

Trazendo a macroevolução para a sala de aula: uma proposta de ensino de biologia evolutiva de forma pluralista e integrada no ensino médio

Bringing macroevolution to the classroom: a proposal for a pluralist and integrated evolutionary biology teaching in high school

Vanderson de Souza Costa

Universidade Federal da Bahia
vanderson.costa90@gmail.com

Jeferson Gabriel da Encarnação Coutinho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
jeferson.gabriel@gmail.com

Charbel N. El-hani

Universidade Federal da Bahia
charbel.elhani@gmail.com

Resumo

A evolução é um dos principais eixos estruturadores do conhecimento biológico atual. No entanto, mesmo com toda a importância a ela atribuída, ensinar evolução no ensino médio ainda se mostra repleto de obstáculos que têm dificultado um ensino e uma aprendizagem de qualidade. Neste artigo, buscamos mostrar que alguns dos principais obstáculos para a compreensão da biologia evolutiva estão relacionados à forma como ela tem sido tradicionalmente abordada, com foco apenas em processos microevolutivos. Com base nisso, propomos uma série de princípios para o planejamento de uma abordagem de ensino que introduza, no ensino de evolução, o uso de narrativas de eventos macroevolutivos, com o objetivo de promover uma compreensão integrada e pluralista da biologia evolutiva.

Palavras-chave: Ensino de Evolução, Macroevolução, Ensino Médio, Pluralismo de Processos; Pluralismo de Padrões, *Design Research*

Abstract

Evolution is one of the major structuring axes in current biological knowledge. Notwithstanding its importance, to teach evolution in high school still faces a great deal of obstacles that have been hampering a quality teaching and learning. In this paper, we intend to show that some of the major obstacles to the understanding of evolutionary biology are related to the way it has traditionally been addressed, focusing only on microevolutionary processes. We propose, then, a series of principles for planning a teaching approach that introduces in evolution teaching the use of narratives of macroevolutionary events, with the goal of promoting an integrated and pluralistic understanding of evolutionary biology.

Keywords: Evolution teaching, Macroevolution, High school, Process Pluralism, Pattern Pluralism, Design Research

Introdução

A evolução é um dos principais eixos estruturadores do conhecimento biológico atual. Portanto, o ensino de evolução não deve ser negligenciado durante as aulas de biologia. Sob esta perspectiva, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) propõem que muitos dos conteúdos das aulas de biologia estejam fundamentados num contexto evolutivo (BRASIL, 2000). Essa sugestão se torna ainda mais evidente em documentos posteriores – PCN+ (BRASIL, 2002) e OCEM (BRASIL, 2006) –, que reforçam a importância do ensino de evolução para o ensino de biologia. No entanto, ensinar evolução ainda se mostra repleto de obstáculos, o que têm dificultado um ensino e uma aprendizagem de qualidade (TIDON; LEWONTIN, 2004). No contexto do ensino médio brasileiro, entre os obstáculos para o ensino e a aprendizagem deste tema, enfocamos aqui a forma como os conteúdos da biologia evolutiva têm sido tradicionalmente abordados nas aulas de biologia, nas quais, geralmente, apenas a seleção natural e mutação são destacados. Pouca ou nenhuma atenção é dada a outros importantes processos e padrões evolutivos e muito mais raramente à macroevolução, o que, como defenderemos neste artigo, limita a compreensão da evolução como um eixo integrador do pensamento biológico.

A síntese evolutiva moderna predomina no ensino de evolução, em todos os níveis de ensino, por ser a teoria científica vigente para explicar a evolução biológica. No entanto, nos últimos anos, tem sido debatida a necessidade de sua ampliação (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010). Campos da biologia que não participaram, parcial ou completamente, da sua construção vêm fornecendo contribuições teóricas e empíricas que têm preenchido lacunas na biologia evolutiva. Ainda é controverso dizer que estamos caminhando para uma nova síntese evolutiva, na forma de uma síntese estendida da evolução. Contudo, é inegável que a biologia evolutiva está passando por um momento de revisão e reestruturação de seu arcabouço teórico, o que, conseqüentemente, modifica nosso olhar sobre a evolução biológica. Esse novo aporte teórico se relaciona com duas ideias fundamentais: o pluralismo de processos (EL-HANI; MEYER, 2005; PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000), que leva em conta uma diversidade de processos e fatores, além da seleção natural, na explicação da mudança evolutiva (a exemplo das restrições desenvolvimentais, plasticidade fenotípica, construção de nicho etc.), e o pluralismo de padrões (GOULD; ELDREDGE, 1972; DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007), que considera que existem padrões evolutivos diferentes do gradualismo e do padrão em árvore (a exemplo do padrão de equilíbrio pontuado e da reticulação). É importante deixar claro que não estão em discussão as teses largamente aceitas de que os seres vivos evoluem e de que a seleção natural é um processo importante na evolução, o que significa, em nosso entendimento, que estas mudanças teóricas ainda mantêm a compreensão da evolução dentro dos marcos darwinistas (GOULD, 2002; ALMEIDA; EL-HANI, 2010). O que tem sido questionado são outros pontos, como: A seleção natural é suficiente para explicar todos os fenômenos evolutivos? A macroevolução deve ser entendida exclusivamente como um acúmulo de microevoluções? O processo evolutivo é sempre gradual?

