



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS**



VANDERSON DE SOUZA COSTA

**Trazendo a macroevolução para a sala de aula:
Ensinando biologia evolutiva de forma pluralista e integrada**

**Salvador
2017**

VANDERSON DE SOUZA COSTA

**Trazendo a macroevolução para a sala de aula:
Ensinando biologia evolutiva de forma pluralista e integrada**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, para a obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências, na área de Concentração de Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani.

**Salvador - BA
2017**

Costa, Vanderson de Souza
Trazendo a macroevolução para a sala de aula: Ensinando
biologia evolutiva de forma pluralista e integrada / Vanderson
de Souza Costa. -- Salvador, 2017.
222 f.

Orientador: Charbel Niño El-Hani.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em
Ensino, Filosofia e História das Ciências) -- Universidade
Federal da Bahia, Instituto de Física, 2017.

1. Ensino de Evolução. 2. Macroevolução. 3. Pesquisa de
Design Educacional. 4. Narrativas de Eventos Macroevolutivos.
5. Abordagem Pluralista e Integrada. I. El-Hani, Charbel Niño.
II. Título.

VANDERSON DE SOUZA COSTA

**Trazendo a macroevolução para a sala de aula:
Ensinando biologia evolutiva de forma pluralista e integrada**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências, na área de concentração de Ensino de Ciências, avaliada pela seguinte banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani (Orientador)
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Prof. Dra. Cláudia de Alencar Serra e Sepúlveda
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Prof. Dr. Diogo Meyer
Universidade de São Paulo – USP

AGRADECIMENTOS

Não são poucas as pessoas a quem eu devo gratidão por todo apoio que me deram ao longo da realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a meus pais, Edson e Vanda, que mesmo não entendendo muito bem o que eu estive fazendo nestes últimos anos, não deixaram de acreditar em mim e de me dar apoio em tudo que precisei.

Agradeço também à minha tia, Jailma, por ser uma grande referência e inspiração para que eu seguisse com minha formação acadêmica, além de ter me apoiado em vários momentos.

Agradeço à minha companheira, Palloma, por toda ajuda e carinho, especialmente quando eu estava desesperado com os prazos e os obstáculos para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de mencionar minha gratidão pela professora Simone Moraes, minha principal orientadora ao longo da graduação, que, diretamente, contribuiu para minha formação como profissional e, indiretamente, para a realização deste trabalho.

Agradeço também ao meu atual orientador, Charbel, pessoa que eu sempre tive grande admiração e que, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, me ajudou a compreender a tarefa difícil, mas gratificante, que é ser pesquisador em educação. De certo, foi uma enorme honra ser orientado por Charbel.

Agradeço aos professores Diogo Meyer e Claudia Sepúlveda por terem aceitado o convite para compor a banca desta dissertação, especialmente por tudo que me ensinaram ao longo deste processo.

Agradeço imensamente às professoras Claudia Sepúlveda, Amanda Amantes, Ana Paula Guimarães e Rosiléia Oliveira e aos professores Nei Nunes-Neto, Juanma Arteaga e Jean-Baptiste Grodwohl por terem tido paciência quando recorri a eles, pedindo opiniões, dicas, referências etc., ao longo do desenvolvimento deste trabalho. De modo semelhante, também agradeço aos meus colegas e amigos Thiago Dias, Ítalo Carvalho, Marcelo Delfino, Lucas Medeiros, Amanda Barreto, Rafaela Chaves, Natália Rodrigues, Jairo Robles e Leonardo Celin.

Agradeço muito a meu colega e amigo Jeferson Coutinho, por ter aceitado tornar esse trabalho real e auxiliado com sua experiência docente. Igualmente, agradeço a toda a turma 8841, por ter sido tão acessível e ter contribuído com a realização deste trabalho, em especial à

líder da turma, Carla, por ter me ajudado a organizar todas as atividades que foram realizadas fora do tempo das aulas, o que certamente me salvou em vários momentos. E, também agradeço a Roberta Lordelo e todos os seus estagiários, pela confiança e auxílio, que permitiu que este trabalho de fato acontecesse.

Por fim, agradeço a FAPESB pelo apoio, na forma de bolsa de mestrado, à realização desta pesquisa.

Certamente que há muito mais pessoas, entre familiares, amigos, colegas de trabalho e professores, que contribuíram mais indiretamente com este trabalho. Meus sinceros agradecimentos à todos vocês.

RESUMO

A teoria darwinista da evolução é um dos principais eixos integradores do conhecimento biológico atual. No entanto, mesmo com toda a importância a ela atribuída, ensinar evolução ainda apresenta desafios que têm dificultado seu ensino e sua compreensão. No contexto do ensino médio brasileiro, nota-se que a forma como os conteúdos de evolução vem sendo tradicionalmente abordada tem limitado a compreensão da evolução como um eixo integrador. É importante reconhecer que a integração do conhecimento biológico por meio da evolução passa por considerar a sua escala macroevolutiva e seu pluralismo de processos e de padrões. Contudo, o foco em seleção natural, mutação, gradualismo e microevolução, comum ao ensino de evolução, tem negligenciado importantes processos e padrões evolutivos e a macroevolução. Emerge, então, o desafio de ensinar evolução de forma a dar conta da conexão entre múltiplos processos e padrões evolutivos, de modo a permitir uma compreensão de modo pluralista e integrada. Orientada pelos marcos teóricos-metodológicos da pesquisa de *design* educacional, foi desenvolvida, em colaboração com um professor de biologia do ensino médio, uma investigação sobre as características de uma sequência didática para o ensino e a compreensão de evolução de modo pluralista e integrado. Esta investigação será relatada ao longo de dois artigos: (a) o primeiro artigo tratando da fase de estudo preliminar, a partir da qual foi desenvolvida a proposta de cinco princípios de *design* para o planejamento de uma abordagem de ensino de evolução que utilize narrativas de eventos macroevolutivos e considere a pluralidade de processos e de padrões, e (b) o segundo tratando da investigação do primeiro protótipo elaborado a partir implementação destes princípios em um contexto real de sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Evolução; Macroevolução; Narrativas de Eventos Macroevolutivos; Pluralismo de Processos; Pluralismo de Padrões; Eixo Integrador; Pesquisa de *Design* Educacional

ABSTRACT

The darwinian theory of evolution is one of the main integrating axis of current biological knowledge. However, even with all the importance attributed to it, teaching evolution still presents challenges that have hindered their teaching and understanding. In the context of brazilian high school, it is noted that the way how the content of evolution lessons has been traditionally treated has limited the understanding of evolution as an integrating axis. It is important to recognize that the integration of the biological knowledge through evolution takes account its macroevolutionary scale and its pluralism of processes and patterns. However, the focus on natural selection, mutation, gradualism, and microevolution, common to evolution teaching, has neglected important evolutionary processes and patterns and the macroevolution. Then, emerges the challenge of teaching evolution in order to account for the connection between diverse evolutionary processes and patterns, to allow a pluralistic and integrated understanding. Guided by the theoretical-methodological frameworks of educational design research, I developed, in collaboration with a high school biology teacher, an investigation into the characteristics of a didactic sequence for teaching and understanding of evolution in a pluralistic and integrated way. This research will be reported over two articles: (a) The first article dealing with the preliminary study phase, from which the proposal of five design principles was developed for the planning of an evolutionary teaching approach that uses narratives of macroevolutionary events and considers the plurality of processes and patterns, and (b) The second dealing with the investigation of the first prototype elaborated from implementation of these principles in a real classroom context.

Keywords: Teaching of Evolution; Macroevolution; Narratives of Macroevolutionary Events; Process Pluralism; Patterns Pluralism; Integrating Axis; Educacional Design Research

SUMÁRIO

Apresentação	11
1 Minha Trajetória Acadêmica	11
2 A Teoria Darwinista da Evolução: Uma breve análise de sua estrutura	14
3 Por que a evolução é importante para a biologia?	19
4 O Ensino de Evolução no ensino médio brasileiro	24
5 A construção do problema de pesquisa	32
6 Pesquisa de <i>Design</i> Educacional	39
7 Organização e estrutura deste trabalho	44
Referências	46

Capítulo 1 – Trazendo a macroevolução para sala de aula: princípios de *design* para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado no ensino médio

1 Introdução	51
2 Pesquisa de <i>Design</i> Educacional e a elaboração de princípios de <i>design</i> de inovações educacionais	59
2.1 Sobre os Princípios de <i>Design</i>	59
2.2 Sobre a proposta deste trabalho	61
3 Macroevolução e o ensino de evolução	64
3.1 Por que ensinar macroevolução?	64
3.2 Como ensinar macroevolução?	71
4 Princípios de Design para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado	76
5 Exemplificando o planejamento das narrativas de eventos macroevolutivos	90
6 Considerações finais	94
Referências	95

Capítulo 2 – Trazendo a macroevolução para a sala de aula: investigando princípios de *design* para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado no ensino médio

1 Introdução	103
2 Abordagem metodológica	108
2.1 Modalidade de pesquisa: Pesquisa de <i>Design</i> Educacional	108
2.2 Sobre esta investigação	112
3 Princípios de <i>design</i> para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado	114

4 Procedimentos metodológicos para a validação dos princípios de design.....	120
4.1 Contexto da Pesquisa	120
4.2 Procedimentos de coleta de dados	122
4.3 A investigação dos objetivos gerais e das expectativas pedagógicas	127
5 A sequência didática	131
5.1 Evento macroevolutivo	131
5.2 Detalhamento da sequência didática	132
6 Resultados e discussão	139
6.1 Um olhar geral	139
6.2 O levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes	145
6.3 O uso de estratégias para promover a compreensão do tempo geológico	148
6.4 O uso de estratégias para o desenvolvimento do pensamento filogenético	155
6.5 O uso de estratégias para relacionar a micro- e a macroevolução	161
6.6 O uso de narrativas macroevolutivas	169
7 Considerações finais	178
Referências	180
Considerações finais	185
Referências	187
Apêndices	189
Questionário 1	189
Questionário 2	196
Questionário 3	203
Questionário 4	210
Protocolo de entrevista com o professor	217
Protocolo de entrevista com os estudantes	218

APRESENTAÇÃO

Por meio deste capítulo introdutório, apresentarei elementos importantes para uma compreensão mais profunda deste trabalho. Desta maneira, penso que posso garantir uma melhor organização, uma vez que este trabalho será organizado em dois artigos relativamente independentes (seguindo o modelo *multipaper*), como detalharei adiante.

Em primeiro momento, dedicarei um espaço neste capítulo para apresentar pontos-chaves da minha trajetória acadêmica e algumas reflexões pessoais que culminaram na pesquisa aqui relatada. Depois desta seção, farei uma breve análise da estrutura da teoria darwinista da evolução, incorporando, inclusive, discussões atuais acerca da mesma. Na terceira seção, comentarei sobre a relevância da teoria da evolução para a biologia. Trarei, na quarta seção, uma apresentação do panorama geral do ensino de evolução no ensino médio brasileiro, apresentando alguns obstáculos, mas dando maior enfoque na ausência de uma abordagem pluralista e integrada. A quinta seção será dedicada à construção do problema de pesquisa. Os marcos teóricos-metodológicos que norteiam este estudo, oriundos da Pesquisa de *Design* Educacional, e a relevância do trabalho colaborativo entre o pesquisador e o professor no contexto da pesquisa serão melhor explorados na sexta seção. Por fim, dedicarei uma seção à descrição e explicação a organização desta dissertação.

1 MINHA TRAJETÓRIA ACADÊMICA

Encantado desde muito jovem por documentários e livros que tratavam de ciências naturais e vida selvagem, não demorou muito para saber que eu queria estudar Ciências Biológicas na graduação. Mas foi apenas em meados de 2008, ano em que comecei a cursar a graduação em Ciências Biológicas na Universidade Federal da Bahia, que eu atentei para a biologia evolutiva.

Eu já havia lido algo ou ouvido falar a respeito de Darwin, Lamarck e seleção natural e até mesmo já havia, ainda adolescente, especulado “uma teoria da evolução” – bastante ingênua e equivocada, por sinal. Mas foi apenas na universidade que me dei conta da importância da teoria da evolução para a biologia. Contudo, o que mais me surpreendeu foi saber que existiam pessoas que a rejeitavam. Diante desse fato, comecei a tentar entender quais razões motivavam estas pessoas e percebi que, além das questões relativas às crenças pessoais,

existiam muitos problemas relacionados à própria compreensão dos conceitos desta teoria. Dito de outra forma, percebi que muitas pessoas não compreendiam adequadamente os conceitos básicos da teoria darwinista e isso dificultava sua compreensão e aceitação. Mais impressionante ainda era saber que isso não estava restrito apenas a quem rejeitava a teoria, pois esta dificuldade de compreensão também estava presente em quem a defendia. Inclusive eu mesmo. Passei, então, a dedicar tempo dos meus estudos para suprir lacunas sobre o tema.

Algum tempo depois, essa reflexão me fazia olhar para minha própria formação, na qual notei que a abordagem da teoria darwinista da evolução estava tão dispersa que não era uma tarefa fácil reconhecer seu papel integrador do conhecimento biológico. Ao longo das disciplinas, eu notava que vários elementos faziam referência a esta teoria, como pedaços soltos, mas não existia um trabalho que os unisse de modo adequado. Não era nada surpreendente constatar que os estudantes, de um modo geral, não compreendiam a teoria evolutiva adequadamente, mesmo reconhecendo sua importância. Muitos não conseguiam pensar em termos darwinistas, recorrendo muitas vezes a explicações transformacionais¹. Isso tem me angustiado, especialmente porque a teoria darwinista cumpre um papel muito importante de dar sentido à própria biologia. Não é à toa que as palavras de Dobzhansky (1973) se tornaram tão famosas e têm sido bastante repetidas: “Nada na biologia faz sentido, senão à luz da evolução”.

Quando eu passei a trabalhar com paleontologia, em 2009, sob a orientação da profa. Simone Moraes, a importância da biologia evolutiva para compreender os seres vivos se tornou muito mais clara para mim. A paleontologia, sendo uma ciência dedicada a estudar as formas de vida que habitaram o passado deste planeta, me permitiu conhecer a história de algumas linhagens de organismos e as mudanças que elas sofreram e provocaram ao longo do tempo. Este conhecimento me fez reconhecer a importância de entender o passado destas linhagens para, então, entender o seu presente. E o processo que conecta o presente com o passado destas linhagens, justificando a existência ou inexistência de determinadas estruturas orgânicas, mecanismos fisiológicos ou ações comportamentais, é a evolução. Pode parecer algo óbvio, mas esta perspectiva foi (e tem sido) pouco detalhada pelo currículo da graduação que me formou, sendo, na verdade, muito mais contemplada uma perspectiva dedicada a descrever e comparar as características dos organismos, ao invés de explicá-las e relacioná-las.

¹ Na abordagem transformacional, o processo evolutivo é entendido como o resultado de mudanças que ocorreriam simultaneamente ao longo da vida de cada um dos indivíduos de uma espécie (CAPONI, 2005). Diferentemente, na perspectiva darwinista, não é a mudança nos indivíduos que provoca a evolução, mas a mudança da frequência relativa das variantes em uma população de indivíduos.

Mas esta não foi a única contribuição advinda da minha experiência com a paleontologia. Neste período, que se estenderia do ano de 2009 até o fim da minha graduação, em 2012, comecei a trabalhar mais precisamente com a divulgação científica da paleontologia (com enfoque em seus conceitos e suas práticas centrais, que muitas vezes exigia conhecimentos da geologia e da biologia). Tal atividade foi crucial para despertar meu interesse pelo ensino de ciências, o que me fez optar definitivamente pela licenciatura em Ciências Biológicas.

Foi neste contexto que passei a compreender o ensino e a divulgação científica como meios para mudar a maneira como a biologia evolutiva, entre outros temas científicos, era compreendida. Animado com essa perspectiva, passei a organizar grupos de estudos focados em divulgação científica com colegas do curso de biologia, nos quais não eram raras discussões sobre a biologia evolutiva e sua importância educacional. Muito provavelmente, tal enfoque advinha da esperança de suprir a lacuna que sentíamos em nossa formação. Infelizmente, estes grupos foram desfeitos pouco antes do término da minha graduação.

Ao fim da graduação, em 2012, sem qualquer intervalo, iniciei novamente a graduação em Ciências Biológicas. Mas dessa vez optei por seguir a modalidade do bacharelado, uma vez que havia concluído a licenciatura. Foi assim que tive contato com a disciplina optativa oferecida pelo prof. Charbel El-Hani, chamada Temas de Filosofia da Biologia, que tinha como objetivo discutir alguns temas da biologia a partir de uma perspectiva filosófica. Assim, tomei conhecimento sobre a síntese estendida da evolução (PIGLIUCCI, 2009; PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010; LALAND et al., 2015), que propõe a ampliação e uma nova reestruturação na vigente síntese evolutiva.

No ano seguinte, em 2013, cursei a disciplina Evolução do Pensamento Científico, também com o prof. Charbel El-Hani, na qual escolhi desenvolver um trabalho sobre o Equilíbrio Pontuado² e a Explosão do Cambriano³, conjuntamente com os colegas de turma, e

² O Equilíbrio Pontuado é uma teoria sobre padrões evolutivos, desenvolvida por Niles Eldredge e Stephen J. Gould (1972), que propõe que as linhagens dos organismos se mantêm relativamente estáveis ao longo do tempo, com poucas mudanças evolutivas, até que ocorra um evento de especiação, chamado de pontuação, no qual a mudança evolutiva se dá de forma mais intensa e localizada. Esta teoria, de modo geral, contrasta com a visão tradicional da teoria darwinista da evolução, por assumir que a evolução segue padrões de estases e pontuações, ao invés de seguir de forma gradual.

³ A Explosão do Cambriano foi um evento da história da Terra que ocorreu, conforme estudos paleontológicos e geológicos, há cerca de 530 milhões de anos, no início do período Cambriano (de onde vem seu nome), caracterizado principalmente pelo aumento relativamente rápido da diversidade (número de espécies) e disparidade (diversidade de planos corporais/formas orgânicas) da linhagem dos animais bilaterais (ZHANG et al, 2013).

grandes companheiros de estudos, Marcelo Delfino e Lucas Medeiros. A minha escolha e afinidade por estes temas de trabalho estava intimamente conectada à minha própria experiência com a paleontologia, mas também às minhas recentes leituras sobre a síntese estendida da evolução – as mesmas leituras que também haviam fispado meus colegas para o tema. Pouco tempo depois, já era notável que este trabalho estava indo além das fronteiras da disciplina e passou a fazer parte das atividades de outras disciplinas, como as de Biologia Evolutiva e Formulação de Problema de Pesquisa, e, mais tarde, passou a ser um norteador para um grupo de estudo formado pelos integrantes da equipe do trabalho original.

A partir destes estudos e da orientação do prof. Charbel El-Hani, atentei para potencial educacional deste evento da história da vida na Terra, a Explosão do Cambriano, para a criação de oportunidades para compreender mais substancialmente a Evolução como integradora do conhecimento biológico. Esta potencialidade advém da necessidade de se compreender este evento dentro de um contexto pluralista, reconhecendo conexões e contribuições de diferentes áreas da biologia de modo integrado, como discutirei mais a adiante. Começou a nascer, então, a ideia de elaborar uma intervenção didática que considere eventos similares a Explosão do Cambriano para o ensino de evolução.

Por fim, no final de 2013, eu me candidatei ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, com um projeto de pesquisa sobre o ensino de evolução, que viria a se tornar este trabalho, a partir de 2014, quando fui aprovado como aluno de mestrado.

2 A TEORIA DARWINISTA DA EVOLUÇÃO: UMA BREVE ANÁLISE DA SUA ESTRUTURA

Antes de começar esta seção, é importante que eu deixe claro que ela não tem o propósito de fazer uma análise aprofundada da estrutura da teoria darwinista da evolução com uma adequada contextualização histórica de sua construção. O propósito desta seção é de mostrar um panorama geral, uma vez que ao longo deste trabalho eu farei menção aos diferentes aspectos aqui citados.

Para começar, é notável que a Biologia Evolutiva como conhecemos atualmente tem suas bases fundamentadas na teoria da evolução elaborada por Charles Darwin, publicada em 1859, a partir da sua obra *A Origem das Espécies* (DARWIN, [1859]1985). Embora seja

comum associar a teoria apenas ao processo de transformação das espécies ao longo do tempo, é importante frisar que esta teoria não pode ser resumida a essa ideia – afinal de contas, outras teorias evolutivas existiram e assumiam esta mesma tese, não sendo, portanto, uma tese exclusiva da teoria da evolução de Darwin. Então, o que caracterizaria a teoria darwinista da evolução?

Para uma breve explicação, partirei de uma sistematização proposta por Ernst Mayr, biólogo que deixou importantes contribuições para a biologia evolutiva. Mayr (1998) propõe pensarmos a teoria darwinista da evolução como um conjunto de cinco (sub)teorias inter-relacionadas: (1) A evolução ocorre, o que corresponde a ideia de que as espécies estão sempre em transformação; (2) A ancestralidade comum, teoria que assume que todas as espécies atuais são conectadas e foram originadas a partir de ramificações de espécies ancestrais e estas últimas de outras espécies, e assim sucessivamente, até que em um dado momento teríamos um ancestral comum a todos os seres vivos. Esta ideia tem sido comumente representada pela metáfora da árvore da vida, na qual os ramos e galhos representariam linhagens que se bifurcariam ao longo do tempo e que, mesmo os ramos mais distantes, sempre estariam conectados em algum ponto da árvore; (3) A variação intraespecífica origina a variação interespecífica, ideia que propõe que certas variações presentes em indivíduos de uma população dariam origem às diferenças entre espécies. Esta teoria traria uma nova maneira de entender a evolução, pois permitiu a compreensão de que a mudança evolutiva não se dá pela mudança nos indivíduos e, sim, pela mudança da composição dos indivíduos em uma população. Em outras palavras, esta compreensão traz para a biologia evolutiva uma perspectiva variacional (ou populacional), o que rompe com toda a tradição transformacional que caracterizou o pensamento evolutivo antes de Darwin (MEYER; EL-HANI, 2005); (4) O gradualismo, ideia que defende que as mudanças nas linhagens dos seres vivos se dão de modo gradual. Ou seja, o processo de diversificação biológica se daria pelo acúmulo paulatino e contínuo de pequenas variações; e (5) A seleção natural, teoria que explicaria o processo que estaria subjacente à mudança evolutiva – a seleção natural –, uma vez que este seria o principal responsável pela mudança da composição das variantes de uma população, provocando a evolução desta população segundo a relação entre o contexto ambiental e do potencial reprodutivo das variantes, explicando, assim, a origem das adaptações das espécies ao ambiente em que vivem.

Contudo, estas (sub)teorias não tiveram o mesmo grau de adesão na comunidade científica da época. Por exemplo, enquanto a teoria da ancestralidade comum estava muito bem

suportada empiricamente e desfrutava de grande aceitação por parte de muitos cientistas contemporâneos de Darwin, o mesmo não aconteceu com a teoria da seleção natural (BOWLER, 2003; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2008) – o que permitiu que o darwinismo fosse considerado, passado cerca de 30 anos desde a sua publicação, uma teoria fadada ao esquecimento (tal período tem sido chamado de “eclipse do darwinismo” (BOWLER, 2003)). A ampla aceitação da teoria darwinista da evolução só se deu a partir de 1930, quando o darwinismo e o mendelismo, até então considerados incompatíveis, foram unidos em um corpo teórico bastante consistente: a síntese moderna da evolução. Esta síntese começou a engatinhar com os trabalhos de Fisher, Wright e Haldane (RIDLEY, 2006), que fundaram as bases da genética de populações, por meio da qual se tornou possível explicar a mudança gradual das populações de seres vivos considerando o efeito da seleção natural na composição genética destas populações ao longo do tempo. A partir deste ponto, a evolução dos seres vivos passou a ser entendida consensualmente como a mudança das frequências alélicas das populações. Com isso, a construção da síntese moderna trouxe para a biologia evolutiva uma série de modelos matemáticos e estatísticos, com um largo apoio empírico, que reforçaria todo o seu arcabouço teórico.

É importante ressaltar que esta síntese não pode ser entendida apenas como a união do darwinismo e do mendelismo, pois, à medida que esta teoria foi ganhando corpo, ela recebeu contribuições de várias outras áreas, como a zoologia, a botânica, a paleontologia e a história natural (PIGLIUCCI, 2009). Sendo assim, mesmo ainda se apoiando nos pilares do darwinismo – aqueles sistematizados em Mayr (1998) –, esta teoria é diferente do darwinismo original, ganhando novas características. Segundo Futuyma (2006), é possível sumarizar esta síntese nos seguintes postulados: (1) As populações contêm variação genética, que é originada por mutações e recombinações de modo não dirigido adaptativamente; (2) As populações evoluem por mudanças de frequências gênicas resultantes de deriva, fluxo gênico e, especialmente, seleção natural; (3) A maioria das variantes genéticas adaptativas têm efeitos fenotípicos ligeiros, ou seja, as mudanças fenotípicas são graduais (com algumas exceções); (4) A diversificação se dá por especiação, que normalmente é obtida pela evolução gradual de isolamento reprodutivo entre populações, sendo principalmente alopátrica; e (5) Esses processos, estendidos por tempo suficiente, resultam em grandes mudanças evolutivas, ou seja, a macroevolução é o acúmulo de microevoluções.

A síntese moderna, como conhecemos, foi consolidada até meados de 1950 e desde então se tornou a teoria evolutiva dominante dentro do pensamento biológico, guiando

programas de pesquisas nas mais diversas áreas da biologia. No entanto, a construção desta síntese não foi feita apenas de uniões, mas também de exclusões (PIGLIUCCI, 2009). O reconhecimento desta lacuna pode estar levando a biologia evolutiva para uma nova fase. Nos últimos anos, tem sido debatida a necessidade de ampliação da síntese moderna, sob a forma de uma síntese estendida da evolução (PIGLIUCCI, 2009; PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010; LALAND et al., 2015). Diversos campos do conhecimento biológico que foram deixados de fora, parcial ou completamente, durante sua construção vêm fornecendo atualmente uma nova bagagem teórica e empírica que têm permitido esmiuçar novos aspectos da evolução biológica e preencher lacunas na vigente síntese evolutiva. Esse novo aporte se relaciona com duas ideias fundamentais: o pluralismo de processos (PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000; EL-HANI; MEYER, 2005), que leva em conta uma diversidade de processos, além da seleção natural, na explicação da mudança evolutiva (a exemplo dos vieses desenvolvimentais, da construção de nicho etc.), e o pluralismo de padrões (ELDREDGE; GOULD, 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).

Segundo Laland e colaboradores (2015), é possível apontar algumas comparações entre a síntese moderna e a síntese estendida: (1) em oposição a preeminência da seleção natural nas explicações causais da síntese moderna, a síntese estendida propõe a *causação recíproca*, na qual processos ecológicos e desenvolvimentais (como a construção de nicho e os vieses do desenvolvimento) compartilham certo poder explicativo com a seleção natural no que diz respeito ao direcionamento e à taxa evolutiva das formas dos seres vivos; (2) quanto à ideia de herança exclusivamente – ou preferencialmente – genética comumente presente na síntese moderna, a síntese estendida propõe a *herança inclusiva*, que amplia a noção de herança para além dos genes, considerando, por exemplo, heranças epigenética, ecológica e social; (3) sobre a ideia de variação aleatória e originada geneticamente, a síntese estendida propõe a *variação fenotípica não-aleatória*, de acordo com a qual a variação tem origem nos processos desenvolvimentais (o que inclui a genética, mas também a epigenética, o ambiente etc.) e estes, por sua vez, possuem diversos vieses que permitem que certas variantes fenotípicas se tornem mais prováveis que outras; (4) em oposição ao gradualismo, a síntese estendida incorpora a ideia de *taxa variável de mudança*, que reintroduz uma antiga ideia que surgiu nas bases da síntese moderna – e que também já reapareceu nas discussões sobre o equilíbrio pontuado –, na qual se assume que a taxa de mudança evolutiva é variável, podendo ser muito rápida ou muito lenta a depender dos contextos e dos organismos; (5) quanto ao gene-centrismo, comum na

síntese moderna, a síntese estendida propõe uma *perspectiva centrada no organismo*, assumindo que os organismos não podem ser determinados por, ou reduzidos às informações contidas em seus genes, passando a considerar a importância de uma perspectiva holística; e, por fim, (6) quanto à tese extrapolacionista de que a macroevolução é o acúmulo de microevoluções, amplamente aceita na síntese moderna, a síntese estendida assume que macroevolução está associada a outros processos além dos populacionais (seleção natural, deriva, fluxo gênico etc.), possuindo padrões e processos específicos e, portanto, não poderia ser simplesmente reduzida a microevoluções.

Tais comparações são relevantes para facilitar a compreensão do que está sendo proposto como soluções para as lacunas da síntese moderna. Contudo, ainda é controverso dizer que estamos, de fato, caminhando para uma nova síntese evolutiva, na forma de uma síntese estendida da evolução (LALAND et al., 2014; WRAY et al., 2014). Muitos pontos propostos pelos defensores da síntese estendida, como a causação recíproca e a herança inclusiva, ainda estão em grande discussão e necessitam de maior suporte empírico e teórico. Mas é inegável que a biologia evolutiva está passando por um momento de revisão e reestruturação de seu arcabouço teórico, o que, conseqüentemente, tem modificado nosso olhar sobre a evolução biológica.

É importante deixar claro que não estão em discussão as teses largamente aceitas de que os seres vivos evoluem, de que há uma ancestralidade comum entre os seres vivos e de que a seleção natural é um processo importante na evolução, o que significa que estas mudanças teóricas ainda mantêm a compreensão da evolução dentro dos marcos darwinistas (GOULD, 2002; ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Contudo, importantes críticas giram em torno, de um modo geral, de alguns aspectos que se tornaram comuns ao longo do desenvolvimento da teoria evolutiva, como, por exemplo, o foco quase exclusivo sobre genes como mediadores ou mesmo unidades de herança, controle fisiológico, desenvolvimento e seleção – o chamado *gene-centrismo* (BURBANO, 2006) – e a compreensão de toda e qualquer característica de uma espécie como uma adaptação e, logo, produto da seleção natural apenas – o chamado *adaptacionismo* (GOULD; LEWONTIN, 1979; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2008). A partir destas críticas, direta e indiretamente, têm surgido uma série de questões, muitas ainda sem uma resposta aceita consensualmente, como: Podemos definir a evolução biológica apenas como a mudança das frequências alélicas de uma população? A seleção natural é suficiente e necessária para explicar todos os fenômenos evolutivos? Existem outros processos evolutivos relevantes para explicar a evolução, além dos processos microevolutivos classicamente abordados (seleção

natural, deriva genética, mutação, recombinação e fluxo gênico)? A herança genética é a via de herança mais importante para se entender as variações nos organismos? A macroevolução deve ser entendida exclusivamente como um acúmulo de microevoluções? O processo evolutivo é sempre gradual?

Neste cenário, tenho me posicionado a favor da síntese estendida da evolução, o que certamente tem influência sobre o desenvolvimento deste trabalho. Mas não posso perder de vista que a reestruturação do pensamento evolutivo proposto pelos defensores desta síntese está longe da ampla aceitação na comunidade científica. Desta forma, ao longo deste trabalho, busquei caminhar preferencialmente em um território mais neutro, ainda que muitas vezes negligenciado pelo ensino de evolução – tanto no ensino básico quanto no superior. Contudo, como será evidente mais adiante, no que se refere ao extrapolicionismo (ainda dominante na comunidade científica), tomarei um posicionamento mais definido.

3 POR QUE A EVOLUÇÃO É IMPORTANTE PARA A BIOLOGIA?

Como dito na seção anterior, a teoria darwinista da evolução é um dos principais eixos estruturadores e integradores do conhecimento biológico atual. Sendo assim, seria de se esperar que, por consequência, o ensino de evolução fosse um dos eixos estruturadores e integradores do ensino da própria biologia, mas isso não tem ocorrido na prática escolar (TIDON; LEWONTIN, 2004; ANDREATTA; MEGLHIORATTI, 2008). Contudo, antes de abordar sobre a importância e os desafios do ensino de evolução, é importante pontuar as principais razões que conferem a esta teoria a qualidade de estruturadora e integradora do conhecimento biológico.

É relevante dizer que o pensamento evolutivo foi fundamental para a construção da biologia como uma ciência autônoma e legítima. De um modo geral, os estudos que envolviam os seres vivos até meados do século XVIII não consideravam a existência de uma ciência unificada dos sistemas vivos (FOUCAULT, [1966]1987). Existia, até então, disciplinas separadas, como anatomia, zoologia, botânica, fisiologia etc., que não entendiam a vida como um fenômeno único (MEYER; EL-HANI, 2005). Desta maneira, é possível dizer que não existia, de fato, uma ciência legítima e autônoma que englobasse todas as diferentes ciências dedicadas aos sistemas vivos. Ou seja, até então, não poderíamos dizer que existia a biologia, tal como a conhecemos (FOUCAULT, [1966]1987).

O termo “biologia” com o sentido que conhecemos hoje⁴ só apareceu em 1802, cunhado independentemente por Gottfried Treviranus e Jean-Baptiste de Lamarck, quando a ideia de unificação entre as diferentes ciências dos seres vivos começou a se consolidar. Contudo, é com o darwinismo que a consolidação da biologia, como uma ciência unificada, veio a tomar uma forma mais consistente. A teoria da evolução proposta por Darwin foi fundamentada na reunião de conhecimentos de uma diversidade de áreas que cuidavam de fenômenos aparentemente independentes – como a embriologia, a anatomia, a fisiologia, a botânica e a zoologia – em um argumento único e consistente (MEYER; EL-HANI, 2005). Desta forma, Darwin unificou elegantemente, pela primeira vez, da anatomia e do desenvolvimento dos organismos ao comportamento e as interações com o meio. Mais que isso, agora não fazia sentido, por exemplo, pensar a botânica sem considerar suas relações com a zoologia, uma vez que todas as espécies teriam um ancestral em comum em algum momento da história da vida – em outras palavras, tanto a botânica quanto a zoologia teriam como objeto de estudo diferentes linhagens da mesma coisa, que é a vida.

Durante a síntese moderna (que vale lembrar, também é uma teoria darwinista da evolução), essa integração chegou a um grau mais profundo que o darwinismo original, especialmente em razão das considerações advindas da genética e da biologia molecular e celular. E, atualmente, com a sua ampliação (cenário em que surge a proposta da síntese estendida), vemos novamente outro movimento de integração de áreas da biologia que tiveram menor importância nos momentos anteriores. Dito isso, fica claro que a teoria da evolução, especialmente esta fundada em bases darwinistas, cumpre um importante papel de integrar o conhecimento biológico, justificando sua qualidade de eixo estruturador e integrador, mencionado no começo desta seção. Fica claro, então, que não faz sentido que o ensino de biologia negligencie o ensino de evolução, caso contrário, estaríamos ensinando uma biologia incapaz de estabelecer conexões consistentes entre suas diversas subáreas.

É bem verdade que certas perguntas em biologia não exigem conhecimento sobre evolução. Por exemplo, numa aula de biologia, não é estranho que os estudantes queiram saber sobre como as plantas obtêm nutrientes do solo, quais as fases de desenvolvimento de uma

⁴ O termo “biologia” já havia aparecido antes da proposta de Lamarck e Treviranus, contudo não com o sentido de uma ciência unificada. Por exemplo, McLaughlin (2002) menciona que um dos primeiros usos do termo está relacionado com o naturalista Michael Hanov. O termo Biologia, em Hanov, englobava a Botânica e a Zoologia, contudo funcionava como uma categoria ampla e não representava uma ciência propriamente dita. Para Hanov, a Botânica e a Zoologia estariam no mesmo patamar da Geologia, ou seja, ambas eram ciências bem definidas e independentes. Já a Biologia, para Hanov, seria um termo similar ao termo Geociências, o qual se refere a um agrupamento de ciências independentes com alguns aspectos em comum.

borboleta ou como uma bactéria se reproduz. Estas questões são importantes para o conhecimento biológico, mas é importante notar que elas podem ser respondidas de modo legítimo – ainda que de forma incompleta – sem qualquer abordagem evolutiva, bastando recorrer à fisiologia e anatomia vegetal, à biologia do desenvolvimento e à biologia celular, respectivamente. Contudo, há questões igualmente importantes que muitas vezes surgem em sala de aula e que exigem que a evolução seja necessariamente levada em conta, como quando se quer saber o porquê de as aves terem penas, o porquê do surgimento de superbactérias em hospitais ou o porquê da forma similar entre tubarões e golfinhos. Estas questões são diferentes das primeiras, pois depende de entender o porquê de uma determinada característica existir em uma determinada linhagem e de onde esta característica se originou, ao invés de buscar apenas saber como ela funciona, desenvolve ou é caracterizada.

Entender a razão de existir e a origem de certas características remete a conhecer a história da linhagem que a possui (MEYER; EL-HANI, 2005). Consideremos um exemplo: Por que as aves possuem penas? Poderíamos responder que as penas possibilitam o voo e elucidar todas as características que permitem a aerodinâmica das penas e seu papel na física do voo. Poderíamos, também, estudar o desenvolvimento das aves e entender qual porção do tecido embrionário origina as penas. É inegável que a compreensão do papel das penas no voo das aves ou sua origem embrionária é capaz de responder parte da pergunta, mas se limitar a estas respostas deixaria algo importante passar. Quando olhamos a história da linhagem das aves e dos seus antepassados, fundamentados nos conhecimentos de paleontologia, genética, sistemática e biologia do desenvolvimento, notamos que as penas surgiram antes das primeiras aves e com uma função completamente diferente do voo. As primeiras penas são originadas a partir de modificações em filamentos pré-existentes na pele de certas linhagens de dinossauros, cumprindo funções relacionadas com, por exemplo, o refinamento da percepção tátil, *display* sexual ou de intimidação e a regulação térmica – sendo ainda controverso afirmar qual função se estabeleceu primeiro (CLARKE, 2013; ZHOU, 2014; PERSONS IV; CURRIE, 2015). Contudo, na linhagem das aves, estas estruturas, por também oferecerem resistência ao ar, possibilitaram o voo, sendo esta função provavelmente uma das mais derivadas. Ou seja, as aves possuem penas porque filamentos dérmicos modificados surgiram em seus ancestrais para cumprir funções bastante diferentes do voo, sendo este muito posterior na história evolutiva das penas – sendo assim, o voo não explica o porquê de as penas existirem, podendo, no máximo, explicar por que alguns tipos de penas, atualmente, possuem formato aerodinâmico. De maneira semelhante, olhar para a origem embrionária das penas nos informaria sua proximidade com

tais filamentos (embora exista certa dificuldade, uma vez que não temos acesso detalhado ao desenvolvimento embrionário dos dinossauros não-avianos), mas não permitiria entender completamente o contexto ambiental e histórico relacionado com a mudança evolutiva nestes filamentos, bem como a fixação da característica na linhagem.

Meyer e El-Hani (2005), também problematizando a origem das penas das aves – entre outros temas –, trazem uma analogia interessante (se valendo de um exemplo externo à Biologia) sobre a necessidade de considerar a história das linhagens, ou seja, a evolução, para se responder certas questões de modo apropriado.

É como se à pergunta “por que o World Trade Center caiu, no dia 11 de setembro?” respondêssemos: “porque aviões se chocaram com as torres e o impacto, associado aos efeitos do incêndio, danificaram a estrutura dos prédios, levando ao seu colapso”. Essa resposta é correta, mas deixa de fora informações valiosas sobre os eventos que resultaram na queda das torres gêmeas. Esses eventos têm suas raízes nas tensões históricas entre movimentos islâmicos extremistas e o Ocidente, relacionadas, entre outros fatores, à presença norte-americana no Oriente Médio. Para compreender a queda das torres num contexto mais amplo, precisamos entender o processo histórico que conduziu até esse evento. Podemos aplicar esse mesmo tipo de raciocínio à investigação do universo biológico. Gostaríamos de responder por que, dentre os seres vivos atuais, são as aves que possuem penas – afinal, é plenamente concebível um mundo em que existam diversos animais, mas nenhum com penas. Gostaríamos também de compreender as etapas evolutivas que explicam a origem das penas, a partir de um ancestral sem penas. [...] (MEYER; EL-HANI, 2005, p. 14)

Fica evidente que há questões em biologia que necessitam da abordagem evolutiva, por meio da qual as linhagens de seres vivos devem ser vistas a partir de uma perspectiva histórica. Esta abordagem torna imprescindível considerar que as linhagens mudam ao longo do tempo e que suas características atuais dependem do seu passado, remetendo à necessidade de compreender como e por que mudanças ocorreram em sua história. Por meio desta compreensão é que podemos conferir sentido à existência das características dos organismos vivos; afinal de contas, se a história de uma determinada linhagem tivesse tomado qualquer outro caminho no passado, é possível que muitas das suas características que conhecemos simplesmente não viessem a existir.

Esta perspectiva tem uma importante implicação para a biologia e ciências afins. Nas áreas da biologia molecular e celular, por exemplo, este conhecimento nos permite entender o complexo emaranhado de rotas metabólicas e de sinalização, originados a partir de rotas ancestrais mais simples que, ao longo da história da vida, perderam, ganharam ou mudaram rotas e funções (CUNCHILLOS; LECOINTRE, 2002, 2007; COPLEY; SMITH; MOROWITZ, 2007). Na genética, permite-nos entender a origem da própria estrutura do DNA, dos cromossomos e de fragmentos de DNA sem função, entre outras coisas (FORTERRE, 2002).

Em outras ciências da vida, como agronomia, veterinária e medicina, também nos permite entender a origem da resistência em pragas, parasitas e microrganismos patológicos e orientar ações para o controle da população destes organismos (MEYER; EL-HANI, 2005). Sendo assim, a compreensão e a atenção para as causas históricas conferem à evolução um importante papel para o conhecimento biológico, possibilitando oferecer respostas a questões de grande relevância, indo além da descrição das estruturas e dos processos biológicos, ao explicar a razão de estes fenômenos serem como são. Com isso, o papel do ensino de evolução tem sua importância reforçada no ensino de biologia, uma vez que oferece uma visão sobre a biologia que vai além da simples descrição das características dos organismos sem qualquer suporte convincente sobre a existência das mesmas.

Contudo, há ainda muitas outras questões relevantes na biologia, além da origem e existência das características de uma linhagem, sobre as quais a evolução é capaz de lançar luz. Por exemplo, graças à compreensão de que os seres vivos são aparentados e de que cada linhagem possui sua própria história evolutiva é que podemos responder questões como: “Por que encontramos tanta semelhança anatômica entre os membros posteriores dos mamíferos, como baleia, morcegos e humanos, ainda que estes organismos sejam muito diferentes?”. Neste tipo de questão busca-se entender as similaridades que encontramos nos mais diversos seres vivos. Também há questões evolutivas que voltam-se para o oposto do que foi citado anteriormente, por tratarem de buscar compreender a grande diversidade de espécies, como: “Por que há tanta diversidade de besouros?” ou “Por que a biodiversidade brasileira é maior do que a europeia?”. Tais questões sobre diversidade tangenciam aquela que é uma das mais importantes questões da biologia evolutiva: “Como se originam novas espécies?”. Todas estas questões, referentes à similaridade, à diversidade e à origem de espécies, dependem de se considerar a história das linhagens e os processos de transformação das espécies, ou seja, a evolução (MEYER; EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 2006; RIDLEY, 2006).

Por fim, não podemos esquecer que os seres vivos estão intimamente ligados ao mundo físico em que vivem. Ou seja, a evolução da vida está fortemente ligada à evolução do próprio planeta e vice-versa. Esta relação da história dos seres vivos com a do planeta nos permite entender padrões que podem ser úteis para compreender e agir sobre, por exemplo, as mudanças ambientais que vivenciamos atualmente. Compreender esta relação tem um grande potencial e valor educacional – inclusive, de maneira interdisciplinar, pois questões que adentram nestes tópicos extrapolam a própria biologia.

Todas as razões aqui citadas compõem uma justificativa da importância da evolução para a biologia, bem como do seu ensino. Por meio da teoria darwinista da evolução, a biologia alcançou uma unidade como ciência que possibilitou sua autonomia. E, como mencionado acima, este aspecto por si só já é capaz de justificar a evolução como integradora e estruturadora do conhecimento biológico. Além disso, esta teoria nos permite entender as linhagens de seres vivos como entidades históricas e, assim, tem dado sentido a várias questões referentes à razão de existir de determinadas características, similaridades entre os organismos, diversidade de espécies e origem – e, até mesmo, extinção – de linhagens. Dito isto, o ensino de evolução é fundamental para que o ensino de biologia faça sentido e possa ter seu conteúdo integrado de modo coerente na sala de aula.

4 O ENSINO DE EVOLUÇÃO NO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO

No contexto brasileiro do ensino de biologia, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) reconhecem a relevância do ensino de evolução na biologia. É sugerido, neste documento, que muitos dos conteúdos das aulas de biologia sejam fundamentados num enfoque evolutivo-ecológico (BRASIL, 2000). A relevância do ensino de evolução se torna mais evidente nos PCN+ (BRASIL, 2002), propostos como orientações complementares aos PCNEM, e nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) (BRASIL, 2006), que reforçam a importância da evolução no ensino de biologia, colocando-a numa posição central e unificadora no estudo da biologia. Mais que isso, esses documentos também sugerem que este tema não deve apenas compor um bloco de conteúdos tratados em algumas aulas, nem que a sua presença ao longo de diferentes conteúdos deve representar sua diluição; muito pelo contrário, é sugerido que sua articulação com os demais assuntos deva se constituir como uma linha orientadora do tratamento de diversos conteúdos nas aulas de biologia. Esse papel concedido a evolução encontra-se explicitado, por exemplo, no seguinte trecho da OCEM:

Um tema de importância central no ensino de Biologia é a origem e evolução da vida. Conceitos relativos a esse assunto são tão importantes que devem compor não apenas um bloco de conteúdos tratados em algumas aulas, mas constituir uma linha orientadora das discussões de todos os outros temas. [...] é importante assinalar que esse tema deve ser focado dentro de outros conteúdos, como a diversidade biológica ou o estudo sobre a identidade e a classificação dos seres vivos, por exemplo. A presença do tema origem e evolução da vida ao longo de diferentes conteúdos não representa a diluição do tema evolução, mas sim a sua articulação com outros assuntos, como elemento central e unificador no estudo da Biologia. (BRASIL, 2006, p. 22)

No entanto, mesmo com toda a importância atribuída ao ensino de evolução nestes importantes documentos⁵, ensinar este tema ainda se mostra repleto de obstáculos (TIDON; LEWONTIN, 2004; ANDREATTA; MEGLHIORATTI, 2008). Longe de constituir um eixo integrador do currículo do ensino médio, a evolução é tradicionalmente tratada apenas como mais um conteúdo específico e, mesmo com sua importância reconhecida em teoria, na prática tem lhe sido dada pouca relevância no currículo escolar de biologia, muitas vezes sendo colocada entre os últimos itens do currículo (BIZZO; EL-HANI, 2009), a tal ponto que muitos professores, por limitações do tempo escolar, nem mesmo chegam a abordá-la.

Nota-se que vários temas da biologia são tratados em sala de aula a partir de uma perspectiva predominantemente descritiva, deixando-se de lado praticamente toda a contribuição advinda da perspectiva evolutiva (CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011). Por exemplo, a diversidade dos seres vivos, produto do processo evolutivo, é tratada com frequência como uma série de seres vivos sem conexões evolutivas entre si e sem menção aos processos subjacentes à origem das espécies, bem como de suas adaptações, ou dos clados superiores na hierarquia taxonômica (ROCHA et al., 2007; AMORIM, 2008). Outro caso semelhante ocorre no tratamento de toda anatomia e fisiologia humana, disciplinas ensinadas quase exclusivamente a partir de uma perspectiva funcional, sem qualquer recurso à evolução para explicar as características do corpo humano, desconsiderando-se uma análise comparada e relacional entre os humanos e os outros organismos vivos. Tal maneira de tratar a evolução, além de contrariar completamente o que é proposto nos documentos nacionais para o ensino médio, descaracteriza completamente seu papel integrador no ensino de biologia. O cenário é ainda mais preocupante quando atentamos que no ensino superior a situação com frequência é semelhante (AMORIM, 2008), o que tem resultado num ciclo de retroalimentação deste estado do ensino de evolução na educação básica, já que é no ensino superior que se formam professores e autores de materiais didáticos.

Além destes problemas, não podemos esquecer de que durante as aulas de evolução não é incomum existirem conflitos entre seu conteúdo e certas perspectivas religiosas, que muitas vezes afloram na sala de aula trazidas por alguns estudantes e, até mesmo, pelos

⁵ No momento da construção, elaboração e investigação deste trabalho, estes documentos eram válidos – e ainda o são, em certa medida. Contudo, a educação pública brasileira está passando por reformulações importantes – por exemplo, com a proposta de criação da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) –, de modo que os PCNs e o OCEM perderão validade como orientadores do ensino em nosso país. De qualquer forma, é esperado que estas mudanças não irão afetar negativamente a importância do conteúdo de evolução para o ensino de biologia.

professores (SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2004; SILVA et al., 2013; DORVILLÉ; SELLES, 2016). Fundamentadas no criacionismo⁶, estas perspectivas se opõem muitas vezes ao ensino de evolução, defendendo, geralmente, a imutabilidade das espécies, o lugar especial do ser humano e uma Terra jovem⁷, explicando a origem, diversidade e características das espécies a partir da sabedoria e vontades divinas. Comparativamente, esta forma de entender o mundo oferece uma explicação bastante diferente da perspectiva evolutiva (especialmente, da darwinista), que assume a mutabilidade das espécies, a inexistência de um lugar especial para qualquer espécie, a ideia de tempo profundo⁸ e um discurso que explica a origem, diversidade e características das espécies a partir de uma abordagem exclusivamente naturalística. Esta divergência na forma de entender o mundo muitas vezes provoca controvérsias, gerando impactos diretos no ensino de evolução em dois espaços distintos: na sala de aula e nos espaços políticos.

