONTIN, Richard C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **205** (1161): 581-598, 1979.
- HAIG, David. Proximate and ultimate causes: how come? and what for? *Biology & Philosophy*, **28** (5): 781-786, 2013.
- JABLONKA, Eva; LAMB, Marion J. *Evolution in four dimensions: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge, MA: MIT press, 2005.
- JAKOBI, Steven R. “Little monkeys on the grass...” How people for and against evolution fail to understand the theory of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, **3** (3): 416-419, 2010.

- JAMIESON, Annie; RADICK, Gregory. Genetic determinism in the genetics curriculum. *Science & Education*, **26** (10): 1261-1290, 2017.
- LALAND, Kevin N; STERELNY, Kim; ODLING-SMEE, John; HOPPITT, William; ULLER, Tobias. Cause and effect in biology revisited: is Mayr's proximate-ultimate dichotomy still useful? *Science*, **334** (6062): 1512-1516, 2011.
- LALAND, Kevin N; ULLER, Tobias; FELDMAN, Marcus W; STERELNY, Kim; MÜLLER, Gerd B; MOCZEK, Armin; JABLONKA, Eva; ODLING-SMEE, John. The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **282** (1813): 20151019, 2015.
- LEWONTIN, Richard C. *The genetic basis of evolutionary change*. New York: Columbia University Press, 1974.
- LORENZ, Karl M. Ação de instituições estrangeiras e nacionais no desenvolvimento de materiais didáticos de ciências no Brasil: 1960-1980. *Revista Educação em Questão*, **31** (17): 7-23, 2008.
- LOVE, Alan C. Explaining evolutionary innovations and novelties: Criteria of explanatory adequacy and epistemological prerequisites. *Philosophy of Science*, **75** (5): 874-886, 2008.
- MAYR, Ernst. Cause and effect in biology. *Science*, **134** (3489): 1501-1506, 1961.
- MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra E; FERREIRA, Marcia S. *Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos*. São Paulo: Cortez, 2009.
- MEDRADO, Franklin dos Santos; SELLES, Sandra Escovedo. Justificativas para a inserção de conteúdos de Evolução em livros didáticos de Biologia. *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Águas de Lindóia, SP, 2015. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xenpec/anais2015/resumos/R0971-1.PDF>>. Acesso em: 18 abril 2019.
- NEHM, Ross H; KAMPOURAKIS, Kostas. History and philosophy of science and the teaching of macroevolution. Pp. 401-421, in: MATTHEWS, M. R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer, 2014.
- MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel N. *Evolução: o sentido da biologia*. São Paulo: Editora Unesp, 2005.

- NADELSON, Louis S; SOUTHERLAND, Sherry A. Development and preliminary evaluation of the measure of understanding of macroevolution: introducing the MUM. *The Journal of Experimental Education*, **78** (2): 151-190, 2009.
- OLEQUES, Luciane Carvalho. *A evolução biológica em diferentes contextos de ensino*. Santa Maria, 2014. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria.
- OLIVEIRA, Graciela S; BIZZO, Nelio; PELLEGRINI, Giuseppe. Evolução biológica e os estudantes: um estudo comparativo Brasil e Itália. *Ciência & Educação*, **22** (3): 689-705, 2016.
- PADIAN, Kevin. How to win the evolution war: teach macroevolution! *Evolution: Education and Outreach*, **3** (2): 206-214, 2010.
- PRICE, Rebecca M; PEREZ, Kathryn E. Beyond the adaptationist legacy: updating our teaching to include a diversity of evolutionary mechanisms. *The American Biology Teacher*, **78** (2): 101-108, 2016.
- PROVINE, William B. *The origins of theoretical population genetics: with a new afterword*. Chicago: University of Chicago Press, 2001.
- SANTOS, Wellington B; EL-HANI, Charbel N. A abordagem do pluralismo de processos e da evo-devo em livros didáticos de biologia evolutiva e zoologia de vertebrados. *Revista Ensaio*, **15** (3): 199-216, 2013.
- SEPULVEDA, Claudia; EL-HANI, Charbel N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução. *Ciência e Ambiente*, **36** (93): 93-124, 2008.
- SMOCOVITIS, Vassiliki B. *Unifying biology: The evolutionary synthesis and modern biology*. Princeton: Princeton University Press, 1996.
- ZAMBERLAN, Edmara Silvana; SILVA, Marcos Rodrigues. O ensino de evolução biológica e sua abordagem em livros didáticos. *Educação & Realidade*, **37** (1): 187-212, 2012.
- WADDINGTON, Conrad H. *The Strategy of the Genes*. London: Allen and Unwin, 1957.
- WEST-EBERHARD, Mary Jane. *Developmental plasticity and evolution*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- WISSEMANN, Volker. Plant evolution by means of hybridization. *Systematics and Biodiversity*, **5** (3): 243-253, 2007.

WRIGHT, Sewall. Genetics and the hierarchy of biological sciences.  
*Science*, **130** (3381): 959-965, 1959.

**Data de submissão:** 26/06/2019

**Aprovado para publicação:** 15/04/2019