Diante deste quadro, emerge o desafio de trabalhar os conceitos da biologia evolutiva nos diversos níveis de ensino, incluindo o ensino médio, de forma a dar conta da conexão entre múltiplos processos e padrões evolutivos, assumindo uma perspectiva tanto pluralista quanto

integrada¹. Neste artigo, buscamos mostrar que a abordagem tradicional do ensino de evolução, com foco apenas em processos microevolutivos, é limitada e não contempla outras dimensões e importantes integrações da biologia evolutiva. Com base nisso, propomos uma série de princípios para o planejamento de uma abordagem de ensino que introduza, no ensino de evolução, o uso de narrativas de eventos macroevolutivos, com o objetivo de promover uma compreensão integrada e pluralista da biologia evolutiva.

Por que ensinar macroevolução?

Tradicionalmente, na comunidade científica, assim como no ensino de evolução, a macroevolução é considerada o somatório de vários eventos microevolutivos – ainda que de forma implícita, sobretudo no ensino. Desta perspectiva, para entender a macroevolução, é só extrapolar os processos microevolutivos para uma grande escala temporal, sem a necessidade de quaisquer outros processos. Consequentemente, praticamente toda a biologia evolutiva é restringida às explicações da genética de populações (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010), a área da biologia que estuda a distribuição e mudança das frequências alélicas nas populações sob influência de fatores como a seleção natural, deriva gênica, mutação e fluxo gênico, sendo diretamente relacionada com a mudança microevolutiva.

A insistência na explicação da macroevolução por processos microevolutivos não é consistente com a compreensão de que muitos eventos biológicos na história da Terra ocorreram em contextos bastante complexos (SHEN et al., 2010). Ou seja, é difícil compreender da perspectiva de uma disciplina única, a genética de populações, relações complexas entre eventos biológicos, geológicos e ambientais, o que, por sua vez, dificulta tratar com a devida profundidade uma diversidade de importantes fenômenos evolutivos de natureza macroevolutiva, como, por exemplo, irradiações adaptativas, surgimento dos grandes grupos taxonômicos e grandes extinções (BIZZO; EL-HANI, 2009; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009). É evidente que a genética de populações, com o entendimento dos processos microevolutivos dela resultante, tem papel importante na compreensão e no estudo da evolução biológica. No entanto, é problemático abordar todos os fenômenos evolutivos à luz das suas contribuições e extrapolar processos que acontecem no nível das populações para escalas de análise que se situam, por vezes, muito acima do nível das populações.

É justamente este o ponto que distingue as abordagens microevolutivas das macroevolutivas: a microevolução é uma escala de análise que trata de processos e padrões estritamente populacionais; a macroevolução, por sua vez, se ocupa de questões que envolvem padrões e processos evolutivos acima do nível de mudanças populacionais, mais precisamente, estuda padrões e processos relacionados a eventos evolutivos no nível da especiação e acima dele (NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; PADIAN, 2010). Para clarear a distinção e a relevância da micro- e da macroevolução, é útil exemplificar os tipos de questões envolvidas em cada escala. Numa perspectiva microevolutiva, busca-se entender, por exemplo, razões subjacentes à fixação de características numa população ou espécie. Pode-se perguntar, digamos, “por que surgem superbactérias quando administramos antibióticos inadequadamente?” ou “por que os leões possuem juba?”. Já na perspectiva macroevolutiva, as questões são direcionadas, por exemplo, para as razões pelas quais certos clados se