Dito isto, é importante reconhecer que a sala de aula é um ambiente multicultural por natureza (EL-HANI; MORTIMER, 2007; BAPTISTA, 2010). Sendo assim, torna-se um espaço onde diferentes visões de mundo quase inevitavelmente se encontram, uma vez que os conceitos científicos são discutidos em um ambiente em que a ciência não é a única voz legítima. Dentro deste contexto, nas aulas de evolução, surgem controvérsias que orbitam em torno de uma –

⁶ É importante ter em mente que o criacionismo não é homogêneo, existindo uma diversidade de modalidades e vinculados a diferentes religiões. Aqui, me refiro especialmente ao criacionismo relacionado ao cristianismo, em razão da sua influência no contexto brasileiro e sua comum oposição ao ensino de evolução. Ainda assim, este criacionismo cristão também não é homogêneo, existindo desde modalidades muito literalistas (que consideram a revelação do livro sagrado de modo literal e inquestionável) a modalidades que aceitam a evolução, desde que guiada por Deus (ABRANTES; ALMEIDA, 2006; MEYER; EL-HANI, 2013). Em comum, possuem a crença em um Deus criador que se revelou por meio da Bíblia, mas nem sempre concordam sobre como interpretá-la ou como Deus age sobre o mundo.

⁷ Podemos esclarecer estas três características da seguinte maneira: (1) A ideia de imutabilidade das espécies está contida no fixismo. O fixismo é uma visão de mundo, bastante aceita até meados do século XVIII, que assume que o mundo é imutável. No que se refere aos seres vivos, ao se associar com o criacionismo, o fixismo se manifesta na visão de que os seres vivos foram planejados perfeitamente segundo a vontade divina e, portanto, permaneceram imutáveis desde sua criação. (2) Já a ideia de lugar especial da espécie humana está relacionada com a perspectiva de que o ser humano, por ser a principal criação de Deus, possui legitimamente um lugar especial no mundo, acima de todas as outras espécies. Essa ideia não se sustenta na biologia evolutiva, já que os humanos são encarados como apenas mais uma espécie que evoluiu pelos mesmos processos que todas as outras. (3) E a ideia de Terra Jovem é uma visão de mundo que admite que o planeta Terra é relativamente recente, possuindo cerca de 5.700 a 10.000 anos de idade. O que é bastante destoante do conhecimento geológico atual, que evidencia que o planeta possui cerca de 4,6 bilhões de anos. Dentro da perspectiva da Terra Jovem é praticamente inviável dar conta da mutabilidade das espécies, uma vez que esta mutabilidade exige um tempo muito mais amplo. É importante dizer que este ponto é um dos que apresentam menor consenso entre as diferentes formas de criacionismo, existindo até mesmo algumas interpretações que aceitam a idade da Terra tal como proposto pelas teorias geológicas.

⁸ Tempo profundo, do inglês *Deep Time*, é um conceito que faz referência a grande extensão do tempo da história do universo e do planeta em comparação ao tempo de uma vida humana, sendo normalmente medido em escalas de milhões e bilhões de anos.

bastante problemática e ingênua – questão: “Qual é a verdade sobre o mundo?”. Aqui temos, portanto, um terreno fértil para tensões na sala de aula. Como o cristianismo tem grande influência na sociedade em que vivemos (ALMEIDA, 2012; SILVA et al., 2013), é bastante comum que alguns estudantes cheguem às aulas de evolução com alguns pressupostos da visão criacionista e, conseqüentemente, acabem por ter dificuldades em entender a perspectiva evolutiva e/ou criem alguma resistência para aceitar ou compreender a evolução, especialmente quando o professor não possui suporte teórico e prático para lidar com estas tensões em sala de aula. Esses conflitos podem tomar proporções tão traumáticas que podem provocar uma recusa completa ao conteúdo por parte de alguns estudantes ou mesmo fazer com que alguns professores deixem de ensinar evolução, a fim de evitarem novas controvérsias – sendo bastante comum que professores em formação, já prevendo estas possibilidades, fiquem angustiados quando pensam em tratar do tema em sala de aula (SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2004).

Contudo, são nos espaços políticos que o criacionismo se lança em uma empreitada mais preocupante contra o ensino de evolução. Nestes espaços, alguns políticos religiosos, fundamentados nos criacionismos mais literalistas e conservadores, buscam impedir o ensino de evolução nas escolas e/ou adicionar o criacionismo ao currículo escolar como uma alternativa à evolução, propondo e apoiando projetos de leis para estes fins (MARTINS, 2004; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2004; ABRANTES; ALMEIDA, 2006). De modo geral, tais propostas ferem a laicidade do estado e o direito à liberdade religiosa – o que já é motivo suficiente para negar sua efetivação por força de lei –, mas também buscam tirar legitimidade da teoria da evolução – o que, por sua vez, afeta a própria legitimidade da ciência (MEYER; EL-HANI, 2013) – ou dar legitimidade científica ao criacionismo perante a sociedade.

Outro obstáculo recorrente para o ensino de evolução está relacionado à polissemia de muitos dos seus conceitos. Vários termos da biologia evolutiva foram incorporados e reinterpretados pelo e a partir da linguagem social cotidiana, adquirindo assim vários significados. Ou seja, para um único termo, vários significados foram construídos na medida em que trocas de informações se estabeleceram entre o conhecimento científico e o conhecimento geral. Alguns destes significados, por serem comumente utilizados no senso comum, corriqueiramente fazem parte do conhecimento prévio dos estudantes. Como, por exemplo, o próprio significado de evolução, que no senso comum remete à ideia de progresso e melhora (MEGLHIORATTI; CALDEIRA; BORTOLOZZI, 2006), enquanto na biologia evolutiva atual remete à ideia de mudança ao longo de gerações. Alia-se a esta problemática o fato de que, normalmente, os professores não buscam conhecer devidamente o conhecimento

prévio dos estudantes quanto ao conteúdo de evolução, o que impossibilita conhecer a polissemia presente no contexto da sala de aula. Tal aspecto provoca uma grande barreira na comunicação entre os professores e seus alunos, podendo reforçar ou criar dificuldades para que os estudantes compreendam o tema. Além disso, muitos dos conceitos usados em evolução são contra-intuitivos, por não serem facilmente percebidos pela experiência comum, como os conceitos de adaptação e seleção (SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2014). Uma consequência bastante comum desta situação é o uso mais frequente de significados alternativos para estes termos pelos estudantes – por serem mais intuitivos, embora inadequados cientificamente –, mesmo quando os professores cuidaram de trabalhar tais significados considerando os conhecimentos prévios dos estudantes.

Com base no que foi apresentado até então, nota-se que existem muitos tipos diferentes de obstáculos para o ensino e a aprendizagem da evolução, passando por problemas na organização curricular, na formação de professores, conflitos com perspectivas religiosas e a polissemia dos termos usados pela biologia evolutiva, entre outros que nem cheguei a mencionar. Devido à natureza muito variada e complexa destes obstáculos, possuindo causas e consequências bastante diferentes e, portanto, exigindo soluções específicas, não será viável apresentar neste trabalho um detalhamento de todos eles. Contudo, é possível fazer um recorte, focando em um obstáculo específico.

Como dito anteriormente, a evolução é um importante eixo integrador da biologia e é esperado que isto esteja refletido no ensino de biologia. Contudo, no contexto do ensino médio brasileiro, o próprio currículo tradicional de biologia costuma não contemplar a evolução como eixo de integração. Vários temas da biologia são tratados sem qualquer perspectiva evolutiva e o tema evolução fica restrito, muitas vezes, a um bloco isolado de conteúdos. Neste contexto, os estudantes devem ser capazes de estabelecer a ponte entre o conteúdo de evolução e todos os outros conteúdos da biologia, para assim integrá-los. Mas de que maneira os estudantes poderiam desenvolver essa habilidade, uma vez que nenhuma ou praticamente nenhuma relação clara entre a evolução e estes outros temas é ensinada no ensino médio?

A realidade é que não é esperado que o ensino de biologia tradicional, como um todo, seja capaz de desenvolver essa habilidade de integração nos estudantes. Há dois caminhos possíveis que podem ser fundamentais para resolver este problema: (1) reorganizar o currículo de biologia no ensino médio, modificando a abordagem de todos os temas da biologia e trazendo um equilíbrio entre as abordagens mais descritivas e as abordagens evolutivas, ou (2)

reorganizar e modificar o bloco de conteúdo (ou unidade) voltado para o tema evolução no ensino médio. A primeira opção é uma medida de longo prazo, contudo muito mais completa, pois exige refletir sobre todo o ensino de biologia, analisando as abordagens de cada tema em específico e adaptando uma abordagem evolutiva adequada aos temas e aos contextos educacionais (Carvalho, Nunes-Neto e El-Hani (2011) caminham nesse sentido). A segunda opção se restringe principalmente a refletir sobre o bloco de conteúdos voltados para o ensino de evolução e não sobre todo o ensino de biologia, portanto, é mais fácil de ser planejada e implementada quando comparado com a primeira, sendo uma medida relativamente de curto prazo. Note-se que os dois caminhos não são – e não devem ser – mutuamente excludentes, podendo ser perfeitamente complementares.

Neste trabalho, darei atenção à forma como o tema evolução é tradicionalmente abordado nas salas de aula, especialmente no ensino médio. Desta maneira, o foco do trabalho estará alinhado com o segundo caminho apresentado acima. O primeiro passo, então, passa por compreender como o conteúdo de evolução é ensinado tradicionalmente, para então pensar o que é necessário mudar – se for necessário – para que os estudantes consigam ser capazes de reconhecer o papel de integração da evolução na biologia. Ou seja, antes de propor uma nova abordagem do tema evolução, temos que nos perguntar: Será que o bloco voltado para o tema evolução é capaz de oferecer bases para que os estudantes possam integrar os diferentes temas da biologia por meio da evolução?

Quando consideramos apenas o bloco de conteúdos que tradicionalmente constitui o ensino de evolução no ensino médio brasileiro, podemos perceber que, da mesma maneira que o currículo geral da biologia, a sua integração com outros temas da biologia ainda é muito distante do mínimo desejável. Esse bloco de conteúdos, geralmente, é constituído da contextualização histórica do tema – focando predominantemente numa oposição historicamente sem sentido e repleta de equívocos entre as teorias evolutivas de Lamarck e Darwin⁹ –, um conjunto de evidências da evolução e uma discussão dos processos e padrões

⁹ Não quero dizer com isso que não é importante falar destes cientistas, contudo, a forma tradicional de contextualizar historicamente as ideias dos mesmos está muito distante do ideal, pois, entre outras coisas, não considera que os dois são pesquisadores de épocas diferentes e muito importantes para suas respectivas épocas, o que torna sem sentido colocar Darwin como o vencedor desta disputa, como normalmente acontece. Além disso, as ideias de Lamarck e Darwin são comumente apresentadas de maneira incorreta (MARTINS, 1997; MEYER; EL-HANI, 2005; ALMEIDA; FALCÃO, 2010), com a teoria de Lamarck sendo resumida apenas à herança dos caracteres adquiridos e ao uso e desuso, enquanto a teoria de Darwin é resumida a uma ideia de seleção natural interpretada como a sobrevivência dos mais aptos. Além de não representar as ideias centrais destes dois cientistas e de contribuir com a manutenção de ideias equivocadas acerca do tema, essa abordagem não

evolutivos. É nesta última parte que devemos encontrar os principais elementos, em razão da sua abordagem, que dificultam a integração da biologia por meio da evolução e, por esta razão, será o foco neste trabalho.

Quanto aos processos evolutivos, geralmente apenas seleção natural e mutação ganham destaque em sala de aula (ROCHA et al., 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). A evolução, então, costuma ser apresentada como o resultado do filtro da seleção natural agindo sobre a variação produzida por mutação nas populações de organismos. É importante deixar claro que não é um problema dizer que as variações nas populações podem ser advindas de mutações, afinal, isto é um consenso amplamente aceito na biologia evolutiva. Também não é um problema dizer que a seleção natural filtra variações numa população e, conseqüentemente, produz adaptações, pois isto também é um consenso. Porém, é um equívoco reduzir a evolução apenas a esta forma de entender a variação e entender as características dos seres vivos, uma vez que existem muitos outros processos relativos à produção de variação e origem de características em uma população. Essa abordagem acaba por reforçar concepções exclusivamente gene-centristas e adaptacionistas – que são perspectivas bastante distantes do pluralismo de processos que tem se tornado emergente.

Quanto aos padrões evolutivos, normalmente é desenvolvida apenas a ideia de evolução gradual. Neste contexto, não são discutidas tendências evolutivas, causadas, por exemplo, devido a vieses desenvolvimentais ou ecológicos, que podem acelerar ou retardar a taxa evolutiva de uma linhagem e que podem explicar desvios ao gradualismo que evidenciamos no registro fóssil. Além disso, outros padrões evolutivos, como o proposto no equilíbrio pontuado, que apresentam críticas ao tradicional gradualismo, raramente ou nunca são mencionados.

O olhar sobre a macroevolução também é negligenciado (DODICK, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). Isso é facilmente notado quando observamos os exemplos que normalmente compõem o ensino tradicional de evolução: os clássicos exemplos do melanismo industrial em mariposas, do alongamento do pescoço das girafas e do aumento de resistência a antibiótico em bactérias. Todos estes são exemplos microevolutivos. Isso está provavelmente relacionado com o enfoque dominante ou exclusivo sobre seleção e mutação, bem como sobre o gradualismo, na medida em que restringe a evolução a mudanças genéticas graduais ao nível das populações,

costuma discutir profundamente rupturas importantes e com grande valor educacional, como a mudança do pensamento transformacional para o variacional/populacional.

enquanto a escala macroevolutiva só pode ser percebida acima do nível das populações, como detalharei mais à frente.

Em resumo, é perceptível que, no ensino tradicional de evolução, pouca ou nenhuma atenção é dada a outros importantes processos evolutivos, além da mutação e seleção natural, e padrões evolutivos, além do gradualismo. Para compreender esse cenário, devemos ter em mente que o ensino de evolução é, em todos os níveis de ensino, fundamentado predominantemente na síntese moderna da evolução – uma vez que ela é a teoria científica vigente para explicar a evolução biológica na ciência. Como mencionado na segunda seção desta introdução, a síntese moderna está baseada em certos pressupostos que, de um modo geral, sustentam que a evolução deve ser entendida como a mudança gradual das frequências alélicas em uma população, principalmente, pela ação da seleção natural. Esta forma de entender a evolução tem limitações, como detalharei mais a diante, e pode ser (e tem sido) utilizada para justificar o destaque em seleção natural, mutação e gradualismo no ensino de evolução, bem como para justificar o discurso extrapolicionista e a rara menção a outros processos e padrões evolutivos. Desta forma, o ensino de evolução tem apresentado muito mais uma visão gene-cêntrica e adaptacionista do que uma visão pluralista e integrada.

No entanto, devemos tomar cuidado para não encarar a síntese moderna como uma teoria evolutiva ineficiente em integrar diferentes áreas da biologia ou pouco fértil em termos de pluralidade de processos e de padrões. Como já mencionado, desde sua origem, a síntese moderna é reconhecida pelo seu poder de integrar as mais diversas áreas da biologia (reforçando os feitos do próprio darwinismo proposto por Darwin). Também não podemos ignorar que muitos processos evolutivos foram propostos ao longo do desenvolvimento da própria síntese moderna, como a deriva genética, o fluxo gênico e a recombinação – processos que também costumam ser negligenciados na abordagem tradicional para o ensino de evolução. Além disso, muitas das críticas às perspectivas exclusivamente adaptacionistas e gene-cêntricas emergiram em certas linhas de pesquisa da síntese moderna. Ou seja, é inegável que a síntese moderna oferece um arcabouço teórico bastante integrado e pluralista.

Em contrapartida, o mesmo não pode ser dito sobre a transposição desta teoria para o contexto da sala de aula, sobre a elaboração de materiais didáticos e recursos de divulgação científica ou mesmo sobre a formação de muitos biólogos e professores de biologia, uma vez que abordagens exclusivamente adaptacionistas e gene-cêntricas são comuns nestes contextos e muitas das recentes contribuições advindas de outras áreas da biologia para a biologia

evolutiva costumam ser negligenciadas. Diante deste quadro, emerge o desafio de trabalhar em sala de aula os conceitos da biologia evolutiva de forma a superar estas limitações e dar conta da conexão entre múltiplos processos e padrões evolutivos, assumindo uma abordagem pluralista e integrada¹⁰.

5 CONSTRUÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

De que maneira podemos abordar o pluralismo de processos e de padrões nas aulas de evolução? É possível utilizar várias estratégias para alcançar esse objetivo. O mais convencional seria simplesmente adicionar o conteúdo novo ao currículo. Ou seja, se o objetivo é ensinar o pluralismo de processos e de padrões, muitos poderiam pensar que bastaria que o professor trouxesse em seu planejamento de aula a definição e explicação dos conceitos de outros processos evolutivos, além da mutação e seleção natural, e de outros padrões evolutivos, além do gradualismo.

Mas é sabido que simplesmente adicionar o conteúdo não é garantia de aprendizado – especialmente no caso do tema evolução, cuja a aprendizagem enfrenta muitos obstáculos. A forma como tem se dado o ensino de ciências tradicionalmente, por apostar muito na memorização dos conceitos e não propiciar uma adequada contextualização destes, não parece apropriada para ensinar a evolução de modo integrado, ainda que considere e adicione os conteúdos referentes a pluralidade de processos e de padrões. Assim, apenas sobrecarregaríamos o ensino de evolução com mais conteúdos – o que é um problema diante dos desafios do tempo escolar –, dificultando a motivação e o engajamento dos alunos e o trabalho pedagógico dos professores. É necessário repensar também o modo como estes temas serão introduzidos e contextualizados, de modo a produzir um aprendizado de longo prazo e uma compreensão mais integrada. Pensando nisso, proponho que a pluralidade e a integração podem ser alcançadas por meio da narrativa de eventos macroevolutivos.

Ao longo da história do planeta Terra, podemos evidenciar o acontecimento de vários eventos macroevolutivos. Contudo, como já discutido, raramente ou nunca eles são

¹⁰ Na perspectiva que estou defendendo neste trabalho, uma abordagem pode ser considerada pluralista e integrada se (1) considera o pluralismo de processos e de padrões evolutivos e (2) consegue integrar os diferentes processos e padrões, assim como os diferentes campos da biologia, por meio do conhecimento evolutivo. Estes dois aspectos estão intimamente relacionados, uma vez que problemas evolutivos que consideram o pluralismo de processos e padrões dependem de considerar as contribuições de diferentes áreas do conhecimento biológico de modo integrado.

mencionados ou detalhados no contexto escolar (DODICK, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). Muito pelo contrário, no ensino de evolução, é muito mais comum o enfoque de eventos microevolutivos. Tradicionalmente, no ensino de evolução, e mesmo na comunidade científica, a macroevolução é considerada apenas como o somatório de vários eventos microevolutivos (ainda que de forma implícita). Desta perspectiva, para entender a macroevolução, bastaria extrapolar os processos microevolutivos para uma grande escala temporal, sem a necessidade de considerar quaisquer outros fatores. Conseqüentemente, praticamente toda a biologia evolutiva tem sido restringida às explicações da genética de populações (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010), área da biologia que teve papel central, na síntese moderna e até hoje se ocupa de um aspecto importante da evolução, a distribuição e mudança das frequências alélicas nas populações sob influência de processos como a seleção natural, deriva gênica, mutação, recombinação e fluxo gênico. A genética de populações se ocupa, assim, da mudança microevolutiva, o que é certamente necessário, mas insuficiente para o entendimento da evolução (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010).

Porém, essa 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 diversos 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; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). 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 e mesmo para a macroevolução. No entanto, é problemático abordar todos os fenômenos evolutivos apenas à luz das suas contribuições, construindo toda a explicação evolutiva mediante a extrapolação dos processos que acontecem ao nível das populações para escalas de análise que se situam, por vezes, muito acima do nível das populações (ERWIN, 2010; HUNEMAN, 2015).

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 ao nível da especiação e acima dele (DODICK, 2007; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; PADIAN, 2010; DIETRICH, 2010; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Para clarear a distinção e a relevância da micro- e da macroevolução, é útil exemplificar os tipos de questões envolvidas em cada uma destas escalas evolutivas.

Numa perspectiva microevolutiva, busca-se entender, por exemplo, razões subjacentes à fixação de características numa população ou espécie. Pode-se perguntar, por exemplo, “por que surgem superbactérias quando administramos antibióticos inadequadamente?” ou “por que os leões possuem juba?”. Estas perguntas tratam especificamente de mudanças em populações, portanto, são de natureza microevolutiva.

Já na perspectiva macroevolutiva, as questões são direcionadas, por exemplo, para as razões pelas quais certos clados se 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, as razões de certos contextos ambientais serem muito propensos ao surgimento e à preservação de novidades evolutivas, como novos planos corporais (*bauplans*), enquanto outros não. Ou seja, as questões macroevolutivas sempre tratam de entender fenômenos que envolvem espécies ou níveis taxonômicos acima das espécies.

Tomemos como exemplo um importante evento macroevolutivo, a Explosão do Cambriano (ocorrido há cerca de 520 milhões de anos, durante o período Cambriano), bastante conhecido pelo grande aumento da diversidade e disparidade das formas de metazoários bilaterais¹¹ num período geologicamente curto (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Neste evento temos alguns pontos que merecem muita atenção: (1) ao contrário do que se espera numa perspectiva gradualista, a disparidade das formas orgânicas (que diz respeito a diversidade de planos corporais) parece ter se estabelecido muito antes da irradiação das espécies de bilaterais; (2) a taxa da mudança evolutiva parece ter passado por momentos de grande intensificação, permitindo grandes mudanças em um tempo relativamente curto; (3) uma forte tendência para a formação de esqueletos mineralizados e aumento do tamanho corporal parece ter se estabelecido independentemente em diversas linhagens, inclusive em diferentes

¹¹ Os metazoários bilaterais correspondem a uma das principais linhagens de animais – compreendendo diversos clados altamente diversos, como os moluscos, os artrópodes e os vertebrados –, sendo marcadamente caracterizados pelo corpo com simetria bilateral e por possuírem três folhetos embrionários (endoderme, mesoderme e ectoderme).

linhagens de bilaterais; (4) parece ter se estabelecido uma intensa e permanente ruptura da estrutura ecológica durante a transição dos ecossistemas pré-cambriano (com maior estabilidade ambiental) para os ecossistemas que surgiram a partir do Cambriano (com baixa estabilidade ambiental) (BUTTERFIELD, 2007); (5) uma série de eventos de extinções em massa precederam eventos de irradiação, até culminar na Explosão do Cambriano, sendo relacionadas a grandes mudanças ambientais, como reorganização dos continentes, glaciações globais (como a *Snowball Earth*), alterações nas composições dos oceanos e da atmosfera e mudanças de temperatura (SHEN et al., 2010; SMITH; HARPER, 2013); e, por fim, (6) protagonismo (mas não exclusividade) da linhagem dos bilaterais que, de modo geral, diversificaram amplamente, dominaram diversos contextos ecológicos (alguns completamente novos) e remodelaram intensamente a paisagem ambiental.

Como dar conta de entender a Explosão do Cambriano focando apenas na fixação gradual das características em populações de espécies? A Explosão do Cambriano é um evento evolutivo complexo que envolve relações entre o ambiente, o desenvolvimento e a ecologia dos organismos envolvidos em uma grande escala temporal. Focar apenas na escala microevolutiva deixaria várias perguntas em aberto, como: Por que os bilaterais irradiaram e não outra linhagem de metazoários? Como explicar a tendência quase generalizada à formação de tecidos biomineralizados? Como profundas mudanças nas formas dos bilaterais se deram em poucas dezenas de milhões de anos? Por que a grande disparidade desta linhagem parece anteceder irradiação das espécies? Por que padrões semelhantes aconteceram em outros eventos macroevolutivos, como a irradiação dos mamíferos após a extinção dos dinossauros não-avianos? Estas perguntas dependem, por exemplo, de conhecer diferenças nas taxas de mudança evolutiva entre espécies de linhagens diferentes (o que envolve entender vieses desenvolvimentais e ecológicos) e sua relação com o contexto ecológico e ambiental, necessitando considerar abordagens que vão além da escala populacional.

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 ao nível de espécies ou acima, muito menos que processos populacionais não sejam capazes de produzir especiação e outros exemplos de fenômenos macroevolutivos. 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.

A esta altura, pode não estar claro, ainda, como o ensino de macroevolução é relevante para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado. Para argumentar nesse sentido, considero 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, o que favorece uma compreensão da evolução como uma das teorias integradoras do conhecimento biológico, na medida em que reúne esforços de diferentes áreas da biologia e pontos de vista para tratar de um mesmo problema evolutivo. Por exemplo, explicar parte das questões que envolvem a Explosão do Cambriano passa por considerar as contribuições da biologia evolutiva do desenvolvimento (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013), uma vez que esta área da biologia permite, por exemplo, entender mais detalhadamente os padrões presentes no desenvolvimento dos bilaterais e como pequenas mudanças nesses padrões, que podem ter sido influenciadas pelo contexto ambiental, parecem ter sido fundamentais para a origem da grande disparidade e rápida taxa evolutiva desta linhagem durante o início do Cambriano.

A biologia evolutiva do desenvolvimento, ou simplesmente evo-devo, têm fornecido valiosos conhecimentos acerca de como as formas dos organismos multicelulares se originam e se modificam, e também de como o desenvolvimento muda ao longo da evolução e quais suas consequências disso para os processos e padrões evolutivos (CARROL, 2006; ARTHUR, 2010; ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Uma das grandes contribuições desse conhecimento é a compreensão de que existem vieses desenvolvimentais (a exemplo do impulso e da restrição – do inglês *developmental drive* e *developmental constraints*, respectivamente), bem como, outros importantes fenômenos do desenvolvimento, como a canalização e a modularidade, que são fundamentais para se compreender tendências e mudanças de intensidade na taxa evolutiva, possibilitando explicar certos padrões evolutivos. Outra importante contribuição diz respeito a compreensão de que o desenvolvimento de um organismo é muito mais complexo do que a simples expressão de informações genéticas, dependendo fortemente da interação entre os genes, da física e da química do embrião e, até mesmo, das influências do ambiente externo, o que tem permitido explicar como pequenas mudanças no desenvolvimento, a exemplo de mutações em genes reguladores do desenvolvimento, podem causar grandes mudanças na forma do organismo. Desta maneira, a evo-devo tem permitido integrar conhecimentos de genética, embriologia, ecologia e evolução, além de reconhecer o papel explicativo dos processos desenvolvimentais para a biologia evolutiva, o que reforça sua importância na

compreensão de eventos macroevolutivos e no ensino de evolução de modo integrado e pluralista.

A exemplo da evo-devo, mas não exclusivamente ela, podemos perceber que diversas áreas da biologia podem ganhar espaço ao longo das narrativas de eventos macroevolutivos, como a ecologia, a sistemática, a paleontologia, a genética, a citologia etc. Além disso, as narrativas macroevolutivas 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 interdisciplinar¹². Por exemplo, a integração de conhecimentos sobre geologia, climatologia, ecologia e evolução nos permite estudar fenômenos associados a reorganização dos continentes ao longo do tempo ou a eventos de glaciações e suas implicações nos seres vivos, geralmente relacionados a ciclos de extinção e diversificação da vida. Mais uma vez usando o exemplo da Explosão do Cambriano, é sabido que vários eventos de glaciações globais (a *Snowball Earth*) e de reorganização dos continentes precederam a irradiação e diversificação de formas dos bilaterais no Cambriano (SHEN et al., 2010; SMITH; HARPER, 2013). Sugere-se que estas mudanças ambientais, além de outros efeitos, promoveram mudanças significativas na composição química dos oceanos, como o aumento da concentração de cálcio e fósforo, que, por sua vez, pode ter impulsionado o aumento da produção primária – promovendo mudanças na cadeia alimentar e aumento do oxigênio disponível –, causando extinção em massa de muitas espécies que compunham a fauna de Ediacara (fauna que antecedeu a do Cambriano), causado estresse fisiológico em muitas espécies – podendo influenciar em padrões epigenéticos – ou, ainda, ter induzido a mineralização dos tecidos nas diversas linhagens no Cambriano. Desta maneira, fica evidente que as narrativas macroevolutivas também exigem considerar aspectos ambientais de modo mais detalhado, o que permite a contribuição de outras ciências naturais, além da biologia.

Considerando tudo que foi discutido até aqui, considerar o ensino de macroevolução parece ser uma boa estratégia pedagógica para tratar da evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio – com outros ganhos secundários, como um aprendizado interdisciplinar e o aumento da motivação dos estudantes. Contudo, vale ressaltar, é possível

¹² 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 as suas próprias vidas. Ou seja, uma vez que, para um estudante, torna-se possível conhecer relações mais explícitas entre diferentes ciências, este pode tornar-se mais apto para resolver problemas no mundo real, que não se estrutura de acordo com os limites disciplinares.

desenvolver uma narrativa macroevolutiva sem uma abordagem pluralista e integrada – como geralmente ocorre nos raros casos em que narrativas de eventos macroevolutivos acontecem em sala de aula ou aparecem em livros didáticos –, no entanto, tal abordagem terá sérias limitações em seu poder explicativo e suas simplificações serão inconsistentes com o nosso atual conhecimento sobre biologia evolutiva.

Também é importante deixar claro que não se trata de propor, aqui, a mudança da prevalência de uma escala de análise, microevolutiva, para a prevalência de outra, macroevolutiva, uma vez que uma abordagem pluralista e integrada, necessariamente, exige considerar processos e padrões presentes nas duas escalas. A escala macroevolutiva, em complemento com a micro-, é essencial para a construção de uma compreensão coerente e plausível da teoria da evolução. Consequentemente, sua presença é fundamental para permitir maior aceitação e preencher lacunas no poder explicativo da teoria evolutiva, de modo a não abrir brechas para concepções equivocadas acerca da evolução – como abordagens exclusivamente adaptacionistas e o gene-centricas – ou, até mesmo, explicações sobrenaturais para eventos evolutivos complexos ou considerem o poder explicativo da evolução como indigno de crença. Este último ponto é extremamente relevante, já que não é raro que, ao longo das aulas de biologia, estudantes levantem questões que exijam explicações evolutivas complexas, que se distanciam do escopo da microevolução. Desta maneira, a ausência do ensino de macroevolução não apenas limita a compreensão integrada da biologia por meio da evolução, como também dificulta a plausibilidade e aceitação da própria teoria evolutiva, uma vez que o enfoque em microevolução não dá conta de explicar coerentemente muitos eventos evolutivos importantes para a biologia, especialmente os de natureza macroevolutiva – como os eventos de diversificação, as tendências evolutivas e as extinções em massa.

Em resumo, já vimos que a evolução é um dos temas integradores da biologia, mas que seu papel integrador tem sido negligenciado na prática educacional. Vimos também que, no ensino de evolução, apenas seleção natural e mutação recebem destaque – o que pode reforçar visões exclusivamente adaptacionistas e gene-centricas –, que pouca ou nenhuma atenção é dada a outros importantes processos e padrões evolutivos (inclusive outros processos microevolutivos, como a deriva genética) e que a macroevolução, quando mencionada, é tratada como um somatório de microevoluções. Tais aspectos têm limitado a compreensão da evolução como um eixo integrador do pensamento biológico, uma vez que a pluralidade de processos e de padrões, negligenciada no ensino tradicional, é um vetor poderoso para a integração. Por

estas razões proponho, então, o uso de narrativas macroevolutivas para contextualizar uma abordagem de ensino de evolução mais pluralista e integrada na sala de aula.

Com base em tudo que foi abordado até este ponto, posso então apresentar o problema de pesquisa educacional que norteia este trabalho: Como ensinar o conteúdo de evolução de modo pluralista e integrado nas aulas de biologia do ensino médio, considerando o ensino de macroevolução? Para responder esta questão, precisarei situar este trabalho nos marcos teórico-metodológicos que fundamentam e orientam esta pesquisa sobre o planejamento, o desenvolvimento, a implementação e a avaliação de uma inovação educacional.

6 PESQUISA DE *DESIGN* EDUCACIONAL

A intenção desta pesquisa não é somente defender a importância da inclusão do ensino de macroevolução e do pluralismo de processos e de padrões no ensino médio, mas também oferecer suporte teórico para o planejamento de inovações educacionais que visem implementar tal ensino. Contudo, deve-se ter em mente que a construção e investigação de inovações educacionais só se constitui, de fato, em uma atividade de pesquisa se esta atividade gerar compreensão teórica sobre o fenômeno pesquisado. Em razão disso, é necessário ter uma questão de pesquisa educacional clara a ser respondida e um desenho metodológico rigoroso e adequado.

Uma abordagem metodológica que oferece um modo adequado de propor questões de pesquisas acerca do aprimoramento de inovações educacionais, tais como sequências didáticas, é a Pesquisa de Design Educacional (*Educational Design Research*, ver PLOMP, 2009). Esta modalidade de pesquisa educacional 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 de suas características. Para tanto, esta modalidade de pesquisa pode ser organizada, como proposto por Plomp (2009), a partir de uma questão geral: Quais são as características de uma intervenção *X* para alcançar o resultado *Y* ($y_1, y_2, y_3...$) no contexto *Z*?

Note que a preocupação deste tipo de pesquisa gira em torno das características de uma determinada intervenção educacional para alcançar um determinado resultado em um determinado contexto. Portanto, baseando-se nesta questão geral da pesquisa de *design* educacional, a pergunta de pesquisa que norteia este trabalho é: Quais as características de uma

sequência didática fundamentada no ensino de macroevolução para promover o ensino de biologia evolutiva de modo pluralista e integrada em aulas de biologia do ensino médio? Ou seja, busca-se investigar quais abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, entre outras coisas, são fundamentais para se alcançar tal objetivo num contexto definido. A partir desta investigação, pode-se promover a compreensão teórica do fenômeno, no caso, do ensino de evolução, mas também se torna possível oferecer suporte para uma tomada de decisão mais informada com o intuito de aprimorar práticas educacionais.

Um dos tipos de estudo incluídos na pesquisa de *design* são os estudos de desenvolvimento de inovações educacionais (NIEVEEN; MCKENNEY; VAN DEN AKKER, 2006), que visam resolver problemas educacionais complexos por meio de uma pesquisa que possibilite a construção e validação de características amplamente aplicáveis de inovações educacionais. Este tipo de estudo envolve três etapas: a pesquisa preliminar, a fase de prototipagem e a fase avaliativa (PLOMP, 2009).

A primeira etapa corresponde à análise dos problemas e das necessidades educacionais referentes a um determinado tema em um determinado contexto de ensino e aprendizagem, envolvendo revisão da literatura pertinente e uso do saber docente de professores atuantes no contexto e engajados no estudo, que permita a elaboração de uma estrutura conceitual orientadora da inovação.

A segunda corresponde a ciclos de investigações em sala de aula, nos quais diferentes versões das inovações, chamadas de protótipos, são construídas, testadas, avaliadas e aperfeiçoadas em diversos contextos e com crescente quantidade de participantes. Nesta etapa, ao fim de cada ciclo, é realizada uma avaliação formativa, visando refletir sobre resultados parciais obtidos, com o intuito de reconhecer avanços e falhas importantes, que possam informar o refinamento dos próximos protótipos e, assim, contribuir para o aprimoramento da intervenção.

Por fim, na terceira etapa, é feita a avaliação dos vários protótipos (ciclos de estudo), objetivando concluir se a inovação proposta atingiu as expectativas (se os objetivos de ensino e aprendizagem planejados foram alcançados) e analisando quais princípios de design foram efetivamente validados. Assim, esta abordagem da pesquisa de design educacional pode modelar e desenvolver uma intervenção com a finalidade de resolver um problema educacional, ao passo que aprimora nosso conhecimento teórico e prático acerca dos princípios das intervenções bem-sucedidas, assim como do processo de desenvolvê-las.

Estas características amplamente aplicáveis de inovações educacionais são elementos constituintes dos princípios de *design*, ou princípios de planejamento. Definir estes princípios é fundamental para se dar o primeiro passo neste tipo de pesquisa, na qual é preciso estabelecer quais princípios de *design* serão investigados. Estes princípios são definidos por meio de ciclos de levantamento de problemas educacionais e planejamento de soluções (PLOMP, 2009) e são entendidos como produtos teóricos – que podem compor uma teoria de ensino específica para um dado domínio – que orientam a construção de uma inovação educacional. Ou seja, são estes princípios que orientarão de modo consistente a construção e implementação de uma determinada inovação educacional, sugerindo – como já mencionado – abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, entre outras coisas, fundamentais para se alcançar um determinado objetivo educacional num contexto definido.

Van den Akker (1999) propõe uma estrutura capaz de sistematizar de modo adequado estes princípios segundo as bases da Pesquisa de design educacional:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, então é aconselhável prover esta intervenção das características A, B e C [ênfase substantiva], e fazer isso por meio dos procedimentos K, L e M [ênfase procedimental], em razão dos argumentos P, Q e R.

A fim de dar maior clareza, passarei a adotar uma adaptação desta formulação de Van den Akker feita pelo Grupo de pesquisa GCPEC¹³ (SARMENTO, 2016) para enunciar os princípios de design:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, é aconselhável:

- (1) Adotar a característica A, para o propósito/função y_1 , realizando o procedimento K, em razão do argumento P.
 - (2) Adotar a característica B, para o propósito/função y_2 , realizando o procedimento L, em razão do argumento Q.
 - (3) Adotar a característica C, para o propósito/função y_3 , realizando o procedimento M, em razão do argumento R.
- (...)

Mais uma vez, é notável a importância de se considerar o objetivo a ser alcançado (Y) e o contexto (Z) de implementação para se construir uma intervenção educacional e para a elaboração de princípios para planejá-la. Contudo, a elaboração dos princípios também exige pensar em sua ênfase substantiva, em sua ênfase procedimental, bem como nas razões que sustentam e justificam teórica e empiricamente suas características.

¹³ Grupo Colaborativo de Pesquisa em Ensino de Ciências, coordenado por Profa. Claudia Sepúlveda, na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

A ênfase substantiva de um princípio de design se refere a características mais gerais da intervenção, ou seja, se refere ao que se aconselha fazer de modo generalizado para alcançar determinado objetivo educacional, mas não ao como fazer num contexto particular de aplicação (VAN DEN AKKER, 1999). Estas características substantivas, ao serem validadas ao longo dos ciclos de estudo da pesquisa de *design*, tornam-se generalizações que são parte de uma teoria de ensino domínio-específica.

Já a ênfase procedimental de um princípio de *design* trata das características requeridas para a implementação e realização de uma característica substantiva em uma inovação educacional (VAN DEN AKKER, 1999). Diferentemente das características substantivas, é esperado que os procedimentos sejam contexto-dependentes, ainda que exista alguma generalização possível. Ou seja, as características procedimentais são específicas dos contextos educacionais nos quais as inovações serão ou foram implementadas, portanto, sua generalização só seria possível mediante uma descrição detalhada do contexto de implementação – o que inclui o plano de curso da disciplina escolar, o número de aulas dedicadas ao ensino do tema, entre outros aspectos – que possibilite o reconhecimento de similaridades em relação a outros contextos educacionais, de modo que possa justificar a transferência dos procedimentos utilizados, com as devidas adaptações, por outros educadores ou pesquisadores para estes novos contextos.

Esta distinção entre a ênfase substantiva e a ênfase procedimental de um princípio de *design* nos permite atribuir certa independência a elas, de modo que seja possível, por exemplo, planejar e implementar diferentes conjuntos de características procedimentais para realizar uma mesma característica substantiva, ampliando, assim, a possibilidade de generalização de um princípio a diferentes contextos.

Como já deve ser perceptível a esta altura, uma expectativa central da Pesquisa de *Design* Educacional é a produção de generalizações teóricas que possam ser utilizadas em outros contextos (PLOMP, 2009). Estas generalizações consistem na compreensão teórica sobre princípios de *design* de uma determinada intervenção didática, mas também podem dizer respeito ao próprio processo de construção e investigação desta. Sepúlveda e colaboradores (2016) propõem duas formas de alcançar essa generalização ao longo de uma pesquisa de design. Tais generalizações podem ser pensadas em termos de generalizações situadas (SIMONS et al., 2003), ou seja, os dados relativos a um determinado contexto podem tornar-se evidências transferíveis para outros contextos conquanto haja conexão e similaridade entre eles

– sendo esta conexão e similaridade analisadas pelo educador que usará a inovação ou os princípios, portanto, transferindo o poder sobre a generalização do pesquisador para quem utiliza o conhecimento oriundo da pesquisa (ver SIMONS et al., 2013). Além disso, a possibilidade de generalização pode ser potencializada pela maximização da variedade de contextos (LARSSON, 2009), o que se torna possível pelo aumento de casos qualitativamente diferentes que compõem a base empírica, e não pela representatividade propiciada por uma amostragem extensa e randômica. Isso possibilita acomodar o efeito de variáveis de confusão que podem existir em diferentes contextos educacionais e que podem não dizer respeito ao que se quer investigar – como o relacionamento professor-aluno, o interesse e a motivação dos estudantes, o conhecimento prévio dos alunos, a estrutura da sala de aula etc., que são elementos que podem variar fortemente em diferentes turmas por razões diversas.

É fundamental a consideração do saber docente para a viabilização desta proposta no contexto real da sala de aula (SEPÚLVEDA; ALMEIDA, 2016). Para tanto, é imprescindível a organização da Pesquisa de *Design* Educacional como uma investigação colaborativa, na qual pesquisadores e professores da educação básica, em conjunto, desenham e desenvolvem protótipos de inovações educacionais, evitando tomadas de decisões unilaterais. Desta maneira, a elaboração dos princípios de *design* é orientada não apenas pela literatura científica, mas também pelos saberes experienciais de professores, que têm grande importância na reflexão sobre problemas educacionais complexos, bem como na proposição de soluções para tais problemas e na investigação das soluções propostas. Desse modo, pode-se diminuir a lacuna entre pesquisa e prática educacional, ou seja, a distância entre a produção de conhecimento pela pesquisa acadêmica e as práticas dos professores.

É importante dizer que pesquisas que se orientam por esta modalidade de pesquisa educacional inevitavelmente geram três produtos de grande importância (PLOMP, 2009). O primeiro, que representa o foco real da pesquisa, trata justamente da compreensão teórica acerca dos princípios de *design* pesquisados, essencial para se fazer sugestões de ensino, bem como investigar, desenvolver e implementar intervenções educacionais. O segundo produto é a própria intervenção educacional¹⁴ (que pode ser, por exemplo, uma sequência didática), a qual se origina da necessidade de pesquisar os princípios de *design*, com a finalidade de testá-los,

¹⁴ É importante deixar claro que o objetivo desta modalidade de pesquisa educacional é a produção e validação de princípios de *design*, que, como já foi dito, podem ser entendidos como generalizações teóricas. Sequências didáticas, por exemplo, acabam por ser produtos secundários por meio do qual os princípios são implementados, mas diferentemente dos princípios, uma sequência didática, bastante ancorada na ênfase procedimental, não possui o mesmo potencial de ser transponível para outros contextos de ensino.

durante a implementação da mesma, em um contexto real de sala de aula. E, por fim, o terceiro produto é a formação continuada e o desenvolvimento profissional de professores e pesquisadores educacionais, que é alcançada no processo colaboração entre os mesmos e que favorece a relevância, a qualidade e o progresso da pesquisa em ensino de ciências, bem como o próprio ensino.

Neste trabalho, investiguei os princípios de *design* – que foram desenvolvidos e refinados por meio de minha colaboração com um professor de Biologia do ensino médio – do primeiro protótipo de uma sequência didática para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio. Para tanto, é importante pensar em procedimentos e instrumentos de coleta e análise de dados adequados para investigar tais princípios. Neste sentido, utilizei dados coletados por (1) questionários que foram aplicados a todos os estudantes, antes, durante e logo após a implementação da intervenção didática, (2) entrevista com todos os estudantes e com o professor, após a implementação da sequência didática e (3) gravações de vídeo e observações do contexto da sala de aula. Foi necessária a construção ou adaptação de instrumentos de pesquisa próprios, uma vez que não foi possível encontrar material na literatura plenamente adequado aos interesses da pesquisa. A maneira como estes procedimentos e instrumentos foram estruturados e analisados, bem como a descrição dos princípios de *design* a serem investigados, será melhor detalhada nos próximos capítulos desta dissertação.

7 A ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DESTE TRABALHO

Uma dissertação visa, preparar e formar um pesquisador, bem como promover a comunicação do estudo realizado com a comunidade científica. Contudo, segundo Duke e Beck (1999), o formato tradicional de escrita de dissertação falha nestes dois aspectos, pois é pouco eficiente na disseminação do conhecimento produzido, que muitas vezes fica restrito a um grupo muito pequeno de pessoas e precisa ser adaptado para outro formato para ser melhor disseminado, e não treina o pesquisador em formatos científicos mais comuns ao seu cotidiano e futuro profissional (como os textos em formato de artigos científicos), uma vez que a dissertação – em seu formato tradicional – é um gênero de escrita que poucas vezes será repetido na vida de um pesquisador. Ainda que tenha seus méritos, estas limitações podem justificar o uso de formatos alternativos.

Pensando nisso, este trabalho será apresentado na forma de múltiplos artigos (DUKE; BECK, 1999), ou *multipaper*. Este formato de dissertação alternativo é constituído de artigos que se entrelaçam a partir de uma mesma temática ou problema de pesquisa, com a expectativa de aumentar a acessibilidade e comunicação dos trabalhos de conclusão de cursos de pós-graduação. Sendo assim, diferentemente do formato tradicional, cada capítulo da dissertação é um artigo com certa independência – tendo seu próprio resumo, introdução, revisão da literatura, questão de pesquisa, metodologia, resultados, conclusões e referências –, o que permite que possam ser publicados separadamente. Optei por organizar a dissertação em formato *multipaper* por acreditar que este me possibilita um maior desenvolvimento profissional como pesquisador, uma vez que a ação de escrever os capítulos em forma de artigos tem me preparado para uma importante prática de pesquisa, que é o desenvolvimento e divulgação de resultados dos estudos em formato de artigo. Além disso, como sugerem Duke e Beck (1999), o formato *multipaper* permite a elaboração de textos mais curtos (em comparação com uma dissertação monográfica) – o que facilita a leitura por educadores com pouco tempo disponível, que é uma realidade comum no contexto da educação básica no nosso país – e poupa que o autor da dissertação tenha que reescrever e reestruturar todo o texto após a defesa – acelerando o processo de publicação do material.

Contudo, é importante pontuar que, embora o formato *multipaper* permita uma maior eficiência na comunicação dos resultados de uma dissertação, ele também possui suas limitações. Uma consequência pouco elegante, ainda que necessária, é a repetição de informações, argumentos e referências ao longo dos artigos, uma vez que se busca uma relativa independência entre eles. Essa repetição acaba por ocupar espaços que poderiam ser melhor utilizados para detalhamento de algumas informações, que acabam ficando implícitas ou que são apresentadas ao longo deste capítulo de introdutório.

O texto da dissertação aqui apresentado será constituído por esse capítulo introdutório, por dois artigos que relatam a pesquisa desenvolvida e por um capítulo de considerações finais. O primeiro artigo, ou primeiro capítulo, relata a pesquisa que levou ao desenvolvimento dos princípios de *design* para o ensino de evolução de modo pluralista e integrada no ensino médio. Já o segundo relata a investigação do primeiro protótipo de sequência didática elaborado a partir da proposta de princípios de *design* contida no primeiro capítulo, buscando verificar se os princípios cumprem seus objetivos no contexto real da sala de aula.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, P; ALMEIDA, F. de. Criacionismo e darwinismo confrontam-se nos tribunais... da razão e do direito. **Episteme**, v. 11, n. 24, p. 357-402, 2006.
- ALMEIDA, A. M. R.; EL-HANI, C. N. Um exame histórico-filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento. **Scientiæ Studia** 8 (1), p. 9-40, 2010.
- ALMEIDA, A. V. D.; FALCÃO, J. T. D. R. As teorias de Lamarck e Darwin nos livros didáticos de biologia no Brasil. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 3, p. 649-665, 2010.
- ALMEIDA, D. F. de. Concepções de alunos do Ensino Médio sobre a origem das espécies. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 143-154, 2012.
- AMORIM, D. de S. Paradigmas pré-evolucionistas, espécies ancestrais e o ensino de zoologia e botânica. **Ciência & Ambiente**, v. 36, p. 125-150, 2008.
- ANDREATTA, S. A.; MEGLHIORATTI, F. A Integração conceitual do conhecimento biológico por meio da Teoria Sintética da Evolução: possibilidades e desafios no ensino de Biologia. 2008.
- BAPTISTA, G. C. S. Importância da demarcação de saberes no ensino de ciências para sociedades tradicionais. **Ciência & Educação**, v.16, n. 3, p. 679-694, 2010.
- BIZZO, N.; EL-HANI, C. 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, p. 235-257, 2009.
- BOWLER, P.J. *Evolution: The History of an Idea*. 3ed. Berkeley-CA: University of California Press. 2003. 464 p
- BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.
- _____. 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.
- _____. 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.
- BURBANO, H. A. *Epigenetics and genetic determinism*. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 851-63, Oct-Dec. 2006.
- CARVALHO, Í. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como Selecionar Conteúdos de Biologia para o Ensino Médio?. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, 2011.
- CAPONI, G. O darwinismo e seu outro, a teoria transformacional da evolução. **Scientiæ Studia**, v. 3, n. 2, p. 233-242, 2005.

- CLARKE, J. *Feathers before flight*. **Science**, v. 340, n. 6133, p. 690-692, 2013.
- COPLEY, S. D.; SMITH, E.; MOROWITZ, H. J. *The origin of the RNA world: co-evolution of genes and metabolism*. **Bioorganic chemistry**, v. 35, n. 6, p. 430-443, 2007.
- CUNCHILLOS, C.; LECOINTRE, G. *Early steps of metabolism evolution inferred by cladistic analysis of amino acid catabolic pathways*. **Comptes rendus biologiques**, v. 325, n. 2, p. 119-129, 2002.
- _____. *Ordering events of biochemical evolution*. **Biochimie**, v. 89, n. 5, p. 555-573, 2007.
- DARWIN, C. (1859) **A origem das espécies**. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Edusp, 1985.
- DIETRICH, M. R. *Microevolution and Macroevolution are Governed by the same Processes*. In: AYALA, F.; ARP, R. (Orgs.). **Contemporary Debates in Philosophy of Biology**, John Wiley & Sons Ltd., p. 169-179, 2010.
- DOBZHANSKY, T. **Genética do processo evolutivo**. São Paulo: Polígono, 1973.
- DODICK, J. *Understanding evolutionary change within the framework of geological time*. **McGill Journal of Education**, v. 42, n. 2, p. 245-264, 2007.
- 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.
- DORVILLÉ, L. F.; SELLES, S. L. *Criacionismo: transformações históricas e implicações para o ensino de ciências e biologia*. **Cadernos de Pesquisa**, v. 46, n. 160, p. 442-465, 2016.
- DUKE, N. K.; BECK, S. W. *Education should consider alternative formats for the dissertation*. **Educational Researcher**, v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999.
- ELDREDGE, N.; GOULD, S. J. **Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism**. 1972.
- EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. *Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching*. **Cultural Studies of Science Education**, v. 2, n. 3, p. 657-702, 2007.
- ERWIN, D. H. *Microevolution and Macroevolution are not Governed by the same Processes*. In: AYALA, F.; ARP, R. (Orgs.). **Contemporary Debates in Philosophy of Biology**, John Wiley & Sons Ltd., p. 180-193, 2010.
- FOLGUERA, G.; LOMBARDI, O. *The relationship between microevolution and macroevolution, and the structure of the extended synthesis*. **History and philosophy of the life sciences**, v. 34, p. 539-559, 2012.
- FORTERRE, P. *The origin of DNA genomes and DNA replication proteins*. **Current opinion in microbiology**, v. 5, n. 5, p. 525-532, 2002.
- FOUCAULT, M. **As palavras e as coisas**. São Paulo: Martins Fontes, [1966]1987.
- FUTUYMA, D. **Evolutionary Biology**. Sunderland, MA: Sinauer. 2006

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

GOULD, S. J.; LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 205, n. 1161, p. 581-598, 1979.

HUNEMAN, P. *Macroevolution and Microevolution: Issues of Time Scale in Evolutionary Biology*. (in) HUNEMAN, P.; BOUTON, C. (eds.), *Time of Nature, Nature of Time*. Springer, 2015.

LALAND, K. N.; ULLER, T.; FELDMAN, M. W.; STERELNY, K.; MÜLLER, G. B.; MOCZEK, A.; JABLONKA, E.; ODLING-SMEE, J. *Does evolutionary theory need a rethink?: Yes, urgently*. *Nature*, v. 514. 2014.

_____. *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions*. **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society, 2015.

LARSSON, S. *A pluralist view of generalization in qualitative research*. **International Journal of Research & Method in Education**, London, v. 32, n. 1, p. 25-38, 2009.

MARSHALL, C. R. *Explaining the Cambrian “explosion” of animals*. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 34, p. 355-384, 2006.

MARTINS, L. A. C. P. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. **Episteme**, v. 2, n. 3, p. 33-54, 1997.

MARTINS, M. V. O criacionismo chega às escolas do Rio de Janeiro: uma abordagem sociológica. **Revista ComCiência**, n. 56, 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/200407/reportagens/10.shtml>>. Acessado em: 14 de junho de 2016.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico**. Brasília: UnB, 1998.

MCLAUGHLIN, P. Naming Biology. **Journal of the History of Biology**, 35 (1), 1-4, 2002.

MEGLHIORATTI, F. A.; CALDEIRA, A. M. A; BORTOLOZZI, J. Recorrência da ideia de progresso na história do conceito de evolução biológica e nas concepções de professores de biologia: interfaces entre produção científica e contexto sociocultural. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 107-123, 2006.

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

_____. N. O que está em jogo no confronto entre criacionismo e evolução. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 2, p. 211-222, 2013.

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, p. 151-190, 2009.

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, p. 151-158, 2006.

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

PERSONS, W. S.; CURRIE, P. J. *Bristles before down: A new perspective on the functional origin of feathers.* **Evolution**, v. 69, n. 4, p. 857-862, 2015.

PIGLIUCCI, M. *An Extended Synthesis for Evolutionary Biology.* **The Year in Evolutionary Biology**: Ann. N. Y. Acad. Sci. 1168, 2009. p. 218-228.

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. p. 9-35, 2009.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3ª edição. Artmed Editora, 2006.

ROCHA, P.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, Â. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S. de; ASSIS, J. G. de A.; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P. de; CARVALHO, L. M. de; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. de A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H. da; ROSA, V. L. da; EL-HANI, C. N. *Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity*. In: **Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks**. 2007. p. 893-907.

SARMENTO, A. C. de H. **Como ensinar citologia e promover uma visão informada da ciência no nível médio de escolaridade**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

SEPÚLVEDA, C.; ALMEIDA, M. (orgs.) **Pesquisa colaborativa e inovações educacionais em Ensino de Biologia**. Feira de Santana: UEFS editora. 2016.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. *Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução.* **Ciência e Ambiente**, v. 36, n. 93, p. 124, 2008.

_____. *Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas.* **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 137-175, 2004.

_____. *Obstáculos Epistemológicos e Sementes Conceituais para a Aprendizagem sobre Adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução.* **Acta Scientiae**, v. 16, n. 2, 2014.

SEPÚLVEDA, C.; SARMENTO, A. C.; GUIMARÃES, A. P.; MUNIZ, C.; ALMEIDA, M.; EL-HANI, C. N. *A prática social de pesquisa e a controvérsia sobre o estatuto epistemológico da pesquisa docente.* In: SEPÚLVEDA, C.; ALMEIDA, M. (orgs.). **Pesquisa colaborativa e**

inovações educacionais em Ensino de Biologia. Feira de Santana: UEFS editora. p. 49-95. 2016.

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.

SILVA, H. M.; SILVA, P. R. da; SOUZA, A. C. L.; ARAÚJO, E. S. N. N. de. A influência da religiosidade na aceitação do evolucionismo: um estudo em uma amostra da população brasileira. **Conexão ciência: r. cient. UNIFOR-MG, Formiga**, v. 8, n. 1, p. 01-19, jan./jun. 2013

SIMONS, H.; KUSHNER, S.; JONES, K.; JAMES, D. *From evidence-based practice to practice-based evidence: the idea of situated generalization.* **Research Papers in Education**, London, v. 18, n. 4, p. 347-364, 2003.

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

VAN DEN AKKER, J. *Principles and methods of development research.* In: VAN DEN AKKER, J.; BRANCH, R.M.; GUSTAFSON, K.; NIEVEEN, N.; PLOMP, T. (Eds), **Design approaches and tools in education and training**. Springer Netherlands, p. 1-14, 1999.

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

WRAY, G. A.; HOEKSTRA, H. E.; FUTUYMA, D. J.; LENSKI, R. E.; MACKAY, T. F. C.; SCHLUTER, D.; STRASSMANN, J. E. *Does evolutionary theory need a rethink?: No, all is well.* **Nature**, v. 514. 2014.

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.

ZHOU, Z. *Dinosaur evolution: feathers up for selection.* **Current Biology**, v. 24, n. 16, p. R751-R753, 2014.

CAPÍTULO 1

TRAZENDO A MACROEVOLUÇÃO PARA A SALA DE AULA: PRINCÍPIOS DE *DESIGN* PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO DE MODO PLURALISTA E INTEGRADO NO ENSINO MÉDIO

RESUMO

O tratamento da escala macroevolutiva e da pluralidade de processos e de padrões no ensino de evolução é um passo importante para que seu conteúdo seja elaborado de modo pluralista e integrado. Contudo, a abordagem tradicional do tema no ensino médio geralmente destaca apenas a seleção natural, a mutação, o gradualismo e a microevolução, o que tem promovido muito mais uma compreensão exclusivamente adaptacionista, gene-cêntrica e extrapolacionista sobre a mudança evolutiva. Diante desse desafio, fundamentando-se nos marcos da pesquisa de *design* educacional, este trabalho relata o desenvolvimento da fase preliminar de uma investigação sobre as características de uma sequência didática para o ensino e compreensão de evolução de modo pluralista e integrada no ensino médio. Para tanto, buscou-se desenvolver e elaborar, por meio de um trabalho colaborativo com um professor de biologia do ensino médio e fundamentado na literatura de ensino de evolução, uma série de princípios de *design*. A partir dos resultados desta pesquisa preliminar, foram propostos cinco princípios de *design* para orientar a elaboração de uma sequência didática para o ensino de evolução por meio de narrativa de eventos macroevolutivos.

1 INTRODUÇÃO

A teoria darwinista da evolução, sendo um dos principais eixos estruturadores e integradores do conhecimento biológico desde a segunda metade do século XIX, é imprescindível para a compreensão de muitas questões centrais da biologia, como, por exemplo, a origem da biodiversidade, das homologias e das adaptações. Por esta razão, não é estranho que alguém repita as famosas, e precisas, palavras de Dobzhansky (1973): Nada na biologia faz sentido senão à luz da evolução. Por consequência, igualmente não faz sentido ensinar biologia negligenciando o ensino de evolução, uma vez que ele também deve ser um dos principais eixos estruturadores e integradores do ensino de biologia.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) – importantes diretrizes que orientam o ensino das disciplinas escolares do Ensino Médio – reconhecem a relevância do ensino de evolução na biologia. É sugerido, neste documento, que muitos dos conteúdos das aulas de biologia sejam fundamentados num enfoque evolutivo-ecológico (BRASIL, 2000). A relevância do ensino de evolução se torna ainda mais evidente nos PCN+ (BRASIL, 2002), propostos como orientações complementares aos PCNEM, e nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) (BRASIL, 2006) que reforçam a importância da evolução no ensino de biologia, colocando-a numa posição central e unificadora no estudo da biologia. Mais que isso, esses documentos também sugerem que este tema não deve apenas compor um bloco de conteúdos tratados em algumas aulas, nem que a sua presença ao longo de diferentes conteúdos deve representar sua diluição; muito pelo contrário, é sugerido que sua articulação com os demais assuntos deva se constituir como uma linha orientadora do tratamento dos diversos conteúdos nas aulas de biologia.

No entanto, mesmo com toda a importância que lhe é atribuída, reconhecida até mesmo nestes importantes documentos¹, o ensino de evolução ainda enfrenta muitos desafios² (TIDON; LEWONTIN, 2004; ANDREATTA; MEGLHIORATTI, 2008). Longe de constituir um eixo integrador do currículo do ensino médio, a evolução tem sido tradicionalmente tratada apenas como mais um conteúdo específico, com pouca relevância na prática educacional e na elaboração do currículo escolar de biologia, sendo, muitas vezes, colocada entre os últimos itens do currículo a serem abordados (BIZZO; EL-HANI, 2009). Nota-se, também, que vários temas da biologia são tratados em sala de aula a partir de uma perspectiva predominantemente descritiva, deixando de lado praticamente toda a contribuição advinda da perspectiva evolutiva (CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011). Por exemplo, a diversidade dos seres vivos, produto do processo evolutivo, é tratada com frequência como uma série de seres vivos sem conexões evolutivas entre si e sem menção aos processos subjacentes à origem das espécies,

¹ No momento da construção, elaboração e investigação deste trabalho, estes documentos eram válidos – e ainda o são, em certa medida. Contudo, a educação pública brasileira está passando por reformulações importantes – por exemplo, com a proposta de criação da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) –, de modo que os PCNs e o OCEM perderão validade como orientadores do ensino em nosso país. De qualquer forma, é esperado que estas mudanças não irão afetar negativamente a importância do conteúdo de evolução para o ensino de biologia.

² Podemos citar, como exemplos de alguns desafios que não serão tratados neste trabalho – mas que são importantes –, os conflitos entre o pensamento darwinista e certas perspectivas religiosas (SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2004; ABRANTES; ALMEIDA, 2006; ALMEIDA, 2012; MEYER; EL-HANI, 2013; SILVA et al., 2013; DORVILLÉ; SELLES, 2016), uma diversidade de obstáculos epistemológicos à aprendizagem conceitual (MEGLHIORATTI; CALDEIRA; BORTOLOZZI, 2006; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2014), a organização do currículo escolar (BIZZO; EL-HANI, 2009; CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011), entre muitos outros.

bem como de suas adaptações, ou dos clados superiores na hierarquia taxonômica (ROCHA et al., 2007; AMORIM, 2008). Outro caso semelhante ocorre no tratamento da anatomia e fisiologia humana, as quais são abordadas quase exclusivamente de uma perspectiva funcional, sem qualquer referência à evolução para explicar as características do corpo humano, desconsiderando uma análise comparada entre os humanos e os outros organismos vivos.

Mesmo o bloco de conteúdos tradicionalmente voltado para o ensino de evolução não oferece bases adequadas para que os estudantes possam compreender a evolução como um eixo integrador da biologia. Esse bloco de conteúdos geralmente contém uma contextualização histórica do tema – muitas vezes focada predominantemente num conflito historicamente sem sentido e repleto de equívocos entre as teorias evolutivas de Lamarck e Darwin (MARTINS, 1997; ALMEIDA; FALCÃO, 2010) –, uma lista de evidências a favor da evolução e um conjunto limitado de processos e padrões evolutivos. Neste contexto, a contribuição de muitas áreas da biologia parece estar restrita a fornecer evidências para a evolução: por exemplo, apenas durante a descrição dessas evidências é que são mencionados estudos da embriologia, da paleontologia, da taxonomia comparada, entre outras áreas da biologia. Por sua vez, a apresentação dos processos e padrões evolutivos³ se limita, em geral, a processos microevolutivos⁴ e às contribuições da genética de populações.

No que se refere aos processos evolutivos, geralmente apenas seleção natural e mutação ganham destaque no ensino de evolução, em especial, na educação básica (ROCHA et al, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). Quanto aos padrões evolutivos, normalmente é apresentada apenas a ideia de evolução contínua e gradual (BIZZO; EL-HANI, 2009). Pouca ou nenhuma atenção é dada a outros importantes processos e padrões evolutivos, advindos da recente contribuição de áreas da biologia como a biologia evolutiva do desenvolvimento e do estudo de fenômenos evolutivos como os vieses desenvolvimentais. Nesses termos, a evolução é apresentada como a mudança gradual resultante do filtro da seleção natural sobre a variação produzida por mutação nas populações de organismos. E mesmo nos raros casos em que outros

³ Neste trabalho, entende-se por “processos evolutivos” o conjunto de mecanismos que possibilitam a ou interferem na mudança evolutiva, a exemplo da seleção natural, da mutação, da deriva genética e dos vieses desenvolvimentais. Os “padrões evolutivos”, por sua vez, correspondem às representações das relações entre as linhagens de organismos, enfatizando arranjos que se repetem regularmente, a exemplo das tendências evolutivas, dos eventos de diversificação, das convergências evolutivas, do gradualismo filético. Em termos gerais, o padrão evolutivo darwinista é expresso, desde Darwin, pela metáfora da árvore da vida.

⁴ A escala microevolutiva diz respeito aos fenômenos evolutivos que ocorrem nas populações. Em contrapartida, a escala macroevolutiva trata de processos evolutivos ao nível das espécies ou acima, ou seja, lida com fenômenos acima do nível das populações.

processos e padrões evolutivos são apresentados, dificilmente as explicações evolutivas vão além da escala microevolutiva. Consequentemente, um olhar mais detalhado sobre a macroevolução tem sido negligenciado (DODICK, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009).

Esse enfoque do ensino de evolução, em todos os níveis educacionais, está intimamente relacionado com os pressupostos mais fundamentais da síntese evolutiva moderna⁵. Tais pressupostos, ao serem adaptados para o contexto escolar, foram simplificados de tal maneira que o ensino de evolução costuma deixar de lado importantes críticas que surgiram nesta síntese quanto ao enfoque exclusivo em seleção natural e mutações, além de negligenciar outros processos evolutivos que foram propostos ao longo desta teoria, como a deriva genética e o fluxo gênico.

Além disso, nos últimos anos, tem sido debatida a necessidade de ampliação da síntese moderna, sob a forma de uma síntese estendida da evolução⁶ (PIGLIUCCI, 2009; PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010; LALAND et al, 2015). Essa nova proposta se relaciona com duas ideias

⁵ A síntese moderna reuniu mendelismo, darwinismo e outras contribuições, como a da sistemática, numa teoria evolutiva que, construída a partir dos anos 1920 e consolidada em meados da década de 1950, se tornou dominante dentro do pensamento biológico, guiando programas de pesquisas nas mais diversas áreas da biologia. Segundo Futuyma (2006), é possível sumarizar esta síntese nos seguintes postulados: (1) As populações contêm variação genética, que surge por mutação e recombinação de modo não dirigido adaptativamente; (2) As populações evoluem por mudanças de frequências gênicas resultantes de deriva, fluxo gênico e, especialmente, seleção natural; (3) A maioria das variantes genéticas adaptativas têm efeitos fenotípicos pequenos, o que implica que as mudanças fenotípicas são graduais (com algumas exceções); (4) A diversificação se dá por especiação, que normalmente resulta de evolução gradual de isolamento reprodutivo entre populações, sendo principalmente alopátrica; e (5) Esses processos, estendidos por tempo suficiente, resultam em grandes mudanças evolutivas, ou seja, a macroevolução é o acúmulo de microevoluções.

⁶ Segundo Laland e colaboradores (2015), é possível apontar algumas diferenças importantes entre a síntese moderna e a síntese estendida: (1) em oposição à preeminência da seleção natural, a síntese estendida propõe a *causação recíproca*, na qual os processos desenvolvimentais (como a construção de nicho e os vieses do desenvolvimento) compartilham certo poder explicativo com a seleção natural no que diz respeito ao direcionamento e à taxa de mudança evolutiva; (2) Em contraste com a ideia de herança exclusivamente genética, comumente presente na síntese moderna, a síntese estendida propõe a *herança inclusiva*, que amplia a noção de herança para além dos genes, considerando, por exemplo, heranças epigenética, ecológica e social; (3) Em vez da ideia de variação aleatória e originada geneticamente, a síntese estendida propõe a *variação fenotípica não-aleatória*, de acordo com a qual a variação tem origem nos processos desenvolvimentais (o que inclui a genética, mas também a epigenética, o ambiente etc.) e estes, por sua vez, possuem diversos vieses que permitem que certas variantes fenotípicas se tornem mais prováveis que outras; (4) em oposição ao gradualismo, a síntese estendida incorpora a ideia de *taxa variável de mudança*, que reintroduz uma antiga ideia que surgiu nas bases da síntese moderna – e que também já reapareceu nas discussões sobre o equilíbrio pontuado –, a de que a taxa de mudança evolutiva pode ser relativamente mais rápida ou mais lenta a depender de alguns fatores desenvolvimentais e/ou ecológicos; (5) quanto ao recorrente enfoque nos genes, a síntese estendida propõe uma *perspectiva centrada no organismo*, assumindo que os organismos não podem ser determinados por, ou reduzidos às informações contidas em seus genes; por fim, (6) quanto à tese da extrapolação da micro- para a macroevolução, a síntese estendida assume que macroevolução está associada a outros processos além dos populacionais (seleção natural, deriva, mutação etc.), possuindo processos específicos e, portanto, não poderia ser simplesmente reduzida a microevoluções.

fundamentais: (1) o pluralismo de processos (PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000; EL-HANI; MEYER, 2005), que leva em conta uma diversidade de processos, além da seleção natural e de outros processos microevolutivos, na explicação da mudança evolutiva (a exemplo dos vieses desenvolvimentais, da construção de nicho etc.), e (2) o pluralismo de padrões (ELDREDGE; GOULD, 1972; DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007), que considera que existem padrões evolutivos alternativos ao gradualismo e ao padrão em árvore, tipicamente assumidos na síntese moderna (a exemplo do padrão de equilíbrio pontuado⁷ e da reticulação⁸).

A partir destes debates, têm surgido, direta e indiretamente, uma série de questões – muitas ainda sem uma resposta aceita consensualmente: Por exemplo, podemos de fato definir a evolução biológica apenas como a mudança das frequências alélicas ao longo das gerações de uma população? A seleção natural é suficiente e necessária para explicar todos os fenômenos evolutivos? Existem outros processos evolutivos relevantes para explicar a evolução? A herança genética é a via de herança mais importante para se entender a origem das variações? O processo evolutivo é sempre gradual? A macroevolução pode ser entendida exclusivamente como um acúmulo de microevoluções?

Esse cenário tem sido bastante frutífero para a nossa compreensão sobre a teoria evolutiva. Contudo, ainda é controverso dizer que estamos, de fato, caminhando para uma nova síntese evolutiva, na forma de uma síntese estendida da evolução (LALAND et al., 2014; WRAY et al., 2014). Muitos pontos propostos pelos defensores da síntese estendida ainda estão em ampla discussão e necessitam de maior suporte empírico e teórico. Mas é inegável que a biologia evolutiva está passando por um momento de revisão e reestruturação de seu arcabouço teórico, o que, conseqüentemente, tem modificado nosso olhar sobre a evolução biológica. Mais do que aprimorar os nossos conhecimentos, esses avanços também têm permitido uma maior integração da biologia por meio da evolução, ampliando as potencialidades da atual teoria evolutiva. As recentes discussões sobre a pluralidade de processos e de padrões evolutivos emergem das atuais contribuições advindas de diferentes áreas da biologia para o poder

⁷ O Equilíbrio Pontuado é uma teoria sobre padrões evolutivos desenvolvida por Eldredge e Gould (1972), a qual propõe que as linhagens dos organismos se mantêm relativamente estáveis ao longo do tempo, com poucas mudanças evolutivas, até que ocorra um evento de especiação, chamado de pontuação, na qual a mudança evolutiva se dá de forma mais intensa. Esta teoria, de modo geral, contrasta com a visão da síntese moderna, por assumir que a evolução segue padrões de estases e pontuações, ao invés do gradualismo.

⁸ O padrão em rede ou reticulação (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007) busca considerar o papel da herança lateral na evolução das linhagens, ou seja, a herança entre organismos que não são diretamente aparentados, por exemplo, por meio da transferência de material genético entre organismos que são da mesma geração de uma dada espécie, ou até mesmo entre espécies distintas. A herança lateral é, assim, diferente da herança vertical, que consiste na transferência de informações da geração parental para a prole.

explicativo da teoria evolutiva. Ou seja, diversas áreas da biologia, principalmente aquelas consideradas, até então, pouco relevantes – ou mesmo irrelevantes – para explicar eventos evolutivos, passaram a apontar questões evolutivas que podem ser enriquecidas e melhor elucidadas por meio das suas contribuições. O resultado disso é um conhecimento biológico cada vez mais integrado, tendo a biologia evolutiva como um notável eixo estruturador.

Partindo do que foi discutido até aqui, podemos perceber que a maneira como a evolução na biologia tem sido usualmente abordada no ensino médio – seja pela limitada presença de uma perspectiva evolutiva no currículo, seja pelo destaque quase exclusivo conferido à seleção natural, à mutação, ao gradualismo e à microevolução – descaracteriza muito do seu papel integrador no ensino de biologia⁹. Porém, neste mesmo contexto educacional, almeja-se, contraditoriamente, que os estudantes estabeleçam pontes entre o conteúdo de evolução e todos os outros conteúdos da biologia, para assim integrá-los, pois não se nega a importância da teoria da evolução para este fim (BRASIL, 2000; 2002; 2006). Mas de que maneira os estudantes poderiam desenvolver essa habilidade se nenhuma, ou praticamente nenhuma, relação clara entre a evolução e estes outros temas é ensinada?

O modo como o ensino de evolução geralmente ocorre não apenas dificulta a compreensão integrada da biologia por meio da evolução, como também limita a plausibilidade e aceitação da própria teoria evolutiva. O foco exclusivo sobre microevolução não dá conta de explicar coerentemente muitos eventos evolutivos importantes para a biologia, especialmente os de natureza macroevolutiva – como os eventos de diversificação, as tendências evolutivas e as extinções em massa (BIZZO; EL-HANI, 2009; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Ou seja, essa abordagem, embora seja capaz de explicar a origem de adaptações, as mudanças de frequências alélicas e como uma determinada característica é fixada em uma população de organismos, é muitas vezes insuficiente para explicar questões referentes aos padrões evolutivos e à origem da diversidade. Esta insuficiência abre brechas, então, para que o poder explicativo da teoria evolutiva seja encarado como duvidoso e, até mesmo, indigno de crença. Além disso, tal abordagem tem permitido a manutenção e destaque de concepções exclusivamente

⁹ O cenário é ainda mais preocupante quando atentamos que no ensino superior a situação com frequência é semelhante (AMORIM, 2008), o que tem resultado num ciclo de retroalimentação deste estado do ensino de evolução na educação básica, já que é no ensino superior que se formam professores e atores de materiais didáticos.

adaptacionista e gene-cêntrica¹⁰ acerca da evolução, o que por sua vez, limitam o desenvolvimento de perspectivas pluralistas.

Diante deste quadro, emerge o desafio de pensar novas abordagens para o ensino de evolução. Para tanto, um ponto relevante, como discutirei ao longo deste trabalho, é dar um maior reconhecimento e espaço à macroevolução e a uma pluralidade de processos e de padrões evolutivos, de modo a enriquecer e complementar o modo como evolução tem sido ensinada, superando suas lacunas. A inserção destes conteúdos é fundamental para conferir maior plausibilidade, coerência e poder explicativo à teoria evolutiva, uma vez que, como já mencionado, torna possível lidar adequadamente com questões que se distanciam do escopo da microevolução e que são de suma importância para a própria biologia, como a origem da diversidade e certos padrões macroevolutivos. Desta maneira, poderemos ter ganhos positivos na compreensão e aceitação da teoria evolutiva.

Em complemento a estes pontos, não posso deixar de salientar que, além de ser um elemento crucial para evitar o desenvolvimento de perspectivas estritamente adaptacionistas e gene-cêntricas, uma abordagem pluralista também pode ser muito importante para se alcançar uma visão mais integrada da biologia por meio da evolução (FOLGUERA; LOMBARDI, 2012). Como já mencionado, as recentes discussões sobre o pluralismo de processos e de padrões evolutivos têm se originado do esforço de integrar diferentes campos do conhecimento biológico – como a biologia do desenvolvimento e a ecologia – à biologia evolutiva, de modo que, quando se considera essa pluralidade em um determinado problema evolutivo torna-se inevitável a lançar mão de contribuições de diferentes áreas da biologia, o que favorece a compreensão da evolução como integradora do conhecimento biológico. Sendo assim, é possível dizer que uma visão pluralista da evolução está intimamente ligada a uma visão integrada da biologia.

Desta forma, proponho que uma abordagem mais adequada para o ensino de evolução deve ser provida de uma visão pluralista e integrada¹¹. Para tanto, utilizar narrativas de eventos

¹⁰ O adaptacionismo é uma perspectiva que compreende toda e qualquer característica de uma espécie como uma adaptação e, logo, produto exclusivo da seleção natural (GOULD; LEWONTIN, 1979; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2008). Já o gene-centrismo corresponde a uma perspectiva na qual o foco quase exclusivo recai sobre genes, tratando-os como mediadores ou mesmo unidades de herança, controle fisiológico, desenvolvimento e seleção (BURBANO, 2006).

¹¹ Na perspectiva que estou defendendo neste trabalho, uma abordagem pode ser considerada pluralista e integrada se (1) considera o pluralismo de processos e de padrões evolutivos e (2) consegue integrar os diferentes processos e padrões, assim como os diferentes campos da biologia, por meio do conhecimento evolutivo. Estes dois aspectos estão intimamente relacionados, uma vez que problemas evolutivos analisados sobre a ótica do

macroevolutivos parece uma maneira satisfatória de desenvolver esta visão no contexto da sala de aula, pois, por meio destas narrativas, é possível contextualizar e conectar os diferentes processos e padrões evolutivos em um problema evolutivo real. Tal aspecto pode facilitar a compreensão dos conceitos apresentados e de suas relações, sendo fundamental para criar condições para um aprendizado de longo prazo e uma compreensão mais integrada acerca da biologia por meio da evolução. Com base nisso, este trabalho relata os resultados de um estudo que levou ao desenvolvimento de princípios para orientar o planejamento de uma abordagem para o ensino de evolução que introduza o ensino de eventos macroevolutivos, com o objetivo de promover o ensino de evolução de modo pluralista e integrado.

Esta pesquisa está alinhada com os marcos-teóricos da pesquisa de *design* educacional (*educational design research*; e.g., PLOMP, 2009) e corresponde aos resultados da fase de pesquisa preliminar de um trabalho mais amplo para o desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio. Ou seja, este artigo não abordará todas as etapas de um estudo de desenvolvimento¹², sendo limitado à primeira etapa, através da qual, por meio de revisão da literatura pertinente e do uso do saber docente de professores, objetivou a elaboração de uma proposta de princípios de *design*. Estes princípios podem ser entendidos como produtos teóricos que orientam a construção de inovações educacionais em um dado contexto e domínio específico, sendo, portanto, elementos fundamentais para a elaboração da estrutura conceitual organizadora da construção, do desenvolvimento e da investigação de inovações educacionais. Desta maneira, irei me ater a discutir e apresentar os princípios de *design* que são por nós propostos, a partir da literatura e do saber docente, como relevantes para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio.

É importante salientar que esta pesquisa, por tratar dos primeiros passos de uma pesquisa de desenvolvimento, ainda carece de apoio empírico para a validação dos princípios que serão apresentados – o que se pretende alcançar na medida em que as outras etapas do estudo forem realizadas. Contudo, essa ressalva não implica dizer que a utilização destes princípios por terceiros para o planejamento de intervenções no contexto escolar, com os

pluralismo de processos e de padrões dependem de considerar as contribuições de diferentes áreas do conhecimento biológico de modo integrado.

¹² Os Estudos de Desenvolvimento são um dos tipos de estudo incluídos na pesquisa de design educacional (NIEVEEN; MCKENNEY; VAN DEN AKKER, 2006). Eles visam resolver problemas educacionais complexos por meio de uma pesquisa que possibilite a construção e validação de princípios amplamente aplicáveis de inovações educacionais.

devidos ajustes, esteja invalidada ou impossibilitada – uma vez que sua elaboração está fundamentada na literatura e no conhecimento docente.

2 PESQUISA DE *DESIGN* EDUCACIONAL E A ELABORAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE *DESIGN* DE INOVAÇÕES EDUCACIONAIS

2.1 Sobre os Princípios de *Design*

A intenção deste artigo não é somente defender a importância da inclusão do ensino de macroevolução e do pluralismo de processos e de padrões no ensino médio, mas também oferecer suporte teórico para o planejamento de inovações educacionais que visem implementar tal ensino. Para tanto, este trabalho apresentará princípios de design gerais, os quais detalharei mais à frente, que são elementos importantes para a orientação do planejamento e do desenvolvimento de inovações educacionais. Estes princípios estão alinhados com os marcos teóricos-metodológicos da Pesquisa de *Design* Educacional (*Educational Design Research*, ver PLOMP, 2009). Portanto, antes de explanar o que seriam estes princípios e como eles contribuem para o desenvolvimento de inovações educacionais, é importante esclarecer o que é esta modalidade de pesquisa educacional.

A Pesquisa de Design Educacional 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 de suas características. Para tanto, esta modalidade de pesquisa pode ser organizada, como proposto por Plomp (2009), a partir de uma questão geral: Quais são as características de uma intervenção X para alcançar o resultado Y ($y_1, y_2, y_3...$) no contexto Z?

Note-se que a preocupação deste tipo de pesquisa gira em torno das características de uma determinada intervenção educacional para alcançar um determinado resultado em um determinado contexto. Ou seja, busca-se investigar quais abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, são fundamentais para se alcançar um objetivo educacional desejado, num contexto definido. Portanto, baseando-se nesta questão geral da Pesquisa de *Design* Educacional, a pergunta de pesquisa que norteia este trabalho é: Quais as características de uma sequência didática fundamentada no ensino de macroevolução para promover o ensino de biologia evolutiva de modo pluralista e integrada em aulas de biologia do ensino médio?

Estas características amplamente aplicáveis de inovações educacionais são elementos constituintes dos princípios de *design*, ou princípios de planejamento. Definir estes princípios é fundamental para se dar o primeiro passo neste tipo de pesquisa, na qual é preciso estabelecer quais princípios de *design* serão investigados. Estes princípios são definidos por meio de ciclos de levantamento de problemas educacionais e planejamento de soluções (PLOMP, 2009) e são entendidos como produtos teóricos – que podem compor uma teoria de ensino específica para um dado domínio – que orientam a construção de uma inovação educacional. Ou seja, são estes princípios que orientarão de modo consistente a construção e implementação de uma determinada inovação educacional, sugerindo – como já mencionado – abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, entre outras, fundamentais para se alcançar um determinado objetivo educacional num contexto definido.

Van den Akker (1999) propõe uma estrutura capaz de sistematizar de modo adequado estes princípios segundo as bases da pesquisa de *design* educacional:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, então é aconselhável prover esta intervenção das características A, B e C [ênfase substantiva], e fazer isso por meio dos procedimentos K, L e M [ênfase procedimental], em razão dos argumentos P, Q e R.

A fim de dar maior clareza, adotarei uma adaptação desta formulação de Van den Akker feita pelo Grupo de pesquisa GCPEC¹³ (SARMENTO, 2016) para enunciar os princípios de *design*:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, é aconselhável:

- (1) Adotar a característica A, para o propósito/função y1, realizando o procedimento K, em razão do argumento P.
- (2) Adotar a característica B, para o propósito/função y2, realizando o procedimento L, em razão do argumento Q.
- (3) Adotar a característica C, para o propósito/função y3, realizando o procedimento M, em razão do argumento R.

(...)

Mais uma vez, é notável a importância de se considerar o objetivo a ser alcançado (Y) e o contexto (Z) de implementação para se construir uma intervenção educacional e para a elaboração de princípios para planejá-la. Contudo, a elaboração dos princípios também exige pensar em sua ênfase substantiva, em sua ênfase procedimental, bem como nas razões que sustentam e justificam teórica e empiricamente suas características.

¹³ Grupo Colaborativo de Pesquisa em Ensino de Ciências, coordenado por Profa. Claudia Sepúlveda, na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

A ênfase substantiva de um princípio de design se refere a características mais gerais da intervenção, ou seja, se refere ao que se aconselha fazer de modo generalizado para alcançar determinado objetivo educacional, mas não ao como fazer num contexto particular de aplicação (VAN DEN AKKER, 1999). Estas características substantivas, ao serem validadas ao longo dos ciclos de estudo da pesquisa de *design*, tornam-se generalizações que são parte de uma teoria de ensino domínio-específica.

Já a ênfase procedimental de um princípio de *design* trata das características requeridas para a implementação e realização de uma característica substantiva em uma inovação educacional (VAN DEN AKKER, 1999). Diferentemente das características substantivas, é esperado que os procedimentos sejam contexto-dependentes, ainda que exista alguma generalização possível. Ou seja, as características procedimentais são específicas dos contextos educacionais nos quais as inovações serão ou foram implementadas, portanto, sua generalização só seria possível mediante uma descrição detalhada do contexto de implementação – o que inclui o plano de curso da disciplina escolar, o número de aulas dedicadas ao ensino do tema, entre outros aspectos – que possibilite o reconhecimento de similaridades em relação a outros contextos educacionais, de modo que possa justificar a transferência dos procedimentos utilizados, com as devidas adaptações, por outros educadores ou pesquisadores para estes novos contextos.

Esta distinção entre a ênfase substantiva e a ênfase procedimental de um princípio de *design* nos permite atribuir certa independência a elas, de modo que seja possível, por exemplo, planejar e implementar diferentes conjuntos de características procedimentais para realizar uma mesma característica substantiva, ampliando, assim, a possibilidade de generalização de um princípio a diferentes contextos.

2.2 Sobre a proposta deste trabalho

A escolha da pesquisa de design educacional como modalidade de pesquisa reflete a necessidade de uma abordagem metodológica rigorosa na investigação de inovações educacionais, que permita a construção de questões de pesquisa apropriadas para seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, bem como para a produção de teorias de ensino amplamente aplicáveis numa diversidade de contextos, com robusto suporte empírico.

Dentre os tipos de estudo incluídos na pesquisa de design educacional, são os estudos de desenvolvimento de inovações educacionais que mais se mostram adequados a este trabalho, pois visam resolver problemas educacionais complexos por meio de uma pesquisa que possibilite a construção e validação de princípios de *design* amplamente aplicáveis (NIEVEEN; MCKENNEY; VAN DEN AKKER, 2006). Este tipo de estudo envolve três etapas: a pesquisa preliminar, a fase de prototipagem e a fase avaliativa (PLOMP, 2009).

A primeira etapa corresponde à análise dos problemas e das necessidades educacionais referentes a um determinado tema em um determinado contexto de ensino e aprendizagem, envolvendo revisão da literatura pertinente e uso do saber docente de professores atuantes no contexto e engajados no estudo, que permita a elaboração de uma estrutura conceitual orientadora da inovação.

A segunda corresponde a ciclos de investigações em sala de aula, nos quais diferentes versões das inovações, chamadas de protótipos, são construídas, testadas, avaliadas e aperfeiçoadas em diversos contextos e com crescente quantidade de participantes. Nesta etapa, ao fim de cada ciclo, é realizada uma avaliação formativa, visando refletir sobre resultados parciais obtidos, com o intuito de reconhecer avanços e falhas importantes, que possam informar o refinamento dos próximos protótipos e, assim, contribuir para o aprimoramento da intervenção.

Por fim, na terceira etapa, é feita a avaliação dos vários protótipos (ciclos de estudo), objetivando concluir se a inovação proposta atingiu as expectativas (se os objetivos de ensino e aprendizagem planejados foram alcançados) e analisando quais princípios de design foram efetivamente validados. Assim, esta abordagem da pesquisa de design educacional pode modelar e desenvolver uma intervenção com a finalidade de resolver um problema educacional, ao passo que aprimora nosso conhecimento teórico e prático acerca dos princípios das intervenções bem-sucedidas, assim como do processo de desenvolvê-las.

Neste trabalho, apresentarei os resultados da fase de pesquisa preliminar de uma investigação mais ampla, visando ao desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio. Ou seja, neste artigo não abordarei todas as etapas de um estudo de desenvolvimento, estando limitado à primeira, por meio da qual, através de revisão da literatura pertinente e do uso do saber docente de professores atuantes no ensino médio, buscou-se elaborar uma estrutura conceitual para orientar o planejamento da inovação. Esta estrutura conceitual é constituída por uma proposta de

princípios de *design*, que podem ser utilizados como ponto de partida para a elaboração de protótipos de intervenções para o ensino de evolução – um passo essencial para dar prosseguimento ao estudo de desenvolvimento – e para o planejamento de aulas, com os devidos ajustes, pelos professores. Portanto, irei me ater a discutir e apresentar os princípios de *design* que foram assumidos para a construção de inovações para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio.

É fundamental a consideração do saber docente para a viabilização desta proposta no contexto real da sala de aula (SEPÚLVEDA; ALMEIDA, 2016). Para tanto, traz grande contribuição a organização da pesquisa de *design* educacional como uma investigação colaborativa, na qual pesquisadores e professores da educação básica, em conjunto, desenham e desenvolvem protótipos de inovações educacionais, evitando tomadas de decisões unilaterais. Desta maneira, a elaboração dos princípios de *design* será orientada não apenas pela literatura científica, mas também pelos saberes experienciais de professores, importante para se refletir sobre problemas educacionais complexos, bem como propor soluções e investigá-las. Isso possibilita, ainda, a diminuição da lacuna entre pesquisa e prática educacional, ou seja, a distância entre a produção de conhecimento pela pesquisa acadêmica e as práticas dos professores.

No que se refere a este aspecto colaborativo, o desenvolvimento da pesquisa preliminar apresentada neste trabalho contou com a colaboração de um professor do ensino médio, que também auxiliou na implementação das etapas subsequentes da pesquisa de desenvolvimento. Este professor é formado em Ciências Biológicas e atualmente está cursando doutorado na área de Ecologia. Tem atuado a quatro anos com ensino básico, dedicando-se nos últimos dois anos ao ensino médio. Uma das suas principais características é a contínua busca por atualização do conteúdo e das práticas pedagógicas – costumando propor atividades que fogem a um ensino transmissivo –, bem como sua boa relação com os estudantes, reconhecida na instituição em que trabalha. Suas contribuições tiveram grande relevância neste trabalho, auxiliando principalmente no refinamento dos princípios referentes aos conceitos que darão suporte para o desenvolvimento e melhor aproveitamento da narrativa macroevolutiva, quais detalharei mais adiante.

Tendo explicitado a fundamentação teórica-metodológica deste trabalho, devemos retomar a questão sobre o ensino de evolução de modo pluralista e integrado. Assim, antes de propor os princípios para seu planejamento, buscarei apresentar como o enfoque mais usual no

ensino de evolução, voltado quase exclusivamente para processos microevolutivos, é limitado e não contempla outras dimensões importantes da biologia evolutiva. Também aproveitarei para discutir o que se entende por macroevolução, sua relação com a microevolução e a sua importância para o ensino de evolução e da biologia como um todo, como meio de construir uma compreensão mais pluralista e integrada, que confere maior plausibilidade e poder explicativo à teoria evolutiva.

3 MACROEVOLUÇÃO E O ENSINO DE EVOLUÇÃO

3.1 Por que ensinar macroevolução?

Ao longo da história do planeta Terra, podemos evidenciar o acontecimento de vários eventos macroevolutivos surpreendentes, como a Explosão do Cambriano (MARSHALL, 2006; ZHANG et al, 2013), a rápida diversificação das plantas terrestres durante o devoniano (KENRICK; CRANE, 1997) e a evolução dos cetáceos (THEWISSEN et al, 2009; ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Contudo, como já mencionado, o ensino de evolução costuma negligenciar a macroevolução. De um modo geral, raramente, ou nunca, exemplos de eventos macroevolutivos são mencionados no contexto escolar (DODICK, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). Muito pelo contrário, no ensino de evolução, é muito mais comum o enfoque sobre eventos microevolutivos. Isso é facilmente notado quando consideramos os exemplos que normalmente compõem o ensino de evolução: os clássicos exemplos do melanismo industrial em mariposas, do alongamento do pescoço das girafas e do aumento de resistência a antibiótico em bactérias. Todos exemplos microevolutivos.

Tipicamente, no ensino de evolução, e mesmo na comunidade científica, a macroevolução é considerada apenas como o somatório de vários eventos microevolutivos (no caso do ensino, geralmente de forma implícita, já que estas escalas evolutivas raramente são mencionadas em sala de aula). Desta perspectiva, para entender a macroevolução, bastaria extrapolar os processos microevolutivos para uma grande escala temporal (HUNEMAN, 2015), sem a necessidade de considerar quaisquer outros fatores. Portanto, não é importante, neste contexto, adentrar ou mesmo mencionar os eventos macroevolutivos, já que basta que exista a compreensão dos microevolutivos e a redução da macroevolução a eles. Tal forma de pensar tem consequências, sendo a principal delas a de que praticamente todas as explicações e os modelos para a compreensão dos processos e dos padrões relacionados com a mudança

evolutiva, bem como aqueles que permitem algum grau de previsão, foram restringidos à perspectiva da genética de populações¹⁴ (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010), área da biologia que teve papel central na síntese moderna e até hoje se ocupa de um aspecto importante da evolução, a distribuição e mudança das frequências alélicas nas populações sob influência de fatores como a seleção natural, deriva gênica, mutação, recombinação e fluxo gênico. A genética de populações se ocupa, assim, da mudança microevolutiva, o que é certamente necessário, mas insuficiente para o entendimento da evolução (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010).

A insistência na extrapolação da microevolução para a macroevolução não é consistente com as evidências e o reconhecimento de que muitos eventos biológicos na história da Terra, especialmente os de natureza macroevolutiva, ocorreram em contextos bastante complexos e segundo padrões que exibem variação na taxa evolutiva, o que não seria esperado à luz das expectativas uniformitaristas¹⁵ da abordagem microevolutiva (SHEN et al, 2010; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Ou seja, é difícil compreender da perspectiva de uma disciplina única, a genética de populações, relações complexas entre diversos eventos biológicos e ambientais, bem como os padrões evidenciados em registros geológicos. Desta maneira, tem sido um grande desafio tratar com a devida profundidade uma diversidade de importantes fenômenos evolutivos de natureza macroevolutiva, como, por exemplo, eventos de rápida diversificação, surgimento de novidades evolutivas relativas a grandes grupos taxonômicos, tendências evolutivas e as extinções em massa (BIZZO; EL-HANI, 2009; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). 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

¹⁴ Quanto às outras áreas da biologia, algumas conseguiram espaço junto à genética de populações – como a genética clássica e a sistemática –, outras assumiram a função de descrever e fornecer dados (mas não de oferecer explicações, previsões ou modelos) – como a paleontologia e a anatomia e fisiologia comparada –, enquanto outras foram parcial ou totalmente esquecidas pela biologia evolutiva – como a biologia do desenvolvimento (FOLGUERA; LOMBARDI, 2012).

¹⁵ A teoria do uniformitarismo pressupõe uma uniformidade temporal dos fenômenos geológicos e das suas causas, de maneira que toda mudança na paisagem natural se daria de forma gradual, embora possam existir esporádicos episódios catastróficos. O gradualismo, que se constitui como uma das (sub)teorias fundamentais da teoria darwinista da evolução (MAYR, 1998), é proposto por Darwin a partir da influência do livro *Princípios da Geologia* de Charles Lyell – o qual é considerado um dos marcos do uniformitarismo. Desta maneira, similarmente ao uniformitarismo, mas aplicado às mudanças evolutivas ao invés das geológicas, o gradualismo propõe que a evolução dos seres vivos também se daria de forma gradual e uniforme, pelo paulatino acúmulo de variação promovida pela ação da seleção natural (BAK; PACZUSKI, 1997).

acontecem no nível das populações para escalas de análise que se situam, por vezes, muito acima do nível das populações (ERWIN, 2010; HUNEMAN, 2015).

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, enquanto a macroevolução 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 ao nível da especiação e acima dele (DODICK, 2007; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; PADIAN, 2010; DIETRICH, 2010; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Para clarear a distinção e a relevância da micro- e da macroevolução, pode ser útil exemplificar os tipos de questões envolvidas em cada uma destas escalas evolutivas.

Numa perspectiva microevolutiva, busca-se entender, de modo geral, as razões subjacentes à fixação de características numa população ou espécie. Pode-se perguntar, por exemplo, “por que surgem superbactérias quando administramos antibióticos inadequadamente?” ou “por que os leões possuem juba?”. Estas perguntas tratam especificamente de mudanças, muitas vezes graduais, em populações de uma determinada espécie ao longo do tempo.

Já na perspectiva macroevolutiva, as questões são direcionadas, por exemplo, para as razões pelas quais certos clados se diversificaram e outros se extinguiram, as razões de certas linhagens sofrerem mudanças profundas na sua forma em milhares de anos e outras praticamente nada mudarem ao longo de milhões de anos, ou, ainda, as razões de certos contextos ambientais serem muito propensos ao surgimento e à preservação de novidades evolutivas, como novos planos corporais (*bauplans*), enquanto outros não. Ou seja, as questões macroevolutivas sempre tratam de entender fenômenos que envolvem espécies ou níveis taxonômicos acima das espécies.

Tomemos como exemplo um importante evento macroevolutivo, a Explosão do Cambriano (ocorrido há cerca de 520 milhões de anos, durante o período Cambriano), bastante conhecido pelo grande aumento da diversidade e disparidade das formas de metazoários bilaterais¹⁶, em um período geologicamente curto (MARSHALL, 2006; ZHANG et al, 2013).

¹⁶ Os metazoários bilaterais correspondem a uma das principais linhagens de animais – compreendendo diversos clados altamente diversos, como os moluscos, os artrópodes e os vertebrados –, caracterizados pelo corpo com simetria bilateral e por possuírem três folhetos embrionários (endoderme, mesoderme e ectoderme).

Neste evento, temos alguns pontos que merecem muita atenção: (1) ao contrário do que se espera numa perspectiva gradualista, a disparidade das formas orgânicas (que diz respeito à diversidade de planos corporais) parece ter se estabelecido muito antes da irradiação das espécies de bilaterais; (2) a taxa da mudança evolutiva parece ter passado por momentos de grande intensificação, permitindo grandes mudanças em um tempo relativamente curto; (3) uma forte tendência para a formação de esqueletos mineralizados e aumento do tamanho corporal parece ter se estabelecido independentemente em diversas linhagens, inclusive em diferentes linhagens de bilaterais; (4) parece ter se estabelecido uma intensa e permanente ruptura da estrutura ecológica durante a transição dos ecossistemas pré-cambrianos (com maior estabilidade ambiental) para os ecossistemas que surgiram a partir do Cambriano (com baixa estabilidade ambiental) (BUTTERFIELD, 2007); (5) uma série de eventos de extinção em massa precedeu eventos de irradiação, até culminar na Explosão do Cambriano, sendo relacionadas a grandes mudanças ambientais, como reorganização dos continentes, glaciações globais (como a *Snowball Earth*¹⁷), alterações nas composições dos oceanos e da atmosfera e mudanças de temperatura (SHEN et al, 2010; SMITH; HARPER, 2013); e, por fim, (6) protagonismo (mas não exclusividade) da linhagem dos bilaterais que, de modo geral, se diversificou amplamente, com estes organismos dominando diversos contextos ecológicos (alguns completamente novos) e remodelando intensamente a paisagem ambiental.