¹ Entendemos, neste contexto, que uma abordagem pode ser considerada pluralística e integrada se (1) considera o pluralismo de processos e de padrões evolutivos e (2) consegue integrar os diferentes mecanismos e padrões, assim como os diferentes campos da biologia por meio do conhecimento evolutivo. Estes dois aspectos estão intimamente relacionados, uma vez que o esforço de integrar diferentes campos do conhecimento biológico à biologia evolutiva tem propiciado discussões sobre a pluralidade de processos e de padrões evolutivos.

diversificam e outros se extinguem, certas linhagens mudam profundamente sua forma em milhares de anos e outras praticamente nada mudam ao longo de milhões, ou, ainda, certos contextos ambientais são muito propensos ao surgimento e à preservação de novidades evolutivas, como novos planos corporais (*bauplans*), enquanto outros não. Tomemos como exemplo um importante evento macroevolutivo, a explosão do cambriano, bastante conhecido pelo grande aumento da diversidade e disparidade das formas de metazoários bilaterais num período geologicamente curto (ZHANG et al., 2013). Não é possível explicar este fenômeno de rápida irradiação dos bilaterais focando apenas na fixação gradual das características em populações de espécies. Várias perguntas não seriam respondidas, como, digamos, “por que os bilaterais irradiaram e não outra linhagem de metazoários?”; “quais relações entre a irradiação dos bilaterais e a extinção da fauna que antecedeu o Cambriano (a fauna de Ediacara)?”; “quais processos evolutivos e gatilhos ambientais levaram a profundas mudanças nas formas dos bilaterais em poucas dezenas de milhões de anos?”. Um caso como este torna claro que eventos macroevolutivos não se traduzem diretamente ao nível das populações (PADIAN, 2010). Isso não quer dizer, é claro, que o que acontece no nível da população não tem importância para eventos que acontecem no nível de espécies ou acima, muito menos que processos populacionais não sejam capazes de produzir especiação. Trata-se de afirmar, ao contrário da perspectiva dominante na biologia evolutiva e no ensino de evolução, que a relação entre micro- e macroevolução nem sempre se dá linearmente e que estas duas escalas levam a questões próprias e igualmente importantes para a compreensão do processo evolutivo. Não se trata de propor a mudança da prevalência de uma escala de análise, microevolutiva, para a prevalência de outra, macroevolutiva. Daí a importância de insistir-se, como fazemos aqui, numa abordagem pluralista e integrada.

A esta altura, pode não estar claro, ainda, como o ensino de macroevolução é relevante para o ensino médio. Para argumentarmos nesse sentido, consideramos que, quando nos deparamos com questões macroevolutivas, é notável que elas exigem narrativas que abordam relações ecológicas, genéticas, desenvolvimentais etc., que inevitavelmente precisam de um olhar pluralista quanto aos processos e padrões evolutivos. Isso favorece uma compreensão da evolução como uma das teorias integradoras do conhecimento biológico, na medida em que reúne esforços de diferentes áreas da biologia para tratar de um problema evolutivo. Além disso, as narrativas também são capazes de conectar o conhecimento biológico com aquele produzido em outras ciências, como a geologia, a geografia, a climatologia, a química, tendo grande potencial para um ensino interdisciplinar. Por exemplo, as contribuições da biologia evolutiva do desenvolvimento têm fornecido valiosos conhecimentos acerca de como as formas dos organismos multicelulares de desenvolvem, e também de como o desenvolvimento mudou ao longo da evolução e quais suas consequências para os processos evolutivos (ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Isso tem permitido integrar conhecimentos de genética, embriologia, ecologia e evolução. Para complementar, a integração de conhecimentos sobre geologia, climatologia, ecologia e evolução nos permite estudar fenômenos associados ao congelamento de praticamente todo o planeta (a *Snowball Earth*) e suas implicações para ciclos de extinção e diversificação da vida nos oceanos, que influenciaram, por sua vez, na explosão do cambriano (SHEN et al., 2010). Esses vetores de integração do conhecimento estão de acordo com a necessidade de superar as características fortemente disciplinares dos currículos escolares, que limitam a possibilidade de os estudantes utilizarem o conhecimento escolar para lidar com questões complexas com as quais se deparam em suas tentativas de entender o mundo ao seu redor e suas próprias vidas. Por fim, uma abordagem focada em narrativas de eventos macroevolutivos nos parece muito mais motivadora e atraente para os estudantes e professores, se comparada com a abordagem que ainda é a mais comum no ensino de evolução, focada nas diferenças entre Lamarck e Darwin e na descrição de evidências da evolução e de processos microevolutivos.

Como ensinar sobre macroevolução?