Como dar conta de entender a Explosão do Cambriano focando apenas na fixação gradual das características em populações de espécies? A Explosão do Cambriano é um evento evolutivo complexo que envolve relações entre o ambiente, o desenvolvimento e a ecologia dos organismos envolvidos em uma grande escala temporal. Focar apenas na escala microevolutiva deixaria várias perguntas em aberto, como: Por que os bilaterais irradiaram e não outra linhagem de metazoários? Como explicar a tendência quase generalizada de formação de tecidos biomineralizados? Como profundas mudanças nas formas dos bilaterais se deram em poucas dezenas de milhões de anos? Por que a grande disparidade desta linhagem parece anteceder a irradiação das espécies? Por que padrões semelhantes aconteceram em outros eventos macroevolutivos, como a irradiação dos mamíferos após a extinção dos dinossauros não-avianos? Estas perguntas dependem, por exemplo, de conhecer diferenças nas taxas de mudança evolutiva entre espécies de linhagens diferentes (o que envolve entender vieses

¹⁷ Evidências crescentes apontam que a Terra passou por dois ou três eventos de grandes glaciações durante o Neoproterozoico tardio (HOFFMAN; SCHRAG, 2002), entre 780 a 635 milhões de anos atrás, de modo que o planeta ficou completamente, ou quase completamente, coberto de gelo. É dado, a estes eventos de glaciação, o nome de *SnowBall Earth* (Terra em bola de neve).

desenvolvimentais e ecológicos) e sua relação com o contexto ecológico e abiótico, necessitando considerar abordagens que vão além da escala populacional.

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 ao nível de espécies ou acima, muito menos que processos populacionais não sejam capazes de produzir especiação e outros exemplos de fenômenos macroevolutivos. 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.

A esta altura, pode não estar tão evidente, ainda, como o ensino de macroevolução é relevante para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado. Para argumentar nesse sentido, considero 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, o que favorece uma compreensão da evolução como uma das teorias integradoras do conhecimento biológico, na medida em que reúne esforços de diferentes áreas da biologia e pontos de vista distintos para tratar de um mesmo problema evolutivo. Por exemplo, explicar parte das questões que envolvem a Explosão do Cambriano passa por considerar as contribuições da biologia evolutiva do desenvolvimento (MARSHALL, 2006; ZHANG et al, 2013), uma vez que esta área da biologia permite, por exemplo, entender mais detalhadamente os padrões presentes no desenvolvimento dos bilaterais e como pequenas mudanças nesses padrões, que podem ter sido influenciadas pelo contexto ambiental, parecem ter sido fundamentais para a origem da grande disparidade e rápida taxa evolutiva desta linhagem durante o início do Cambriano.

A biologia evolutiva do desenvolvimento, ou simplesmente evo-devo, têm fornecido valiosos conhecimentos acerca de como as formas dos organismos multicelulares se originam e se modificam, e também de como o desenvolvimento muda ao longo da evolução e quais as consequências disso para os processos e padrões evolutivos (CARROLL, 2006; ARTHUR, 2010; ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Uma das grandes contribuições desta área é a compreensão de que existem vieses desenvolvimentais que podem ter papéis positivos (como impulsionadores, *drives*) e negativos (como restrições) na evolução, bem como de outros

importantes fenômenos do desenvolvimento, como a canalização e a modularidade, que são fundamentais para o entendimento de tendências e mudanças de intensidade na taxa evolutiva, possibilitando explicar certos padrões evolutivos. Outra importante contribuição diz respeito à compreensão de que o desenvolvimento de um organismo é muito mais complexo do que a simples expressão gênica diferencial, dependendo fortemente da interação de genes, de marcadores e processos epigenéticos, da física e da química do embrião e, até mesmo, das influências do ambiente externo, o que tem permitido explicar como pequenas mudanças no desenvolvimento, a exemplo de mutações em genes reguladores do desenvolvimento, podem causar grandes mudanças na forma do organismo. Desta maneira, a evo-devo tem permitido integrar conhecimentos de genética, embriologia, ecologia e evolução, além de promover o reconhecimento do papel explicativo dos processos desenvolvimentais na biologia evolutiva, o que reforça sua importância na compreensão de eventos macroevolutivos e no ensino de evolução de modo integrado e pluralista.

Assim como no caso da evo-devo, podemos perceber que diversas áreas da biologia podem ganhar espaço ao longo das narrativas de eventos macroevolutivos, como a ecologia, a sistemática, a paleontologia, a genética, a citologia etc. Além disso, as narrativas macroevolutivas 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 interdisciplinar¹⁸. Por exemplo, a integração de conhecimentos sobre geologia, climatologia, ecologia e evolução nos permite estudar fenômenos associados à reorganização dos continentes ao longo do tempo ou a eventos de glaciações e suas implicações nos seres vivos, geralmente relacionados a ciclos de extinção e diversificação da vida. Mais uma vez usando o exemplo da Explosão do Cambriano, é sabido que vários eventos de glaciações globais (a *Snowball Earth*) e de reorganização dos continentes precederam a irradiação e diversificação de formas dos bilaterais no Cambriano (SHEN et al., 2010; SMITH; HARPER, 2013). Sugere-se que estas mudanças ambientais, além de outros efeitos, promoveram mudanças significativas na composição química dos oceanos, como o aumento da concentração de cálcio e fósforo, o que, por sua vez, pode ter impulsionado o aumento da

¹⁸ 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 as suas próprias vidas. Ou seja, uma vez que, para um estudante, torna-se possível conhecer relações mais explícitas entre diferentes ciências, este pode tornar-se mais apto para resolver problemas no mundo real, que não se estruturam de acordo com os limites disciplinares.

produção primária – promovendo mudanças na cadeia alimentar e aumento do oxigênio disponível –, causando extinção em massa de muitas espécies que compunham a fauna de Ediacara (fauna que antecedeu à do Cambriano), podendo ter causado estresse fisiológico em muitas espécies – podendo influenciar padrões epigenéticos – ou, ainda, ter induzido a mineralização dos tecidos em diversas linhagens no Cambriano. Desta maneira, fica evidente que as narrativas macroevolutivas também exigem considerar aspectos ambientais de modo mais detalhado, o que permite a contribuição de outras ciências naturais, além da biologia.

Considerando tudo que foi discutido até aqui, considerar o ensino de macroevolução parece ser uma boa estratégia pedagógica para tratar da evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio – com outros ganhos secundários, como um aprendizado interdisciplinar e o aumento da motivação dos estudantes. Contudo, vale ressaltar, é possível desenvolver uma narrativa macroevolutiva sem uma abordagem pluralista e integrada – como geralmente ocorre nos raros casos em que narrativas de eventos macroevolutivos acontecem em sala de aula ou aparecem em livros didáticos –, no entanto, tal abordagem terá sérias limitações em seu poder explicativo e suas simplificações serão inconsistentes com o nosso atual conhecimento sobre biologia evolutiva.

Também é importante deixar claro que não se trata de propor, aqui, a mudança da prevalência de uma escala de análise, microevolutiva, para a prevalência de outra, macroevolutiva, uma vez que uma abordagem pluralista e integrada, necessariamente, exige considerar processos e padrões presentes nas duas escalas. A escala macroevolutiva, em complemento com a micro-, é essencial para a construção de uma compreensão coerente e plausível da teoria da evolução. Consequentemente, sua presença é fundamental para permitir maior aceitação e preencher lacunas no poder explicativo da teoria evolutiva, de modo a não abrir brechas para concepções equivocadas acerca da evolução – como abordagens exclusivamente adaptacionistas e o gene-centricas – ou, até mesmo, para atribuições de eventos evolutivos complexos a forças sobrenaturais ou juízos de que explicações evolutivas não são aceitáveis. Este ponto é extremamente relevante, já que não é raro que, ao longo das aulas de biologia, estudantes levantem questões que exigem explicações evolutivas complexas, que se distanciam do escopo da microevolução. Desta maneira, a ausência do ensino de macroevolução não apenas dificulta a compreensão integrada da biologia por meio da evolução, como também limita a plausibilidade e aceitação da própria teoria evolutiva, uma vez que um enfoque exclusivo sobre a microevolução não dá conta de explicar coerentemente muitos eventos

evolutivos importantes para a biologia, especialmente os de natureza macroevolutiva – como os eventos de diversificação, as tendências evolutivas e as extinções em massa.

Outro ponto que dá apoio ao ensino de macroevolução no ensino médio decorre de outros possíveis ganhos educacionais. Uma abordagem focada em narrativas de eventos macroevolutivos pode ser muito mais motivadora e atraente para os estudantes e professores, se comparada com uma abordagem exclusivamente microevolutiva, especialmente porque permite a contextualização integrada de vários processos e padrões evolutivos em uma narrativa, permitindo organizar a apresentação dos conteúdos de modo mais claro e dinâmico, o que pode facilitar a compreensão e integração dos mesmos, sem ser enfadonho e repetitivo (VAN DIJK; KATTMANN, 2009).

A proposta do ensino de macroevolução não implica, é importante deixar claro, uma mudança de foco de uma escala de análise, a microevolutiva, para outra, a macroevolutiva. Afinal, abordagem pluralista e integrada exige, necessariamente, considerar as duas escalas.

3.2 Como ensinar macroevolução?

Tendo defendido a importância do ensino de macroevolução, resta pensar sobre como ensinar o tema no contexto do ensino médio. Para tanto, como já mencionado, é necessário considerar o que a literatura acadêmica e o saber docente tem para construir uma proposta adequada para o contexto no qual será implementada a proposta de ensino. Uma primeira preocupação gira em torno de como evitar a sobrecarga de conteúdos, dados os limites do tempo escolar.

Ensinar macroevolução não pode significar apenas acrescentar termos e conceitos macroevolutivos às aulas de evolução. Isso apenas sobrecarregaria o ensino de evolução com mais conteúdos, dificultando a motivação e o engajamento dos alunos e o trabalho pedagógico dos professores. Diante o desafio do tempo escolar, esta abordagem transmissiva e conteudista dificilmente permitiria aprofundar, conectar e contextualizar os conteúdos da maneira desejada, resultando em um aprendizado superficial e fragmentado. Desta forma, ensinar macroevolução acabaria por não cumprir o objetivo aqui defendido, constituindo-se apenas num conjunto de conteúdos a mais. É necessário, então, pensar em uma outra maneira de abordar a macroevolução em sala de aula, evitando o simples acréscimo de conteúdos, possibilitando

conectar e contextualizar uma pluralidade de processos e padrões evolutivos e contribuindo para a compreensão da evolução como um eixo integrador do pensamento biológico.

Uma das abordagens alternativas a simples adição de conteúdo é a utilização de narrativas. As narrativas podem ser entendidas como exposições de acontecimentos de modo mais ou menos sequencial, com o objetivo de contar uma história. No ensino de ciências (NORRIS et al., 2005; RIBEIRO; MARTINS, 2007), é possível, durante o desenvolvimento de uma narrativa, relacionar e contextualizar os conteúdos de modo mais claro, o que pode ser fundamental para aumentar a motivação dos estudantes (RIBEIRO; MARTINS, 2007). Desta maneira, as narrativas se tornam veículos poderosos para se expor ideias e fomentar condições para um aprendizado de longo termo. Cenário bastante diferente da abordagem transmissiva e conteudista corriqueiramente utilizada nas salas de aula, no qual resta a muitos dos estudantes focar seus esforços na memorização superficial dos termos e conceitos com a finalidade de apenas empregá-los em uma avaliação da disciplina.

Em se tratando do ensino de biologia, Van Dijk e Kattmann (2009) chamam a atenção para a importância de considerar narrativas históricas ao longo da abordagem de diversos temas da biologia escolar. Na abordagem proposta por estes autores, chamada por eles de perspectiva da história natural, a evolução é um tema indispensável, por conferir uma dimensão histórica importante às narrativas e constituir um eixo integrador do conhecimento biológico. Portanto, a perspectiva da história natural está focada na história evolutiva das linhagens, tomando elas como base para desenvolver narrativas históricas que permitam contextualizar processos evolutivos e integrar os conteúdos das aulas de biologia. Por exemplo, as aulas de citologia poderiam ser enriquecidas com discussões sobre a teoria da endossimbiose seriada¹⁹, através das quais é possível se fazer importantes considerações acerca da história evolutiva das células eucarióticas, descrevendo e explicando processos que levaram à origem das organelas celulares (como as mitocôndrias e os cloroplastos), integrando temas advindos de diversas áreas da biologia (como citologia, evolução, ecologia e genética) e relacionando-os com eventos similares que presenciamos na atualidade (situações nas quais bactérias se tornam endossimbiontes, quase ou exclusivamente, obrigatórios de certos organismos, influenciando

¹⁹ Teoria elaborada por Lynn Margulis, a qual propõe que uma parte das organelas das células eucarióticas foi originada a partir da endossimbiose com alguns organismos procariontes (MARGULIS, 1981), o que pode ser evidenciado em organelas como as mitocôndrias e os cloroplastos, nas quais é possível encontrar material genético próprio semelhante aos de certos tipos de bactérias.

em sua sobrevivência e reprodução – o que pode ter importância ecológica ou médica – , tal como as bactérias do gênero *Wolbachia* e os artrópodes (MOREIRA et al., 2009)).

De um modo geral, Van Dijk e Kattmann (2009) sugerem o uso destas narrativas para que os processos microevolutivos sejam trabalhados de forma contextualizada no ensino de biologia. Ou seja, por meio destas narrativas deveria ser discutida a origem de importantes mudanças evolutivas, considerando os contextos ambientais nos quais estas mudanças foram produzidas e fixadas nas linhagens que as possuem pela ação de processos microevolutivos. Além disso, eles assumem que estas narrativas podem ser importantes para estabelecer relações de parentesco entre os organismos e integrar diferentes áreas de conhecimento de forma interdisciplinar. Contudo, embora o principal alvo destes autores seja o ensino de microevolução, a grande maioria dos exemplos citados ao longo do trabalho deles (evolução dos cetáceos, holocausto do oxigênio, extinção dos dinossauros não-avianos, endossimbiose seriada etc.) estão numa escala macroevolutiva, uma vez que se relacionam com processos de especiação, diversificação e extinção de clados. Portanto, tal abordagem por meio de narrativas históricas também poderia ser ajustada para o ensino de macroevolução, como meio de se alcançar um ensino de evolução de forma pluralista e integrada.

Assim, proponho o uso de narrativas de eventos macroevolutivos como uma característica importante de intervenções didáticas para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado nas aulas de biologia do ensino médio. Ou seja, o uso destas narrativas compõe um princípio de *design* que está no cerne da proposta apresentada neste trabalho. Contudo, o desenvolvimento destas narrativas exige que consideremos alguns conhecimentos prévios que devem ser tratados em sala para que os estudantes possam realmente se beneficiar dos eventos narrados. O desenvolvimento deste conhecimento prévio demanda, como apresentarei adiante, outros princípios de *design* importantes para a construção e o uso de narrativas macroevolutivas na sala de aula do ensino médio.

Segundo Nadelson e Southerland (2009), cinco conceitos são fundamentais para a compreensão da macroevolução: a noção de tempo profundo; fósseis (e o processo de fossilização); natureza da ciência; o pensamento filogenético; e especiação. Já Van Dijk e Kattmann (2009) sugerem quatro conceitos – ainda que não de forma tão bem demarcada quanto os autores citados anteriormente – para que os estudantes compreendam as narrativas históricas em biologia: noção de tempo profundo, fósseis, noção de ancestral comum mais recente e adaptação. Considerando o saber docente do professor do ensino médio engajado nesta

pesquisa colaborativa, torna-se ainda mais claro que as propostas de Nadelson e Southerland (2009) e de Van Dijk e Kattmann (2009) apontam lacunas reais para o ensino de evolução, em especial o ensino de macroevolução, no contexto do ensino médio brasileiro. Tendo isso em conta, à luz das contribuições desses autores e em conjunto com o professor, organizei três conjuntos de conceitos relevantes para o ensino de evolução a partir de narrativas de eventos macroevolutivos: (1) noção de tempo profundo; (2) pensamento filogenético; e (3) relação entre micro- e macroevolução.

O primeiro, noção de tempo profundo²⁰, se refere à importância de que os estudantes entendam a extensão do tempo geológico e sua relevância para compreender a evolução biológica (DODICK, 2007; CATLEY; NOVICK, 2009). Com base no saber docente, considero que os conceitos relativos aos fósseis (inclusive fossilização e datação) podem ser integrados à discussão sobre tempo profundo e podem ser utilizados como pontes para a discussão sobre pensamento filogenético.

O segundo conjunto de conceitos sugerido, o pensamento filogenético, que inclui a noção de ancestral comum recente e filogenia, se refere à importância da compreensão sobre conceitos e representações associados às relações de parentesco das espécies.

Por fim, o último conjunto de conceitos-chave, a relação entre micro- e macroevolução, relacionada com os conceitos de adaptação e especiação propostos pelos autores, 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.

Dos conceitos propostos por Nadelson e Southerland (2009), apenas a natureza da ciência não está claramente explicitada nos conjuntos de conceitos propostos neste trabalho. Considero, especialmente fundamentado no saber docente, que embora cumpra um importante papel no contexto do ensino médio norte-americano – em razão dos conflitos relativamente mais acirrados com o criacionismo e afins (PADIAN, 2010) –, ela parece menos relevante para a compreensão das narrativas macroevolutivas na realidade brasileira. No contexto norte-americano é muito comum que movimentos criacionistas – ou similares – com grande aderência social defendam, por exemplo, que o processo microevolutivo é aceitável e científico, enquanto

²⁰ Em um trabalho similar, Reis e colaboradores (2016) também concluem que é necessária a utilização de estratégias que possibilitem a compreensão do tempo geológico para a aprendizagem da teoria darwinista da evolução.

o macroevolutivo não é (PADIAN, 2010). Neste contexto, falar sobre natureza da ciência para tratar da macroevolução é fundamental, já que muitos dos argumentos utilizados para defender esta visão partem de uma visão distorcida sobre a ciência e suas práticas que afetam diretamente a aceitação das narrativas macroevolutivas. No Brasil, esse tipo de argumento é pouco comum, sendo um contexto no qual esta diferença de aceitação entre as duas escalas evolutivas é pouco expressiva e raramente aparece em sala de aula. Todavia, não quero dizer que tratar da natureza da ciência tem pouca relevância em si ou que tem pouca contribuição para o ensino de evolução no Brasil. Longe disso, trata apenas de concluir que no contexto brasileiro, diante a limitação do tempo escolar e da importância relativa dos outros conjuntos de conceitos, é aceitável optar por não explicitar este conteúdo em si tratando de conceitos necessários para o ensino de narrativas macroevolutivas – o que não impede de ser tratado implicitamente ou de forma complementar segundo as necessidades do contexto em que se pretenda aplicar esta proposta. É evidente que a abordagem sobre natureza da ciência é importante no ensino de evolução como um todo (não apenas para se compreender macroevolução), sendo fundamental em contextos de sala de aula em que é comum existir muita desconfiança ou descrédito com a teoria evolutiva ou em situações nas quais os estudantes tenham pouco repertório teórico sobre como entender a produção do conhecimento científico.

Além destes conjuntos de conceitos propostos, inspirados na literatura e no saber docente, tornou-se clara a ausência de um procedimento relevante para desenvolver as narrativas em sala de aula. Com base na experiência docente, o professor apontou a necessidade de se levar em conta o conhecimento prévio dos estudantes para possibilitar conhecer os interesses e as necessidades cognitivas dos estudantes. Desta forma, tomar conhecimento das concepções dos estudantes é um procedimento fundamental para que o professor possa refletir sobre a necessidade de ajustar a narrativa do evento macroevolutivo, bem como a abordagem dos outros conceitos relevantes na sequência didática e sua forma de interação no contexto da sala de aula. Portanto, este procedimento, suportado pelo saber docente, foi incluído no trabalho em sala de aula.

Sendo assim, para auxiliar o uso de narrativas de eventos macroevolutivos, proponho outras quatro características substantivas para a intervenção educacional, quais podem ser sumarizadas na forma do uso de uma série de estratégias didáticas: estratégias que permitam a exposição dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica; que auxiliem na compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos; que fomentem o desenvolvimento do pensamento filogenético; e que promovam o

desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear.

A partir destas características, é possível começar a compor os princípios de *design* para a proposta da inovação educacional relatada neste trabalho.

4 PRINCÍPIOS DE *DESIGN* PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO DE MODO PLURALISTA E INTEGRADO

Como já mencionado, os princípios podem ter ênfase substantiva, quando se referem a características gerais da intervenção, ou procedimental, quando tratam de características específicas da aplicação da intervenção numa dada sala de aula. Diante disso, em razão de serem normalmente mais generalizáveis, darei maior destaque à ênfase substantiva dos princípios e, quando for relevante, darei exemplos de princípios procedimentais que podem ser utilizados para realizar a implementação dos princípios substantivos propostos.

Os princípios de *design* serão enunciados utilizando-se a versão adaptada da formulação de Van den Akker (1999) feita pelo Grupo de pesquisa GCPEC (SARMENTO, 2016).

(1) Usar narrativas de eventos macroevolutivos para contextualizar e integrar diferentes padrões e processos evolutivos.

O uso de narrativas para o ensino de macroevolução é uma importante abordagem para alcançar o ensino de evolução de forma pluralista e integrada. De modo geral, no ensino de ciências, as narrativas permitem (1) organizar a apresentação de conteúdos de modo claro, (2) desenvolver, relacionar e contextualizar conceitos, valores, práticas, problemas etc., (3) facilitar a memorização e, o que é mais importante, a compreensão dos conteúdos de modo significativo, (4) aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes e professores e (5) permitir discussões e construir relações interdisciplinares (RIBEIRO; MARTINS, 2007). No contexto da biologia, a história evolutiva das linhagens pode facilmente constituir narrativas históricas para o ensino de conceitos evolutivos (VAN DIJK; KATTMANN, 2009). Por meio destas narrativas, é possível organizar eventos de um episódio macroevolutivo em uma sequência clara (que não precisa necessariamente respeitar a ordem temporal real destes eventos), o que, por sua vez,

permite uma melhor compreensão dos conteúdos da narrativa. Além disso, todos os elementos que compõem uma narrativa devem estar relacionados com esta narrativa como um todo (RIBEIRO; MARTINS, 2007), ou seja, deve ser evitado qualquer conteúdo presente na narrativa que não se relaciona coerentemente com o objetivo da narrativa e nem com os outros conteúdos. O que é uma característica fundamental para a contextualização de uma pluralidade de processos e de padrões evolutivos, mostrando as relações entre eles, na medida em que cumprem seu papel explicativo na narrativa. Este é um passo importante para o desenvolvimento de uma perspectiva integrada.

Para implementar essa característica substantiva, sugiro o uso de alguns procedimentos. Um primeiro passo é propor critérios para a seleção de eventos a serem narrados, pois não é qualquer sequência de acontecimentos – ou, mais especificamente, qualquer evento macroevolutivo – que é relevante para ser transformada em narrativas a serem trabalhadas na sala de aula. Há uma diversidade de eventos macroevolutivos interessantes que podem ser abordados nas aulas de biologia. Como exemplos, podemos citar os episódios de transição para o ambiente terrestre – tanto pelas plantas (KENRICK; CRANE, 1997), quanto pelos tetrápodes (SHUBIN, 2008) –, a evolução dos cetáceos (THEWISSEN et al, 2009; ALMEIDA; EL-HANI, 2010), a evolução das aves (CLARKE, 2013; ZHOU, 2014; PERSONS IV; CURRIE, 2015), a evolução das asas dos insetos (GRIMALDI; ENGEL, 2005), a explosão do Cambriano (MARSHALL, 2006; ZHANG et al, 2013).

De modo geral, como critério de seleção, sugiro o uso dos eventos mais bem documentados e estudados – como os citados acima –, para que a sequência de eventos da narrativa esteja suportada empiricamente e por interpretações consistentes, o que é relevante para a inteligibilidade e credibilidade da narrativa. Além deste critério, a escolha por uma determinada narrativa de evento macroevolutivo deve considerar o interesse dos estudantes e o planejamento das aulas do professor, ou seja, esta escolha deve considerar o contexto educacional, de maneira que, a depender do contexto, pode ser mais preferível um evento a outro. Por exemplo, se, em razão da sequência de temas planejada por um professor, o tema que se seguirá aos conteúdos de evolução for diversidade animal, isso pode justificar a utilização de narrativas baseadas na Explosão do Cambriano para discutir, ao longo das aulas de evolução, a origem dos planos corporais das linhagens de bilaterais, encadeando melhor os dois temas e introduzindo questões sobre a diversidade destes animais.

Também é importante que a narrativa escolhida se baseie em eventos que apresentem rupturas com expectativas intuitivas – a exemplo da história evolutiva das penas das aves, cuja origem evolutiva não se relaciona diretamente com o voo (CLARKE, 2013; ZHOU, 2014; PERSONS IV; CURRIE, 2015) – ,ou apresentem desafios a certos pressupostos evolutivos frequentemente tomados como inquestionáveis –, como no caso da Explosão do Cambriano, que desafia certos aspectos da síntese moderna, por apresentar um aumento relativamente abrupto da disparidade e diversidade dos bilaterais (MARSHALL, 2006; ZHANG et al, 2013). Segundo Ribeiro e Martins (2007), a violação da canonicidade (ou seja, essa ruptura com expectativas intuitivas e teóricas) é importante para justificar a escolha de uma determinada sequência de acontecimentos que constituirá a narrativa. Tal violação da canonicidade permite o desenvolvimento de uma narrativa que não seja completamente previsível, o que pode se tornar uma ferramenta pedagógica interessante para entreter os estudantes, promovendo certa inquietação e empolgação para compreender os eventos e sua relação com o desfecho da narrativa. Isso, por sua vez, possibilita o surgimento de discussões e questionamentos que devem ser utilizadas pelos professores para, por meio do diálogo com os estudantes, desenvolver a narrativa.

Outro procedimento que proponho diz respeito ao modo de estruturar a narrativa. Para este fim, um recurso interessante é a estrutura proposta no modelo de Labov (1972), que permite organizar e, até mesmo, aprimorar o uso das narrativas. Neste modelo, uma narrativa é composta por: (1) Resumo, qual é destinado a apresentar brevemente a questão central que orienta a narrativa, podendo relatar resumidamente a sequência de eventos que será abordada; (2) Orientação, que oferece informações importantes, como os lugares, o tempo, quem ou o que participa da história etc., com a finalidade de localizar temporal e espacialmente os eventos narrados; (3) Complicação, é a sequência de eventos que relata o que aconteceu na narrativa, ou seja, a complicação é basicamente o conteúdo da narrativa, no qual se descreve os fatos acontecidos (RIBEIRO; MARTINS, 2007); (4) Avaliação, na qual se informa as consequências dos eventos da narrativa para o seu público, realçando a importância de certos eventos para a questão central da narrativa e para seus ouvintes; (5) Resolução, que apresenta a solução para os desafios e conflitos apresentados na narrativa; e (6) Coda, que representa o fechamento da narrativa, trazendo os ouvintes de volta para o momento presente. A sequência dos elementos apresentada acima não representa necessariamente a ordem em que eles devem aparecer na narrativa, podendo existir variações. Contudo, esta ordem é bastante intuitiva e, por esta razão,

pode conferir maior clareza para os ouvintes – no caso, os estudantes – acerca da sequência de eventos narrados.

Por fim, um último procedimento a ser levado em conta diz respeito à forma de selecionar os conteúdos que devem ser explicitados ao longo das narrativas, de modo a permitir discutir a pluralidade de processos e de padrões. Mais detalhadamente, é preciso propor procedimentos que orientem quais processos e padrões evolutivos podem constituir a narrativa e como relacioná-los de modo coerente. Primeiramente, para fins de maior clareza, proponho que sejam identificadas três dimensões presentes nos eventos incluídos nas narrativas macroevolutivas: a dimensão desenvolvimental, a dimensão ecológica e a dimensão abiótica. Nem sempre é fácil definir as fronteiras entre estas dimensões, pois elas se influenciam mutuamente e se interseccionam, mas pensar sobre elas já é um passo importante para compor a narrativa com uma perspectiva mais pluralista.

A dimensão desenvolvimental se relaciona com os processos mais internos aos organismos, ou seja, os processos genéticos e desenvolvimentais e seus efeitos sobre a variação e a evolução dos organismos, envolvendo principalmente conhecimentos de genética, citologia, embriologia etc. Nesta dimensão, sugiro que a narrativa deve discutir a relação genótipo-fenótipo, a origem da variação e da forma dos organismos, o papel do desenvolvimento na evolução das formas orgânicas, a evolução do próprio desenvolvimento etc. Para tanto, alguns temas podem enriquecer a discussão em sala, como genes homeóticos, vieses desenvolvimentais (com seus papéis positivos e negativos na evolução), herança epigenética, modularidade e robustez, evolvabilidade etc.

Já a dimensão ecológica envolve os processos de interação dos organismos, ou seja, processos de natureza ecológica que afetam a evolução por meio do estabelecimento de regimes seletivos ou por meio de outros fenômenos, como a construção de nicho. Nesta dimensão, sugiro que a narrativa discuta relações entre os organismos (podendo ser de uma mesma espécie ou de linhagens distantes) que podem provocar e/ou direcionar mudanças evolutivas, a relação entre os organismos e o ambiente, consequências evolutivas do estabelecimento de novas interações ecológicas, consequências evolutivas da construção de nicho etc. Um tema importante nesta dimensão é a seleção natural, mas também podemos incluir coevolução, deriva, migração, radiações e extinções de espécies, tipos de especiação, herança ecológica e cultural, construção de nicho etc.

Por fim, a dimensão abiótica diz respeito ao efeito dos fenômenos abióticos sobre os seres vivos, tratando de fenômenos capazes de produzir padrões e tendências evolutivas, como reorganização continental, mudanças climáticas, alterações do nível do mar, mudanças na composição dos oceanos ou da atmosfera, formação de cadeias de montanhas etc. Esta é uma dimensão fortemente interdisciplinar, envolvendo conhecimentos da geologia, oceanografia, climatologia, paleontologia etc. Nesta dimensão, sugiro que a narrativa discuta a dinâmica geológica e climática do planeta e sua relação com a evolução da vida.

Evidentemente, é bastante difícil – e talvez nem seja adequado – trabalhar todos os processos e padrões evolutivos no ensino médio. Pensando nisso, é importante pensar em certos critérios que facilitem a escolha pela abordagem de determinados processos ou padrões evolutivos, e não de outros. Quanto aos processos, considero que podemos considerar, como critérios básicos, a capacidade de incluir diferentes áreas da biologia e integrá-las por meio da evolução, a capacidade de oferecer explicações para a origem da variação e da forma orgânica (ponto importante para superar visões gene-cêntricas), a capacidade de oferecer explicações para a direção e a fixação da mudança evolutiva (ponto importante para superar visões adaptacionistas) e complexidade compatível com o nível do ensino médio.

Partindo destes critérios, sugiro que pelo menos quatro conjuntos de processos evolutivos, além daqueles usualmente trabalhados no ensino de evolução (seleção, mutação, recombinação, migração e deriva), sejam incorporados à narrativa:

(1) Mecanismos de herança inclusiva, que incluem uma diversidade de formas de herança, além da genética, que contribuem para a variabilidade dos organismos (JABLONKA; LAMB, 2010). Estes mecanismos podem ser incluídos na dimensão desenvolvimental, a exemplo da herança epigenética – que traz discussões relevantes, por exemplo, sobre a influência da bioquímica celular na transmissão e interpretação do material genético –, e na dimensão ecológica, como no caso das heranças ecológica e comportamental/cultural – que, por exemplo, implicam discutir o papel das interações dos organismos e destes com o ambiente na produção de vieses na variabilidade populacional;

(2) Vieses desenvolvimentais, que envolvem diferentes processos desenvolvimentais que provocam tendências na produção de variação, as quais podem, por sua vez, restringir (restrição desenvolvimental, com papel negativo) ou favorecer (impulso desenvolvimental, com papel positivo) a produção de determinada forma orgânica ou

característica (ARTHUR, 2010). Por dependerem de um conjunto imbricado de mecanismos e processos internos ao desenvolvimento dos seres vivos, tais processos podem ser incluídos na dimensão desenvolvimental;

(3) Mecanismos de regulação desenvolvimental, que também envolvem diferentes processos relacionados ao desenvolvimento dos organismos (CARROLL, 2006; ARTHUR, 2010). Embora possam ser influenciados pelo ambiente e pelas interações ecológicas, estes processos são melhor ajustados à dimensão desenvolvimental. De um modo geral, são mecanismos que regulam o desenvolvimento da forma orgânica, e, por isso, podem estar relacionados com a origem de novidades evolutivas. Por exemplo, uma pequena mutação em um gene regulatório, ou mesmo uma pequena modificação no padrão de metilação deste gene, pode causar grandes mudanças morfológicas (a exemplo dos genes homeóticos). Ou ainda podemos ter o contrário, quando grandes mudanças causam nenhuma ou pequenas mudanças no fenótipo (por exemplo, em razão do processo de canalização). Tais processos são muito relacionados com os vieses desenvolvimentais e ainda permitem introduzir outros conceitos relativos ao desenvolvimento, como modularidade, bricolagem e evolvabilidade. Todos estes conceitos, processos e propriedades relacionados ao desenvolvimento dos organismos são advindos das contribuições da evo-devo (ARTHUR, 2010) – já mencionada anteriormente –, que certamente é uma das disciplinas que mais tem oferecido reflexões acerca da estrutura da biologia evolutiva, sendo importante incorporá-la ao ensino médio por meio destas narrativas;

(4) Engenharia de Ecossistema, que envolve processos ecológicos originados da capacidade dos organismos de construir ou alterar o ambiente à sua volta – a exemplo do processo de construção de nicho (ODLING-SMEE; LALAND; FELDMAN, 2003; ERWIN, 2008) –, gerando vieses ecológicos que podem modificar e direcionar regimes seletivos, gerar tendências na mudança evolutiva ou mesmo induzir mudanças desenvolvimentais. Estes processos se enquadram na dimensão ecológica, embora existam efeitos sobre processos desenvolvimentais e de herança. Uma das grandes contribuições da engenharia de ecossistema é mostrar que os organismos não são passivos em relação ao meio em que vivem, sendo capazes de modificar o ambiente segundo suas necessidades (ou seja, ao passo que o ambiente influencia os seres vivos, os seres vivos influenciam o ambiente, numa relação dialética).

Considero estes quatro conjuntos de processos como um pacote básico a ser incluído na narrativa. Tais processos permitem incluir e dar destaque a disciplinas que raramente são consideradas para explicar eventos evolutivos, como a citologia, a embriologia, a biologia do desenvolvimento e a ecologia. Mais do que isso, estes processos permitem evidenciar a influência mútua entre estas áreas da biologia. Contudo, a depender da narrativa, outros processos evolutivos podem ser incorporados, dada a importância que podem possuir no evento macroevolutivo escolhido, como transferência lateral de genes, seleção em múltiplos níveis, simbiogênese, distintos modos de especiação, impulso genômico etc.

Quanto aos padrões evolutivos, considerar mudanças na taxa evolutiva pode ser um critério relevante para a escolha dos mesmos. As mudanças nas taxas evolutivas desafiam a visão uniformitarista na biologia – tal como o gradualismo. Desta maneira, quando se trata de eventos em que ocorrem variações na taxa de mudança das espécies, faz-se necessário identificar processos evolutivos ou influências ambientais que possam retardar ou acelerar a evolução de certas linhagens. Muitas vezes a variação destas taxas resultam na produção de padrões, como os de estase-pontuação ou os de extinção-diversificação, que são facilmente percebidos quando se busca representar a história das linhagens por longos períodos de tempo. O estudo destes padrões permite explicitar as consequências – geralmente visíveis apenas em grandes escalas temporais – da interação de diferentes processos evolutivos em seus contextos ambientais. A depender da narrativa, outros padrões também podem ser explorados em sala de aula, como as convergências evolutivas, as tendências evolutivas de longo termo e os padrões de surgimento e preservação de novidades evolutivas a depender do contexto ambiental.

Quanto aos processos e fenômenos de origem abiótica, discutidos na sua respectiva dimensão, não há razão para propor critérios muito específicos. A dimensão abiótica é muito dependente do evento macroevolutivo escolhido para uso em sala de aula. De modo geral, apenas recomendo que sejam buscados aqueles que possuem maior impacto sobre as dimensões desenvolvimental e ecológica, como contexto climático, relevo, erupções vulcânicas, reorganização de continentes, composição da atmosfera e dos oceanos etc.

Ao considerar todos estes elementos, o modelo de estrutura de narrativas de Labov (1972), a organização da narrativa de eventos macroevolutivos em três dimensões e os critérios para selecionar os processos e os padrões evolutivos da narrativa, temos alicerces para planejar o conteúdo e a estrutura das narrativas de eventos macroevolutivos.

(2) Utilizar estratégias que permitam a exposição dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica para permitir o replanejamento da narrativa segundo as necessidades cognitivas dos estudantes

Tomar conhecimento das concepções dos estudantes é um procedimento fundamental para ajustar as narrativas de eventos macroevolutivos, bem como a implementação dos outros princípios, ao contexto da sala de aula. Partindo deste conhecimento, os professores podem dirigir e replanear suas aulas segundo as necessidades cognitivas dos estudantes. No que se refere às narrativas macroevolutivas, ter noção dos conhecimentos prévios facilita reconhecer quais aspectos da narrativa podem ser mais aprofundados, quais devem ser simplificados ou como os eventos da narrativa podem ser sequenciados. Desta maneira, uma narrativa histórica pode ser contada de diferentes maneiras, para atender a diferentes necessidades dos estudantes. Além disso, em alguns casos, a partir do acesso dos conhecimentos prévios dos estudantes os professores podem perceber a necessidade de mudar o evento macroevolutivo planejado previamente, fazendo uso de outro evento, de modo adequar a narrativa às necessidades ou interesses dos sujeitos daquele contexto.

Para acessar o conhecimento prévio dos estudantes, os professores podem lançar mão de alguns procedimentos, entre vários outros possíveis. Por exemplo, antes de adentrar nos conteúdos de evolução, podem ser feitas discussões sobre o que os estudantes pensam sobre evolução. Para tanto, é possível fazer usos de textos e vídeos. Pode-se pedir que, em equipes, eles ilustrem o que pensam sobre evolução na forma de desenhos e apresentem para a turma, como outra forma interessante de levantar suas concepções prévias. Aplicar questionários simples, com algumas questões sobre evolução, tempo geológico, filogenia, processos evolutivos etc., antes de promover discussões, pode ser importante para que os estudantes se situem melhor sobre os problemas que eles deverão considerar e explorar.

(3) Utilizar estratégias didáticas que auxiliem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos para promover a compreensão de fenômenos macroevolutivos que se dão em grandes escalas temporais

Nós, humanos, somos influenciados pela noção de tempo da perspectiva da nossa própria existência – que compreende a escala de alguns segundos a dezenas de anos (BONITO et al, 2011). Isso justifica nossa dificuldade de compreender escalas de tempo mais amplas,

como a extensão do tempo que compreende a história da Terra (aproximadamente 4,6 bilhões de anos), denominado tempo geológico. A imensa maioria dos eventos evolutivos, mesmo os microevolutivos, se situam em escalas de tempo que superam o tempo de uma vida humana. No caso das narrativas macroevolutivas, muitas vezes a escala de tempo está na faixa de milhões a centenas de milhões de anos – por exemplo, os principais eventos da Explosão do Cambriano aconteceram numa faixa de 30 a 100 milhões de anos, enquanto a mudança evolutiva que levou de mamíferos quadrúpedes terrestres aos cetáceos durou cerca de 50 milhões de anos. Nestas escalas temporais, que extrapolam nossa noção de tempo, é comum as pessoas apenas compreenderem que se passou muito tempo e, na medida em que a escala se torna mais ampla, sua percepção se torna cada vez mais abstrata e vaga (BONITO et al, 2011), o que compromete o entendimento de seu significado. Por isso, a compreensão do tempo profundo é crucial para as narrativas macroevolutivas. Do contrário, como os estudantes, por exemplo, entenderiam que houve uma diversificação relativamente rápida dos bilaterais durante o cambriano, se 30 milhões de anos é uma faixa de tempo muito abstrata e sempre corresponde a muito tempo para eles?

Como procedimentos para criar condições para que os estudantes desenvolvam uma compreensão de tempo profundo, sugiro o uso de diferentes abordagens e ferramentas de ensino, como aquelas encontradas no livro *Paleontologia na Sala de Aula* (SOARES, 2015), que reúne uma diversidade de atividades que podem ser utilizadas para este fim, como “Tabela do Tempo Geológico em Escala”, “Calendário do Tempo Geológico”, “A Idade da Terra”, entre outras.

Leituras de textos ou exibições de vídeos sobre o tempo geológico podem ser utilizadas para introduzir uma discussão sobre o tema na sala de aula. Por meio destas discussões levantadas em sala de aula, pode-se salientar e reforçar a importância da compreensão do tempo profundo para a biologia e para a evolução ou, até mesmo, possibilitar que os estudantes tomem conhecimento dos obstáculos cognitivos que eles possivelmente possuem.

Dedicar um momento da aula para apresentar os eventos geológicos e biológicos mais importantes ao longo da história da Terra também é interessante, pois possibilita que os estudantes possam reconhecer o tempo envolvido em eventos conhecidos, como, por exemplo, a formação e fragmentação do supercontinente Pangeia ou o surgimento e a extinção dos dinossauros não-avianos, diminuindo a vagueza da noção de tempo destes eventos.

Aproveitar as discussões sobre história da Terra para familiarizar os estudantes com a tabela do tempo geológico – apresentando as unidades de tempo que a constituem e os métodos de datação usados em sua elaboração – pode facilitar a localização no tempo, pelos estudantes, do evento macroevolutivo que constituirá a narrativa.

O uso de analogias ou metáforas, como as que comprimem todo o tempo geológico na escala de um ano, também são bem-vindas para que os estudantes consigam compreender o tempo geológico dentro de uma perspectiva mais familiar, o que facilita o desenvolvimento da noção de tempo profundo.

Por fim, é muito importante que sejam feitas comparações entre eventos geológicos e biológicos que acontecem em escalas de tempo diferentes, para tornar clara a existência de eventos que são lentos para a percepção humana, mas que podem ser rápidos quando comparados com outros – a exemplo do processo de especiação, que normalmente é muito lento para que possamos percebê-lo, mas é relativamente muito mais rápido do que um evento de fragmentação continental. Estas comparações podem ser enriquecidas com discussões sobre os princípios da estratigrafia e os processos de fossilização, que podem servir para melhor detalhar os processos geológicos que se dão ao longo da passagem de grandes escalas temporais.

A forma e a ordem de implementação de qualquer uma destas atividades dependem do contexto escolar. Em alguns contextos, por exemplo, pode ser cabível trazer jogos didáticos ou fazer exibição de vídeos, enquanto em outros pode ser mais recomendado o uso de aulas expositivas, ou, ainda, em certo contexto pode ser mais indicado aprofundar sobre a história da Terra, enquanto em outro tal tema não será tão relevante.

(4) Usar estratégias didáticas que promovam o desenvolvimento do pensamento filogenético para favorecer a compreensão das relações entre os organismos e os padrões macroevolutivos.

Uma das afirmativas centrais da perspectiva darwinista é que os seres vivos são aparentados e, portanto, compartilham ancestrais comuns. Para representar esta noção, desde Darwin, é bastante comum o uso da metáfora da árvore da vida, na qual os galhos são entendidos como as linhagens que se ramificam ao longo do tempo partindo de um tronco comum (BAUM; SMITH; DONOVAN, 2005). A taxonomia, ciência que estuda a organização da diversidade de seres vivos, faz uso dos métodos da sistemática filogenética para propor agrupamentos que

considerem a ancestralidade comum das linhagens – ou seja, os seres vivos são agrupados pelas suas histórias evolutivas, e não pelas suas similaridades (BAUM; SMITH; DONOVAN, 2005). Estas propostas, chamadas de árvores filogenéticas, permitem representar visualmente os padrões hierárquicos produzidos pela história evolutiva, os quais, por sua vez, levam à compreensão, além das relações de parentesco entre as linhagens, também das modificações que se deram ao longo do tempo (SANTOS; CALOR, 2007a). É muito comum que os estudantes não consigam estabelecer relações de parentesco entre as espécies de modo consistente com a ancestralidade comum, uma vez que a evolução é tipicamente entendida como um progresso linear, no qual uma grande cadeia de organismos permitiria estabelecer quais formas seriam evolutivamente superiores a outras – tal como na famosa representação da evolução humana, na qual temos uma fila de primatas que se tornam cada vez mais eretos, até que, ao fim, temos o *Homo sapiens* (SANTOS; CALOR, 2007b). Contudo, a visão darwinista não entende a evolução como um progresso linear, mas como um processo de mudança com ramificações (como numa grande árvore), de modo que é impossível estabelecer quais espécies são evolutivamente superiores ou inferiores. Superar a visão linear e desenvolver o pensamento filogenético (ou pensamento em árvore, do inglês *tree thinking*) são passos cruciais para entender a evolução darwinista, em particular numa escala macroevolutiva.

Os eventos macroevolutivos, por lidar com mudanças evolutivas ao longo de linhagens, precisam lançar mão de árvores filogenéticas. Por exemplo, na evolução dos cetáceos, o uso destas árvores permite representar relações de parentesco entre organismos extintos (*Indohyus* e *Ambulocetus*, por exemplo) e seus parentes vivos (Hipopótamos) (THEWISSEN et al., 2009), permitindo visualizar as mudanças evolutivas ao longo da linhagem (redução dos membros posteriores e deslocamento das narinas para o topo da cabeça). Um estudante que não saiba como interpretar as representações em árvores evolutivas pode entender que a evolução dos cetáceos se deu a partir dos hipopótamos ou que os organismos fósseis eram inferiores evolutivamente aos cetáceos atuais. Ou seja, a falta da compreensão do pensamento filogenético pode fazer com que o estudante não tenha como interpretar corretamente o evento macroevolutivo narrado. Além disso, quando complementamos com informações sobre o registro fóssil, com dados sobre quando uma linhagem surgiu ou foi extinta, as árvores evolutivas tornam possível visualizar graficamente padrões macroevolutivos, como eventos de rápida irradiação, tendências evolutivas ou extinções em massa. Desta forma, incluir informações temporais, a partir do registro fóssil, às

árvores filogenéticas pode ser uma ferramenta pedagógica fundamental para descrever os eventos macroevolutivos e discutir sobre seus padrões.

Para desenvolver a compreensão do pensamento filogenético em sala de aula, uma diversidade de procedimentos pode ser utilizada. Também é possível encontrar no livro *Paleontologia na Sala de Aula* (SOARES, 2015) atividades que podem ser utilizadas para este fim, como “Observando e Agrupando os Organismos” e “Construindo Cladogramas”, entre outras. Discutir a diferença entre o pensamento filogenético e a perspectiva da evolução como um progresso linear – que pode, por exemplo, ser feito utilizando-se a clássica representação linear da evolução humana – pode ser uma boa maneira de introduzir o tema, discutir a influência da *Scala Naturae*²¹ sobre a compreensão da evolução das espécies, comparar a perspectiva darwinista com a perspectiva lamarckista²² e, ainda, permitir que os estudantes reconheçam obstáculos presentes na sua forma de pensar, o que pode ser o ponto de partida para superá-los.

Fazer analogias da ramificação das linhagens de seres vivos com uma genealogia dos diferentes idiomas do planeta (afinal, os diferentes idiomas humanos da atualidade surgiram a partir de idiomas ancestrais, dos quais podemos traçar relações de parentesco entre eles) pode ser útil para permitir a compreensão do pensamento filogenético a partir da comparação com um fenômeno mais familiar.

Por fim, é importante aprofundar a discussão de alguns conceitos filogenéticos, como estruturas homólogas e análogas, monofilia, ancestral comum, cladogênese, anagênese e grupo-irmão, uma vez que costumam ser necessários nas narrativas macroevolutivas. Uma apostila de exercícios pode ser útil para que os estudantes trabalhem estes conceitos em vários exemplos

²¹ A *Scala Naturae*, ou a Cadeia dos Seres, é uma ideia que remonta à antiguidade – mas que ainda é presente nos dias atuais –, segundo a qual todos os organismos vivos podem ser ordenados de maneira linear, contínua e progressiva, começando pelo mais simples até alcançar o mais complexo (MAYR, 1998). Foi bastante comum entre os naturalistas pré-Darwin e certamente inspirou parte das ideias de Lamarck.

²² É válido ressaltar que a comparação tipicamente realizada para contextualizar historicamente as ideias destes cientistas está muito distante do ideal, pois, entre outras coisas, não considera que os dois são pesquisadores de épocas diferentes e muito importantes para suas respectivas épocas, o que torna sem sentido colocar Darwin como o vencedor desta disputa, como normalmente acontece. Além disso, as ideias de Lamarck e Darwin são comumente apresentadas de maneira incorreta (MARTINS, 1997; MEYER; EL-HANI, 2005; ALMEIDA; FALCÃO, 2010), com a teoria de Lamarck sendo resumida apenas à herança dos caracteres adquiridos e ao uso e desuso, enquanto a teoria de Darwin é resumida a uma ideia de seleção natural interpretada como a sobrevivência dos mais aptos. Além de não representar as ideias centrais destes dois cientistas e de contribuir com a manutenção de ideias equivocadas acerca do tema, essa abordagem não costuma discutir profundamente rupturas importantes e com grande valor educacional, como a mudança do pensamento transformacional para o variacional/populacional.

de filogenias diferentes. Também pode ser interessante desenvolver algumas atividades em sala de aula em que os estudantes tenham de organizar certos elementos (objetos ou seres fictícios, por exemplo) em uma árvore, considerando estes conceitos filogenéticos e propondo descrições para as “mudanças evolutivas” encontradas.

É importante dizer que, para desenvolver a compreensão do pensamento filogenético, não se faz necessário ensinar sobre os métodos básicos envolvidos na construção de filogenias (BAUM; SMITH; DONOVAN, 2005) – como a construção de matrizes de caracteres – afinal, no ensino médio não se objetiva formar sistematas. Muito embora, a depender do contexto, introduzi-los pode ser uma ferramenta didática interessante para discutir como biólogos elaboram estas representações filogenéticas.