Elaboração de Princípios de Design

A intenção deste artigo é não somente defender a importância do ensino de macroevolução no nível médio, mas também oferecer suporte para o desenvolvimento de inovações educacionais visando implementar tal ensino. O primeiro passo é estabelecer princípios de design para tais inovações. Antes de explicar tais princípios, contudo, é importante situar este trabalho nos marcos teórico-metodológicos que orientam nossa pesquisa sobre o planejamento, a implementação e a avaliação de inovações educacionais: a *design research*, que engloba uma diversidade de abordagens metodológicas que visam não somente desenvolver inovações educacionais, mas também ampliar o conhecimento sobre os processos de planejamento e implementação destas intervenções e sobre suas características (princípios de design). Estes princípios são entendidos como produtos teóricos – que podem compor uma teoria de ensino específica para um dado domínio (por exemplo, para o ensino sobre macroevolução) – e são desenvolvidos em estudos sistemáticos de inovações educacionais estruturados em ciclos de levantamento de problemas educacionais e planejamento de soluções (PLOMP, 2009).

Um dos tipos de estudo incluídos na *design research* são os estudos de desenvolvimento de inovações educacionais (NIEVEEN et al., 2006), que visam resolver problemas educacionais complexos por meio de uma pesquisa que possibilite a construção e validação de princípios de design das inovações educacionais que possam ser amplamente aplicáveis. Este tipo de estudo envolve três etapas: pesquisa preliminar, prototipagem e avaliação (PLOMP, 2009). A primeira corresponde à análise dos problemas e das necessidades num determinado contexto de ensino e aprendizagem, envolvendo revisão da literatura e uso do saber docente de professores, que levam a uma estrutura conceitual orientadora da inovação. A segunda, corresponde a ciclos de investigações em sala de aula, onde diferentes versões (protótipos) das inovações são construídas, testadas e aperfeiçoadas em diversos contextos e com crescente quantidade de participantes (professores e alunos). Por fim, na terceira, é feita a avaliação dos vários ciclos do estudo, objetivando concluir se as inovações propostas atingiram as expectativas (se os objetivos de aprendizagem planejados foram alcançados pelos estudantes), analisando quais princípios de design foram validados.

Neste artigo, analisamos os resultados de uma pesquisa preliminar para o desenvolvimento de inovações educacionais para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio. Discutiremos, então, os princípios de design assumidos para a construção desta inovação, que podem ter natureza substantiva, quando se referem a características gerais da intervenção, ou procedimental, quando tratam de características específicas da aplicação da intervenção na sala de aula. Na seção seguinte, apresentamos os princípios de design substantivos que selecionamos, sustentados pela literatura educacional e biológica, assim como pelo saber docente do professor envolvido. Não trataremos aqui de princípios de design procedimentais, em razão deles serem específicos para os contextos educacionais nos quais as inovações são implementadas. Para tanto, seria necessária a descrição detalhada do contexto de implementação, o que inclui o plano de curso da disciplina, o número de aulas dedicadas ao ensino de evolução, entre outros aspectos que somente cabe discutir analisando a implementação da inovação em tal contexto específico.

Princípios de design para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado

Ensinar macroevolução não significa apenas adicionar processos e conceitos macroevolutivos às aulas de evolução. Assim, apenas sobrecarregaríamos o ensino de evolução com mais

conteúdos, dificultando a motivação e o engajamento dos alunos e o trabalho pedagógico dos professores. Por isso, assumimos como princípio de design abordar a macroevolução na forma de narrativas históricas de eventos macroevolutivos no cerne do ensino de evolução – como veremos a seguir, estas narrativas possuem a potencialidade de contextualizar o conteúdo tradicional em uma nova roupagem mais pluralística e integrada. Há uma diversidade de eventos macroevolutivos interessantes para serem abordados em sala de aula. Como exemplo, podemos citar: a transição para o ambiente terrestre pelas plantas ou pelos tetrápodes; a evolução dos cetáceos ou das aves; a evolução do voo nos insetos; a explosão do Cambriano etc. De modo geral, sugerimos o uso dos eventos mais bem documentados e estudados – como os citados acima –, que sejam atraentes para os estudantes e que se ajustem bem ao planejamento das aulas do professor (a escolha do evento macroevolutivo a ser abordado dependerá muito do planejamento docente, assim como do contexto educacional).

O uso de narrativas históricas para ensinar evolução permite conexões entre diferentes áreas do conhecimento biológico, assim como entre diferentes áreas do conhecimento científico relevantes para o entendimento da evolução. Van Dijk e Kattmann (2009) sugerem o uso de narrativas² para que os conceitos microevolutivos sejam trabalhados de forma contextualizada no ensino de biologia. Deste modo, dentro destas narrativas seriam discutidas a origem de importantes mudanças evolutivas nos contextos ambientais onde foram produzidas e fixadas (pela ação de processos microevolutivos) nas linhagens que as possuem, estabelecendo relações de parentesco em uma árvore da vida e integrando diferentes áreas de conhecimento de forma interdisciplinar (como discussões sobre mudanças climáticas). Assim, o uso de narrativas macroevolutivas é útil tanto para o ensino de macro- quanto de microevolução. De modo complementar, narrativas micro- e macroevolutivas podem ser usadas, com base em nossa experiência, para abordar discussões sobre história e filosofia da biologia evolutiva, natureza da ciência, evidências da evolução, conceitos de filogenia, relações interdisciplinares na compreensão do processo evolutivo e tomadas de decisões cientificamente informadas. Mas não iremos focar nestas outras potencialidades aqui.

O uso de narrativas de eventos macroevolutivos exige que consideremos conhecimentos que devem ser tratados em sala para que os estudantes se beneficiem de tais narrativas, o que constitui outros princípios importantes. Nadelson e Southerland (2009) apontam cinco conceitos fundamentais para a compreensão da macroevolução: a noção de tempo profundo; fósseis; natureza da ciência; filogenia; e especiação. Já Van Dijk e Kattmann (2009) citam quatro conceitos: noção de tempo profundo; fósseis; noção de ancestral comum mais recente; e adaptação. Considerando o contexto específico do ensino médio brasileiro, selecionamos, à luz das contribuições desses autores e de nossa experiência e conhecimento docente, os seguintes conceitos para entender a biologia evolutiva a partir de narrativas macroevolutivas: (1) noção de tempo profundo; (2) pensamento filogenético; e (3) relação entre micro- e macroevolução. O primeiro se refere à importância de que os estudantes entendam a extensão do tempo geológico e sua relevância para compreender a evolução biológica (DODICK, 2007). Já o segundo, que inclui a noção de ancestral comum mais recente e filogenia, considera a importância da compreensão sobre conceitos e representações associados às relações de parentesco das espécies. E, a última, relacionada com os conceitos de adaptação e especiação sugeridos na literatura, remete à importância de distinguir e relacionar processos micro- e macroevolutivos de modo a reconhecer que estas duas escalas da biologia evolutiva são conectadas de forma não linear e estão focadas em questões evolutivas diferentes. Com

²Estes autores deixam implícito o tipo de narrativas históricas que sugerem para o ensino de evolução. No entanto, com base nos exemplos utilizados por eles, podemos concluir que se tratam dos mesmos tipos de narrativas que chamamos aqui de narrativas históricas de eventos macroevolutivos, uma vez que utilizam grandes escalas de tempo e se relacionam com processos de especiação ou diversificação/extinção de clados.

base no conhecimento docente, consideramos que os conceitos relativos aos fósseis (inclusive fossilização e datação) podem ser integrados à discussão sobre tempo profundo e podem ser, ainda, utilizados como pontes para a discussão sobre pensamento filogenético. Quanto à natureza da ciência, consideramos, também com base no conhecimento docente, que embora cumpra um importante papel no contexto do ensino médio norte-americano – em razão dos conflitos com o criacionismo e afins –, parece menos relevante para a compreensão destas narrativas na realidade brasileira. É evidente que a abordagem sobre natureza da ciência é importante no ensino de evolução, mas as limitações do tempo escolar e os conhecimentos dos quais já necessitamos tratar nos levaram a não enfocá-la nas inovações educacionais que estamos desenvolvendo para ensinar evolução de modo pluralista e integrado. Outro princípio que deve ser levado em conta no planejamento de inovações didáticas que usem narrativas de eventos macroevolutivos é a necessidade de ter em conta o conhecimento prévio dos estudantes, para que o professor possa considerá-lo ao explorar os diferentes aspectos da narrativa escolhida. Uma narrativa histórica pode ser contada de diferentes maneiras, para atender a diferentes necessidades dos estudantes. Ter acesso a alguns conhecimentos prévios dos estudantes pode indicar a necessidade de fazer uso de outra narrativa mais adequada.