(5) Empregar estratégias didáticas que promovam a compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear e da distinção destas duas escalas evolutivas

A especiação, justamente por ser o limite da análise microevolutiva e começo da macroevolutiva, é um ponto em que estas duas escalas evolutivas se relacionam mais nitidamente. Contudo, como mencionado anteriormente, a relação entre estas duas escalas é geralmente entendida de modo extrapolacionista, ou seja, com base na ideia de a escala macroevolutiva não é mais que uma extrapolação dos processos microevolutivos (HUNEMAN, 2015). Atualmente, tal visão vem sendo desafiada, na medida em que se evidencia que a seleção natural não seria capaz de explicar, sozinha, muito dos padrões macroevolutivos conhecidos, como os eventos de grande diversificação, as extinções em massa e as tendências evolutivas de longo termo (BIZZO; EL-HANI, 2009; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Nehm e Kampourakis (2014) chamam a atenção para o fato de que a microevolução não pode ser excluída da explicação dos fenômenos na escala macroevolutiva – o que aponta certa limitação na seleção de conceitos fundamentais para se compreender macroevolução proposta por Nadelson e Southerland (2009), já que estes últimos não consideraram em seu trabalho o papel da microevolução para compreender a macroevolução (como já mencionado, Nadelson e Southerland (2009) apenas ressaltaram como fundamentais a compreensão do tempo profundo, do processo de fossilização, da natureza da ciência, do pensamento filogenético e da especiação). De fato, certos eventos macroevolutivos são intimamente ligados a processos microevolutivos, como a seleção

disruptiva e o efeito fundador, que podem gerar especiação, ou a seleção direcional e a coevolução, que podem explicar tendências evolutivas em curto termo.

Contudo, isso não implica que a macroevolução não possua mecanismos e processos próprios. Muitos processos propostos como exclusivamente macroevolutivos são objeto de grande controvérsia, ainda assim, alguns merecem destaque, como a seleção de espécies e de clados (DIETRICH, 2010; ERWIN, 2010; NEHM; KAMPOURAKIS, 2014). Outros conceitos propostos como exclusivamente macroevolutivos também se encontram em situação semelhante, como as extinções em massa, a evolvibilidade, as restrições desenvolvimentais e a engenharia de ecossistema. Não se pode perder de vista que as controvérsias relacionadas a estes processos e conceitos atualmente não giram em torno da legitimidade ou da plausibilidade dos mesmos, mas sim no que se refere à exclusividade como macroevolutivo, à possibilidade de redução aos processos microevolutivos ou à relevância para explicar fenômenos evolutivos²³.

Desta maneira, é importante que os estudantes tenham noções claras acerca da operação dos processos microevolutivos e de seus efeitos sobre os padrões macroevolutivos, mas também é importante que tenham algum conhecimento sobre processos exclusivamente macroevolutivos. Isso é fundamental para que os estudantes compreendam que as duas escalas estão conectadas de modo não-linear e que ambas são necessárias para compreender a evolução. Assim, o uso de narrativas macroevolutivas se tornará útil tanto para o aprendizado de macroquanto de microevolução, de modo integrado.

Desenvolver a relação entre e micro- e macroevolução em sala de aula pode ser um desafio maior do que aqueles enfrentados na abordagem de outros conceitos citados acima, uma vez que não há muito material didático sobre isso, já que os livros didáticos muitas vezes se limitam apenas à microevolução e/ou propõem uma relação linear entre as duas escalas. É possível propor, todavia, alguns procedimentos que podem ser utilizados para essa finalidade. Primeiramente, introduzir as definições de micro- e macroevolução – por meio de leitura de textos, por exemplo – pode ser um ponto de partida para promover uma discussão sobre as diferenças entre as duas escalas. Pode-se contextualizar historicamente a origem dos termos, que remete a Dobzhansky – influenciado pelas discussões de seu orientador, Filipchenko

²³ Dietrich (2010), por exemplo, defende que o processo de seleção de espécies pode ser reduzido aos processos microevolutivos, com algumas exceções. No que se refere a estas exceções, ele também defende que devem ser tão raras, que não possuem tanta importância para a evolução das espécies como um todo. Enquanto Erwin (2010) vai defender o oposto.

(NEHM; KAMPOURAKIS, 2014) –, e discutir sobre as questões que cada uma destas escalas buscam responder.

Ferramentas para desenvolver a compreensão dos processos microevolutivos, em contrapartida, são muito comuns²⁴. Existem uma diversidade de atividades para trabalhar de forma lúdica os conceitos de seleção natural, deriva genética, migração e mutação. Alguns vídeos e textos podem ser utilizados como recursos didáticos para tratar dos processos microevolutivos. Já a discussão sobre padrões macroevolutivos pode ser associada ao desenvolvimento de atividades sobre pensamento filogenético.

Ainda quanto aos processos macroevolutivos, a introdução de conceitos por meio de aulas expositivas sobre a evo-devo pode ser um primeiro ponto de partida. Contudo, recomendo que os processos macroevolutivos sejam detalhados ao longo da narrativa, para facilitar a contextualização e compreensão destes processos, e relacionados com os processos microevolutivos discutidos previamente (tanto para mostrar as limitações quanto as contribuições da microevolução para compreender a macroevolução).

5 EXEMPLIFICANDO O PLANEJAMENTO DAS NARRATIVAS DE EVENTOS MACROEVOLUTIVOS

A fim de exemplificar o planejamento das narrativas de eventos macroevolutivos, tomarei como exemplo um evento mencionado acima, a Explosão do Cambriano. Como discutido anteriormente, este evento macroevolutivo é marcado pelo grande aumento da diversidade e disparidade das formas de metazoários bilaterais em um período geologicamente curto (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Mas como, a partir da proposta apresentada neste trabalho, podemos transformar os acontecimentos deste evento numa narrativa útil para ensinar evolução de maneira pluralista e integrada no ensino médio? Primeiramente, podemos lançar mão da estrutura proposta no modelo de Labov (1972): Resumo, Orientação, Complicação, Avaliação, Resolução e Coda. Após isso, o planejamento do conteúdo partirá da identificação das três dimensões (abiótica, ecológica e desenvolvimental) propostas para

²⁴ Por exemplo, Reis e colaboradores (2016) sugerem outros princípios de *design* para o ensino de evolução, mas com um enfoque microevolutivo. Além disso, do site “Entendendo e Evolução” – Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/>>, acessado em: 19 de março de 2017 –, hospedado pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, disponibiliza vários textos e indica uma variedade de recursos didáticos para auxiliar professores e estudantes quanto aos conteúdos de evolução, especialmente a microevolução.

planejar as narrativas e selecionar os processos e padrões evolutivos envolvidos, considerando o contexto do ensino médio.

Começando pelo Resumo, que é destinado a apresentar brevemente a questão central que orienta a narrativa, podemos introduzir o que é a Explosão do Cambriano, mencionar como a comunidade científica tem debatido amplamente sobre o tema ao longo dos anos – em razão de o evento parecer contrariar certas expectativas uniformitaristas e extrapolicionistas do conhecimento evolutivo baseado nos pressupostos da síntese moderna (ver nota 4 deste artigo) – e, por fim, deixar em aberto as questões sobre o que pode ter acontecido.

Quanto à Orientação, que oferece informações importantes para localizar temporal e espacialmente o evento, devemos trazer informações sobre quando a Explosão do Cambriano aconteceu (cerca de 520 milhões de anos atrás), utilizando uma tabela do tempo geológico (ZHANG et al., 2013); quais organismos compõem a diversidade da fauna do Cambriano, situando estes organismos em uma árvore filogenética e apresentando relações de parentescos com organismos atuais; e onde são encontrados os principais depósitos fossilíferos relacionados a este evento (por exemplo, os depósitos de *Burgess Shale*, *Sirius Passet* e *Chengjiang*).

Na Complicação, que é a parte da narrativa que trata especificamente dos acontecimentos que compõem o evento, podemos traçar comparações entre a fauna do Cambriano e a fauna de Ediacara (e incluir até mesmo faunas que precederam a Ediacara, se sentir que é necessário). A fauna de Ediacara é composta por organismos muito mais simples e completamente diferentes da fauna que surgiu a partir da Explosão do Cambriano (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Porém, a extensão de tempo entre as duas faunas é apenas de cerca de 20 milhões de anos, o que é relativamente pouco tempo quando consideramos a magnitude das mudanças evolutivas envolvidas e a escala do tempo geológico. Podemos mostrar como o registro fóssil apresenta um repentino aparecimento, quase concomitante, de muitas classes e ordens de bilaterais, além do estabelecimento dos padrões corporais (filos) que se mantém até os dias de hoje. Mais que isso, o registro fóssil mostra que a disparidade se estabeleceu antes mesmo do aumento da diversidade de espécies, o que é inesperado de uma perspectiva gradualista.

Ainda na Complicação, podemos descrever os padrões macroevolutivos encontrados. Mais especificamente, um padrão de radiação evolutiva, no qual muitas espécies são originadas a partir de um único ancestral comum em um espaço curto de tempo. É possível, neste ponto, trazer à tona a discussão sobre o gradualismo e o padrão proposto pela teoria do equilíbrio

pontuado. Outro padrão macroevolutivo que é notável durante a Explosão do Cambriano é uma tendência evolutiva ao desenvolvimento de esqueletos biomineralizados e o aumento de tamanho em quase todas as linhagens de bilaterais.

Na Avaliação, que informa as consequências dos eventos da complicação, realçando a importância de certos eventos em relação a outros, podemos evocar certas perguntas, por exemplo: Como explicar os padrões encontrados, se o gradualismo prevê que as mudanças evolutivas devem ser graduais? Será que o registro fóssil está equivocado? Será que existem diferentes taxas de mudança evolutiva? Como explicar mudanças na taxa evolutiva?

Na parte da narrativa voltada para a Resolução, que apresenta a solução para os desafios e os conflitos apresentados na narrativa, podemos introduzir a discussão sobre os processos evolutivos e fenômenos abióticos que podem ter funcionado como gatilho para a Explosão do Cambriano e produzido os padrões que evidenciamos no registro fóssil (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Neste ponto, podemos introduzir os processos identificados nas dimensões abiótica, ecológicas e desenvolvimentais, apresentando como podem ter contribuído para os eventos da narrativa.

Por fim, na Coda, que representa o fechamento da narrativa, podemos retomar e tentar responder, de forma integrada, as questões que foram levantadas ao longo da narrativa. É um espaço em que podemos concluir a narrativa, ressaltando os seus objetivos educacionais. É possível aproveitar esse momento para retomar discussões sobre a relação entre micro- e macroevolução e sobre interdisciplinaridade, bem como para falar sobre os processos e padrões evolutivos presentes no evento narrado.

Mas quais processos evolutivos e fenômenos abióticos podem ser tratados a partir da narrativa da Explosão do Cambriano? Em termos abióticos, a transição entre o Neoproterozoico e o Cambriano é marcada por grandes mudanças, a exemplo da fragmentação do supercontinente Panótia e, logo em seguida, do surgimento dos supercontinentes Gondwana e Laurásia (ZHANG et al., 2013). Ou seja, geologicamente falando, esta transição é marcada por uma intensa atividade tectônica, com formação de cadeias de montanhas e reorganização da plataforma continental. Outro evento abiótico importante se deu pouco antes do surgimento da fauna de Ediacara, a glaciação de Gaskier – o último grande evento de glaciação global (*SnowBall Earth*). A glaciação em si é nociva para a biodiversidade, mas suas consequências podem ter efeito positivo, por exemplo, através do seu degelo, que pode ter causado um grande evento de intemperismo nos continentes, o que, por sua vez, pode ter causado uma intensa

mudança na composição da água, aumento na disponibilidade de nutrientes para organismos autótrofos e elevação do teor de oxigênio (ZHANG et al., 2013), como já mencionado anteriormente.

A estrutura dos ecossistemas também sofreu uma grande mudança (BUTTERFIELD, 2007; SMITH; HARPER, 2013). Na transição entre o Neoproterozoico e o Cambriano, passou a existir um grupo de organismos que não existia até então: organismos macroscópicos que escavavam verticalmente no substrato. Estes organismos tiveram papel fundamental na modificação da dinâmica ecológica, em um processo de construção de nicho, criando vias de ciclagem de matéria mais rápidos, modificando a composição dos oceanos e a estrutura do substrato, elementos que viriam a direcionar novas mudanças evolutivas nas espécies que conseguiram se estabelecer no novo ecossistema (ERWIN; TWEEDT, 2012). Esta mudança ecológica, somada às intensas mudanças ambientais descritas acima, pode explicar a extinção em massa que culminou no fim da dominância das linhagens mais comuns da Fauna de Ediacara e permitiu o estabelecimento dos bilaterais como organismos ecologicamente importantes (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013).

Esta nova estrutura ecológica dominada por bilaterais exibia relações muito inovadoras. Pela primeira vez no Cambriano, os oceanos continham organismos bilaterais pelágicos macroscópicos, entre os quais alguns predadores ativos, o que deu início a uma corrida armamentista com suas presas (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Nesta corrida, a seleção natural favorecia as presas que exibiam variações que resultaram em estratégias eficazes para se defender dos predadores, e estes últimos, por sua vez, também eram selecionados em função da sua capacidade de superar as defesas de determinadas presas. Este fenômeno coevolutivo pode ter sido um dos fatores que promoveu o aumento rápido da diversidade no início do Cambriano.

Contudo, a disparidade já havia se estabelecido antes da diversidade. O que explica o padrão corporal dos organismos multicelulares são os processos desenvolvimentais e seus vieses (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Os animais bilaterais possuem um conjunto altamente conservado de genes regulatórios do desenvolvimento, os quais formam uma “caixa de ferramentas” desenvolvimentais com cerca de 500 genes (ARTHUR, 2010). Mutações ou alterações epigenéticas que afetam a expressão destes genes provocam intensa repadronização desenvolvimental. Ou seja, pequenas mudanças na expressão destes genes reguladores podem causar mudanças drásticas na forma do corpo dos organismos.

Portanto, o ancestral comum dos bilaterais, contendo esse kit de ferramentas desenvolvimentais, pode ter dado origem a toda disparidade de bilaterais. Certamente, nem todos estes organismos com grandes alterações teriam chances de sobreviver e iniciar uma nova linhagem. Contudo, temos de lembrar que a transição do Neoproterozoico para o Cambriano foi marcada por grandes mudanças abióticas e ecológicas – que podem ter promovido o aumento da intensidade de processos epigenéticos (aumentando a taxa de organismos com novas formas) –, seguidas por um evento de extinção em massa, que pode ter permitido a sobrevivência de organismos em um ambiente com pouca competição por recursos.

Note que, por meio desse breve sobrevoo sobre os processos que podem ter promovido a Explosão do Cambriano, tratei da dimensão abiótica (reorganização tectônica, glaciação e mudança na composição da água), da dimensão ecológica (construção de nicho, extinção em massa e corrida armamentista) e da dimensão desenvolvimental (epigenética, genes homeóticos e processos e vieses desenvolvimentais). Muitos outros poderiam ser acrescentados, como a seleção de espécies, evolvibilidade, modularidade, rupturas de metapopulações, aumento da temperatura global, disponibilidade de cálcio nos oceanos etc. Desta maneira, a narrativa pode ser constituída por uma pluralidade de processos evolutivos para explicar os padrões macroevolutivos encontrados, o que, por sua vez, permite discutir este a Explosão do Cambriano a partir da contribuição de diversas áreas do conhecimento biológico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, foi apresentada uma estrutura conceitual básica para o ensino de evolução de maneira pluralista e integrada no contexto do ensino médio, resultante da fase de pesquisa preliminar de um estudo de desenvolvimento de inovação educacional, nos moldes da pesquisa de design educacional. Esta estrutura conceitual, elaborada à luz da literatura e do saber docente, é composta por cinco princípios de *design* para a construção de sequência didática para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado no ensino médio:

- (1) Usar narrativas de eventos macroevolutivos para contextualizar e integrar diferentes padrões e processos evolutivos, utilizando o modelo de Labov para orientar a estrutura da narrativa e desenvolvendo a pluralidade de processos e de padrões e integração a partir da identificação das dimensões abióticas, ecológicas e desenvolvimentais do evento escolhido.

- (2) Utilizar estratégias que permitam a exposição dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica para permitir o replanejamento da narrativa segundo as necessidades cognitivas dos estudantes.
- (3) Utilizar estratégias didáticas que auxiliem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos para promover a compreensão de fenômenos macroevolutivos que se dão em grandes escalas temporais.
- (4) Usar estratégias didáticas que promovam o desenvolvimento do pensamento filogenético para favorecer a compreensão das relações entre os organismos e os padrões macroevolutivos.
- (5) Empregar estratégias didáticas que promovam a compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear e da distinção destas duas escalas evolutivas.

Minha principal defesa neste trabalho é que considerar a pluralidade de processos e de padrões no ensino de evolução é um passo importante para possibilitar que a teoria evolutiva seja melhor compreendida e possa cumprir mais adequadamente seu papel como eixo integrador do conhecimento biológico. O uso de narrativas de eventos macroevolutivos é entendida, então, como uma abordagem didática central capaz de contextualizar e conectar os diferentes processos e padrões evolutivos (tanto micro- quanto macroevolutivos), tornando possível realizar o pluralismo de uma maneira interessante no contexto das aulas de biologia e evitando o simples acréscimo de conteúdo. Além disso, a inclusão do pluralismo e da macroevolução no ensino de evolução pode fazer com que o poder explicativo da teoria se torne mais plausível e coerente, por dar conta de questões evolutivas complexas que consideram escalas acima das populações, evitando perspectivas exclusivamente adaptacionistas e gene-centricas, e diminuindo, em alguma medida, a desconfiança dos estudantes em relação ao poder explicativo da teoria evolutiva no que se refere a fenômenos evolutivos que os instigam.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, P; ALMEIDA, F. de. Criacionismo e darwinismo confrontam-se nos tribunais... da razão e do direito. *Episteme*, v. 11, n. 24, p. 357-402, 2006.

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

ALMEIDA, A. V. D.; FALCÃO, J. T. D. R. As teorias de Lamarck e Darwin nos livros didáticos de biologia no Brasil. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 3, p. 649-665, 2010.

ALMEIDA, D. F. de. Concepções de alunos do Ensino Médio sobre a origem das espécies. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 143-154, 2012.

AMORIM, D. de S. Paradigmas pré-evolucionistas, espécies ancestrais e o ensino de zoologia e botânica. **Ciência & Ambiente**, v. 36, p. 125-150, 2008.

ANDREATTA, S. A.; MEGLHIORATTI, F. A Integração conceitual do conhecimento biológico por meio da Teoria Sintética da Evolução: possibilidades e desafios no ensino de Biologia. 2008.

ARTHUR, W. **Evolution: A developmental approach**. John Wiley & Sons, 2010.

BAK, P.; PACZUSKI, M. Mass extinctions vs. uniformitarianism in biological evolution. **Physics of Biological Systems**, p. 345-372, 1997.

BAUM, D. A.; SMITH, S.; DONOVAN, S. *The tree-thinking challenge*. **Science**, v. 310, n. 5750, p. 979-980, 2005.

BIZZO, N.; EL-HANI, C. 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, p. 235-257, 2009.

BONITO, J; REBELO, D; MORGADO, M; MONTEIRO, G; MEDINA, J; MARQUES, L; MARTINS, L. A Complexidade do Tempo Geológico e a sua Aprendizagem com Alunos Portugueses (12-13 anos). **Terrae Didactica**, v. 7, n. 2, p. 81-92, 2011.

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

_____. 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.

_____. 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.

BURBANO, H. A. *Epigenetics and genetic determinism*. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 851-63, Oct-Dec. 2006.

BUTTERFIELD, N. J. *Macroevolution and macroecology through deep time*. **Palaeontology**, v. 50, n. 1, p. 41-55, 2007.

CARVALHO, Í. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como Selecionar Conteúdos de Biologia para o Ensino Médio?. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, 2011.

- CARROLL, S. **Infinitas formas de grande beleza**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.
- CLARKE, J. *Feathers before flight*. **Science**, v. 340, n. 6133, p. 690-692, 2013.
- DIETRICH, M. R. *Microevolution and Macroevolution are Governed by the same Processes*. In: AYALA, F.; ARP, R. (Orgs.). **Contemporary Debates in Philosophy of Biology**, John Wiley & Sons Ltd., p. 169-179, 2010.
- DOBZHANSKY, T. **Genética do processo evolutivo**. São Paulo: Polígono, 1973.
- DODICK, J. *Understanding evolutionary change within the framework of geological time*. **McGill Journal of Education**, v. 42, n. 2, p. 245-264, 2007.
- 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.
- DORVILLÉ, L. F.; SELLES, S. L. Criacionismo: transformações históricas e implicações para o ensino de ciências e biologia. **Cadernos de Pesquisa**, v. 46, n. 160, p. 442-465, 2016.
- ELDREDGE, N.; GOULD, S. J. **Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism**. 1972.
- ERWIN, D. H. *Macroevolution of ecosystem engineering, niche construction and diversity*. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, n. 6, p. 304-310, 2008.
- _____. *Microevolution and Macroevolution are not Governed by the same Processes*. In: AYALA, F.; ARP, R. (Orgs.). **Contemporary Debates in Philosophy of Biology**, John Wiley & Sons Ltd., p. 180-193, 2010.
- ERWIN, D. H.; TWEEDT, S. *Ecological drivers of the Ediacaran-Cambrian diversification of Metazoa*. **Evolutionary Ecology**, v. 26, n. 2, p. 417-433, 2012.
- FOLGUERA, G.; LOMBARDI, O. *The relationship between microevolution and macroevolution, and the structure of the extended synthesis*. **History and philosophy of the life sciences**, v. 34, p. 539-559, 2012.
- FUTUYMA, D. **Evolutionary Biology**. Sunderland, MA: Sinauer. 2006
- GOULD, S. J. **The structure of evolutionary theory**. Cambridge: Harvard University Press, 2002.
- GOULD, S. J.; LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 205, n. 1161, p. 581-598, 1979.
- GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. **Evolution of the Insects**. Cambridge University Press, 2005.
- HOFFMAN, P. F.; SCHRAG, D. P. *The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change*. **Terra nova**, v. 14, n. 3, p. 129-155, 2002.

HUNEMAN, P. *Macroevolution and Microevolution: Issues of Time Scale in Evolutionary Biology*. (in) HUNEMAN, P.; BOUTON, C. (eds.), *Time of Nature, Nature of Time*. Springer, 2015.

JABLONKA, E.; LAMB, M. J. **Evolução em quatro dimensões: DNA, comportamento e a história da vida**. Companhia das Letras, 2010.

KENRICK, P.; CRANE, P. R. *The origin and early evolution of plants on land*. *Nature*, v. 389, n. 6646, p. 33-39, 1997.

LABOV, W. *The transformation of experience in narrative syntax*. In: LABOV, W. (Ed.) *Language in the inner city*. Philadelphia: University of Pennsylvania, 1972. p. 219-247.

LALAND, K. N.; ULLER, T.; FELDMAN, M. W.; STERELNY, K.; MÜLLER, G. B.; MOCZEK, A.; JABLONKA, E.; ODLING-SMEE, J. *Does evolutionary theory need a rethink?: Yes, urgently*. *Nature*, v. 514. 2014.

_____. *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions*. **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society, 2015.

MARGULIS, L. **Symbiosis in cell evolution**. San Francisco: Freeman; 1981.

MARSHALL, C. R. *Explaining the Cambrian “explosion” of animals*. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 34, p. 355-384, 2006.

MARTINS, L. A. C. P. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. **Episteme**, v. 2, n. 3, p. 33-54, 1997.

MAYR, E. **Desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Brasília: UnB, 1998.

MEGLHIORATTI, F. A.; CALDEIRA, A. M. A.; BORTOLOZZI, J. Recorrência da ideia de progresso na história do conceito de evolução biológica e nas concepções de professores de biologia: interfaces entre produção científica e contexto sociocultural. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 107-123, 2006.

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

_____. O que está em jogo no confronto entre criacionismo e evolução. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 2, p. 211-222, 2013.

MOREIRA, L. A.; ITURBE-ORMAETXE, I; JEFFERY, J. A.; LU, G.; PYKE, A. T.; HEDGES, L. M. ROCHA, B. C.; HALL-MENDELIN, S.; DAY, A.; RIEGLER, M.; HUGO, L. E.; JOHNSON, K. N.; KAY, B. H.; MCGRAW, E. A.; VAN DEN HURK, A. F.; RYAN, P. A.; O'NEILL, S. L. *A Wolbachia Symbiont in Aedes aegypti Limits Infection with Dengue, Chikungunya, and Plasmodium*. **Cell**, v. 139, n. 7, p. 1268-1278, 2009.

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, p. 151-190, 2009.

NEHM, R.; KAMPOURAKIS, K. *History and Philosophy of Science and the Teaching of Macroevolution*. In: **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Springer Netherlands, 2014. p. 401-421.

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, p. 151-158, 2006.

NORRIS, S.; GUILBERT, S.; SMITH, M. L.; HAKIMELAHI S.; PHILLIPS, L.. *A theoretical framework for narrative explanation in science*. **Science Education**, v. 89, n. 4, p. 535-563, 2005.

ODLING-SMEE, F. J.; LALAND, K. N.; FELDMAN, M. W. *Niche construction: the neglected process in evolution*. Princeton University Press, 2003.

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

PERSONS, W. S.; CURRIE, P. J. *Bristles before down: A new perspective on the functional origin of feathers*. **Evolution**, v. 69, n. 4, p. 857-862, 2015.

PIGLIUCCI, M. *An Extended Synthesis for Evolutionary Biology*. **The Year in Evolutionary Biology**: Ann. N. Y. Acad. Sci. 1168, 2009. p. 218-228.

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. p. 9-35, 2009.

REIS, V. P. G. S.; ALMEIDA, M. C.; FIGUEIREDO, P. S.; CARNEIRO, M. C.; COSTA, A. L.; EL-HANI, C. N.; SEPÚLVEDA, C. *Curso de investigação de uma sequência didática para o ensino de evolução segundo a abordagem metodológica da Design Research*. In: SEPÚLVEDA, C; ALMEIDA, M. (orgs.). **Pesquisa colaborativa e inovações educacionais em Ensino de Biologia**. Feira de Santana: UEFS editora. p. 211-247. 2016.

RIBEIRO, R. M. L.; MARTINS, I. *O potencial das narrativas como recurso para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos de física*. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 293-309, 2007.

ROCHA, P.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, Â. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S. de; ASSIS, J. G. de A.; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P. de; CARVALHO, L. M. de; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. de A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H. da; ROSA, V. L. da; EL-HANI, C. N. *Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological*

diversity. In: Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks. 2007. p. 893-907.

SANTOS, C. M. D.; CALOR, A. R. Ensino de biologia evolutiva utilizando a estrutura conceitual da sistemática filogenética – I, **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2007a.

_____. Ensino de biologia evolutiva utilizando a estrutura conceitual da sistemática filogenética – II, **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 1, p. 9-16, 2007 b.

SEPÚLVEDA, C.; ALMEIDA, M. (orgs.) **Pesquisa colaborativa e inovações educacionais em Ensino de Biologia**. Feira de Santana: UEFS editora. 2016.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução. **Ciência e Ambiente**, v. 36, n. 93, p. 124, 2008.

_____. Obstáculos Epistemológicos e Sementes Conceituais para a Aprendizagem sobre Adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 2, 2014.

_____. Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 137-175, 2004.

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.

SHUBIN, N. **A história de quando éramos peixes**. Elsevier Brasil, 2008.

SILVA, H. M.; SILVA, P. R. da; SOUZA, A. C. L.; ARAÚJO, E. S. N. N. de. A influência da religiosidade na aceitação do evolucionismo: um estudo em uma amostra da população brasileira. **Conexão ciência: r. cient. UNIFOR-MG, Formiga**, v. 8, n. 1, p. 01-19, jan./jun. 2013

SIMONS, H.; KUSHNER, S.; JONES, K.; JAMES, D. *From evidence-based practice to practice-based evidence: the idea of situated generalization.* **Research Papers in Education**, London, v. 18, n. 4, p. 347-364, 2003.

SMITH, M. P.; HARPER, D. *Causes of the Cambrian explosion.* **Science**, v. 341, n. 6152, p. 1355-1356, 2013.

SOARES, M.B. (Org.). **A paleontologia na sala de aula**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 714p, 2015.

THEWISSEN, J.; COOPER, L; GEORGE, J; BAJPAI, S. *From land to water: the origin of whales, dolphins, and porpoises.* **Evolution: Education and Outreach**, v. 2, n. 2, p. 272, 2009.

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

UNIVERSITY OF CALIFORNIA MUSEUM OF PALEONTOLOGY; NATIONAL CENTER FOR SCIENCE EDUCATION. **Entendendo a evolução**. Traduzido por: Camila Leal. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/>>. Acesso em: 19 mar, 2017.

VAN DEN AKKER, J. *Principles and methods of development research*. In: VAN DEN AKKER, J.; BRANCH, R.M.; GUSTAFSON, K.; NIEVEEN, N.; PLOMP, T. (Eds), ***Design approaches and tools in education and training***. Springer Netherlands, p. 1-14, 1999.

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

WRAY, G. A.; HOEKSTRA, H. E.; FUTUYMA, D. J.; LENSKI, R. E.; MACKAY, T. F. C.; SCHLUTER, D.; STRASSMANN, J. E. *Does evolutionary theory need a rethink?: No, all is well*. ***Nature***, v. 514. 2014.

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.

ZHOU, Z. *Dinosaur evolution: feathers up for selection*. ***Current Biology***, v. 24, n. 16, p. R751-R753, 2014.

CAPÍTULO 2

TRAZENDO A MACROEVOLUÇÃO PARA A SALA DE AULA: INVESTIGANDO PRINCÍPIOS DE *DESIGN* PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO DE MODO PLURALISTA E INTEGRADO NO ENSINO MÉDIO

RESUMO

A teoria darwinista da evolução é um dos principais eixos integradores do conhecimento biológico atual. Contudo, sua abordagem tradicional, focada em seleção natural, mutação, gradualismo e microevolução, não tem sido capaz de promover seu ensino e compreensão de modo pluralista e integrado. Diante dessa problemática, emerge a necessidade de desenvolver inovações educacionais para o ensino de evolução, sendo fundamental a consideração da escala macroevolutiva e do pluralismo de processos e de padrões para poder possibilitar um cenário onde múltiplos processos e padrões evolutivos são contextualizados e integrados. O desenvolvimento de inovações educacionais, segundo os moldes da Pesquisa de *Design* Educacional, passa por investigar a implementação de princípios de *design* em um contexto real de sala de aula. Neste trabalho, será relatada a investigação dos princípios de *design* propostos para orientar a construção de inovações educacionais para o ensino de evolução de modo pluralista e integrada no ensino médio. Para tanto, um primeiro protótipo de uma sequência didática foi elaborado e implementado com base em tais princípios, o que permitiu avaliar, em termos empíricos, se os princípios de *design* atenderam às expectativas educacionais desejadas, permitindo sua validação e o desenvolvimento da inovação.

1 INTRODUÇÃO

A compreensão de muitas questões centrais da biologia, como a origem da biodiversidade, das homologias e das adaptações, depende de ter na devida conta a teoria darwinista da evolução. Assim, a evolução é um dos temas mais importantes para o conhecimento biológico atual, sendo considerado um dos seus principais eixos estruturadores e integradores, o que torna o ensino de evolução fundamental nas aulas de biologia.

No Brasil, a importância da evolução no ensino de biologia está salientada nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), diretrizes que orientam o

ensino das disciplinas escolares do Ensino Médio (BRASIL, 2000), e é reforçada nos PCN+ (BRASIL, 2002), propostos como orientações complementares aos PCNEM, e nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) (BRASIL, 2006). De modo geral, estes documentos¹ sugerem que a evolução seja um elemento central e unificador no estudo da biologia, no qual sua articulação com os demais assuntos deve constituir uma linha orientadora do tratamento dos diversos conteúdos.

No ensino médio, a evolução costuma ser descrita como um processo de mudança gradual das frequências alélicas das populações de organismos, principalmente em razão da influência da seleção natural e da origem da variação, em última análise, devido a mutações. Contudo, esta perspectiva limita o ensino de evolução apenas aos processos propostos pela genética de populações (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010), área da biologia central na síntese evolutiva moderna, que estuda a distribuição e mudança das frequências alélicas nas populações sob influência da seleção natural, deriva gênica, mutação, recombinação e fluxo gênico. Enquanto certas áreas da biologia conseguiram espaço junto à genética de populações na construção teórica da síntese evolutiva – como a genética clássica e a sistemática –, outras assumiram a função de descrever e fornecer dados (mas não de oferecer explicações, previsões ou modelos) – como a paleontologia e a anatomia e fisiologia comparada –, e outras, ainda, foram parcial ou totalmente esquecidas pela biologia evolutiva – como a biologia do desenvolvimento (FOLGUERA; LOMBARDI, 2012). Desta forma, houve limites na integração dos diversos campos da biologia na síntese moderna, como meio de explicar a evolução.

Nos últimos anos, tem sido debatida a necessidade de ampliação da teoria evolutiva, sob a forma de uma síntese estendida da evolução (PIGLIUCCI, 2009; PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010; LALAND et al., 2015). Ainda é controverso dizer que estamos, de fato, caminhando para uma nova síntese evolutiva (LALAND et al., 2014; WRAY et al., 2014). Mas é inegável que a biologia evolutiva está passando por um momento de revisão e reestruturação de seu arcabouço teórico, o que, conseqüentemente, tem modificado nosso olhar sobre a evolução biológica.

¹ No momento da construção, elaboração e investigação deste trabalho, estes documentos eram válidos – e ainda o são, em certa medida. Contudo, a educação pública brasileira está passando por reformulações importantes – por exemplo, com a proposta de criação da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) –, de modo que os PCNs e o OCEM perderão validade como orientadores do ensino em nosso país. De qualquer forma, é esperado que estas mudanças não irão afetar negativamente a importância do conteúdo de evolução para o ensino de biologia.

Neste contexto, diversos campos do conhecimento biológico que não possuíam muita relevância para compreender a mudança evolutiva vêm fornecendo grandes contribuições, teóricas e empíricas, que têm permitido esmiuçar novos aspectos da evolução biológica e preenchido lacunas na síntese evolutiva. Estes novos aportes se relacionam com duas ideias fundamentais: (1) o pluralismo de processos (PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000; MEYER; EL-HANI, 2005), que leva em conta uma diversidade de processos, além da seleção natural e de outros processos microevolutivos, na explicação da mudança evolutiva (a exemplo dos vieses desenvolvimentais, da construção de nicho etc.), e (2) o pluralismo de padrões (ELDREDGE; GOULD, 1972; DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007), que considera que existem padrões evolutivos alternativos ao gradualismo e ao padrão em árvore, tipicamente assumidos na síntese moderna (a exemplo do padrão de equilíbrio pontuado² e da reticulação³).

O modo como o ensino de evolução geralmente ocorre, contudo, não tem considerado uma abordagem pluralista, apresentando geralmente visões exclusivamente gene-cêntricas (BURBANO, 2006) – enfocando quase exclusivamente os genes como unidades de herança, controle fisiológico, desenvolvimento e seleção – e adaptacionistas (GOULD; LEWONTIN, 1979; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2008) – segundo a qual se toda e qualquer característica de uma espécie é tratada como uma adaptação e, logo, como um produto apenas da seleção natural.

É importante, não obstante, que o ensino de evolução considere a pluralidade de processos e de padrões⁴. Uma abordagem mais pluralista pode ser fundamental para permitir a construção de uma visão mais integrada da biologia (FOLGUERA; LOMBARDI, 2012), uma vez que o esforço de integrar diferentes campos do conhecimento biológico à biologia evolutiva tem propiciado discussões sobre outros processos e padrões evolutivos – indo além do enfoque

² O Equilíbrio Pontuado é uma teoria sobre padrões evolutivos desenvolvida por Eldredge e Gould (1972), a qual propõe que as linhagens dos organismos se mantêm relativamente estáveis ao longo do tempo, com poucas mudanças evolutivas, até que ocorra um evento de especiação, chamado de pontuação, na qual a mudança evolutiva se dá de forma mais intensa. Esta teoria, de modo geral, contrasta com a visão da síntese moderna, por assumir que a evolução segue padrões de estases e pontuações, ao invés do gradualismo.

³ O padrão em rede ou reticulação (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007) busca considerar o papel da herança lateral na evolução das linhagens, ou seja, a herança entre organismos que não são diretamente aparentados, por exemplo, por meio da transferência de material genético entre organismos que são da mesma geração de uma dada espécie, ou até mesmo entre espécies distintas. A herança lateral é, assim, diferente da herança vertical, que consiste na transferência de informações da geração parental para a prole.

⁴ Neste trabalho, entende-se por “processos evolutivos” o conjunto de mecanismos que possibilitam a, ou interferem na mudança evolutiva, a exemplo da seleção natural, da mutação, da deriva genética e dos vieses desenvolvimentais. Os “padrões evolutivos”, por sua vez, correspondem às representações das relações entre as linhagens de organismos, enfatizando arranjos que se repetem regularmente, a exemplo das tendências evolutivas, dos eventos de diversificação, das convergências evolutivas, do gradualismo filético. Em termos gerais, o padrão evolutivo darwinista é expresso, desde Darwin, pela metáfora da árvore da vida.

quase exclusivo em processos como a seleção natural e as mutações, e padrões como o gradualismo. Desta maneira, quando se considera essa pluralidade em um determinado problema evolutivo, torna-se inevitável a lançar mão de contribuições de diferentes áreas do conhecimento biológico de modo integrado. Sendo assim, é possível dizer que uma visão pluralista da evolução está intimamente ligada a uma visão integrada da biologia.

No capítulo anterior, propus uma outra forma de abordar o ensino de evolução de modo a superar estas limitações. Assumindo que o pluralismo de processos e de padrões é um elemento relevante para promover a integração do conhecimento biológico por meio da biologia evolutiva e aumentar a plausibilidade e o poder explicativo da teoria evolutiva, busquei desenvolver uma proposta para o ensino de evolução que busca dar conta da conexão entre múltiplos processos e padrões evolutivos, superando as abordagens exclusivamente genocêntricas e adaptacionistas, comuns no ensino de evolução na educação básica. Com este intuito, propus o ensino de evolução por meio de narrativas de eventos macroevolutivos, por meio das quais seria possível contextualizar e conectar estes processos e padrões de modo a favorecer a compreensão dos processos e padrões evolutivos, visando um aprendizado de longo prazo e mais integrado.

Em contraste, o ensino de evolução costuma focar na microevolução, ou seja, aos processos e padrões evolutivos numa escala populacional. Esse enfoque é facilmente reconhecido quando observamos os exemplos, todos microevolutivos, que normalmente compõem o ensino de evolução: os clássicos exemplos do melanismo industrial em mariposas, do alongamento do pescoço das girafas e do aumento de resistência a antibióticos em bactérias. Raramente ou nunca são abordados exemplos de eventos macroevolutivos, que envolvem padrões e processos evolutivos acima do nível das mudanças populacionais – mais precisamente, ao nível da especiação e acima dele (DODICK, 2007; BIZZO; EL-HANI, 2009). Neste contexto, ainda que de forma implícita, a macroevolução é considerada apenas como o somatório de vários eventos microevolutivos, ou seja, para se entender um evento macroevolutivo, bastaria extrapolar os processos microevolutivos para uma grande escala temporal (HUNEMAN, 2015), sem a necessidade de considerar quaisquer outros fatores. Essa concepção de macroevolução torna pouco relevante adentrar ou mesmo mencionar os eventos macroevolutivos, já que bastaria compreender os eventos microevolutivos e reduzir a macroevolução a eles.

Porém, esta visão extrapolacionista sobre a relação entre micro- e macroevolução não é consistente com o reconhecimento de que muitos eventos biológicos na história da Terra, especialmente os de natureza macroevolutiva, ocorreram em contextos bastante complexos e segundo padrões que exibem variação na taxa evolutiva, o que não seria esperado pelas expectativas uniformitaristas⁵ da abordagem microevolutiva (SHEN et al., 2010; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015). Desta maneira, tem sido um grande desafio tratar com a devida profundidade uma diversidade de importantes fenômenos de natureza macroevolutiva, como, por exemplo, eventos de rápida diversificação, surgimento de novidades evolutivas relativas a grandes grupos taxonômicos, tendências evolutivas e extinções em massa (BIZZO; EL-HANI, 2009; NADELSON; SOUTHERLAND, 2009; ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBARDI, 2012; HUNEMAN, 2015).

Quando nos deparamos com questões macroevolutivas, é notável que elas exigem abordar relações ecológicas, genéticas, desenvolvimentais etc., ou seja, que demandam um olhar pluralista quanto aos processos e padrões evolutivos. Tal característica, portanto, favorece a compreensão da evolução como integradora do conhecimento biológico, na medida em que reúne esforços de diferentes áreas da biologia e pontos de vista para tratar de um mesmo problema evolutivo, tal como mencionado anteriormente. Além disso, os eventos macroevolutivos também tornam necessário conectar o conhecimento biológico com aquele produzido em outras ciências – como a geologia, a geografia, a climatologia, a química etc. –, tendo grande potencial para um ensino interdisciplinar. Tais aspectos justificam o destaque que a macroevolução possui na proposta de ensino de evolução de modo pluralista e integrada⁶ apresentada no capítulo anterior.

⁵ A teoria do uniformitarismo pressupõe uma uniformidade temporal dos fenômenos geológicos e das suas causas, de maneira que toda mudança na paisagem natural se daria de forma gradual, embora possam existir esporádicos episódios catastróficos. O gradualismo, que se constitui como uma das subteorias fundamentais da teoria darwinista da evolução (MAYR, 1998), é proposto por Darwin a partir da influência do livro *Princípios da Geologia* de Charles Lyell – o qual é considerado um dos marcos do uniformitarismo. Desta maneira, similarmente ao uniformitarismo, mas aplicado às mudanças evolutivas ao invés das geológicas, o gradualismo propõe que a evolução dos seres vivos também se daria de forma gradual e uniforme, pelo paulatino acúmulo de variação promovida pela ação da seleção natural (BAK; PACZUSKI, 1997).

⁶ Na perspectiva que estou defendendo neste trabalho, uma abordagem pode ser considerada pluralista e integrada se (1) considera o pluralismo de processos e de padrões evolutivos e (2) consegue integrar os diferentes processos e padrões, assim como os diferentes campos da biologia, por meio do conhecimento evolutivo. Estes dois aspectos estão intimamente relacionados, uma vez que problemas evolutivos analisados sob a ótica do pluralismo de processos e de padrões dependem da consideração das contribuições de diferentes áreas do conhecimento biológico de modo integrado.

Contudo, a ausência do ensino de macroevolução não apenas dificulta a compreensão integrada da biologia por meio da evolução, como também limita a plausibilidade e aceitação da própria teoria evolutiva, uma vez que um enfoque exclusivamente microevolutivo não dá conta de explicar de modo convincente muitos eventos evolutivos importantes, especialmente os de natureza macroevolutiva. Tal lacuna abre espaço para dúvidas sobre o poder explicativo da teoria evolutiva. Além disso, tal abordagem tem permitido a manutenção de concepções exclusivamente adaptacionistas e gene-cêntricas acerca da evolução, o que, por sua vez, tem limitado o desenvolvimento de perspectivas pluralistas.

No presente trabalho, amparado nos marcos-teóricos da Pesquisa de Design Educacional (*Educational Design Research*, ver PLOMP, 2009), relato a investigação dos princípios de *design* propostos para orientar a construção de inovações educacionais para o ensino de evolução de modo pluralista e integrada no ensino médio. Esses princípios foram elaborados a partir da pesquisa preliminar relatada no capítulo anterior, desenvolvida a partir do diálogo entre a literatura e o saber docente. Para tanto, em colaboração com um professor do ensino médio, elaborei e implementei esta proposta na forma de um primeiro protótipo de uma sequência didática construída com base em tais princípios, o que permitiu avaliar, em termos empíricos, se os princípios atenderam às expectativas educacionais desejadas, permitindo sua validação e o desenvolvimento da inovação.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

2.1 Modalidade de Pesquisa: Pesquisa de *Design* Educacional

A construção e investigação de inovações educacionais só se constitui, de fato, em uma atividade de pesquisa se gerar compreensão teórica sobre o fenômeno pesquisado. Em razão deste requisito, é necessário ter uma questão de pesquisa educacional clara a ser respondida e um desenho metodológico rigoroso e adequado.

Uma abordagem metodológica que oferece um modo adequado de propor questões de pesquisas acerca do desenvolvimento e do aprimoramento de inovações educacionais, tais como sequências didáticas, é a Pesquisa de *Design* Educacional (*Educational Design Research*, ver PLOMP, 2009). Esta modalidade de pesquisa educacional 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 de suas características. Para tanto, esta modalidade de pesquisa pode ser organizada, como proposto por Plomp (2009), a partir de uma questão geral: Quais são as características de uma intervenção X para alcançar o resultado Y ($y_1, y_2, y_3...$) no contexto Z?

Note-se que a preocupação deste tipo de pesquisa gira em torno das características de uma determinada intervenção educacional que visa alcançar um determinado resultado em um determinado contexto. Ou seja, busca-se investigar quais abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, entre outras coisas, são fundamentais para se alcançar um objetivo educacional desejado, num contexto definido. Portanto, baseando-se nesta questão geral da Pesquisa de *Design* Educacional, a pergunta de pesquisa que norteará este trabalho será: Quais as características de uma sequência didática fundamentada no ensino de macroevolução para promover o ensino de biologia evolutiva de modo pluralista e integrada em aulas de biologia do ensino médio? A partir desta investigação, pode-se desenvolver uma compreensão teórica do fenômeno em pauta, no caso, do ensino de evolução, mas também se torna possível oferecer suporte para tomadas de decisões mais informadas, com o intuito de aprimorar as práticas educacionais.

Estas características amplamente aplicáveis de inovações educacionais são elementos constituintes dos princípios de *design*, ou princípios de planejamento. Definir estes princípios é fundamental para se dar o primeiro passo neste tipo de pesquisa, no qual é preciso estabelecer quais princípios de *design* serão investigados. Estes princípios são elaborados por meio de ciclos de levantamento de problemas educacionais e planejamento de soluções (PLOMP, 2009) e são entendidos como produtos teóricos – que podem compor uma teoria de ensino específica para um dado domínio – que orientam a construção de uma inovação educacional. Ou seja, são estes princípios que orientarão de modo consistente a construção e implementação de uma determinada inovação educacional, sugerindo – como já mencionado – abordagens, procedimentos, conceitos, técnicas, discursos, entre outras coisas, fundamentais para se alcançar um determinado objetivo educacional num contexto definido.

Van den Akker (1999) propõe uma estrutura capaz de sistematizar de modo adequado estes princípios segundo as bases da Pesquisa de *Design* Educacional:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, então é aconselhável prover esta intervenção das características A, B e C [ênfase substantiva], e fazer isso por meio dos procedimentos K, L e M [ênfase procedimental], em razão dos argumentos P, Q e R.

Neste trabalho, adotarei uma adaptação desta formulação de Van den Akker feita pelo Grupo de pesquisa GCPEC⁷ (SARMENTO, 2016), com o propósito de ser o mais claro possível na enunciação dos princípios de *design*:

Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, é aconselhável:

- (1) Adotar a característica A, para o propósito/função y_1 , realizando o procedimento K, em razão do argumento P.
- (2) Adotar a característica B, para o propósito/função y_2 , realizando o procedimento L, em razão do argumento Q.
- (3) Adotar a característica C, para o propósito/função y_3 , realizando o procedimento M, em razão do argumento R.
- (...)

Mais uma vez, é notável a importância de se considerar o objetivo a ser alcançado (Y) e o contexto (Z) de implementação para se construir uma intervenção educacional e para a elaboração de princípios para planejá-la. Contudo, a elaboração dos princípios também exige pensar em sua ênfase substantiva, em sua ênfase procedimental, bem como nas razões que sustentam e justificam teórica e empiricamente suas características.

A ênfase substantiva de um princípio de *design* se refere a características mais gerais da intervenção, ou seja, se refere ao que se aconselha fazer de modo generalizado para alcançar determinado objetivo educacional, mas não ao como fazer num contexto particular de aplicação (VAN DEN AKKER, 1999). Estas características substantivas, ao serem validadas ao longo dos ciclos de estudo da pesquisa de *design*, tornam-se generalizações que são parte de uma teoria de ensino domínio-específica.

Já a ênfase procedimental de um princípio de *design* trata das características requeridas para uma dada implementação e realização de uma característica substantiva em uma inovação educacional (VAN DEN AKKER, 1999). Diferentemente das características substantivas, é esperado que os procedimentos sejam contexto-dependentes, ainda que seja possível algum grau de generalização. Ou seja, as características procedimentais são específicas dos contextos educacionais nos quais as inovações serão ou foram implementadas e, portanto, sua generalização só é possível mediante uma descrição detalhada do contexto de implementação – o que inclui o plano de curso da disciplina escolar, o número de aulas dedicadas ao ensino do tema, entre outros aspectos – que possibilite o reconhecimento de similaridades em relação a outros contextos educacionais, de modo que possa justificar a transferência dos procedimentos

⁷ Grupo Colaborativo de Pesquisa em Ensino de Ciências, coordenado por Profa. Claudia Sepúlveda, na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

utilizados, com as devidas adaptações, por outros educadores ou pesquisadores para estes novos contextos (SIMONS et al., 2013).

Esta distinção entre a ênfase substantiva e a ênfase procedimental de um princípio de *design* nos permite atribuir certa independência a elas, de modo que seja possível, por exemplo, planejar e implementar diferentes conjuntos de características procedimentais para realizar uma mesma característica substantiva, ampliando, assim, a possibilidade de generalização de um princípio a diferentes contextos.

Como já deve ser perceptível a esta altura, uma expectativa central da Pesquisa de *Design* Educacional é a produção de generalizações teóricas que possam ser utilizadas em outros contextos (PLOMP, 2009). Estas generalizações consistem na compreensão teórica sobre princípios de *design* de uma determinada intervenção didática, mas também podem dizer respeito ao próprio processo de construção e investigação desta. Sepúlveda e colaboradores (2016) propõem duas formas de alcançar essa generalização ao longo de uma pesquisa de *design*. Tais generalizações podem ser pensadas em termos de generalizações situadas (SIMONS et al., 2003), ou seja, os dados relativos a um determinado contexto podem tornar-se evidências transferíveis para outros contextos conquanto haja conexão e similaridade entre eles – sendo esta conexão e similaridade analisadas pelo educador que usará a inovação ou os princípios, portanto, transferindo o poder sobre a generalização do pesquisador para quem utiliza o conhecimento oriundo da pesquisa (ver SIMONS et al., 2013). Além disso, a possibilidade de generalização pode ser potencializada pela maximização da variedade de contextos (LARSSON, 2009), o que se torna possível pelo aumento de casos qualitativamente diferentes que compõem a base empírica, e não pela representatividade propiciada por uma amostragem extensa e randômica. Isso possibilita acomodar o efeito de variáveis de confusão que podem existir em diferentes contextos educacionais e que podem não dizer respeito ao que se quer investigar – como o relacionamento professor-aluno, o interesse e a motivação dos estudantes, o conhecimento prévio dos alunos, a estrutura da sala de aula etc., que são elementos que podem variar fortemente em diferentes turmas por razões diversas.

É fundamental a consideração do saber docente para a viabilização desta proposta no contexto real da sala de aula (SEPÚLVEDA; ALMEIDA, 2016). Para tanto, traz grande contribuição a organização da Pesquisa de *Design* Educacional como uma investigação colaborativa, na qual pesquisadores e professores da educação básica, em conjunto, desenham e desenvolvem protótipos de inovações educacionais, evitando tomadas de decisões unilaterais.

Desta maneira, a elaboração dos princípios de *design* será orientada não apenas pela literatura científica, mas também pelos saberes experienciais de professores, que têm grande importância na reflexão sobre problemas educacionais complexos, bem como na proposição de soluções para tais problemas e na investigação das soluções propostas. Desse modo, pode-se diminuir a lacuna entre pesquisa e prática educacional, ou seja, a distância entre a produção de conhecimento pela pesquisa acadêmica e as práticas dos professores.

É importante dizer que pesquisas que se orientam por esta modalidade de pesquisa educacional inevitavelmente geram três produtos de grande importância (PLOMP, 2009). O primeiro, que representa o foco real da pesquisa, trata justamente da compreensão teórica acerca dos princípios de *design* pesquisados, importante para novas a investigação, o desenvolvimento e a implementação de novas intervenções educacionais. O segundo produto é a própria intervenção educacional⁸ (que pode ser, por exemplo, uma sequência didática), a qual se origina da necessidade de pesquisar os princípios de *design*, com a finalidade de testá-los, durante a implementação da mesma, em um contexto real de sala de aula. E, por fim, o terceiro produto é a formação continuada e o desenvolvimento profissional de professores e pesquisadores educacionais, que é alcançada no processo de colaboração entre os mesmos e que favorece a relevância, a qualidade e o progresso da pesquisa em ensino de ciências, bem como o próprio ensino.

2.2 Sobre esta investigação

A escolha da Pesquisa de Design Educacional como modalidade de pesquisa reflete a necessidade de uma abordagem metodológica rigorosa na investigação de inovações educacionais, que permita a construção de questões de pesquisa apropriadas para seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, bem como para a produção de teorias de ensino amplamente aplicáveis numa diversidade de contextos, com robusto suporte empírico. Sua complementação com uma abordagem colaborativa – que está relacionada com uma maior valorização do conhecimento docente, reconhecendo a existência de limites da teoria educacional para a construção de intervenções didáticas, os quais podem ser supridos pelo saber

⁸ É importante deixar claro que o objetivo desta modalidade de pesquisa educacional é a produção e validação de princípios de *design*, que, como já foi dito, podem ser entendidos como generalizações teóricas. Sequências didáticas, por exemplo, acabam por ser produtos secundários por meio dos quais os princípios são implementados, mas diferentemente dos princípios, uma sequência didática, bastante ancorada na ênfase procedimental, não possui o mesmo potencial de ser transponível para outros contextos de ensino.

experencial dos professores –, faz com que este estudo ganhe em relevância no que tange à solução de problemas reais da prática docente.

Dentre os tipos de estudo incluídos na Pesquisa de Design Educacional, são os estudos de desenvolvimento de inovações educacionais que se mostram mais adequados a este trabalho, pois visam resolver problemas educacionais complexos por meio de uma pesquisa que possibilite a construção e validação de princípios de *design* amplamente aplicáveis (NIEVEEN; MCKENNEY; VAN DEN AKKER, 2006). Este tipo de estudo envolve três etapas: a pesquisa preliminar, a fase de prototipagem e a fase avaliativa (PLOMP, 2009).

A primeira etapa corresponde à análise dos problemas e das necessidades educacionais referentes a um determinado tema em um determinado contexto de ensino e aprendizagem, envolvendo revisão da literatura pertinente e mobilização do saber docente de professores atuantes no contexto e engajados no estudo, que permita a elaboração de uma estrutura conceitual orientadora da inovação.

A segunda corresponde a ciclos de investigações em sala de aula, nos quais diferentes versões das inovações, chamadas de protótipos, são construídas, testadas, avaliadas e aperfeiçoadas em diversos contextos e com crescente quantidade de participantes. Nesta etapa, ao fim de cada ciclo, é realizada uma avaliação formativa, visando refletir sobre resultados parciais obtidos, com o intuito de reconhecer avanços e falhas importantes, que possam informar o refinamento dos próximos protótipos e, assim, contribuir para o aprimoramento da intervenção.

Por fim, na terceira etapa, é feita a avaliação dos vários protótipos (ciclos de estudo), objetivando concluir se a inovação proposta atingiu as expectativas (se os objetivos de ensino e aprendizagem planejados foram alcançados) e analisando quais princípios de design foram efetivamente validados. Assim, esta abordagem da Pesquisa de *Design* educacional pode modelar e desenvolver uma intervenção com a finalidade de resolver um problema educacional, ao passo que aprimora nosso conhecimento teórico e prático acerca dos princípios que dão vez a intervenções bem-sucedidas, assim como do processo de desenvolvê-las.

Neste trabalho, investigo os princípios de *design* propostos no capítulo anterior – que foram desenvolvidos e refinados por meio da colaboração com um professor de Biologia do ensino médio. Para tanto, implementei estes princípios, produzindo uma intervenção didática que corresponde ao primeiro protótipo de uma sequência didática para o ensino de evolução de

maneira pluralista e integrada no ensino médio. Ou seja, este trabalho se refere ao primeiro ciclo de prototipagem em um estudo de desenvolvimento fundamentado na pesquisa preliminar cujos resultados foram apresentados no primeiro capítulo, no qual proponho cinco princípios de *design*.

Por se tratar da investigação do primeiro protótipo, os resultados obtidos nesta pesquisa não poderão ser generalizados por maximização da variação dos contextos de aplicação (LARSSON, 2009). Afinal, este trabalho relata os primeiros passos do desenvolvimento desta intervenção, não tendo ainda investigado os princípios de *design* em uma grande diversidade de contextos educacionais qualitativamente diferentes. No entanto, os resultados poderão ser transpostos para novos contextos de ensino mediante generalização situada (SIMON et al., 2003), caso professores de biologia percebam similaridades e conexões entre o contexto da pesquisa e seus contextos de trabalho pedagógico, tomando, então, os dados obtidos a partir deste estudo como evidências que apoiam a implementação destes princípios nos contextos de ensino em que atuam.

3 PRINCÍPIOS DE *DESIGN* PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO DE MODO PLURALISTA E INTEGRADO

Para investigar um princípio de *design*, é necessário implementá-lo em um contexto real de sala de aula. Sendo assim, um passo importante é complementar as características substantivas da proposta apresentada no capítulo anterior com características procedimentais adequadas ao contexto de estudo empírico. Isso se faz necessário porque a proposta do capítulo anterior focou muito mais sobre a ênfase substantiva do que a procedimental, o que é percebido pela sugestão de características substantivas bem definidas, enquanto a maioria das características procedimentais foi sugerida como possibilidades.

A justificativa para este enfoque residiu na busca pelo máximo de generalidade no desenvolvimento de uma estrutura conceitual para a construção das inovações educacionais. No presente capítulo, por sua vez, a definição de um contexto de implementação implica a necessidade de especificar claramente os procedimentos a serem utilizados para realizar os princípios na prática. Para tanto, em colaboração com o professor envolvido no estudo, os princípios foram ajustados de modo a definir claramente tanto suas características substantivas, quanto as procedimentais, como enunciarei abaixo:

Se você deseja construir uma sequência didática para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado no ensino médio, recomenda-se:

- (1) Usar narrativas de eventos macroevolutivos, para contextualizar e integrar diferentes padrões e processos evolutivos. Recomenda-se a implementação desta característica substantiva por meio das seguintes características procedimentais: (a) abordar um evento macroevolutivo bem documentado e estudado, que apresente alguma ruptura com expectativas intuitivas dos estudantes ou teóricas da síntese moderna e que seja adequado ao contexto e ao cronograma escolar, (b) considerar o modelo de estrutura de narrativas proposto por Labov⁹ (1972), para estruturar a narrativa de maneira clara e motivadora, e (c) explicitar as dimensões abiótica, ecológica e desenvolvimental do evento macroevolutivo¹⁰, ressaltando os processos e padrões evolutivos e os fenômenos abióticos envolvidos, para permitir a discussão sobre as contribuições dos mesmos, de modo contextualizado e integrado, para o evento narrado. As razões que fundamentam o uso deste princípio são: (a) a história evolutiva das linhagens pode constituir narrativas históricas no ensino de biologia que tornem possível discutir os processos e padrões evolutivos de modo contextualizado, unificando diferentes campos do conhecimento biológico por meio da evolução (VAN DIJK; KATTMANN, 2009); (b) narrativas em aulas de ciências permitem organizar a apresentação de conteúdos de modo claro, desenvolver, relacionar e contextualizar conceitos, valores e práticas, facilitar a aprendizagem significativa, aumentar a motivação dos estudantes e professores e construir relações interdisciplinares relacionada à compreensão de fenômenos evolutivos (RIBEIRO; MARTINS, 2007); (c) considerar eventos

⁹ Segundo a estrutura proposta no modelo de Labov (1972), uma narrativa pode ser composta por: (1) Resumo, destinado a apresentar brevemente a questão central que orienta a narrativa, podendo-se relatar resumidamente a sequência de eventos que será abordada; (2) Orientação, que oferece informações importantes, como os lugares, o tempo, quem ou o que participa da história etc., com a finalidade de localizar temporal e espacialmente os eventos narrados; (3) Complicação, que é a sequência de eventos que relata o que aconteceu na narrativa, ou seja, a complicação é basicamente o conteúdo da narrativa, no qual são descritos os fatos acontecidos (RIBEIRO; MARTINS, 2007); (4) Avaliação, na qual são apresentadas as consequências dos eventos da narrativa para o seu público, realçando a importância de certos eventos para a questão central da narrativa e para seus ouvintes; (5) Resolução, que apresenta a solução para os desafios e conflitos apresentados na narrativa; e (6) Coda, que representa o fechamento da narrativa, trazendo os ouvintes de volta para o momento presente. A sequência dos elementos apresentada acima não representa necessariamente a ordem em que eles devem aparecer na narrativa, podendo existir variações. Contudo, esta ordem é bastante intuitiva e, por esta razão, pode conferir maior clareza para os ouvintes – no caso, os estudantes – acerca da sequência de eventos narrados.

¹⁰ Para a discussão sobre estas dimensões, ver capítulo anterior.

macroevolutivos bem documentados e estudados possibilita que a narrativa seja bem suportada empiricamente e por interpretações consistentes, o que é relevante para provê-la de credibilidade; e (d) considerar eventos que apresentem rupturas com expectativas intuitivas ou teóricas, ou seja, eventos que apresentem violação da canonicidade (RIBEIRO; MARTINS, 2007), permite o desenvolvimento de uma narrativa que não seja completamente previsível, o que, por sua vez, pode promover certa inquietação e empolgação nos estudantes em compreender os eventos e sua relação com o desfecho da narrativa, possibilitando o surgimento de discussões e questionamentos importantes.

- (2) Utilizar estratégias que promovam o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica, para permitir o replanejamento da narrativa segundo as necessidades cognitivas dos estudantes. Recomenda-se a implementação desta característica substantiva por meio das seguintes características procedimentais: (a) aplicar questionário sobre evolução, focando sobre questões sobre a pluralidade de processos e padrões evolutivos, e a integração de distintas áreas da biologia no entendimento da evolução, para permitir, além do conhecimento das concepções prévias dos estudantes, a introdução de questões e termos relativos ao tema e o início de uma familiarização com os mesmos, sendo um elemento útil para a atividade de discussão posterior, e (b) mediar discussão sobre noções referentes à biologia evolutiva, principalmente sobre sua pluralidade e integração, explorando concepções dos estudantes para detalhar melhor os conhecimentos que eles possuem sobre o tema. A razão que fundamenta o uso deste princípio é a de que o reconhecimento das concepções prévias dos estudantes é um passo fundamental para planejar as atividades que acontecerão ao longo das aulas, sendo, por exemplo, uma informação muito relevante para reconhecer e justificar quais aspectos da narrativa devem ser mais aprofundados ou como os eventos da narrativa serão sequenciados.
- (3) Utilizar estratégias didáticas que promovam a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos, para promover a compreensão de fenômenos macroevolutivos que se dão em grandes escalas temporais. Recomenda-se a implementação desta característica substantiva por meio das seguintes características procedimentais: (a) exibir vídeo que discuta sobre o papel da compreensão do tempo profundo no desenvolvimento do darwinismo, visando introduzir o tema na sala de aula, salientando sua importância para a biologia e para a

evolução, (b) apresentar linha do tempo com os principais eventos geológicos e biológicos da história da Terra, identificando as unidades e subdivisões da escala geológica e comparando a quantidade de tempo que se deu de um evento para outro e (c) comparar eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo, relacionando-os com a percepção humana sobre o tempo. A razão que fundamenta o uso deste princípio é que nós, humanos, somos influenciados pela noção de tempo da perspectiva da nossa própria existência (BONITO et al., 2011), o que justifica a nossa dificuldade em compreender escalas de tempo mais amplas, como eventos que se dão na escala macroevolutiva (DODICK, 2007). Isso torna necessário utilizar estratégias pedagógicas que favorecem o entendimento das longas escalas temporais da história do planeta Terra e da história da vida.

- (4) Usar estratégias didáticas que promovam o desenvolvimento do pensamento filogenético, para favorecer a compreensão das relações entre os organismos e os padrões macroevolutivos. Recomenda-se a implementação desta característica substantiva por meio das seguintes características procedimentais: (a) desenvolver aula expositiva dialogada¹¹ sobre conceitos chaves da filogenia, como ancestralidade comum, homologia, monofilia, anagênese e cladogênese, e (b) comparar a ideia de evolução linear com a analogia da árvore, exemplificando-as com devidas representações. As razões que fundamentam o uso deste princípio são: (a) os eventos e padrões macroevolutivos, por lidar com mudanças evolutivas ao longo de linhagens, precisam lançar mão de árvores filogenéticas e conceitos básicos de filogenia, (b) as árvores filogenéticas representam visualmente os padrões hierárquicos produzidos pela história evolutiva das linhagens, o que, por sua vez, pode levar à compreensão não somente das relações de parentesco entre as linhagens, mas também das modificações que se deram ao longo do tempo (SANTOS; CALOR, 2007a) e (c) a perspectiva de evolução como progresso linear é bastante difundida no conhecimento popular e não é condizente com o pensamento evolutivo atual, sendo um empecilho para a compreensão do pensamento filogenético (SANTOS; CALOR, 2007b), que deve ser enfrentado com estratégias pedagógicas específicas.
- (5) Empregar estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear, para permitir a distinção

¹¹ Neste trabalho, entende-se por “aula expositiva dialogada” um tipo de aula em que os professores, por meio da introdução de vários questionamentos a serem respondidos ao longo da aula, buscam promover interações com os estudantes, evitando monólogos por grandes períodos de tempo.

entre essas duas escalas evolutivas, sua interação e poder de explicar padrões macroevolutivos. Deste modo, o uso de narrativas macroevolutivas se mostra útil para o ensino tanto de macro- quanto de microevolução. Recomenda-se a implementação desta característica substantiva por meio das seguintes características procedimentais: (a) desenvolver, antes da narrativa, aulas expositivas dialogadas sobre diferentes processos microevolutivos, como seleção natural, deriva genética, fluxo gênico, mutação e recombinação, (b) apresentar padrões evolutivos em conjunto com a aula sobre conceitos de filogenia, ressaltando a existência de taxa evolutiva variável e comparando o gradualismo e o equilíbrio pontuado, (c) desenvolver aula expositiva dialogada sobre diferentes processos macroevolutivos e outros fenômenos evolutivos ao longo da narrativa, como os processos desenvolvimentais, herança inclusiva, extinção em massa e construção de nicho, evidenciando a limitação da perspectiva microevolutiva para explicar eventos da escala macroevolutiva, ressaltando que a macroevolução não pode ser traduzida diretamente no somatório de microevoluções. As razões que fundamentam o uso deste princípio são: (a) normalmente, a relação entre micro- e macroevolução é apresentada de forma extrapolacionista, ou seja, como se processos macroevolutivos fossem compreensíveis com base na mera extrapolação de processos microevolutivos, mas tem sido questionado na literatura se esta perspectiva realmente se sustenta no caso de muitos eventos macroevolutivos complexos, como, por exemplo, eventos de rápida diversificação, tendências evolutivas de longo termo e extinções em massa (ERWIN, 2010; FOLGUERA; LOMBRADI, 2012; HUNEMAN, 2015), (b) certos eventos e padrões macroevolutivos – como, por exemplo, alguns mecanismos de especiação, convergências evolutivas e as tendências evolutivas de curto termo – são intimamente ligados a processos microevolutivos, de modo que a compreensão da microevolução não pode ser excluída da explicação dos fenômenos da escala macroevolutiva (NEHM; KAMPOURAKIS, 2014), (c) normalmente o ensino de macroevolução, quando existente, enfoca nos padrões macroevolutivos, mas também é importante apresentar processos evolutivos que permeiam a escala macroevolutiva (NEHM; KAMPOURAKIS, 2014), como a seleção de espécies, os vieses desenvolvimentais e a construção de nicho.

No quadro abaixo, detalho as relações entre as características substantivas e as características procedimentais dos princípios.

Quadro 3 – Relações entre as características substantivas e as características procedimentais dos princípios de *design* para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado no ensino médio propostos no presente trabalho.

CARACTERÍSTICAS DOS PRINCÍPIOS DE <i>DESIGN</i> PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO DE MODO PLURALISTA E INTEGRADO NO ENSINO MÉDIO	
Características substantivas	Características procedimentais
Usar narrativas de eventos macroevolutivos	Abordar um evento macroevolutivo bem documentado, que apresente alguma ruptura com expectativas intuitivas dos estudantes ou teóricas da síntese moderna e que seja adequado ao contexto e ao cronograma escolar
	Narrar o evento macroevolutivo orientado pelo modelo de estrutura de narrativa proposto de Labov
	Explicitar as dimensões abiótica, ecológica e desenvolvimental do evento macroevolutivo, ressaltando os processos e padrões evolutivos e os fenômenos abióticos envolvidos
Utilizar estratégias que promovam o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica	Aplicar questionário sobre evolução, focando sobre pluralidade de processos e padrões evolutivos, e a integração de distintas áreas da biologia no entendimento da evolução
	Mediar discussão sobre noções referentes à biologia evolutiva, principalmente sobre sua pluralidade e integração, explorando concepções dos estudantes
Utilizar estratégias didáticas que promovam na compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos	Exibir vídeo sobre o papel da compreensão do tempo profundo no desenvolvimento do darwinismo
	Apresentar linha do tempo com os principais eventos geológicos e biológicos da história da Terra, identificando as unidades e subdivisões da escala geológica e comparando a quantidade de tempo que se deu de um evento para outro
	Comparar eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo, relacionando-os com a noção humana sobre o tempo
Usar estratégias didáticas que promovam o desenvolvimento do pensamento filogenético	Desenvolver aula expositiva dialogada sobre conceitos chaves da filogenia, como ancestralidade comum, homologia, monofilia, anagênese e cladogênese
	Comparar a ideia de evolução linear com a analogia da árvore, exemplificando-as com representações
Empregar estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento da compreensão das relações entre	Desenvolver, antes da narrativa, aula expositiva dialogada sobre diferentes processos microevolutivos, como seleção natural, deriva genética, fluxo gênico, mutação e recombinação

micro- e macroevolução de modo não-linear	Apresentar padrões evolutivos em conjunto com a aula sobre conceitos de filogenia, ressaltando a existência de taxas evolutivas variáveis e comparando o gradualismo e o equilíbrio pontuado
	Desenvolver aula expositiva dialogada sobre diferentes processos macroevolutivos e outros fenômenos evolutivos ao longo da narrativa, como os processos desenvolvimentais e outros fenômenos evolutivos ao longo da narrativa, como herança inclusiva, extinção em massa e construção de nicho, evidenciando as limitações da perspectiva microevolutiva para explicar eventos da escala macroevolutiva.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A VALIDAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE DESIGN

4.1 Contexto da Pesquisa

Como já mencionado, para alcançar o objetivo deste trabalho, segundo a modalidade de estudo escolhida, é necessária a implementação da inovação educacional em um contexto real de sala de aula, sendo possível, assim, a investigação dos princípios de design que orientaram sua construção.

Com este propósito, a pesquisa foi realizada numa instituição federal de ensino localizada na cidade de Salvador-BA, no período de setembro a novembro de 2015. Reconhecida em todo o estado, a instituição se destaca pela sua qualidade educacional e profissionalizante. Foi fundada na capital baiana há mais de 100 anos e, desde então, oferece, gratuitamente, educação profissional em diferentes níveis - do técnico ao superior -, incluindo cursos técnicos integrados ao ensino médio, cursos técnicos subsequentes, educação de jovens e adultos (Proeja), bacharelado, engenharias, licenciaturas, graduações tecnológicas, especializações, mestrado e doutorados. O ingresso do alunado na instituição se dá por meio de um processo seletivo que, juntamente com o rigor da própria instituição e qualidade dos professores, certamente tem grande influência nas características peculiares dos seus estudantes, normalmente bastante motivados, estudiosos, críticos e dedicados, muitas vezes considerados acima da média do alunado nacional.

Os estudantes que participaram desta investigação pertenciam à turma do quarto ano de um curso técnico de química integrado ao ensino médio, a qual foi selecionada para o estudo porque seu conteúdo de biologia é igual àquele presente no terceiro ano do ensino médio

convencional. Neste momento de sua escolaridade, os alunos destes cursos têm geralmente contato com os conteúdos da biologia evolutiva. A turma era formada por 39 estudantes¹², dos quais foi possível acompanhar longitudinalmente, ao longo do estudo, sem dados faltantes, 25 estudantes. O presente estudo considerou apenas os dados destes últimos sujeitos. A idade destes estudantes variou entre 17 e 20 anos, com a grande maioria possuindo 18 (60%). Dada a natureza de sua formação técnica integrada ao ensino médio, os estudantes possuíam maior afinidade com conhecimentos e práticas da química.

O professor que participou e colaborou com a pesquisa é formado em Ciências Biológicas e, no momento em que se deu a investigação, estava cursando doutorado na área de Ecologia. Tinha sido contratado recentemente na instituição de ensino onde foi realizada esta investigação, sendo esta uma das suas primeiras experiências de ensino na instituição. Contudo, já atuava como professor há cerca de quatro anos na educação básica, dois anos no ensino fundamental e dois anos no ensino médio. Uma das suas principais características é a boa relação com os estudantes e sua contínua busca por atualização do conteúdo e das práticas pedagógicas, costumando desenvolver atividades que considera inovadoras. Este professor participou colaborativamente no desenvolvimento deste estudo, tendo participado do desenvolvimento dos princípios de *design*, da implementação destes princípios na elaboração e na realização da sequência didática, e do refinamento dos questionários.

O ambiente da sala de aula tinha boas condições, permitindo o uso de recursos multimídia, como exibição de vídeos e aulas em apresentação de *slides*. A presença do pesquisador em sala de aula talvez tenha sido o elemento mais destoante de uma sala de aula típica, mas rapidamente os estudantes se acostumaram em razão de já terem tido experiência similar com professores em formação que acompanharam as aulas da turma em outros momentos.

O cronograma da disciplina era estruturado em quatro unidades: (1) genética, (2) origem e evolução da vida, (3) ecologia e (4) diversidade animal e vegetal comparada. Desta maneira, o tema evolução foi discutido na segunda unidade, em um total de 9 encontros (cada encontro foi constituído por duas aulas geminadas, com 50 minutos cada uma – totalizando 18 horas-aula).

¹² Todos os estudantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e tiveram seus direitos garantidos tal como requisitado pelos Conselhos de Ética em Pesquisa (CEP). Esta pesquisa foi avaliada e aprovada pelos CEPs da Escola de Enfermagem da Universidade Federal da Bahia (CAAE 51013415.4.0000.5531) e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (CAAE 51013415.4.3001.5031).

4.2 Procedimentos de coleta de dados

A fim de investigar os princípios que orientaram a construção e implementação deste primeiro protótipo, utilizei três tipos de procedimentos e instrumentos de coleta de dados: (1) questionários, que foram aplicados a todos os estudantes; (2) entrevistas, com todos os estudantes e com o professor; e (3) gravações de vídeo e observações do contexto da sala de aula.

No que se refere aos questionários, foi necessária a construção de instrumentos de pesquisa próprios, uma vez que não foi possível encontrar na literatura material plenamente adequado aos interesses da pesquisa. Contudo, a elaboração de algumas questões do instrumento foi inspirada pelo questionário *Measure of Understanding of Macroevolution* (MUM), proposto por Nadelson e Southerland (2009). Não utilizamos este instrumento, mas apenas nos inspiramos, nele, porque, como apontado por Nehm e Kampourakis (2014), o MUM tem limitações por focar muito mais nos padrões que nos processos macroevolutivos. Além disso, o MUM não buscava avaliar a compreensão da evolução de modo pluralista e integrado, o que o tornou pouco relevante para este estudo.

Os questionários visaram analisar o desempenho dos estudantes ao longo da intervenção, de modo a suportar inferências acerca de sua compreensão acerca de determinados conceitos trabalhados ao longo da mesma. No entanto, os dados obtidos pela aplicação de questionários são pontuais e, por isso, obter dados apenas antes (pré-teste) e após a intervenção (pós-teste) pode não ser suficiente para compreender o progresso dos estudantes ao longo do tempo. Assim, foram feitas quatro aplicações do instrumento ao longo da intervenção – (1) logo no início da intervenção (no primeiro encontro), (2) quando foram introduzidas as narrativas macroevolutivas (no sétimo encontro), (3) ao fim da intervenção (no último encontro) e (4) um mês após o término da intervenção. Desta maneira, foi possível comparar o desempenho dos estudantes ao responder o questionário nestes quatro momentos, ao longo da intervenção, em um estudo longitudinal.

Os quatro questionários foram compostos de 15 questões de múltipla-escolha, nesta ordem: 2 questões sobre tempo geológico; 2 questões sobre filogenia e ancestralidade comum; 5 questões sobre diferentes processos evolutivos (seleção natural, deriva genética, construção de nicho, restrição desenvolvimental e transferência lateral de genes); 2 questões sobre gene-centrismo e adaptacionismo; 1 questão sobre a relação entre micro- e macroevolução; 2

questões sobre a integração de diferentes subáreas da biologia; e 1 questão sobre interdisciplinaridade relacionada à compreensão de fenômenos evolutivos.

Contudo, em razão de imprevistos que dificultaram a realização da sequência didática, houve uma mudança no planejamento dos questionários. As questões que tratavam sobre o processo de transferência lateral de genes – a questão 9 em todos os questionários – foram anuladas, pois o conteúdo não pôde ser desenvolvido em sala de aula. O Questionário 3 foi aplicado em um horário extra, na semana seguinte ao que havia sido planejado. Por fim, o Questionário 4 teve de ser adaptado para ser incorporado às entrevistas com os estudantes.

A fim de evitar o efeito do teste, ou seja, ganhos de desempenho decorrentes tão somente de se responder repetidas vezes as mesmas questões, os quatro questionários foram previamente planejados para serem ligeiramente diferentes, mas mantendo similaridade entre as questões, como mostra o exemplo no Quadro 1.

Quadro 1 – Exemplo de questões similares presentes em questionários diferentes. A ênfase em negrito, que indica qual seria a alternativa considerada correta, não está presente na versão aplicada para os estudantes.

Questão 3 do Primeiro Questionário	Questão 3 do Segundo Questionário
<p>Os mamíferos surgiram no ambiente terrestre, mas alguns deles, como as baleias, são adaptados a uma vida completamente marinha. Novas descobertas estão fornecendo evidências sobre a história evolutiva das baleias e tem se percebido um estreito parentesco entre estes animais e os hipopótamos. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa aproximação das baleias com os hipopótamos se dá em razão de:</p> <p>a) Serem grandes, pesados, com corpos redondos e grandes bocas.</p> <p>b) Compartilharem um ancestral comum recente.</p> <p>c) Possuírem dieta semelhante e viverem na água.</p> <p>d) Exibirem comportamentos sociais semelhantes.</p> <p>e) Os hipopótamos primitivos terem dado origem às baleias atuais.</p>	<p>Os tetrápodes são um agrupamento de animais vertebrados que possuem quatro patas. Como exemplos deste grupo, podemos citar cães, lagartos, elefantes, sapos e os humanos. Novas descobertas estão fornecendo evidências sobre a história evolutiva dos tetrápodes e têm se percebido um estreito parentesco entre estes animais e os peixes celacantos. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa aproximação dos tetrápodes com os celacantos se dá em razão de:</p> <p>a) Possuírem o mesmo número de membros e dedos.</p> <p>b) Exibirem comportamentos sociais semelhantes.</p> <p>c) Os celacantos primitivos terem se tornado tetrápodes para viverem na terra.</p> <p>d) Compartilharem um ancestral mais próximo.</p> <p>e) Possuírem dietas semelhantes.</p>

Cada questionário foi composto por três grupos de questões: 5 questões que eram exatamente as mesmas nos quatro questionários; 5 questões que se repetiam em alternância (por

exemplo, uma questão que aparecia no questionário 1 só iria aparecer novamente no questionário 3, sendo utilizada nos questionários 2 e 4 uma questão similar); e 5 questões originais de cada questionário, que nunca se repetiam, mas eram similares. Para tanto, foi elaborado um banco composto por 35 questões, a partir do qual foram construídos os questionários, os quais eram todos diferentes – diminuindo o efeito do teste –, mas mantinham similaridades para tornar possível a comparação entre eles.

O banco de questões foi submetido a validação por pares, a saber, 8 professores de biologia do ensino médio. Nesta avaliação, foi solicitado que os professores escolhessem um objetivo, entre três opções listadas, que eles consideravam mais adequado para a questão analisada. Destas três opções, apenas uma correspondia ao objetivo que eu visava alcançar com a questão no contexto da pesquisa. Desta maneira, foi possível avaliar se as questões propostas se adequavam aos objetivos que eu pretendia alcançar. Além disso, pedi que eles fizessem sugestões e comentários que considerassem pertinentes para o aprimoramento da questão, como, por exemplo, se a estrutura do enunciado era confusa, se as alternativas das respostas eram muito discrepantes, se seria melhor trocar alguns termos por outros etc.

Para exemplificar, o banco de questões foi estruturado para sua validação como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Exemplo de como foram estruturadas as questões no banco de dados para sua validação. Na coluna da esquerda, o professor avaliador deveria escolher apenas uma das opções que considerava mais adequada ao objetivo da questão. A ênfase em negrito, que indica o objetivo esperado pelo pesquisador, não estava presente na versão para os professores avaliadores.

QUESTÃO	Das alternativas abaixo, qual você julga que mais se aproxima do objetivo dessa questão no contexto da pesquisa?
<p>Os mamíferos surgiram no ambiente terrestre, mas alguns deles, como as baleias, são adaptados a uma vida completamente marinha. Novas descobertas estão fornecendo evidências sobre a história evolutiva das baleias e tem se percebido um estreito parentesco entre estes animais e os hipopótamos. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa aproximação das baleias com os hipopótamos se dá em razão de:</p> <p>a) Serem grandes, pesados, com corpos redondos e grandes bocas.</p> <p>b) Compartilharem um ancestral comum recentemente.</p> <p>c) Possuírem dietas semelhantes e viverem na água.</p> <p>d) Exibirem comportamentos sociais semelhantes.</p> <p>e) Os hipopótamos se tornarem baleias quando vão para o ambiente marinho.</p>	<p>a) Verificar se os estudantes consideram a ancestralidade comum como aspecto relevante para estabelecer relações entre os seres vivos.</p> <p>b) Captar percepções lamarckistas nas explicações dos estudantes sobre as relações dos organismos.</p> <p>c) Captar, nos estudantes, a noção de que as relações entre os seres vivos são deduzidas por meio de características de diferentes naturezas.</p>

De um modo geral, o índice de concordância dos objetivos das diferentes questões com sua formulação foi alto. Em sua maioria, a concordância com os objetivos que eu havia planejado foi de 87,5 %, exceto para algumas questões voltadas para a noção de tempo profundo (pois alguns professores não compreenderam a relação entre o ensino de evolução e a comparação entre fenômenos em diferentes escalas de tempo) e as questões voltadas para a integração de diferentes áreas da biologia (para as quais alguns professores escolheram alternativas que extrapolavam o objetivo destas questões – por exemplo, muitos concordaram que estas questões objetivavam verificar se os estudantes entendiam a evolução como o eixo integrador da biologia, enquanto elas pretendiam algo mais simples, no caso, verificar se os estudantes estabeleciam relações entre evolução e outras áreas da biologia).

A partir das sugestões e dos comentários dos professores avaliadores, realizei algumas modificações nas questões, com a finalidade de torná-las mais claras. Por exemplo, na questão apresentada no Quadro 2, três professores apontaram que a alternativa “e” estava bastante destoante e precisava de ajustes para se tornar mais crível. Um dos professores sugeriu trocar o enunciado da alternativa por “Os hipopótamos primitivos terem dado origem as baleias atuais”. Sugestão que foi aceita e passou a compor a questão. É importante ressaltar que todas as alterações realizadas foram avaliadas pelo professor da turma, que concordou com as mudanças.

Não foi possível validar o questionário por amostragem, aplicando-o em uma turma similar à que participou da investigação, com a finalidade de testar o instrumento com os estudantes. Tal impossibilidade se deu por falta de turma disponível em tempo hábil.

As entrevistas, que foram por mim conduzidas, buscaram oferecer aos estudantes uma oportunidade para que emitissem opiniões e fizessem sugestões e comentários acerca da intervenção didática, além de tornar possível esclarecer, confirmar e rejeitar conclusões obtidas a partir da análise dos questionários. Um protocolo para a realização de entrevistas semiestruturadas foi elaborado, com questões que visavam levantar as considerações pessoais dos estudantes com relação à intervenção didática, como a motivação de aprender o tema, as dificuldades de aprendizado com que se deparou, sua opinião sobre a biologia evolutiva etc. Dada a necessidade de incorporar o questionário 4, as entrevistas ganharam algumas questões do mesmo e foram realizadas um mês após o fim da intervenção (sendo que o planejado era começar as entrevistas logo após o fim da intervenção). As questões do instrumento foram adaptadas para um formato de questão aberta, que orientou a realização do questionamento

durante a entrevista, não sendo mais de múltipla escolha, o que permitiu um maior detalhamento da resposta dada pelo estudante.

O professor do ensino médio que colaborou com a pesquisa também foi entrevistado. Desta forma, também foi possível conhecer suas considerações pessoais acerca da sequência didática implementada e dos princípios usados em seu *design*. Por meio desta entrevista, busquei levantar tanto as impressões do professor, quanto suas possíveis sugestões e reflexões sobre o ensino de evolução.

Por fim, as gravações de vídeos e observações da sala de aula ocorreram durante toda a intervenção, exceto durante as aplicações dos questionários. Por meio delas, busquei informações sobre o tempo gasto para o desenvolvimento de uma dada atividade ou exposição de um conceito, identificar quando e como um determinado tema foi introduzido e como ele foi relacionado com outros temas, identificar e analisar episódios de ensino em que interações relevantes se deram em sala de aula, comparar o planejamento da intervenção com o que foi efetivamente realizado e analisar a realização de expectativas pedagógicas. Para isso, foi posicionada uma câmera de vídeo na periferia da sala de aula, sendo operada pelo pesquisador (vide figura 1).

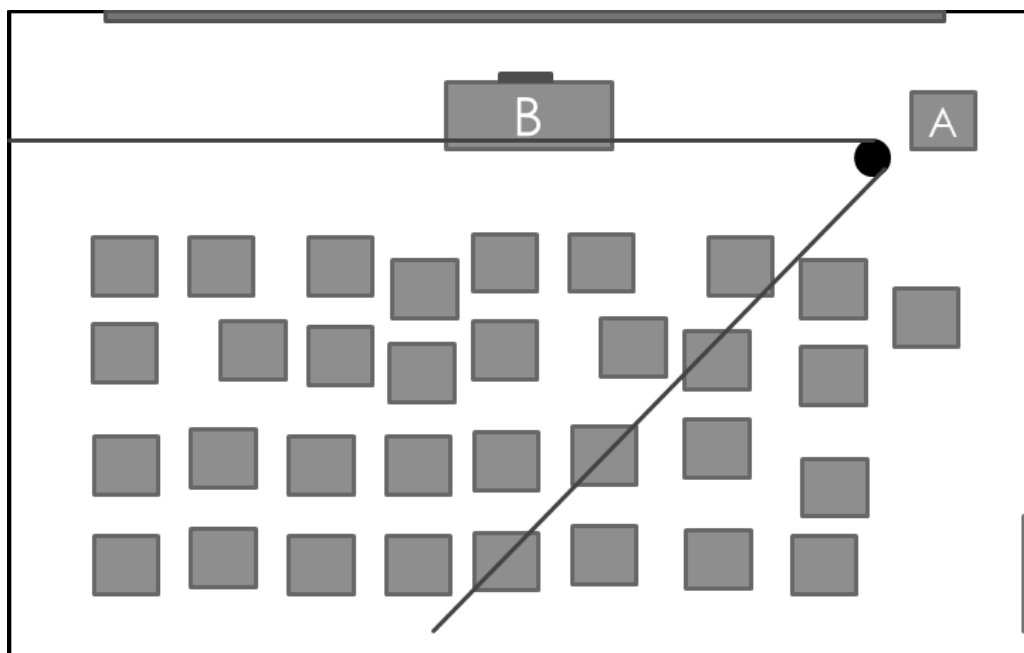


Figura 1. Esquemática do posicionamento da câmera de vídeo na sala de aula. Em “A”, ficou posicionado o pesquisador, manipulando a câmera segundo a necessidade. Em “B”, ficou posicionado o professor. Os estudantes ficavam espalhados nas carteiras da sala.

Para garantir o anonimato dos sujeitos participantes da pesquisa, os nomes dos estudantes e do professor não serão mencionados na apresentação dos resultados do estudo, e sim os termos Aluno ou Aluna (com numeração se houver vozes de muitos estudantes) e Professor.

4.3 A investigação dos objetivos gerais e das expectativas pedagógicas

Tendo enunciado e detalhado os princípios de *design*, com suas ênfases substantiva e procedimental, que fundamentaram a sequência didática para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado, torna-se possível planejar os meios para investigá-los. Para tanto, proponho um procedimento metodológico através do qual validarei as características substantivas e procedimentais destes princípios a partir da explicitação dos seus objetivos gerais e das suas expectativas pedagógicas.

O objetivo geral de um princípio de *design* é aquilo que se pretende alcançar por meio de sua implementação, ou seja, o propósito de se utilizar o princípio. Para se alcançar este objetivo geral, utilizam-se determinados procedimentos, abordagens, recursos didáticos etc., sendo que, a partir destes, espera-se que determinados resultados sejam alcançados de modo a contribuir com o objetivo geral. Estes resultados são as expectativas pedagógicas.

Para exemplificar melhor, utilizarei um dos princípios apresentados acima: o uso de narrativas de eventos macroevolutivos. Seu objetivo geral é contextualizar e integrar diferentes processos e padrões evolutivos para viabilizar o ensino e a compreensão da evolução de modo pluralista e integrado. Para alcançar esse objetivo, utilizamos, entre outros procedimentos, uma abordagem na qual se deve explicitar as dimensões abiótica, ecológica e desenvolvimental do evento macroevolutivo. Espera-se que esta abordagem favoreça, no contexto da sala de aula, a discussão sobre as contribuições de vários processos e padrões evolutivos ao longo da narrativa, de modo contextualizado e integrado, o que constitui uma expectativa pedagógica. É possível notar, a partir destes exemplos, que um objetivo geral de um princípio está diretamente relacionado à sua ênfase substantiva, enquanto as expectativas pedagógicas se relacionam à sua ênfase procedimental.

Ao se evidenciar os objetivos gerais e as expectativas pedagógicas dos princípios, algumas questões vêm à tona: Ao longo da sequência, o objetivo geral foi alcançado? As expectativas pedagógicas foram cumpridas a partir dos princípios procedimentais planejados?

O cumprimento das expectativas pedagógicas de um princípio e a realização do seu objetivo geral acontecem conjuntamente? Responder estas questões é fundamental para investigar e compreender se as ênfases substantiva e procedimental de um princípio de design alcançam seus propósitos e como elas se relacionam. Para isso, é necessário planejar quais elementos dos instrumentos e métodos de coletas de dados são adequados para fornecer estas respostas.

No quadro 4, são apresentados os objetivos gerais de cada princípio de *design* e os instrumentos e métodos para sua investigação.

Quadro 4 – Detalhamento dos objetivos gerais dos princípios de *design* e os instrumentos de pesquisa utilizados para coletar dados sobre os mesmos.

CARACTERÍSTICA SUBSTANTIVA		Objetivo geral	Instrumentos para investigação
1	Usar narrativas de eventos macroevolutivos	Contextualizar e integrar diferentes processos e padrões evolutivos para viabilizar o ensino e a compreensão de evolução de modo pluralista e integrado	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes - Entrevista com o professor - Questões 10, 11, 13, 14 e 15 dos questionários
2	Utilizar estratégias que promovam o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica	Permitir que o professor levante as concepções prévias dos estudantes, usando-as como pontos de partida para os encontros futuros e para refletir sobre o evento macroevolutivo escolhido para a narrativa	- Análise das gravações de vídeo - Entrevista com o professor
3	Utilizar estratégias didáticas que auxiliem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos	Permitir o desenvolvimento da noção de tempo profundo e, desta forma, possibilitar a compreensão de fenômenos macroevolutivos que se dão em grandes escalas temporais	- Entrevistas com os estudantes - Questões 1 e 2 dos questionários - Análise das gravações de vídeo
4	Usar estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento do pensamento filogenético	Promover a compreensão sobre conceitos e representações associados às relações de parentesco das espécies e à identificação de padrões macroevolutivos	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes - Questões 3 e 4 dos questionários
5	Empregar estratégias didáticas que permitam relacionar a micro- e a macroevolução de modo não-linear	Favorecer a compreensão da distinção e da relação entre processos nas escalas micro- e macroevolutivas, bem como seus papéis na explicação de padrões macroevolutivos	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes - Entrevista com o professor - Questões 5, 6, 7, 8, 9 e 12 dos questionários

O quadro 5 apresenta, por sua vez, as expectativas pedagógicas relacionadas aos princípios de design.

Quadro 5 – Detalhamento das expectativas pedagógicas relacionadas aos princípios de *design* e os instrumentos de pesquisa utilizados para coletar dados sobre elas. A numeração presente na primeira coluna à esquerda se refere à característica substantiva associada à procedimental descrita.

	CARACTERÍSTICAS PROCEDIMENTAIS	Expectativas pedagógicas	Instrumentos para investigação
1	Abordar um evento macroevolutivo bem documentado, que apresente alguma ruptura com expectativas intuitivas dos estudantes ou teóricas da síntese moderna e que seja adequado ao contexto e ao cronograma escolar	Desenvolver a narrativa de modo a motivar os estudantes a compreenderem os eventos e sua relação com o desfecho da narrativa, possibilitando o surgimento de discussões e questionamentos importantes	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes
		Facilitar a conexão dos conteúdos do cronograma escolar	- Entrevista com o professor
	Considerar o modelo de estrutura de narrativas proposto por Labov	Estruturar a narrativa de maneira clara e motivadora	- Análise das gravações de vídeo
	Explicitar as dimensões abiótica, ecológica e desenvolvimental do evento macroevolutivo, ressaltando os processos e padrões evolutivos e fenômenos abióticos envolvidos	Permitir a discussão, no contexto da sala de aula, sobre as contribuições a pluralidade de processos e de padrões evolutivos e dos fenômenos abióticos, de modo contextualizado e integrado	- Análise das gravações de vídeo
2	Implementar questionário sobre evolução, focando questões sobre tempo geológico, filogenia e processos evolutivos.	Introduzir questões e termos sobre a tempo geológico, filogenia e processos evolutivos, de modo a promover a familiarização dos estudantes com os mesmos e sua capacidade de mobilizá-los durante a atividade de discussão posterior	- Análise das gravações de vídeo
		Permitir que o professor conheça algumas concepções prévias dos estudantes com relação ao tema – podendo, inclusive, levantar concepções de estudantes que pouco se pronunciam durante discussões em sala –, de modo a orientar a problematização da atividade posterior	- Entrevista com o professor - Análise geral do questionário 1

	Mediar discussão sobre noções referentes a biologia evolutiva, principalmente sobre sua pluralidade e integração	Permitir que os estudantes expressem suas concepções prévias sobre evolução no contexto de sala de aula	- Análise das gravações de vídeo
		Tornar possível que o professor levante as concepções prévias dos estudantes no contexto da sala de aula, explorando-as como pontos de partida em suas intervenções futuras e interações com os estudantes, mediando a reelaboração destes conceitos na sala de aula e a reflexão sobre a sua narrativa de evento macroevolutivo	- Entrevista com o professor
3	Exibir vídeo ou promover leituras sobre o papel da compreensão do tempo profundo no desenvolvimento do darwinismo	Introduzir a importância do tempo profundo na sala de aula, salientando sua importância para a evolução	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes
	Apresentar linha do tempo com os principais eventos geológicos e biológicos da história da Terra	Permitir o detalhamento da história do planeta, apresentando os eventos relevantes e a dimensão do tempo geológico em comparação com o tempo histórico	- Análise das gravações de vídeo
		Apresentar as unidades e subdivisões da escala geológica, facilitando a localização dos eventos citados na narrativa macroevolutiva	- Análise das gravações de vídeo
	Comparar eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo	Promover reflexões sobre nossa limitação de na concepção de certas escalas de tempo	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes
4	Desenvolver uma aula expositiva dialogada sobre conceitos chaves da filogenia	Introduzir conceitos de filogenia	- Análise das gravações de vídeo
	Comparar a ideia de evolução linear com a analogia da árvore	Promover reflexão sobre a forma como a evolução é corriqueiramente representada	- Análise das gravações de vídeo - Entrevistas com os estudantes
		Discutir os conceitos de filogenia desenvolvidos anteriormente junto a representações de árvores filogenéticas	- Análise das gravações de vídeo

5	Desenvolver, antes da narrativa, aulas expositivas dialogadas sobre diferentes processos microevolutivos	Discutir e explicar o papel dos processos microevolutivos na evolução	- Análise das gravações de vídeo
	Apresentar padrões evolutivos em conjunto com a aula sobre conceitos de filogenia	Discutir a existência de taxa evolutiva variável, comparando o gradualismo e o equilíbrio pontuado	- Análise das gravações de vídeo
		Demonstrar visualmente a representação filogenética dos padrões evolutivos	- Análise das gravações de vídeo
	Desenvolver aula expositiva dialogada sobre diferentes processos evolutivos relacionados com eventos macroevolutivos ao longo da narrativa	Discutir e explicar o papel dos processos macroevolutivos na evolução	- Análise das gravações de vídeo
		Discutir o papel dos processos microevolutivos na explicação de padrões macroevolutivos	- Análise das gravações de vídeo
		Evidenciar a limitação da perspectiva microevolutiva para explicar eventos da escala macroevolutiva	- Análise das gravações de vídeo

Uma vez que temos a descrição detalhada dos princípios e o planejamento da investigação dos mesmos, podemos apresentar a sequência didática que será implementada no contexto do estudo.

5 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

5.1 Evento macroevolutivo

O evento macroevolutivo escolhido para a narrativa foi a Explosão do Cambriano. Este evento, ocorrido há cerca de 520 milhões de anos (durante o período Cambriano), é bastante conhecido pelo grande aumento da diversidade e da disparidade (diversidade de planos corporais) dos metazoários bilaterais¹³ em um período geologicamente curto (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013). Por ser crucial para entender a diversidade da vida como

¹³ Os metazoários bilaterais correspondem a uma das principais linhagens de animais – compreendendo diversos clados altamente diversos, como os moluscos, os artrópodes e os vertebrados –, sendo marcadamente caracterizados pelo corpo com simetria bilateral e por possuírem três folhetos embrionários (endoderme, mesoderme e ectoderme).

conhecemos e as condições ecológicas que temos hoje em dia, é considerado por muitos um marco na história da vida na Terra.