Por fim, podemos resumir os princípios de design substantivos propostos da seguinte maneira: se desejamos construir inovações educacionais para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado em aulas de biologia do ensino médio brasileiro, assumimos que devemos (1) fazer uso de estratégias que permitam a exposição das concepções dos estudantes sobre a evolução biológica; (2) usar estratégias didáticas que auxiliem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos; (3) usar de estratégias didáticas que permitam o desenvolvimento do pensamento filogenético; (4) utilizar narrativas históricas de eventos macroevolutivos para permitir a compreensão da biologia evolutiva de modo pluralista e integrado; e (5) empregar estratégias que permitam o desenvolvimento da relação de modo não linear entre a micro- e a macroevolução.

Considerações finais

Este trabalho representa os primeiros passos de uma pesquisa educacional voltada para o desenvolvimento de inovações para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado, dentro de marcos teórico-metodológicos da *design research*. Além de discutir razões pelas quais a macroevolução deve ser ensinada desde o nível médio, apresentamos princípios de design para a construção de tais inovações. A partir deste estudo, estamos desenvolvendo uma primeira versão de sequência didática, a ser testada ainda este ano no ensino médio, abordando o ensino de evolução nos moldes dos princípios discutidos acima.

Agradecimentos e apoios

Agradecemos a FAPESB pelo apoio, na forma de bolsa de mestrado, à pesquisa relacionada.

Referências

ALMEIDA, A. M. R. de; EL-HANI, C. N. Um exame histórico-filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento. *Scientiæ Studia*, 8 (1), 2010. p. 9-40.

BIZZO, N.; EL-HANI, C. 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*, v. 4, n. 1, 2009, p. 235-257.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio Parte III - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Secretaria da Educação Média e Tecnológica/MEC, 2000.

DODICK, J. *Understanding evolutionary change within the framework of geological time*. *Mcgill Journal of Education*. Spring. v. 42, n. 2, 2007, p. 245-264.

DOOLITTLE, W. F.; BAPTESTE, E. *Pattern pluralism and the Tree of Life hypothesis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 7, 2007, p. 2043-2049.

GOULD, S. J. *The structure of evolutionary theory*. Cambridge: Harvard University Press, 2002.

GOULD, S. J.; ELDREDGE, N. *Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism*. 1972.

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. **Evolução: o sentido da biologia**. São Paulo: UNESP, 2005.

NADELSON, L. S.; SOUTHERLAND, S. A. *Development and preliminary evaluation of the measure of understanding of macroevolution: introducing the MUM*. *The Journal of Experimental Education*, v. 78, n. 2, 2009, p. 151-190,

NIEVEEN, N.; MCKENNEY, S.; VAN DEN AKKER, J. *Educational design research: the value of variety*. In: VAN DEN AKKER, J.; GRAVEMEIJER, K.; MCKENNEY, S.; NIEVEEN, N. *Educational design research*. London: Routledge, 2006, 151-158.

PADIAN, Kevin. *How to win the evolution war: teach macroevolution!*. *Evolution: Education and Outreach*, v. 3, n. 2, 2010, p. 206-214.

PIGLIUCCI, M.; KAPLAN, J. *The fall and rise of Dr. Pangloss: Adaptationism and the Spandrels paper 20 years later*. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 15, n. 2, 2000, p. 66-70.

PIGLIUCCI, M.; MÜLLER, G.B. *Evolution – The Extended Synthesis*. Cambridge, MA: MIT Press, 2010.

PLOMP, T. *Educational Design Research: an Introduction*. In: PLOMP, T.; NIEVEEN, N. *An introduction to educational Design Research*. Enschede: SLO-Netherlands Institute for Curriculum Development. 2009, p. 9-35.

SHEN, S.; ZHU, M.; WANG, X.; LI, G.; CAO, C.; ZHANG, H. *A comparison of the biological, geological events and environmental backgrounds between the Neoproterozoic-Cambrian and Permian-Triassic transitions*. *Science China Earth Sciences*, v. 53, n. 12, 2010, p. 1873–1884.

TIDON, R; LEWONTIN, R. *Teaching evolutionary biology*. *Genetics and Molecular Biology*. 2004.

VAN DIJK, E. M.; KATTMANN, U. *Teaching evolution with historical narratives*. *Evolution: Education and Outreach*, v. 2, n. 3, 2009, p. 479-489.

ZHANG, X; SHU, D.; HAN, J.; ZHANG, Z.; LIU, J.; FU, D. *Triggers for the Cambrian explosion: hypotheses and problems*. *Gondwana Research*. v. 25, n. 3, 2014, p. 896-909.