Existem muitos aspectos interessantes que motivaram a escolha deste evento: (1) trata-se de um evento macroevolutivo bastante estudado; (2) existem rupturas com expectativas intuitivas e teóricas, por exemplo, ao contrário do que se espera numa perspectiva gradualista, a disparidade das formas orgânicas parece ter se estabelecido muito antes da irradiação das espécies de bilaterais e a taxa da mudança evolutiva parece ter passado por momentos de grande intensificação; (3) é possível reconhecer a atuação de diferentes processos evolutivos, alguns mais relacionados à dimensão desenvolvimental (a exemplos dos vieses desenvolvimentais), enquanto outros, à dimensão ecológica (a exemplo da construção de nicho e da seleção natural) (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013); (4) é possível identificar diferentes padrões evolutivos, como a irradiação evolutiva dos bilaterais, o padrão de extinção-radiação (SHEN et al., 2010) e uma forte tendência para a formação de esqueletos mineralizados e aumento do tamanho corporal (SMITH; HARPER, 2013); (5) o evento não envolve apenas a mudança nas formas dos seres vivos, mas também das relações ecológicas e da estrutura e da dinâmica ambientais (BUTTERFIELD, 2007; SHEN et al., 2010; SMITH; HARPER, 2013), tornando o tema interessante para uma abordagem interdisciplinar relacionada à compreensão de fenômenos evolutivos; e (6) conceitos de ecologia e diversidade podem já ser introduzidos, facilitando a conexão do tema evolução com os temas discutidos nas unidades curriculares posteriores.

5.2 Detalhamento da sequência didática

Partindo dos princípios de *design* e tendo definido o evento macroevolutivo que serviria de base para compor a narrativa, o próximo passo foi planejar a sequência didática. Em colaboração com o professor, a sequência didática foi organizada em seis momentos: (1) Introdução à Biologia Evolutiva; (2) Darwinismo e Seleção Natural; (3) Tempo Geológico; (4) Síntese Moderna e Microevolução; (5) Filogenia e Padrões Evolutivos; e (6) Narrativa da Explosão do Cambriano.

No primeiro momento, foram implementadas estratégias para o levantamento de concepções prévias dos estudantes e a apresentação introdutória da biologia evolutiva e sua história antes de Darwin. Inicialmente, o professor aplicou um questionário – correspondente à

primeira aplicação do questionário da pesquisa –, por meio do qual se buscou levantar certas concepções prévias dos estudantes e introduzir certos termos e conceitos, para que eles fossem familiarizando-se com eles. Foi realizado, então, um debate na sala de aula, instigado por questões¹⁴ que o professor colocava para a turma. O professor não buscou, na maioria das vezes, responder as questões, mas apenas colocá-las para discussão. Muitas vezes ele foi ao quadro para tomar notas de conceitos e trechos ditos por diferentes estudantes e confrontava visões nas quais houvesse alguma contradição. Através desta discussão, buscou-se criar um contexto em que os estudantes expressassem suas concepções sobre evolução e pudessem dialogar sobre elas, com mediação do professor. Por fim, o professor realizou uma aula expositiva dialogada, na qual fez uma apresentação introdutória sobre a teoria evolutiva e da sua história antes do darwinismo¹⁵, conectando os conteúdos da aula com as concepções apresentadas pelos estudantes nos momentos anteriores. As duas primeiras etapas deste momento foram planejadas com base na orientação do princípio de *design* que se refere ao uso de estratégias para a exposição dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução biológica.

No segundo momento, buscou-se contextualizar historicamente o desenvolvimento da teoria darwinista da evolução, desenvolver o conceito de seleção natural e adaptação e apresentar um conjunto de evidências da evolução. Primeiramente, o professor apresentou, por meio de uma aula expositiva dialogada, uma contextualização histórica da elaboração da teoria darwinista da evolução. Partindo da sistematização proposta por Mayr (1998), o professor introduziu a teoria darwinista a partir de um conjunto de cinco subteorias inter-relacionadas: (1) as espécies estão sempre em transformação; (2) a ancestralidade comum; (3) a variação intraespecífica origina a variação interespecífica; (4) o gradualismo; e (5) a seleção natural. Seguiu-se, então, um aprofundamento sobre a seleção natural, apresentando ideias básicas para sua compreensão. A fim de exemplificar o processo de seleção natural, o professor apresentou o famoso caso dos tentilhões de Galápagos, explicando a ação da seleção natural sobre os bicos destas aves e aproveitando para introduzir o conceito de adaptação. Posteriormente, ele utilizou outros casos para que os estudantes tentassem explicá-los à luz do que entenderam sobre o processo de seleção natural, orientando o discurso dos estudantes no contexto da sala de aula, na medida em que tentavam explicar os casos. Em seguida, o professor exibiu e discutiu um

¹⁴ Nenhuma das questões elaboradas pelo professor ao longo desta discussão foram previamente planejadas.

¹⁵ A elaboração desta abordagem histórica foi fundamentada, principalmente, pelo conteúdo do livro paradigmático “Evolução: o sentido da biologia” (MEYER; EL-HANI, 2005).

vídeo¹⁶ sobre o processo de seleção natural. Por fim, para contextualizar e apresentar as evidências a favor da evolução, o professor descreveu a viagem do Beagle e sua importância para a elaboração da base teórica e empírica da teoria evolutiva por Darwin. Ele também exibiu e discutiu um vídeo¹⁷ sobre as evidências da evolução.

No terceiro momento, buscou-se discutir a importância do tempo profundo para a compreensão dos processos evolutivos. Para tanto, o professor exibiu e discutiu um vídeo¹⁸ sobre a passagem de Darwin pelos Andes, ao longo da sua viagem no Beagle, no qual se discute a importância da compreensão do tempo profundo para a elaboração da teoria darwinista, conectando o conteúdo do momento anterior com este. Em seguida, foram apresentados trechos do diário de bordo de Darwin ao longo da viagem do Beagle, ressaltando-se frases em que Darwin começava a construir a noção de tempo profundo. Na etapa seguinte, o professor apresentou alguns dos principais eventos geológicos e biológicos da história da Terra, marcando em uma escala de tempo quando eles ocorreram – considerando as proporções relativas à faixa de tempo real (por exemplo, em uma linha de 21,6 centímetros, representando todo o Éon Fanerozoico (± 542 milhões de anos de duração), demarcou-se, de modo proporcional à faixa de tempo percorrida, as eras Paleozoica (± 291 milhões de anos de duração), Mesozoica (± 186 milhões de anos de duração) e Cenozoica (± 65 milhões de anos de duração), respectivamente, com 11,6 cm, 7,4 cm e 2,0 cm). Aproveitou-se essa etapa para introduzir termos relativos a subdivisões de tempo da escala geológica (Éons, eras, períodos, épocas etc.). Por fim, o professor apresentou, em uma aula expositiva dialogada, diferentes escalas de tempo e conjuntos de fenômenos da natureza que são percebidos nestas escalas – por exemplo, uma chuva geralmente acontece numa escala de tempo curta (minutos, horas ou dias), a formação de solos numa escala de tempo médio (dezenas, centenas ou milhares de anos), enquanto a especiação numa escala de tempo longa (milhões de anos) –, confrontando a percepção destas escalas de tempo com a possibilidade humana de experimentá-la e as dificuldades de compreendê-las. As etapas deste momento foram elaboradas tendo em conta o princípio de *design* que se refere ao uso de estratégias didáticas que auxiliem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos.

¹⁶ Vídeo, produzido pelo canal do *You Tube Stated Clearly*, intitulado “*What is Natural Selection?*”. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0SCjh186grU>>, acessado em: 18 de março de 2017.

¹⁷ Vídeo, produzido pelo canal do *You Tube Stated Clearly*, intitulado “*What is the Evidence for Evolution?*”. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=llEoO5KdPvg>> acessado em: 18 de março de 2017.

¹⁸ Vídeo produzido a partir de trechos do documentário “*Darwin nos Andes*”. O documentário original está disponível em: <<http://neliobizzo.pro.br/midia/documentario-darwin-nos-andes/>> acessado em: 19 de março de 2017.

No quarto momento, foram abordados os processos microevolutivos e foi feita uma breve contextualização histórica sobre o surgimento da síntese moderna da evolução. Inicialmente, por meio de uma aula expositiva dialogada, o professor desenvolveu uma abordagem histórica sobre o surgimento da síntese moderna¹⁹, ressaltando o período de crise pelo qual o darwinismo passou – o eclipse do darwinismo –, o surgimento de teorias alternativas para explicar a evolução – mutacionismo, ortogênese e neolamarckismo – e a unificação do darwinismo com o mendelismo. Posteriormente, o professor passou a explicar, por meio de uma aula expositiva dialogada, o modo como operam diferentes processos microevolutivos²⁰ (seleção natural, mutação, recombinação, deriva genética e fluxo gênico) e seu papel na mudança evolutiva. Por fim, o professor fez uma sistematização dos processos microevolutivos, detalhando conceitos e modelos da genética de populações (por exemplo, o Princípio de Hardy-Weinberg). Algumas etapas deste momento foram orientadas a partir do princípio de *design* que se refere ao emprego de estratégias didáticas que permitam o desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear.

No quinto momento, buscou-se aprofundar conceitos importantes sobre filogenia, especiação e padrões evolutivos. Na primeira etapa, o professor fez perguntas para os estudantes sobre como ocorreria uma especiação. Em seguida, buscou apresentar, por meio de uma aula expositiva dialogada, alguns conceitos de espécie, para, então, discutir sobre os mecanismos de especiação (alopátrica, peripátrica, parapátrica, simpátrica, hibridação e poliploidia) e os processos que permitem o isolamento reprodutivo. Posteriormente, o professor introduziu conceitos de ancestralidade comum, anagênese e cladogênese através de uma aula expositiva dialogada, e, logo após, começou a discutir sobre as diferenças entre o gradualismo filético e o equilíbrio pontuado. Por fim, o professor discutiu o equívoco de entender-se a teoria darwinista como linear, ressaltando a importância da compreensão das relações de parentesco entre os organismos conforme o modelo de uma árvore cheia de ramificações. Algumas etapas deste momento foram orientadas pelo princípio de *design* que se refere ao uso de estratégias didáticas que permitam o desenvolvimento do pensamento filogenético, bem como pelo princípio que se refere ao emprego de estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear.

¹⁹ A elaboração desta abordagem histórica foi fundamentada, principalmente, em MEYER; EL-HANI (2005).

²⁰ Muitas das imagens utilizadas para abordar os processos microevolutivos foram obtidas a partir do site “Entendendo e Evolução”, hospedado pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/>> acessado em: 19 de março de 2017.

No sexto e último momento, buscou-se desenvolver a narrativa do evento macroevolutivo escolhido para o trabalho em sala, a Explosão do Cambriano. Ao longo da narrativa, buscou-se problematizar a rápida diversificação e o aumento de disparidade dos bilaterais durante o Cambriano, comparando, por meio de vídeos²¹ e imagens²², a fauna do Cambriano com a de Ediacara²³. Por meio de representações filogenéticas, buscou-se apresentar diferentes padrões evolutivos (em especial, o equilíbrio pontuado), comparando com o gradualismo filético e ressaltando os padrões esperados segundo a síntese evolutiva. Informações paleontológicas foram utilizadas pelo professor para problematizar a confiabilidade do registro fóssil e a possibilidade de existir variações na taxa evolutiva das espécies ao longo de grandes escalas temporais. O professor caracterizou o contexto abiótico e ecológico dos períodos Cambriano e pré-Cambriano e, em seguida, explanou sobre os fenômenos abióticos e os processos desenvolvimentais e ecológicos que podem ter influenciado no aumento da taxa de diversificação e disparidade que caracteriza este evento. Por fim, o professor fez uma síntese sobre o que foi discutido ao longo da narrativa. Algumas etapas deste momento foram orientadas pelo princípio de *design* que se refere ao emprego de estratégias didáticas que favoreçam o desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear, mas o principal princípio que orientou este momento foi o que se refere ao uso de narrativas macroevolutivas.

A sequência foi realizada ao longo 9 encontros, dos quais dois foram utilizados para a aplicação de avaliações. Contudo, toda a intervenção foi planejada com 11 encontros. No decorrer da implementação, devido a imprevistos, dois encontros tiveram de ser suprimidos, o que provocou a necessidade de ajustes no planejamento das aulas, reduzindo o tempo disponível para o desenvolvimento dos conceitos. Ainda assim, mesmo com estes problemas, todos os conteúdos planejados foram abordados – com exceção do processo de transferência lateral de genes, que seria apresentado nas aulas sobre padrões evolutivos e filogenia.

²¹ Para representar a fauna de Ediacara, utilizou-se um vídeo, de autor desconhecido, disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=v361IQh6dPE>> acessado em: 19 de março de 2017. Quanto à fauna do Cambriano, utilizou-se um trecho captado do vídeo produzido pelo Museu de História Natural de Chicago (EUA), disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=vV7aVjal8bY&index=1&list=PLXGjQpy3J_5Q3HYoQstOSGctOZe40Trak> acessado em: 19 de março de 2017.

²² Muitas das imagens utilizadas, bem como parte do conteúdo usado na descrição da Explosão do Cambriano são provenientes do site “*The Burgess Shale*”, produzido pelo *Royal Ontario Museum* em parceria com o *Parks Canada*, disponível em: <<http://burgess-shale.rom.on.ca/en/index.php>> acessado em: 19 de março de 2017.

²³ A fauna de Ediacara, que existiu a partir da segunda metade do período Ediacarano até o início do Cambriano, precedeu a fauna do Cambriano em cerca de 20 ou 25 milhões de anos.

O quadro 6 apresenta uma comparação entre o que foi planejado e o que realmente aconteceu na sala de aula, além de situar os momentos de aplicação dos instrumentos de coleta de dados.

Quadro 6 – Comparação do planejamento da sequência didática com o que foi realmente realizado ao longo da intervenção.

ENCONTRO	PLANEJADO	OCORRIDO
1	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de questionário para levantamento de concepções prévias (aplicação do questionário 1) • Discussão dialogada sobre noções de biologia evolutiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de questionário para levantamento de concepções prévias (aplicação do questionário 1)
2	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Introdução a Biologia Evolutiva • Aula expositiva: Abordagem histórica das teorias evolutivas pré-darwinistas 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão dialogada sobre noções de biologia evolutiva • Aula expositiva: Abordagem histórica das teorias evolutivas pré-darwinistas
3	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Introdução ao Darwinismo e ao conceito de seleção natural • Aula expositiva dialogada: Abordagem histórica sobre a viagem de Darwin no Beagle 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Introdução ao Darwinismo e ao conceito de seleção natural
4	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Evidências da Evolução • Exibição de trechos do documentário “Darwin nos Andes” sobre a importância do tempo profundo para a construção da teoria darwinista • Aula expositiva dialogada: História da Terra e comparação entre escalas de tempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Abordagem histórica sobre a viagem de Darwin no Beagle • Aula expositiva dialogada: Evidências da Evolução • Exibição de trechos do documentário “Darwin nos Andes” sobre a importância do tempo profundo para a construção da teoria darwinista
5	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Emergência e consolidação da genética clássica, eclipse do darwinismo e construção da teoria sintética da evolução • Aula expositiva dialogada: Introdução aos processos microevolutivos – seleção natural, mutação e recombinação, deriva genética e fluxo gênico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: História da Terra e comparação entre escalas de tempo • Aula expositiva dialogada: Emergência e consolidação da genética clássica, eclipse do darwinismo e construção da teoria sintética da evolução

		<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Introdução aos processos microevolutivos – seleção natural, mutação e recombinação
6	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Mecanismos de Especiação • Aula expositiva dialogada: Introdução ao pensamento filogenético • Aula expositiva dialogada: Padrões evolutivos – Gradualismo e Equilíbrio Pontuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Introdução aos processos microevolutivos – deriva genética e fluxo gênico • Aula expositiva dialogada: Mecanismos de Especiação • Aula expositiva dialogada: Introdução ao pensamento filogenético • Aula expositiva dialogada: Padrões evolutivos – Gradualismo e Equilíbrio Pontuado
7	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação parcial da unidade (aplicação do questionário 2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação final da unidade (aplicação do questionário 2)
8	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Início da narrativa de evento macroevolutivo – Introdução à Explosão do Cambriano • Aula expositiva dialogada: Localização e problematização dos eventos da Explosão do Cambriano; Comparação da Fauna do Cambriano com a Fauna de Ediacara • Aula expositiva dialogada: Dimensão abiótica da Explosão do Cambriano – Reorganização dos Continentes, <i>SnowBall Earth</i> e mudanças na composição dos oceanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Início da narrativa de evento macroevolutivo – Introdução à Explosão do Cambriano • Aula expositiva dialogada: Localização e problematização dos eventos da Explosão do Cambriano; Comparação da Fauna do Cambriano com a Fauna de Ediacara • Aula expositiva dialogada: Dimensão abiótica da Explosão do Cambriano – mudanças na composição dos oceanos • Aula Expositiva dialogada: Dimensão ecológica da Explosão do Cambriano – construção de nicho • Aula expositiva dialogada: Dimensão desenvolvimental da Explosão do Cambriano – mutações homeóticas, elementos transponíveis e introdução a mecanismos de regulação desenvolvimental
9	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Dimensão desenvolvimental da Explosão do Cambriano – mecanismos de regulação desenvolvimental, vieses desenvolvimentais, epigenética e elementos transponíveis, mutações homeóticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Dimensão desenvolvimental da Explosão do Cambriano – mecanismos de regulação desenvolvimental, vieses desenvolvimentais

		<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Dimensão abiótica da Explosão do Cambriano – Reorganização dos Continentes, <i>SnowBall Earth</i> e mudanças na composição dos oceanos • Aula expositiva dialogada: Dimensão ecológica da Explosão do Cambriano – construção de nicho e corrida armamentista • Aula expositiva dialogada: Fechamento e síntese do que foi discutido sobre Explosão do Cambriano
10	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva dialogada: Dimensão ecológica da Explosão do Cambriano – construção de nicho, corrida armamentista, extinção em massa da fauna de Ediacara • Aula expositiva dialogada: Fechamento e síntese do que foi discutido sobre Explosão do Cambriano 	-
11	• Avaliação final da disciplina (aplicação do questionário 3)	-
Extra	• Aplicação do questionário 4	• Aplicação do questionário 3 (uma semana após o planejado)
Extra	• Realização das entrevistas	• Realização das entrevistas (adaptadas para incluir questões do questionário 4)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Um olhar geral

Uma primeira análise sobre o resultado dos questionários indica que houve um progresso, em termos gerais, no conhecimento sobre evolução dos estudantes. Houve um aumento de aproximadamente 15% na média percentual de acerto da turma (de 68% no primeiro questionário a cerca de 83% no último). Este ganho de desempenho esteve situado, principalmente, no entendimento do mecanismo da seleção natural e da deriva genética, no pensamento filogenético e na concepção de tempo profundo. Não houve ganhos similares de desempenho, contudo, no que diz respeito aos processos desenvolvimentais, à integração da evolução com outras áreas da biologia e à relação entre micro- e macroevolução (Tabela 1).

Tabela 1 – Médias percentual de acerto da turma de estudantes em cada questão, nos três questionários aplicados.

QUESTÃO	TEMA	PORCENTAGEM DE ACERTO		
		Questionário 1	Questionário 2	Questionário 3
1	Tempo Profundo	96,00 %	100,00 %	96,00 %
2	Tempo Profundo	88,00 %	80,00 %	100,00 %
3	Pensamento Filogenético	68,00 %	92,00 %	100,00 %
4	Pensamento Filogenético	60,00 %	84,00 %	96,00 %
5	Seleção Natural	60,00 %	96,00 %	96,00 %
6	Deriva Genética	56,00 %	92,00 %	92,00 %
7	Construção de Nicho	64,00 %	76,00 %	88,00 %
8	Restrição Desenvolvimental	64,00 %	48,00 %	48,00 %
10	Adaptacionismo	24,00 %	44,00 %	72,00 %
11	Gene-centrismo	72,00 %	64,00 %	84,00%
12	Micro- e Macroevolução	68,00 %	60,00 %	64,00%
13	Integração da Biologia	92,00 %	100,00 %	92,00 %
14	Integração da Biologia	40,00 %	56,00 %	48,00 %
15	Interdisciplinaridade	100,00 %	100,00 %	96,00 %
MÉDIA TOTAL		68,00 %	78,00 %	83,71 %
Desvio Padrão (dos scores dos estudantes)		12,56 %	8,48 %	8,87 %

Por sua vez, as entrevistas apontam que todos os estudantes se mostraram bastante interessados pela forma como o tema evolução foi abordado, especialmente em razão de as aulas expositivas serem dialogadas. Por exemplo, isso pode ser verificado na comparação feita por um dos estudantes:

Ano passado eu fiz cursinho/ pré-vestibular/ e eu tive evolução lá também/ Comparando com as aulas que eu tive lá/ eu posso dizer que estas aulas iam além do que se tinha como básico/ no cursinho tinha um foco muito no lamarckismo, darwinismo, neodarwinismo/ nos livros e tal/ [...]/ Eu achei muito interessante como foi tratado o assunto [na sala de aula]/ ia além da decoreba/ de maneira a instigar/ fazer questionamentos/ plantar dúvidas nas nossas cabeças/ no final da aula ele respondia/ só que a gente fica pensando no assunto/ Gostei também quando ele [o professor] falava além do darwinismo/ o clássico/ que o próprio Darwin escreveu/ ele fazia as analogias das novas teorias que se tinham/ E no geral eu gostei muito.

Ou ainda, na fala de outro estudante:

Na aula de evolução/ ficou bem mais.../ não sei se foi esse o objetivo.../ ou se foi o tema que ele estava trabalhando.../ mas ficou bem mais claro/ Por que as aulas de biologia que a gente tinha nos anos anteriores.../ principalmente no ano passado.../ que a gente

viu citologia e embriologia.../ eram aulas gigantescas/ O professor chegava e escrevia o quadro inteiro/ de uma ponta a outra/ fazia um monte de desenhos.../ falava, falava e falava.../ o assunto era muito interessante.../ principalmente porque eu gosto muito de biologia.../ mas era muito chato/ por que era muita informação pra você.../ [...]/ bem diferente do que a gente viu agora.

Para os estudantes, a forma como as aulas foram planejadas deixou claro que a biologia pode e deve ser integrada por meio da evolução. Eles afirmaram, ainda, que isso foi crucial para que eles se interessassem pelo tema e, em alguns casos, se dedicassem a procurar mais informação relacionada a ele, mesmo quando a unidade focada em evolução havia terminado. Por exemplo, um estudante relatou:

Evolução é um tema legal/ realmente um eixo integrador da biologia/ tudo na biologia tem uma coisa de evolução/ isso é curioso/ desperta curiosidade/ dá vontade de saber mais/ [...]/ sempre que o professor falava algo novo/ um exemplo/ um termo/ eu pesquisava na internet pra entender mais/ Até hoje ainda faço isso/ a gente tá falando de vegetais na aula/ diversidade... [quarta unidade]/ e tem muito de evolução.

Ou ainda, na fala de uma estudante:

Eu não gosto muito de biologia, não/ esse negócio de decorar e tal/ [...]/ Eu não dava nada pra evolução/ sabe?/ mas as aulas foram uma surpresa/ deu pra perceber que tudo na biologia tem relação com evolução, né?/ isso me surpreendeu/ eu gostei do tema/ e isso me fez olhar a biologia com outros olhos/ como assim não explicaram evolução antes?/ [...]/ você ia relacionando as mutações/ aqueles negócios dos embriões/ aí vem o ambiente/ tudo relacionado/ muito melhor que as aulas de decorar/ agora eu sei que evolução faz falta nas aulas dos anos passados.

Alguns estudantes pontuaram que as estratégias utilizadas deveriam ser incorporadas inclusive em outros temas da biologia, tornando o estudo desta ciência mais palatável e menos focado em memorização de termos e de conceitos. Como pode ser verificado no relato de um estudante:

Eu não sei se faz sentido/ mas eu acho que a forma como foram as aulas de evolução/ deveria ser feita também em outros temas/ sei lá/ não sei se poderia/ mas seria melhor/ [...]/ esse negócio de relacionar com outras ciências/ geologia.../ os vídeos.../ gostei de todos os vídeos.../ as perguntas que o professor ficava fazendo/ toda hora um

questionamento/ muito mais dinâmico que as outras aulas de biologia/ se bem que esse professor é bem dinâmico/ mas as aulas de evolução foram mais/ [...]/ poderia ser assim nas outras partes/ nas outras aulas da biologia/ também/ Melhor que ficar só ouvindo e fazendo prova/ decorando os termos.

As principais críticas dos estudantes disseram respeito ao tempo relativamente limitado despendido em sala de aula para estudar o tema, pois passaram a considerá-lo fundamental para compreender a biologia. O trecho da fala de um estudante exemplifica isso:

Acho que a principal crítica que eu tenho é sobre o tempo/ Evolução esclarece muita coisa na biologia/ a gente vê vários conceitos importantes/ mas alguns conceitos passaram rápido demais/ e dá pra perceber que é um conceito importante/ sabe?/ dá pra notar/ só que o tempo é curto/ aí o professor acelera/ Se tivesse mais tempo daria pra trabalhar os conceitos com calma.

Outra crítica comum foi sobre a complexidade do tema. Alguns estudantes, pontuaram que acharam a teoria evolutiva bastante complexa, como nesse relato de um estudante:

Eu gostei de evolução/ acho que é meu assunto favorito até agora.../ tem ecologia, também/ eu gostei de ecologia/ mas evolução também é legal.../ Só que evolução tem umas partes bem complicadas/ acho que esse é um ponto negativo/ tem umas partes muito complexas/ dá pra entender com o tempo/ ao longo das aulas.../ mas na hora você fica meio.../ sabe?/ o que é isso?/ o que é aquilo que o professor disse?/ não é fácil pegar de primeira.

Outro dado importante obtido nas entrevistas, que serão apresentados com maior detalhe nas subseções seguintes, corroborou achados dos questionários: os estudantes progrediram em vários pontos-chave abordados na sequência didática, como a compreensão da seleção natural, a noção de tempo profundo e o pensamento filogenético, mas não tiveram o mesmo sucesso quanto à compreensão das diferenças e relações entre a micro- e a macroevolução e a compreensão de outros processos evolutivos, mais perceptivelmente, a restrição desenvolvimental e construção de nicho. Mesmo quando consideramos a integração do conhecimento biológico por meio da evolução, que foi unanimemente aceita por eles, os estudantes não perceberam a integração por meio da pluralidade de processos e, sim, pela contribuição das outras áreas da biologia ao fornecer evidências para a evolução.

Muitos estudantes também relataram a importância da narrativa histórica e comparativa do desenvolvimento da teoria evolutiva desde antes de Lamarck, passando por Darwin, até os dias atuais. Esta abordagem realmente fez parte da sequência didática, mas não foi alvo desta pesquisa educacional, por não ser considerada importante para alcançar o objetivo deste trabalho. Contudo, foi perceptível, nas entrevistas, que ela foi fundamental para despertar interesse pela evolução, cumprindo um papel importante de motivar os estudantes para o estudo do tema, nas aulas subsequentes. Em contrapartida, a grande maioria dos estudantes pouco se lembrava da narrativa sobre a Explosão do Cambriano, o que foi inesperado, dado o papel central desta narrativa na sequência didática e a expectativa de que ela seria capaz de despertar o interesse e a motivação dos estudantes.

A utilização de vídeos para ilustrar e complementar o que está sendo trabalhado em aula foi bastante elogiada pelos estudantes. Além do uso desse recurso, os alunos também fizeram muitos elogios ao desenvolvimento de uma abordagem interdisciplinar relacionada à compreensão de fenômenos evolutivos, como pode ser apontado em um trecho da entrevista com um dos estudantes:

Achei interessante ter outras áreas.../ juntar várias disciplinas/ [...]/ não é uma área de.../ apenas biologia/ a gente pode integrar várias outras/ conhecimentos diferentes/ geologia/ paleontologia/ química/ essas várias áreas concentradas numa só é bem interessante...

Uma das grandes contribuições das aulas de evolução, segundo muitos alunos, foi permitir superar certos equívocos sobre o tema, como, por exemplo, a noção de evolução como um progresso linear ou a noção de que as mudanças evolutivas são orientadas pelas necessidades dos organismos e pelo uso e desuso de suas características. Além disso, notou-se que as aulas de evolução permitiram uma maior aceitação com relação a teoria evolutiva por parte de muitos estudantes. Isso pode ser verificado no relato de um dos estudantes:

Eu via teoria da evolução como algo mais distante/ como algo mais de hipótese/ do que algo tão concreto como o que eu vi durante as aulas/ Percebi que tem uma teoria que é baseada em algo muito concreto/ que foi sendo baseada há muito tempo/ mesmo que a gente não concorde com tudo/ tem base fundamentada pra isso/ e eu não sabia disso.

Ou ainda na seguinte declaração de uma estudante:

Eu nunca tive uma expectativa sobre esse assunto/ mas.../ apesar de eu ter uma crença religiosa/ na criação/ acho que [a evolução] tem sua relevância/ Essa coisa de relacionar todos os seres vivos/ mostrar que tem ancestral comum/ e mostrar.../ evidências que todos têm uma certa.../ algo em comum/ na fisiologia e tal.../ é mais fácil e interessante de entender a biologia.

Ainda assim, como seria de se esperar, a aceitação da teoria evolutiva não foi unânime, uma vez que uma estudante ainda relatou não acreditar na plausibilidade teoria. Podemos ver isso no relato da estudante:

Eu não acreditava na evolução/ e até hoje, não acredito/ eu entendo/ eu compreendi o assunto/ normal/ mas pra mim não faz sentido.../ e.../ pra fins acadêmicos.../ uma prova/ alguma coisa assim/ eu respondo o que foi me passado/ [...]/ é complicado.../ porque é uma coisa que eu não acredito/ então/ não tem como restringir à biologia/ não tem como separar uma cosmovisão da biologia e.../ separar da sua vida/ então.../ é difícil.../ é importante para você conhecer as visões de mundo.../ se quiser debater/ se quiser estudar/ mas relevante pra minha vida.../ eu não acho...

Na entrevista com o professor, foi percebido que os princípios de design atenderam às suas expectativas. Para o professor, com o auxílio dos princípios, a aula se tornou mais dinâmica e melhor estruturada. Estes são pontos que também foram reconhecidos pelos estudantes, quando entrevistados. Além disso, as aulas conseguiram mostrar claramente a importância do conteúdo para a biologia, a ponto de, segundo o professor, recorrente e naturalmente, os estudantes usarem explicações evolutivas em unidades curriculares subsequentes, como na unidade de ecologia. Contudo, o professor apontou um pouco de insatisfação com a sequência didática por, como detalharemos mais à frente, ter existido um tratamento desequilibrado com relação às escalas micro- e macroevolutiva, pendendo para a microevolução. Além disso, o professor também pontuou a existência de dificuldades de ordem institucional e curricular, especialmente a questão do tempo disponível para a abordagem do tema em sala de aula, que limitam a implementação dos princípios. Outro fator a ser problematizado é a formação dos professores de biologia, que, na visão do professor, é bastante carente em termos de permitir a compreensão e integração da pluralidade de processos e de padrões evolutivos e de relacionar processos micro- e macroevolutivos, o que pode ser um desafio para abordar o tema no ensino médio segundo a proposta deste trabalho.

Tendo feito este exame geral, passo agora a apresentar mais detalhadamente a investigação de cada um dos princípios de *design*. Esta análise seguirá a ordem da implementação destes princípios na sequência didática, começando pelas estratégias usadas para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes e finalizando com o uso da narrativa da Explosão do Cambriano.

6.2 O levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes

A implementação das estratégias para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre evolução aconteceu durante o primeiro e o segundo encontro, ocupando cerca de 90 minutos – aproximadamente, 50 minutos no primeiro encontro e 40 no segundo –, o que corresponde a 12% do tempo total da intervenção. O objetivo geral deste princípio foi permitir que o professor tivesse conhecimento das concepções prévias dos estudantes, usando-as como pontos de partida para o planejamento e desenvolvimento das aulas nos encontros futuros, inclusive no que se refere ao evento macroevolutivo escolhido para a narrativa.

Na entrevista com o professor, ele pontuou que essa preocupação com os conhecimentos prévios dos estudantes, embora pareça algo simples, é muito importante, porque torna possível estar munido de argumentos que permitam apoiar os estudantes na superação de confusões e dificuldades que eles possam ter:

Então/ essa é uma pratica que deveria ser incorporada no cotidiano de todo professor/ A gente costuma preparar as nossas aulas e ir para a sala de aula sem fazer sondagem prévia.../ [...]/ negligenciando que do outro lado existe um sujeito ativo/ que traz uma série de concepções que podem estar de acordo com aquilo que é posto em uma determinada área do conhecimento/ ou que pode ter muita confusão na área.../ que precisa ser retrabalhada.../ ressignificada.../ [...]/ Eu acho que a intervenção que fizemos nessa segunda unidade me deu a possibilidade de fazer isso [captar as concepções prévias dos estudantes] de uma forma mais sistemática/ Eu costumava fazer isso/ mas não de uma maneira tão bem elaborada como ao longo da segunda unidade.../ sem dúvida isso me ajudou muito/ Quando eu estava pensando na aula/ quando eu estava pensando na construção dos argumentos para defender em sala de aula.../ eu consegui dar um cuidado maior para aquilo que precisava desse refinamento.../ sem dúvida essa sondagem prévia contribuiu muito para desenvolvimento das aulas ao longo desse período.

De modo geral, a partir do levantamento das concepções prévias dos estudantes, o professor afirmou não ter sentido necessidade de mudar a estrutura geral do que foi planejado para a sequência didática e para a narrativa. Porém, ele percebeu de imediato que os estudantes teriam dificuldades em conectar os conhecimentos das diferentes áreas da biologia, em especial os conhecimentos de embriologia, uma vez que ao longo dos dois anos anteriores, nada na disciplina de biologia está relacionado com os conteúdos de evolução. Partindo disso, ele repensou suas aulas considerando detalhar mais cuidadosamente a conexão entre desenvolvimento e evolução, quando necessário.

Os procedimentos para a realização deste princípio foram a implementação de um questionário e a promoção de uma discussão, ambos dando enfoque à pluralidade e integração da biologia evolutiva. As expectativas pedagógicas da aplicação do questionário eram: (1) introduzir conceitos e questões sobre o tema, de modo a criar condições para que os estudantes se familiarizassem com os mesmos e fossem capazes de mobilizá-los em sala de aula, e (2) dar ao professor acesso às concepções prévias dos estudantes – inclusive de estudantes que pouco se pronunciam durante discussões em sala –, de modo a orientar o trabalho pedagógico posterior. Já as expectativas pedagógicas da discussão eram: (1) permitir que os estudantes expressassem suas concepções prévias sobre evolução no contexto de sala de aula e (2) que o professor levantasse as concepções prévias dos estudantes.

Segundo alguns dos estudantes, aplicar o questionário antes do conteúdo facilitou entender que tipo de questões eles deveriam focar ao longo do trabalho em sala, embora tenham considerado o questionário um pouco assustador no começo. Por exemplo, um dos alunos afirmou:

O que eu gostei muito na aula foi ter feito o questionário antes.../ porque a gente já chega com as dúvidas e curiosidades quanto o assunto/ Quando a gente só vê o assunto assim.../ a gente pensa: pode perguntar o quê?/ Quais são os questionamentos sobre o assunto?/ Com o questionário já tem uma direção.

Segundo o professor, o bom desempenho da turma no primeiro questionário (com um acerto médio de 68%, Tabela 1) pode ter resultado das características peculiares dos alunos da instituição, sendo, como já mencionado, bastante estudiosos e críticos. As principais concepções inadequadas diante do pensamento evolutivo atual diziam respeito a uma compreensão transformacional da evolução e ao papel atribuído às mutações gênicas no processo evolutivo. Ou seja, os estudantes costumavam escolher alternativas em que a

perspectiva evolutiva era transformacional, o que poderia indicar uma confusão entre evolução e desenvolvimento, ou, então, costumavam explicar a mudança evolutiva como consequência de mutações.

Estas concepções se tornaram mais evidentes ao longo da discussão em sala²⁴, na qual o professor pôde notar que uma grande parte da turma tentava explicar a evolução por meio das mutações e quase sempre de modo transformacional. Para aprofundar este aspecto, o professor lançou perguntas como, por exemplo, “Uma vez que a vida surgiu, como ela se transforma desde a origem?”. A primeira resposta de um estudante, tímida, foi: “Mutações?”. O mesmo se repetiu com a pergunta “Por que os mamíferos possuem mais diversidade de formas corporais que as aves, mesmo as aves tendo maior diversidade de espécies?”, diante da qual um outro estudante respondeu que “os mamíferos sofreram mais mutações”. Quando o professor perguntou sobre a origem da diversidade, alguns estudantes começaram a debater sobre o papel das mutações e da necessidade de os organismos se adaptarem ao ambiente. Não houve consenso na turma sobre este ponto. Mas quando o professor perguntou sobre o surgimento de superbactérias, embora a maioria dos estudantes ainda buscasse explicar ou por mutações ou pela “necessidade de se adaptar”, um dos estudantes falou sobre seleção natural. Este estudante falou que recordou de uma questão semelhante no questionário aplicado²⁵ e defendeu que acontece a sobrevivência das bactérias que são mais fortes dentro de uma população. Mas a turma ainda insistiu em explicar os fenômenos evolutivos por meio de mutações e pela necessidade de adaptar ao meio.

Como já mencionado, o professor não buscou, na maioria das vezes, responder as questões levantadas, mas apenas colocá-las para a turma – muitas vezes, indo ao quadro anotar conceitos e trechos das falas dos alunos, confrontando visões diferentes (por exemplo, opondo a explicação centrada nas mutações com a explicação voltada para as necessidades dos organismos). Quando se sentiu satisfeito, o professor fechou a discussão, pedindo que os estudantes deixassem as questões em aberto para serem retomadas ao longo das aulas.

Por meio da observação da discussão, foi possível evidenciar o papel do questionário de não apenas servir de ferramenta para o levantamento de concepções dos estudantes, mas também de apresentar ideias e suscitar modos de pensar sobre o assunto, como no caso do

²⁴ Devido a um problema na gravação, estas interações discursivas são relatadas aqui a partir do caderno de campo do pesquisador, e não da transcrição da gravação.

²⁵ Questão 5 do Questionário 1.

estudante que mencionou a seleção natural na discussão em sala. Mais do que isso, foi possível perceber a influência do questionário ao longo de quase toda a intervenção.

Ao longo das entrevistas, alguns estudantes também relataram sua experiência ao longo do trabalho em sala visando levantar suas concepções prévias. A seguinte fala de um estudante oferece um exemplo:

Foi uma aula provocativa/ pra gente vê.../ o que a gente pensava daquilo ali.../ sem apresentar o conteúdo/ A gente começou a construir as ideias com base no que a gente via.../ semelhanças e tal/ então.../ acho que.../ foi interessante por que mexeu com nossa imaginação, né?/ [...]/ eu percebi em meus colegas/ como aquilo mexia na imaginação/ pra pensar/ questionar/ se faz sentido/ se não faz/ então.../ Acho que essa aula inicial foi provocativa/ eu achei muito interessante.

Outro estudante, por sua vez, afirmou:

Eu gostei do professor ter trazido o debate pra sala de aula/ ter feito perguntas/ ter feito essa primeira impressão que todo mundo tinha/ até pra gente poder comparar melhor com o que a gente aprendeu no fim da unidade.

Desta maneira, tanto o objetivo geral quanto as expectativas pedagógicas deste princípio foram cumpridos, o que torna possível concluir que estas características se mostraram bastante promissoras ao longo da aplicação deste princípio no primeiro protótipo de sequência didática para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado neste contexto educacional.

6.3 O uso de estratégias para promover a compreensão do tempo geológico

A implementação de estratégias didáticas que promovessem a compreensão da extensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos aconteceu no quarto e no quinto encontros. O tempo dedicado à implementação destas estratégias foi de aproximadamente 69 minutos – cerca de 37 minutos no quarto encontro e 32 minutos no quinto –, o que correspondeu a aproximadamente 9,2% do tempo total da intervenção. O objetivo geral deste princípio foi favorecer o desenvolvimento da compreensão do tempo profundo e, desta forma, a compreensão de fenômenos macroevolutivos que se dão em grandes escalas temporais.

O bom desempenho dos estudantes nas questões 1 e 2 do primeiro questionário (96% e 88% de acerto, respectivamente; Tabela 1) indica que os estudantes já possuíam certa

bagagem teórica que facilitou a compreensão da noção de tempo profundo. A primeira questão indicou que grande parte dos estudantes já compreendiam que a paisagem natural é dinâmica (ou seja, não se trata de uma paisagem imutável), enquanto a segunda que eles também compreendiam que eventos de especiação geralmente demandam mais tempo do que o amadurecimento dos seres vivos e menos tempo do que grandes eventos geológicos. Ao longo da aplicação dos questionários seguintes, o desempenho dos estudantes foi ainda melhor (Tabela 1), o que pode indicar que, ao final da intervenção, eles alcançaram uma compreensão mais aprimorada sobre o tempo profundo.

Contudo, as entrevistas com os estudantes apresentam um cenário mais complexo. Eles próprios relataram que já possuíam algum conhecimento sobre o tempo geológico, uma vez que o tema foi tratado anteriormente na disciplina de geografia, mesmo que superficialmente. Mas 13 dos 25 estudantes entrevistados tiveram dificuldades de responder à questão 2 do Questionário 4, que foi adaptada para a entrevista. De modo geral, estes 13 estudantes não tiveram sucesso em organizar em ordem crescente eventos que se dão em escalas de tempo mais amplas, muitas vezes indicando que o tempo de fragmentação de continentes é menor do que o tempo de uma especiação. Eles sabiam que os dois eventos demandavam bastante tempo, mas não foi raro que eles demonstrassem grande indecisão em determinar qual destes dois eventos precisava de mais tempo em relação ao outro, o que pode indicar que a concepção de escalas de tempo mais amplas ainda era vaga para estes estudantes.

As entrevistas também apontaram que a grande maioria dos estudantes considerou as aulas voltadas para o tempo geológico muito importantes para eles. Por exemplo, uma estudante comentou:

Mudou a minha visão de tempo/ [...] eu achava/ por exemplo/ que um século/ para mim/ era muita coisa.../ mas na verdade é muita coisa no ponto de vista humano/ Se for reparar.../ universalmente é um segundo... muito pouco.../ e.../ a Terra na verdade é muito antiga.

Também houve muitos relatos que se referiam à importância da compreensão do tempo geológico para entender a evolução, a exemplo da seguinte fala de uma estudante:

Na minha opinião, foi muito importante/ primeiro em relação a como é feito isso/ essa análise do tempo geológico/ que pelo menos eu não tinha conhecimento/ que foi algo a mais/ [...] e segundo.../ mostrando a relação disso com a teoria da evolução/ aspectos

de fósseis/ de todos os vestígios encontrados naquela época/ a cronologia mesmo/ do que está acontecendo/ e de como cada aspecto desse pode influenciar na evolução.

Outro exemplo é encontrado na fala deste estudante:

A gente tá muito relacionado com o tempo que a gente conhece/ então/ é complicado você fazer isso de.../ 100 milhões de anos atrás.../ mas tipo.../ ajuda muito a você entender esse processo da evolução/ que não é algo que aconteceu agora.../ entendeu?/ vem acontecendo a muitos anos/ então/ essa noção de tempo.../ mesmo/ Foi fundamental para entender toda a evolução.

Mais do que isso, as entrevistas também apontaram, através do relato de alguns estudantes, que os estudos sobre tempo geológico foram importantes para promover uma melhor compreensão dos eventos trabalhados na narrativa macroevolutiva. Isso é mostrado pelo seguinte relato de um dos estudantes:

Apesar de ser a parte que eu tive dificuldade de entender/ se não tivesse tido aquelas aulas [sobre tempo geológico]/ e eu não tivesse visto isso/ eu teria mais dificuldade ainda de ver as coisas que vieram depois/ Fica mais fácil pra entender/ Por exemplo/ quando o professor mostrou essa parte do Cambriano, né?/ Que tem a Explosão do Cambriano.../ [...]/ Por que a gente já teve uma.../ uma visão anterior.../ e um fundamento melhor/ que a gente consegue entender com mais clareza.

A importância de desenvolver a noção de tempo profundo para a compreensão e melhor aproveitamento das narrativas macroevolutivas também ficou claro por meio da análise das gravações feitas em sala de aula. Nestas gravações, durante a narrativa da Explosão do Cambriano, é bastante notável a quantidade de menções a grandes escalas temporais feitas pelo professor. Por exemplo, em um trecho da aula em que desenvolvia a narrativa, o professor comentou:

Aí você vai lá para o Cambriano/ e você percebe que a coisa é diferente do que tinha há simplesmente 20 milhões de anos atrás/ Você fala “20 milhões é pouco?”/ Lembra quando eu mostrei toda aquela escala geológica?/ e o que 20 milhões de anos representava?/ nada!

Ou seja, para desenvolver a narrativa, frequentemente o professor precisou deste conhecimento previamente desenvolvido nos estudantes; caso contrário, eles não teriam clareza sobre o significado do tempo em que estes eventos se davam.

Estes achados levam à conclusão de que houve o desenvolvimento da noção de tempo profundo por meio da implementação deste princípio e, conseqüentemente, houve uma melhor compreensão de fenômenos em escala macroevolutiva (tal como narrado em sala de aula). Contudo, aproximadamente metade da turma (13 estudantes) ainda demonstrava dificuldades na compreensão de grandes escalas temporais ao final da sequência didática, o que mostra que o objetivo geral deste princípio foi parcialmente alcançado, sendo necessário aprimorar a abordagem do tempo profundo em novos protótipos da intervenção.

Os procedimentos para a realização deste princípio foram: (1) a exibição de um vídeo sobre o papel da compreensão do tempo profundo no desenvolvimento do darwinismo, (2) a apresentação de uma linha do tempo com os principais eventos biológicos e geológicos da história da Terra, e (3) a comparação entre eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo. A expectativa pedagógica da exibição do vídeo foi introduzir a importância do tempo profundo na sala de aula, salientando sua importância para a evolução. Já a apresentação da linha do tempo teve como expectativas pedagógicas: (1) permitir o detalhamento da história do planeta, de modo a apresentar os eventos relevantes e a dimensão do tempo geológico em comparação com o tempo histórico, e (2) apresentar as unidades e subdivisões da escala geológica, facilitando a localização dos eventos citados na narrativa macroevolutiva. E, por fim, a comparação de eventos em diferentes escalas de tempo teve como expectativa pedagógica promover reflexões sobre nossa limitação na concepção de certas escalas de tempo.

A partir da análise das gravações de vídeo, percebeu-se que a exibição de trechos do documentário “Darwin nos Andes”, ao final do quarto encontro, foi uma boa maneira de introduzir a discussão sobre o tempo geológico e seu papel na construção do darwinismo. A implementação desta característica procedimental representou justamente a conexão entre o conteúdo do segundo momento da sequência didática (desenvolvimento do darwinismo e do conceito de seleção natural) e o do terceiro (tempo geológico), de modo a não causar uma quebra abrupta no discurso desenvolvido em sala. Esta conexão foi um aspecto aprovado por muitos estudantes, como pode ser evidenciado na fala de uma das estudantes:

A viagem da Beagle foi bem interessante/ Darwin foi pegando evidências/ da evolução/ [...]/ ele encontrou fósseis lá no Andes/ acho que de árvores, né?/ de árvores.../ petrificadas.../ O professor aproveitou pra falar de como nasce os fósseis/ como eles são formados/ foi legal isso.../ por que ele [professor] começou a falar de datação/ de tempo.

No início do quinto encontro, o professor aproveitou a discussão do vídeo para ressaltar a importância do tempo profundo para a compreensão da teoria darwinista da evolução. Isso pode ser evidenciado no seguinte trecho de sua fala na sala de aula:

Pessoas, olha só/ A gente começa nossa aula de hoje/ destrinchando um pouco mais a ideia da divisão/ o que nós chamamos de tempos geológicos ou tempo profundo/ e como isso foi importante para que Darwin conseguisse/ de fato.../ elaborar a teoria/ Até os vídeos que vocês viram na última aula.../ que foi “Darwin nos Andes”/ não sei se vocês recordam/ aquele pesquisador, Nélio Bizzo/ ele fala que um ponto crucial para o entendimento de como aquele processo de seleção natural poderia desencadear o surgimento de novas espécies foi justamente o tempo geológico/ Ele [Darwin] tava ali com um conjunto enorme de novas evidências.../ paleontológicas/ por causa do registro fóssil/ e ele conseguiu.../ uma vez que ele entendia os princípios.../ que ele leu os princípios da geologia de Charles Lyell/ concatenando essas ideias/ e pensando.../ todo esse processo.../ ele levaria um tempo muito maior do que ele vislumbrava em nosso tempo de vida/ Foi possível pensar como aquele mecanismo/ que ele denominou de seleção natural/ estaria relacionado com o processo de surgimento de novas espécies/ porque não basta a variação.../ variação é um passo crucial/ tem variação na população/ a partir dessa variação, como é que saio de uma variação intrapopulacional/ através de um processo constante dessas variações ao longo do tempo/ eu consigo, lá na frente, ter novas espécies?/ Para isso ter essa noção de tempo profundo/ ela foi requerida no momento do desenvolvimento dessa teoria que foi escrita lá em 1859.

A implementação da segunda característica procedimental, a apresentação da linha do tempo, possibilitou que, no contexto da sala de aula, o professor detalhasse a história do planeta. A partir deste detalhamento, na medida em que o professor foi apresentando eventos marcantes na linha do tempo – como a formação dos primeiros oceanos, a fragmentação de Pangeia e a extinção dos dinossauros não-avianos –, foi possível apresentar a dimensão do tempo geológico em comparação com o tempo histórico. Como exemplo, podemos citar o seguinte trecho da fala do professor na sala de aula:

O primeiro registro do Homo sapiens/ mais ou menos 195 mil anos/ e, ai?/ (pausa)/ que coisa ínfima/ vocês têm noção de como isso é recente?/ olha para toda essa escala que a gente acabou ver/ e desses grandes eventos que aconteceram na história da Terra/ olha para os primeiros registros de integrantes da nossa espécie/ atual/ representantes da

nossa espécie/ então, a nossa espécie é muito recente no planeta Terra/ tendo em vista, desde do surgimento dela/ das diferentes formas de vidas/ evolução das células eucarióticas/ surgimento lá dos primeiros tetrápodes/ até chegar/ no registro dos primeiros integrantes da nossa espécie/ isso foi muito recente/ na escala geológica/ agora, imaginem o tempo que nós registramos na história/ pouco mais de dois mil anos/ isso é ínfimo.

Ao longo deste detalhamento, o professor foi apresentando as unidades e subdivisões da escala geológica. Através disso, ele foi localizando os eventos da história da Terra nestas subdivisões. Por exemplo, em um trecho da aula, o professor falou:

Aqui no Cambriano acontece um importante evento/ que a gente vai explicar mais nas últimas aulas/ mais para frente/ que é um evento chamado de a Explosão do Cambriano/ Nessa Explosão do Cambriano, você tem uma modificação abrupta/ da composição faunística/ que existiam nos mares/ e a gente vai ver que hipóteses são levantadas para explicar essa grande explosão/ [...]/ Muitos dos representantes dos filos atuais/ surgiram nessa época/ a grande maioria/ surgiram aqui/ há, mais ou menos, 525 milhões de anos.

O reconhecimento destas unidades e subdivisões da escala do tempo foram importantes para, mais tarde, os estudantes localizarem melhor os eventos citados na narrativa, embora alguns estudantes tenham relatado se sentirem confusos na tentativa de se localizarem temporalmente quando o professor mudava o foco do Cambriano para Ediacara.

Por fim, a terceira característica procedimental, por meio da qual se buscou comparar eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo, possibilitou a reflexão sobre nossa limitação na concepção de certas escalas de tempo. A partir desta comparação, o professor levantou e reforçou muitas vezes a reflexão sobre a dificuldade da percepção humana de eventos em escalas de tempo que se distanciam da nossa experiência. Esta reflexão promovida pelo professor foi um passo importante para desenvolver a noção de tempo profundo na sala de aula, uma vez que possibilitou que os estudantes refletissem sobre suas limitações na concepção de grandes escalas temporais, o que favorecia a busca de superá-las. Como exemplo, podemos citar um trecho da entrevista de um dos estudantes:

Como ele [o professor] falou na sala/ a gente tem uma ideia de tempo muito reduzida/ aí/ quando ele falou de tempo.../ a gente passou a ter uma visão mais ampla/ na escala da evolução o tempo é maior/ maior do que o que a gente tem noção.

Ou ainda, na fala de uma estudante:

Essa questão do tempo/ quando a gente para pra pensar.../ é como se a gente não tivesse como perceber o tempo/ assim.../ quando é muito tempo, mesmo/ é como o professor disse/ a gente é limitado quando o tempo é muito grande/ por que a gente foca só na nossa visão de mundo.

Para exemplificar um pouco melhor, apresento abaixo um trecho de um diálogo entre o professor e uma aluna, que ocorreu no início do quinto encontro, no qual o professor aproveita para introduzir, pela primeira vez em seu discurso, esta reflexão sobre a limitação da nossa noção de tempo:

Aluna: *Ôh, professor/ mas tipo.../ essa.../ o senhor falou da importância.../ que tem que ter a noção de tempo/ pra conseguir se situar quando tem a evolução...*

Professor: *Isso.*

Aluna: *Mas por exemplo.../ naquela questão do questionário que falava sobre.../ teve uma questão²⁶/ do questionário que o senhor passou/ que falava sobre.../ alguns eventos.../ Mas/ para mim/ foi difícil de responder aquela questão/ Porque quando pensava em relação ao tempo/ de formação/ acho que falou de.../ tinha o amadurecimento de plantas.../ uma dessas alternativas/ eu selecionei...*

Professor: *Com base naquilo que achava razoável.*

Aluna: *Isso!/ Quando fui ver as alternativas...*

Professor: *Nenhuma contemplava o que você pensava...*

Aluna: *Exatamente!/ Isso aí que você falou!*

Professor: *Talvez/ essa sua dificuldade/ ela se dê justamente pela percepção daquilo que tá perto/ daquilo que é do seu ciclo de vida/ Você consegue ter uma percepção das coisas que acontecem em uma escala temporal que é visível aos seus olhos/ quando começamos a pensar em eventos que estão em escalas mais amplas/ que não contempla nosso período de vida/ começamos a perder isso/ é natural na nossa espécie/ perder essa acurácia de percepção.*

²⁶ Questão 2 do Questionário 1.

Este diálogo se deu pouco antes da implementação desta característica procedimental (que orienta comparar eventos que acontecem em diferentes escalas de tempo). Durante a entrevista, esta mesma estudante comentou sobre a importância das aulas sobre tempo geológico – especialmente o momento em que foram feitas comparações das escalas de tempo – para que ele pudesse superar a dúvida apresentada no diálogo acima e, dessa forma, compreender a evolução:

Eu não tinha noção nenhuma do tempo que ocorre os eventos/ [...] / por isso eu acho que é muito importante [aulas sobre tempo geológico] / por que a partir dos exemplos/ [...] / que a gente começou a relacionar/ porque você tinha as escalas de tempo e também diziam o que ocorre nestes tempos/ e com isso a gente começou a correlacionar as diferenças/ e isso facilitou para entender evolução/ tanto na escala macro/ quanto na escala micro.

Desta maneira, todas as expectativas pedagógicas deste princípio se mostraram promissoras. Contudo, como já mencionado, o objetivo geral foi alcançado parcialmente. Sendo assim, embora suas características procedimentais tenham sido validadas neste trabalho, este princípio deve ser aprimorado em protótipos posteriores da sequência didática.

6.4 O uso de estratégias para o desenvolvimento do pensamento filogenético

A implementação de estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento do pensamento filogenético teve como objetivo geral promover a compreensão sobre conceitos e representações associadas às relações de parentesco das espécies e à identificação de padrões macroevolutivos.

Sua realização aconteceu no terceiro e, principalmente, no sexto encontro. No terceiro encontro, o conceito de ancestralidade comum e a analogia da árvore foram introduzidos. No sexto, por sua vez, estes conceitos foram melhor detalhados e os conceitos de anagênese e cladogênese foram introduzidos. O tempo dedicado a estas estratégias foi de aproximadamente 18 minutos – cerca de 11 minutos no terceiro encontro e 7 minutos no sexto –, o que corresponde a aproximadamente 2,4% do tempo total da intervenção. O sexto encontro foi um dos que foram afetados por imprevistos que reduziram o tempo disponível de aula, o que prejudicou o trabalho com os conceitos em sala de aula. Em razão disso, alguns conceitos importantes relacionados ao pensamento filogenético mal foram trabalhados – como o conceito de homologia, o processo

de transferência lateral de genes e a diferença entre grupos naturais (monofiléticos) e não-naturais.

Contudo, ainda assim, os estudantes tiveram um desempenho crescente nas questões 3 e 4 dos questionários (Tabela 1), que tratam do pensamento filogenético. A análise da questão 3 mostrou que os estudantes passaram a considerar cada vez mais a relevância do conceito de ancestralidade comum para relacionar espécies e superaram perspectivas transformacionais. Por sua vez, a análise da questão 4 mostrou que os estudantes tiveram ganhos na aprendizagem sobre como interpretar corretamente representações filogenéticas.

Este resultado foi confirmado nas entrevistas com os estudantes. Quase todos os estudantes tiveram sucesso na questão 4 do questionário 4, que foi adaptada para a entrevista. Apenas 3 erraram a questão. Contudo, quando foi pedido que justificassem a alternativa que escolheram, 7 estudantes ainda mostraram alguma confusão com a concepção linear de evolução ou interpretaram equivocadamente a filogenia. E quando questionados sobre qual alternativa eles consideravam mais equivocada, a grande maioria respondeu que seria a alternativa “a” – que propõe que um organismo é mais evoluído do que todos os outros presentes na filogenia –, o que sugere que a maioria dos estudantes consideram equivocado definir a existência de organismos mais evoluídos que outros.

Ao longo da entrevista, essa última conclusão vem a ser reforçada, já que a grande maioria dos estudantes relatou que compreendiam o processo evolutivo como um processo sem um ápice, o que tornaria inviável definir um organismo como mais evoluído do que outro. Por exemplo, um estudante, ao justificar a razão de acreditar que a alternativa “a” da questão 4 do questionário 4 estava equivocada, falou:

Porque o gráfico não fala sobre quem é mais evoluído do que quem/ ele só mostra a relação entre os antecedentes dele/ não dá pra dizer quem é mais evoluído/ dá pra dizer, no máximo, quem é mais complexo/ mas não quem é mais evoluído.

Ou ainda, na fala de outro estudante:

Não faz sentido falar em mais evoluído/ menos evoluído/ não dá pra dizer isso.../ o professor até chamou atenção disso/ que é possível evoluir e ficar mais.../ mais simples/ ou ficar menos simples/ mais complexo/ [...] / falar em mais evoluído parece que tem um topo/ não dá nem pra dizer que estamos no topo/ todo mundo evolui igual.

É importante ressaltar que esta perspectiva não-linear para a evolução não foi tão presente nas primeiras aulas. Por exemplo, em um trecho de um diálogo entre um estudante e o professor, obtido a partir das gravações em vídeo do terceiro encontro, é possível notar que uma visão linear e progressivista da evolução era muito mais frequente. O professor, por meio desse diálogo, buscou desconstruir essa ideia, como podemos ver a seguir:

Aluna 1: *Professor?*

Professor: *Diga.*

Aluna 1: *Tipo.../ A teoria não diz que a evolução sempre ocorre?/ Se sempre ocorre.../ Por que os seres humanos não continuam evoluindo?*

Aluna 2: *Isso é o que você acha!*

(Nota-se certo alvoroço na sala)

Professor: *Seres humanos não continuam evoluindo.../ (pausa)/ Me diga, o que é que hoje te levou a falar isso/ Por que que você acha que a nossa espécie estaria no topo da evolução?/ Ela parou?*

Aluna 1: *Assim.../ partindo do princípio de que o que nos deu origem foi o Homo sapiens.../ digamos que/ deveríamos continuar evoluindo para algo superior.../ porque/ tipo/ disso que viemos é algo muito menos complexo do que hoje nos tornamos...*

(Alvoroço na sala. Alguns alunos parecem concordar, enquanto outros parecem discordar. Uma parte da turma não toma partido)

Professor: *É bom tomar cuidado com o termo que você utilizou e que você utilizou/ Superior/ a ideia de superioridade é uma ideia embutida naquela noção original.../ lá que a gente viu/ em Lamarck.../ Em Darwin não é possível se falar em superior/ São formas mais primitivas/ contra as mais derivadas/ Por que derivadas?/ Porque ao longo de um determinado tempo/ que pode ter sido de milhões de anos.../ elas foram derivando novas características a partir de características primitivas.../ a gente tá falando da ideia de mudança.../ não é que eu esteja saindo de um status inferior e indo pra um status superior.../ Não é isso/ Toma cuidado com esse termo, tá?/ Sendo um discurso evolutivo nos dias atuais.../ isso não confere mais/ Não é válido... [segue destrinchando argumentos que apontam que os seres humanos ainda evoluem – por exemplo, a incidência de anemia falciforme em populações afetadas pela malária]*

A forma como a turma se dividiu, na época, apontava que muitos estudantes acreditavam na evolução como linear ou estavam incertos sobre este aspecto. Comparando esse cenário com o que foi encontrado nas entrevistas, foi possível perceber que, à época da entrevista, apenas uma minoria ainda mantinha essa concepção.

Todos os estudantes alegaram que os conceitos de filogenia foram muito importantes para se compreender e representar graficamente a evolução e o parentesco das espécies. Por exemplo, um dos estudantes comentou durante a entrevista:

Claro que é importante/ por que traz aquela relação entre as espécies, né?/ evolução das espécies a partir dos ancestrais comum/ e.../ pela representação do gráfico/ que deixa tudo mais claro/ você tem como visualizar/ muito melhor você olhar o gráfico do que você chegar e falar: “rato é ancestral comum...”/ com o gráfico fica mais fácil de visualizar.

Ou como foi dito por outro estudante:

Quando o professor está explicando/ principalmente essa questão de formação de novas espécies/ tinha um ancestral comum/ e aconteceu a especiação/ quando ele traz a árvore filogenética fica muito mais fácil de perceber/ e como vai se produzindo novas espécies/ então/ é bem legal/ e também quando você tem um grupo de animais/ você quer saber.../ esse aqui tem uma similaridade/ e eles tem um ancestral comum próximo/ achei legal perceber isso/ visualizar/ é didático.

Para alguns estudantes, o desenvolvimento desta perspectiva foi surpreendente, pois não era intuitivo para eles considerar o parentesco entre diferentes espécies. Como exemplo disso, podemos citar o relato de uma estudante:

Logo quando eu vi.../ na primeira prova/ eu errei/ por que eu não sabia direito.../ qual o ancestral/ o que é ancestral.../ Agora eu sei/ eu super achei interessante/ e também.../ ligar, né?/ ornitorrinco/ gambá/ canguru/ eu fiquei.../ tipo assim/ eles são parentes!?!?!/ eu nunca ia pensar isso...

Os dados obtidos indicam que a maioria dos estudantes conseguiu desenvolver o pensamento filogenético, sendo capazes de compreender conceitos e representações relacionadas às relações de parentesco das espécies. Contudo, percebeu-se que os estudantes não foram capazes de estabelecer conexões entre as representações das relações filogenéticas e a visualização de padrões macroevolutivos. Estas conexões não foram desenvolvidas em sala

de aula, o que justifica sua ausência na compreensão dos estudantes. Desta maneira, o objetivo geral deste princípio foi parcialmente cumprido.

Os procedimentos para a realização deste princípio foram o desenvolvimento de uma aula expositiva dialogada sobre conceitos chave da filogenia e a comparação da ideia de evolução linear com a analogia da árvore. A expectativa pedagógica da aula expositiva era introduzir os conceitos de filogenia. Já a comparação entre a evolução linear e a analogia da árvore teve como expectativas pedagógicas: (1) promover reflexão sobre a forma como a evolução é corriqueiramente apresentada, e (2) discutir os conceitos de filogenia desenvolvidos anteriormente utilizando representações de árvores filogenéticas.

Por meio da análise das gravações de vídeo, notou-se que a aula expositiva foi bem-sucedida na introdução de conceitos relevantes para o entendimento das relações de parentesco dos organismos, como, por exemplo, ancestralidade comum, anagênese e cladogênese. Além dos trechos já citados, isso pode também ser verificado no seguinte trecho da aula, no qual o professor introduziu os conceitos de anagênese e cladogênese:

Nesse processo de formação das espécies/ tem duas coisas importantes que acontecem aqui/ as modificações que um determinado ancestral vai sofrendo, né?/ essas populações ancestrais vão sofrendo/ acumulando essas variações/ eu chamo de processos anagenéticos/ ou anagênese/ acumula variação/ mas não forma nova espécie/ tá?/ só estou acumulando variação ao longo do tempo/ Se dessa variação surgir dois novos ramos/ eu formei dois grupos diferentes/ eu formei duas espécies/ eu tenho cladogênese/ A cladogênese foram duas espécies diferentes/ A anagênese é o acúmulo de modificações/ Quando eu olho pra minha árvore evolutiva/ aquele ramo onde nada bifurca/ eu chamo de anagênese/ Houve bifurcação e formação de dois novos grupos/ eu chamo de cladogênese/ beleza?

É importante ressaltar que o professor sempre introduziu esses conceitos utilizando representações de árvores filogenéticas, o que contribuía para que os estudantes visualizassem graficamente o que estava sendo falado. Contudo, o professor não conectou claramente a interpretação destas filogenias e muitos dos conceitos contidos nelas (como o de anagênese e de cladogênese) com os padrões evolutivos.

Muito embora estas aulas expositivas tenham sido capazes de introduzir os conceitos desejados no contexto da sala de aula, percebeu-se que o desinteresse dos estudantes por estas

aulas foi aumentando com o passar do tempo. Os dados de observação em sala de aula e da análise das gravações de vídeo apontam que, ao longo do desenvolvimento destas aulas, especialmente no sexto encontro, os estudantes ficaram mais dispersos, sendo até mesmo necessário que o professor chamasse a atenção deles algumas vezes – evento bastante raro nos outros encontros. Isso sugere a necessidade de incorporar outras atividades junto a este procedimento para complementá-lo e permitir alcançar esta expectativa de modo mais motivador para os estudantes.

Quanto ao segundo procedimento, o professor não realizou a comparação entre a analogia da árvore e a perspectiva de evolução linear. Isso certamente inviabilizou o alcance da primeira expectativa pedagógica desta característica procedimental no contexto da sala de aula. No entanto, a segunda expectativa pedagógica foi alcançada, pois o professor dedicou um tempo da aula para detalhar a analogia da árvore da vida, discutindo os conceitos de filogenia desenvolvidos anteriormente mediante o uso de representações de árvores filogenéticas, como pode ser visto no seguinte trecho de aula, no qual o professor contextualiza o conceito de ancestralidade comum em relação à representação de filogenias:

Só pra relembrar/ só pra ficar mais claro/ Analogia da Árvore (apontando para uma árvore filogenética no quadro)/ o que tiver mais embaixo é o mais antigo/ o que tiver mais pra cima é o mais recente/ eu tou indo do passado para o tempo presente/ eu tou narrando a história que leva bilhões de anos para acontecer/ via de regra/ certo?/ e a analogia dessa árvore filogenética é justamente pra gente compreender isso/ quanto mais próximo esses grupos estão/ é o indicativo de que eles compartilham um ancestral comum recente/ compartilhado por estas espécies/ com um ancestral comum mais antigo/ compartilhado por estas outras espécies/ Com um ancestral comum que é ainda mais antigo/ compartilhado por todos que estão aqui/então se eu olho pra estes ancestrais eu consigo dizer quem são os mais aparentados.

Mesmo não tendo sido realizada a comparação explícita entre a perspectiva de evolução linear e a da árvore filogenética, muitos estudantes a fizeram por conta própria, como evidenciado nas entrevistas. Em um trecho da entrevista, um estudante disse:

Eu acho que.../ a gente aprendeu sem precisar da aula/ [...]/ a partir dali ele serve como exemplificação do que a gente viu antes/ vendo mesmo.../ as espécies/ as relações de parentesco/ a partir de qual espécie surgiu outra/ ganhou modificações.../ não é uma linha.

Em um trecho, um estudante oferece outro exemplo:

É uma das coisas que a gente esclarece das besteiras que a gente ouve por aí.../ eu já cansei de ouvir gente que dizia que o homem veio do macaco.../ agora eu digo: “não, perai, calma”/ Esse tipo de coisa é ótimo para esclarecer este tipo de problema/ vê que é uma árvore.

Desta maneira, pode-se concluir que o objetivo geral deste princípio não foi plenamente alcançado e nem todas as expectativas pedagógicas foram devidamente cumpridas. O procedimento de comparar a ideia de evolução linear com a analogia de árvore ainda precisa ser investigado, uma vez que não foi realizado, e em futuros protótipos será importante pensar em procedimentos que promovam uma conexão explícita entre padrões evolutivos e árvores filogenéticas.

6.5 O uso de estratégias para relacionar a micro- e a macroevolução

O uso de estratégias didáticas para relacionar micro- e macroevolução de modo não-linear teve como objetivo geral promover a compreensão da distinção e da relação entre processos situados nas escalas micro- e macroevolutiva, bem como seus papéis na explicação de padrões macroevolutivos. Sua implementação se deu ao longo de toda a intervenção, mas foi mais explicitamente realizada ao longo do quinto, sexto, oitavo e nono encontros, sendo que o quinto e o sexto encontros enfocaram mais os processos e padrões microevolutivos, enquanto o oitavo e o nono, os processos e padrões macroevolutivos. Sendo que, especialmente nos dois últimos, também buscou-se relacionar ambas as escalas evolutivas. O tempo dedicado à implementação destas estratégias foi de aproximadamente 277 minutos – cerca de 44 minutos no quinto encontro, 78 no sexto, 81 no oitavo e 74 no nono –, o que corresponde a aproximadamente 37% do tempo total da intervenção.

A análise do desempenho dos estudantes na questão 12 dos três questionários apontou que não houve progresso no que se refere à compreensão da relação entre micro- e macroevolução (Tabela 1). Mais da metade dos estudantes ao longo dos três questionários manifestou a crença de que não se poderia estabelecer sempre uma relação linear entre micro- e macroevolução, mas uma parcela dos estudantes – somente um pouco menor – sustentava uma perspectiva extrapolacionista, assumindo que a macroevolução é resultado do somatório

de microevoluções. Também não foi raro que os estudantes mudassem de opinião ao longo dos questionários, o que pode indicar que existe ainda muita indecisão e dúvidas sobre esta questão.

A análise das entrevistas reforça essa interpretação. A grande maioria dos estudantes manifestou insegurança quanto à relação entre micro- e macroevolução, principalmente por não entenderem claramente a que se referem estas escalas evolutivas. Por exemplo, um dos estudantes comentou:

Eu não consigo diferenciar/ a diferenciação corretamente/ porque.../ tipo/ eu sempre vejo microevolutivo como uma coisa de menor proporção/ e a macro não ser só uma espécie.../ mas uma coisa maior/ mas eu sei que no fundo no fundo não é bem isso...

Ou, como foi dito por outro estudante:

Tá muito nebulosa/ eu não consegui entender/ prefiro não arriscar falar..."

Ainda outro pode ser encontrado no seguinte trecho da entrevista com um estudante:

Eu achava que a microevolução estava dentro da macroevolução.../ mas depois eu entendi que elas coexistiam/ acho que é isso/ são diferentes/ escalas diferentes.../ eu realmente não entendi o que significam...

A maioria dos estudantes que tentaram estabelecer alguma relação entre estas escalas evolutivas assumiu uma perspectiva extrapolicionista, como visto no seguinte relato de uma estudante:

Microevolução é aquela que ocorre dentro da mesma espécie, né?/ macroevolução é.../ não/ vamos dizer que a macroevolução é a junção de microevoluções.

Outros poucos estudantes assumiram que a macroevolução não pode ser entendida como o somatório de microevoluções, mas não sabiam como justificar a afirmativa, como podemos ver na fala desta estudante:

Eu acho que a macroevolução tem relação com a micro/ mas não só com a micro/ tipo/ outros fatores que afetam a macroevolução além da microevolução/ mas acho que elas são interdependentes/ no caso/ a microevolução mais alguma coisa tem a macroevolução/ agora, o porquê eu não sei.

A partir da análise das gravações da sala de aula, percebeu-se que tanto os significados destas duas escalas evolutivas quanto a sua relação não foram muito bem explorados no

contexto da sala de aula. Por exemplo, no quinto encontro, quando o professor faz comparações de diferentes escalas temporais, ele mencionou que a macroevolução é percebida muitas vezes em uma escala de tempo muito grande. Como até aquele momento o professor não tinha explicado o que significava macroevolução – muito embora já tivesse mencionado o termo algumas vezes –, um dos estudantes questionou:

Aluno: *Qual a diferença de micro e macroevolução?*

Professor: *Micro e macroevolução!// boa!// macroevolução é justamente o que a gente vai ver nas próximas aulas/ e tem uma diferença básica/ agora/ que é/ a microevolução/ é tudo que nós postulamos/ em relação à variação acontecendo no nível/ no nível do DNA/ [...]// esse processo de seleção natural/ acontecendo nas populações/ selecionando esses indivíduos mais bem adaptados em determinados contextos/ tá tudo dentro do processo/ dentro do eixo de microevolução/ quando da especiação para cima/ O processo de especiação ela já é um evento macroevolutivo/ já é um evento macroevolutivo/ formação dos grandes grupos/ é um processo macroevolutivo/ aí você vai ver que para explicar a macroevolução/ a gente pode se utilizar da microevolução/ para você entender a macro/ precisa entender bem a micro/ e ela que dá um suporte para macro/ mas a macroevolução/ ela tem esses processos inerentes/ que a gente também vai conseguir estudar/ principalmente na Explosão do Cambriano/ certo?/ você vai ver que tem eventos notoriamente macroevolutivos/ que você não precisa recorrer a microevolução/ para conseguir, de fato, uma explicação convincente. (Professor seguiu descrevendo as escalas de tempo após a explicação)*

As definições oferecidas pelo professor não foram suficientemente claras e, assim, a distinção entre as duas escalas não foi bem entendida pelos alunos. No entanto, este foi o trecho em que o professor dedicou mais tempo à explicação destas duas escalas evolutivas. Estas definições só foram novamente trabalhadas nos momentos finais da intervenção. Por exemplo, no início do oitavo encontro, o professor reintroduziu o conceito de macroevolução para falar da Explosão do Cambriano:

A Explosão do Cambriano/ ela traz questões macroevolutivas que intrigam a biologia desde de sempre/ Por que que é macroevolutivo?/ porque eu estou falando de surgimento de padrão acima de espécie/ eu estou falando do surgimento de grandes grupos animais/ eu sai do nível de espécie/ por isso eu tô trabalhando com macroevolução/ certo?/ então, vamos lá.

Ao final do nono encontro, o professor fez uma breve menção à relação entre micro- e macroevolução, ao comentar que a macroevolução necessita muito mais do que o poder explicativo da seleção natural. Desta maneira, há um indicativo de que a vagueza encontrada no discurso dos estudantes se relaciona com os limites do tratamento dos conceitos e da relação entre micro- e macroevolução no trabalho em sala de aula.

O desempenho dos estudantes nas questões 5, 6, 7 e 8 dos questionários também aponta um desequilíbrio no entendimento de processos microevolutivos em relação aos de natureza macroevolutiva. O desempenho dos estudantes nas questões 5 e 6, que tratam de processos exclusivamente microevolutivos (respectivamente, seleção natural e deriva genética), teve um visível crescimento ao longo dos questionários (Tabela 1). O desempenho na questão 7, que trata do processo de construção de nicho – que não é exclusivamente um processo macroevolutivo, mas foi descrito em um cenário situado nesta escala –, mostrou ganho ao longo da intervenção, ainda que menor que o das questões citadas anteriormente. Por sua vez, a questão 8, que trata da restrição desenvolvimental – que cumpre, junto com outros processos desenvolvimentais, um papel importante na compreensão da macroevolução –, mostrou um desempenho decrescente dos estudantes (Tabela 1).

As entrevistas mostraram que, além de ser ainda maior o desequilíbrio evidenciado nos questionários, ele também se deu no que tange aos processos microevolutivos. Por meio dos resultados da questão 5 do questionário 4, que foi adaptada para a entrevista, pode-se perceber que a grande maioria dos estudantes dominou o conceito de seleção natural (com exceção apenas de dois estudantes que explicaram a evolução apenas com base no surgimento de mutações e um que a explicou com base na deriva genética apenas). Já o desempenho dos estudantes na questão 6 do questionário 4, adaptada para a entrevista, mostrou que pouco mais da metade dos estudantes dominou o conceito de deriva genética (com exceção de cerca de 9 estudantes que continuaram descrevendo o cenário segundo a ação da seleção natural e 2 que tentaram explicar pelo surgimento de mutações). Estes resultados mostram que, dentre os processos microevolutivos presentes nos cenários das questões, a seleção natural foi muito mais amplamente compreendida do que a deriva genética.

Contudo, limites maiores na compreensão dos alunos foram encontrados na análise das questões que abordam processos macroevolutivos. O desempenho dos estudantes na questão 7 do questionário 4, adaptada para a entrevista, apontou que apenas 2 estudantes conseguiram compreender o processo de construção de nicho, enquanto a grande maioria dos

estudantes apenas foi capaz de entender o papel ecológico das espécies engenheiras de ecossistemas, mas não seu papel evolutivo. Além disso, quatro estudantes descreveram o cenário segundo a ação da seleção natural e nenhum dos estudantes – mesmo os que descreveram o processo corretamente – lembravam o nome do processo (estando ciente que não lembrar o nome certamente é um problema relativamente pequeno em comparação com os outros). Algo semelhante aconteceu na questão 8 do questionário 4, adaptada para a entrevista: apenas 2 estudantes conseguiram descrever a restrição desenvolvimental, ainda que parcialmente. O restante dos estudantes tentou explicar o cenário por meio da ancestralidade comum, da seleção natural ou de mutações. Da mesma maneira como vimos na questão anterior, nenhum dos estudantes conseguiu lembrar do nome do processo. Desta maneira, fica evidente que a compreensão dos processos macroevolutivos não foi desenvolvida satisfatoriamente ao longo da sequência didática.

Diante disso, por meio das gravações de vídeo e da observação da sala de aula, busquei analisar o tempo de aula dedicado a cada processo evolutivo (Tabela 2).

Tabela 2 – Tempo de aula dedicado a cada processo evolutivo trabalhado durante a sequência didática.

PROCESSO EVOLUTIVO	TEMPO DEDICADO EM AULAS (aproximado)	ENCONTROS EM QUE FOI DETALHADO
Seleção Natural	112 minutos	3, 4, 5, 6 e 9
Deriva Genética	15 minutos	6 e 9
Fluxo Gênico	2 minutos	6
Mutação e Recombinação	15 minutos	5
Construção de Nicho	7 minutos	8 e 9
Restrição Desenvolvimental	11 minutos	9
Mecanismos de Regulação Desenvolvimental	44 minutos	8 e 9

Percebe-se, então, que o tempo dedicado à seleção natural foi muito maior do que aquele devotado aos outros processos evolutivos, correspondendo a 15% do tempo total da intervenção, tempo maior do que aquele dedicado a todos os outros processos evolutivos somados e maior do que o tempo dedicado ao tempo geológico e à filogenia. Juntamente com esse enfoque na seleção natural, também foi notável a utilização por parte do professor de uma linguagem fortemente associada à genética de populações, sempre remetendo a mutações, adaptações, populações, frequência alélica, variação genética – inclusive durante a explicação dos mecanismos de especiação e das representações filogenéticas.

Durante a entrevista, o professor comentou ter percebido esse desequilíbrio ao longo das aulas e ter considerado necessário explorar mais exemplos macroevolutivos:

Quando eu olho pra divisão temporal que nós utilizamos pra fazer uma abordagem e outra [micro- e macroevolutiva]/ eu acho que durante aquele processo/ o investimento em exemplos macroevolutivos.../ ele não foi tão satisfatório assim/ [...] eu acho que explorar mais exemplos dentro da temática macroevolutiva.../ Hoje os conceitos de seleção natural/ adaptação/ mutação/ deriva/ eles foram trabalhados dentro de determinado tempo/ talvez eles [estudante] consigam.../ dentro de determinada situação/ diagnosticar onde é que cada um pode ser recorrido.../ Mas eu não sei se com a macroevolução seria tão intuitivo assim.../ até por que trabalhamos dentro de uma temática/ que foi a Explosão do Cambriano/ ali dentro da Explosão do Cambriano a gente trabalhou algumas questões macroevolutivas/ mas a gente poderia recorrer a outros exemplos/ eu acho que essa recorrência a outros exemplos.../ acaba que universalizando mais a linguagem.../ então/ mais uma vez a gente vai pro tempo/ a gente não tinha tempo pra isso.

No que se refere aos padrões evolutivos, a situação foi diferente. Ao longo das aulas, o tratamento dos padrões diretamente associados aos processos microevolutivos, como o gradualismo, quase sempre foi apresentado juntamente àqueles que podem ser associados a processos macroevolutivos, como o equilíbrio pontuado. Desta maneira, o tempo dedicado a estes padrões foi quase o mesmo. Contudo, isso não quer dizer que não foram identificados problemas na forma como os padrões evolutivos foram abordados e comparados. A partir da análise das gravações de vídeo, verificou-se que o gradualismo foi explanado a partir de processos microevolutivos – como esperado –, mas o equilíbrio pontuado foi explanado sem fazer menção a processos macroevolutivos que possam explicar o padrão. Tal abordagem deixa uma lacuna na compreensão dos estudantes sobre o papel dos processos macroevolutivos na geração dos padrões evolutivos, o que, por sua vez, pode ter favorecido a presença recorrente de um discurso extrapolicionista nas falas dos estudantes.

Sendo assim, diante de tudo que foi apresentado, nota-se que o objetivo geral deste princípio não foi alcançado, uma vez que os estudantes não conseguiram compreender a relação da micro- e da macroevolução de modo não linear. A investigação das suas características procedimentais também indica uma realização parcial das expectativas pedagógicas, como veremos a seguir.

Os procedimentos para a realização deste princípio foram: (1) desenvolver, antes da narrativa, aulas expositivas dialogadas sobre os processos microevolutivos, (2) apresentar

padrões evolutivos em conjunto com os conceitos de filogenia, e (3) desenvolver aula expositiva dialogada sobre os processos evolutivos relacionados com o evento macroevolutivo ao longo da narrativa. A expectativa pedagógica das aulas expositivas sobre processos microevolutivos foi permitir discutir e explicar o papel destes processos na evolução. As expectativas pedagógicas da apresentação de padrões evolutivos lado a lado com conceitos relacionados à filogenia foram: (1) discutir a existência de taxa evolutiva variável, comparando o gradualismo com o equilíbrio pontuado, e (2) demonstrar visualmente a representação filogenética dos padrões evolutivos. Já as expectativas pedagógicas das aulas expositivas sobre os processos evolutivos relacionados aos eventos da narrativa foram: (1) discutir e explicar o papel dos processos macroevolutivos na evolução, (2) discutir o papel dos processos microevolutivos na explicação de padrões macroevolutivos, e (3) evidenciar a limitação da perspectiva microevolutiva para explicar eventos da escala macroevolutiva.

Primeiramente, através da análise das gravações de vídeo em sala de aula, foi possível evidenciar que as aulas expositivas sobre processos microevolutivos que se deram antes da narrativa explicaram o papel destes processos na evolução. Um exemplo disso pode ser evidenciado num breve trecho do sexto encontro, no qual o professor faz uma síntese do que foi discutido sobre os processos microevolutivos:

Então.../ só pra fechar o pensamento/ Mutaçãõ e recombinaçãõ geram variabilidade nas populações/ Seleçãõ natural favorece características relacionadas com sobrevivência e reprodução/ Migraçãõ e deriva sãõ fatores que influenciam a composiçãõ do conjunto gênico de uma populaçãõ/ e podem levar a diferentes rumos/ diferentes trajetórias/ caminhos evolutivos/ de modo estocástico.

Como já mencionado nos resultados do princípio anterior, ao longo das aulas dedicadas à filogenia, não houve o desenvolvimento de uma conexão explícita entre os padrões evolutivos e as representações de árvores filogenéticas. Desta maneira, a realização da segunda característica procedimental não foi realizada adequadamente. Ainda assim, foi realizada a comparação entre o gradualismo e o equilíbrio pontuado em sala de aula durante as aulas de filogenia, o que permitiu uma breve discussão sobre mudanças na taxa evolutiva. Contudo, isso não permitiu alcançar a segunda expectativa pedagógica, uma vez que, por não ter sido realizada uma conexão adequada entre padrões evolutivos e conceitos relacionados à filogenia, não foi possível apresentar de modo evidente representações filogenéticas destes padrões evolutivos.

Por fim, embora tenha acontecido a realização, ao longo da narrativa, de aulas expositivas sobre os processos evolutivos relacionados ao evento macroevolutivo, uma das expectativas pedagógicas não foi alcançada. De maneira semelhante à expectativa do primeiro procedimento, as aulas expositivas explicaram o papel evolutivo dos processos macroevolutivos na evolução. Em contrapartida, não houve um momento de síntese tal como feito para explicar o papel dos processos microevolutivos. Além disso, como já discutido, o tempo dedicado à explanação dos processos macroevolutivos foi muito menor do que o tempo dedicado aos microevolutivos (Tabela 2) e o discurso microevolutivo (focado na mudança de frequências alélicas nas populações) foi dominante em diversas ocasiões da intervenção – inclusive ao longo da narrativa macroevolutiva.

A segunda expectativa foi alcançada, uma vez que todos os padrões macroevolutivos apresentados (como o padrão de rápida diversificação do Cambriano) consideraram o papel da microevolução em sua explicação (por exemplo, pelo advento da corrida armamentista²⁷, que explica a ação da seleção na produção da biodiversidade no Cambriano). Contudo, a última expectativa desta característica procedimental não foi alcançada, uma vez que, apesar de o professor ter destacado diversas vezes que a macroevolução nem sempre pode ser explicada pelos processos microevolutivos, em nenhuma das vezes ele detalhou o porquê dessa limitação.

Desta maneira, podemos concluir que nem o objetivo geral deste princípio nem algumas das expectativas pedagógicas foram alcançadas. Em particular, as expectativas de demonstrar visualmente a representação filogenética dos padrões evolutivos e de evidenciar a limitação da perspectiva microevolutiva para grandes escalas de tempo não foram alcançadas, possivelmente em razão do destaque dado ao poder explicativo dos processos microevolutivos. Por estas razões, o uso de estratégias para relacionar a micro- e a macroevolução de modo não-linear ainda precisa ser aprimorado em futuros protótipos e não foi validado no contexto deste estudo.

Não se pode perder de vista que boa parte dos obstáculos para dar conta deste princípio pode se relacionar com os limites da formação de professores de biologia. O tratamento mais

²⁷ Uma das hipóteses para explicar a Explosão do Cambriano traz à tona o papel da predação macrófaga ativa, uma das interações ecológicas que parecem ter estreado no início do Cambriano, na produção de uma corrida armamentista evolutiva envolvendo predadores e suas presas. Esta corrida armamentista teria impulsionado a coevolução de armaduras protetoras, estratégias de evasão e captura, estratégias de detecção de presas e predadores, entre outras coisas, o que pode ter contribuído para a rápida diversificação no início do Cambriano. Mas é importante ressaltar que, se por um lado, este evento permite dar conta da rápida diversificação, por outro lado, não consegue dar conta de explicar o rápido aumento de disparidade que se deu antes da diversificação (MARSHALL, 2006; ZHANG et al., 2013).

comum da biologia evolutiva no ensino superior também direciona seu foco para os processos microevolutivos (ROCHA et al., 2007), muitas vezes com uma abordagem exclusivamente adaptacionista, gene-cêntrica e extrapolacionista, o que certamente se relaciona com o tratamento do ensino de evolução no ensino médio e, como evidenciado ao longo da investigação deste princípio, com as limitações em tratar e relacionar as escalas macroevolutivas e o pluralismo de processos e de padrões.

6.6 O uso de narrativas macroevolutivas

O uso de narrativas macroevolutivas teve como objetivo geral contextualizar e integrar diferentes processos e padrões evolutivos para promover o ensino de evolução de modo pluralista e integrado. Sua realização se deu no oitavo e nono encontros, ocupando aproximadamente 154 minutos – cerca de 80 minutos no oitavo encontro e 74 no nono –, o que representa aproximadamente 21% do tempo total da intervenção.

Na opinião do professor, relatada em sua entrevista, a narrativa foi uma boa maneira de trabalhar de modo contextualizado e integrado a pluralidade de processos evolutivos:

Falando da Explosão do Cambriano em si/ nossa!/ foi incrível aquilo/ por que foi incrível?/ é um evento na história da Terra que traz a possibilidade de você trabalhar justamente a questão da pluralidade e integração do conhecimento biológico/ contextualizando tudo/ [No evento] você tem determinados fenômenos acontecendo/ cada um relacionado com um processo/ e que você tem uma seara de possibilidades/ embasadas em argumentos sólidos/ e que você também pode trabalhar questões muito mais profundas/ da própria natureza do conhecimento científico/ você vai além do biólogos/ você pode ir pra muito além disso.

A partir das gravações de vídeo, percebe-se que, de fato, diferentes processos e padrões evolutivos foram contextualizados ao longo da narrativa. Por exemplo, a construção de nicho foi apresentada na medida em que o professor descreveu o surgimento de intensa atividade de organismos escavadores que se deu na transição do Ediacarano para o Cambriano. A restrição e outros processos desenvolvimentais foram discutidos na medida em que o professor problematizou o surgimento de padrões corporais dos filos de animais bilaterais que estavam presentes desde o início do Cambriano. O equilíbrio pontuado foi discutido ao longo da problematização sobre a variação da taxa evolutiva que se deu neste período. A seleção natural

foi discutida na explicação da corrida armamentista que pode estar associada à produção de rápida diversificação ao longo da Explosão do Cambriano.

O mesmo também pode ser dito sobre a integração destes processos ao longo da narrativa. Por exemplo, o professor discutiu em sala de aula como a mudança ambiental que pode ter sido causada pelos organismos escavadores, ao longo da transição do Ediacarano para o Cambriano, levou ao surgimento de novos ambientes e a nichos ecológicos que foram ocupados por organismos oriundos de novos padrões desenvolvimentais, integrando, assim, o papel da construção de nicho e dos processos desenvolvimentais.

Contudo, a integração dos padrões evolutivos não foi realizada. Os padrões foram apresentados como interpretações antagônicas e apenas durante o detalhamento do gradualismo filético é que se conectou este aos processos microevolutivos, deixando uma lacuna sobre que processos evolutivos poderiam estar subjacentes ao padrão do equilíbrio pontuado.

Em complemento a esta descrição, os resultados dos questionários também apontaram que os estudantes desenvolveram uma compreensão mais aberta ao pluralismo de processos evolutivos, o que foi evidenciado pelo bom desempenho dos estudantes nas questões 10 e 11, ao longo das três aplicações dos questionários (Tabela 1). A questão 10, que tratou de explicações para a presença de características nas espécies, visou principalmente expor a presença de explicações adaptacionistas. Enquanto a 11, que tratou de origem da variação das características dos organismos, focou sobre as explicações gene-cêntricas. Desta forma, os bons resultados obtidos nestas questões apontam que, ao longo das aulas, a aderência a discursos pouco pluralistas (como o adaptacionista e o gene-cêntrico) foi tornando-se menor.

Já as questões 13, 14 e 15 mostraram resultados que pouco variaram ao longo dos questionários (Tabela 1). Na questão 13, que buscou verificar a presença de uma visão integrada de citologia, embriologia e evolução, o ótimo desempenho dos estudantes nos três questionários pode indicar uma maior facilidade de estabelecer esta integração a partir do conhecimento prévio deles (uma vez que a citologia e a embriologia já foram tratadas nos anos anteriores). Já o desempenho constantemente mediano na questão 14, na qual se buscou verificar a habilidade de integrar diferentes conhecimentos da biologia, apontou que, mesmo ao fim da intervenção, os estudantes continuaram tendo dificuldades em enxergar a integração entre áreas da biologia tão diversas, como a ecologia, embriologia, genética, citologia e evolução. Na questão 15, que tratava da interdisciplinaridade, os estudantes mostraram bom desempenho nos três questionários, de modo similar ao que foi encontrado na questão 13, o que também pode indicar

que já tinham maior facilidade em considerar a interdisciplinaridade relacionada à compreensão de fenômenos evolutivos.

Contudo, as entrevistas com os estudantes levaram a achados que forneceram mais informações para a interpretação destes resultados dos questionários, indicando que os ganhos observados não se sustentavam com tanta clareza quanto sugerido pelas respostas fornecidas pelos estudantes às questões feitas. Quando questionados sobre a origem das características dos seres vivos, os estudantes quase unanimemente desenvolveram argumentos adaptacionistas e gene-cêntricos – com exceção de um estudante que construiu explicação baseada nas necessidades dos organismos. O seguinte trecho da entrevista de um estudante oferece um exemplo:

Primeiro eu penso na mutação.../ alguma mutação genética/ Aí/ a depender do ambiente que ele esteja inserido/ pode ser ou não favorável/ Se for favorável/ ótimo/ que ele vai conseguir sobreviver/ gerar.../ ter sucesso reprodutivo/ e.../ gerar descendentes/ se não...

Outro exemplo se encontra na fala deste estudante:

A origem.../ pra mim é aleatória/ como a gente viu, né?/ Por uma mutação/ surgiu uma característica/ foi favorável.../ ao meio em que os indivíduos se encontravam/ eu diria que só por mutação.../ assim.../ Dentro de um ambiente/ se essa característica favorável que ele reproduziu/ pra ele se alimentar/ o processo é a seleção natural...”

Mais um exemplo está presente neste trecho da entrevista de uma estudante:

Majoritariamente.../ acredito que.../ as características/ as adaptações venham de.../ mutações e recombinações genéticas/ acho que são esses fatores que.../ combinados/ geram diferenças de características/ E daí/ algumas características se adaptam melhor ao ambiente/ gerando adaptações/ é basicamente a seleção natural/ ela.../ o ambiente.../ existem características diferentes/ originados das mutações e recombinações gênicas/ aí.../ e algumas destas características atribuem.../ se adaptam melhor ao ambiente do que outras/ aí/ o ambiente influencia na frequência desta característica nas espécies/ e isso vai originando as adaptações.

Este resultado contrasta com a redução de aderência às perspectivas adaptacionistas e gene-cêntricas evidenciada nos questionários, o que pode indicar que se, por um lado, os estudantes passaram a se sentir mais satisfeitos com alternativas mais pluralistas, por outro, eles apenas dominam parte da linguagem microevolutiva – especialmente o processo de seleção

natural²⁸ – e não conseguem se expressar considerando uma pluralidade de processos evolutivos. Isso foi evidenciado em outras questões da entrevista, que tratavam da importância da abordagem pluralista para eles e da capacidade de citar e descrever os processos evolutivos dos quais eles recordavam. Nenhum dos estudantes recordavam o que era o pluralismo e como ele surgiu no contexto das aulas e a maioria não soube citar os processos evolutivos tratados em sala. Sendo assim, fica evidente que a perspectiva pluralista não está bem consolidada na memória destes estudantes, o que abre espaço para a manutenção da predominância do adaptacionismo e do gene-centrismo em seus discursos.

As entrevistas também ajudam a entender melhor como os estudantes entenderam a integração da biologia por meio da evolução. Todos os estudantes ressaltaram o papel da genética em oferecer explicações sobre a origem da variação, especialmente através de mutações e da recombinação. A maioria dos estudantes disse que a ecologia tem importância no entendimento das relações ecológicas dos organismos e destes com o ambiente. Pouco mais da metade dos estudantes ressaltou a importância da embriologia na produção de evidências para a ancestralidade comum. Por fim, dois estudantes pontuaram que a citologia pode ser usada para entender a origem da vida. Percebe-se, então, que os estudantes, não foram capazes de integrar de modo satisfatório a ecologia, a embriologia, a citologia e a evolução, o que pode ser uma consequência da compreensão limitada sobre os processos de construção de nicho e de restrição desenvolvimental, discutida mais acima neste tópico.

Diante do que foi exposto até aqui, é possível concluir que o objetivo geral deste princípio foi parcialmente alcançado. Afinal, muito embora tenha sido possível contextualizar e integrar diferentes processos evolutivos ao longo da narrativa macroevolutiva, o mesmo não se deu com os padrões evolutivos e os estudantes não alcançaram uma compreensão pluralista e integrada da evolução. Este achado pode ter relação com alguns imprevistos que aconteceram durante as aulas voltadas para a apresentação da narrativa e a realização das características procedimentais.

²⁸ É importante fazer a ressalva de que o domínio que os estudantes alcançaram quanto processo de seleção natural – ainda que haja algumas inadequações –, como pode ser evidenciado nos trechos transcritos acima, é um resultado bastante relevante dado os limites na aprendizagem sobre seleção natural e adaptação recorrentemente apontados na literatura sobre ensino de evolução (SEPÚLVEDA, 2010). Tal resultado pode indicar que as estratégias utilizadas em sala de aula foram cruciais para superar estas limitações pedagógicas relacionadas a estes conceitos. Contudo, por não ter feito, neste trabalho, um estudo voltado para as concepções dos estudantes quanto à seleção natural e adaptação, não é possível esmiuçar em detalhes este aspecto.

Os procedimentos elaborados para a realização deste princípio foram: (1) abordar um evento macroevolutivo bem documentado, com alguma ruptura de expectativas intuitivas ou teóricas e que seja adequado ao cronograma escolar, (2) considerar o modelo de estruturas narrativas de Labov; e (3) explicitar as dimensões abiótica, ecológica e desenvolvimental do evento escolhido. O primeiro procedimento tinha como expectativas pedagógicas: (1) desenvolver uma narrativa de modo a motivar os estudantes a compreender os eventos macroevolutivos e sua relação com o desfecho da narrativa, possibilitando o surgimento de discussões e questionamentos importantes, e (2) facilitar a conexão dos conteúdos do cronograma escolar. O segundo tinha como expectativa permitir a estruturação da narrativa de maneira clara e motivadora. O terceiro procedimento tinha como expectativa fomentar a discussão, de modo contextualizado e integrado, sobre as contribuições de uma pluralidade de processos e de padrões evolutivos e dos fenômenos abióticos.

Primeiramente, percebeu-se que os estudantes, de modo geral, não se sentiram motivados ou interessados pela narrativa. Quase a metade dos estudantes relatou em entrevista que não recorda ou apenas lembra vagamente da narrativa macroevolutiva. Quanto ao restante dos estudantes, as opiniões variaram: seis estudantes disseram ter gostado da narrativa, quatro disseram não ter gostado, três disseram que foi um tema muito complicado e um disse que se sentiu decepcionado com a narrativa. A seguir, apresento um trecho do comentário de um dos estudantes que disseram sentir dificuldades para compreender a narrativa:

Essa parte eu achei difícil/ bem complicada/ [...]/ nunca tive contato com nada parecido/ Eu gostei/ mas confesso que não entendi algumas partes/ Ainda tenho bastante dúvidas.

Já o estudante que disse ter se decepcionado relatou:

Eu achei interessante/ mas eu fiquei um pouco decepcionado com as explicações/ Ela.../ do nada a Explosão do Cambriano surge/ como assim?/ o que aconteceu assim?/ eu não entendi direito essa parte/ as motivações/ entendeu?

Essa desmotivação também foi perceptível na análise das gravações de vídeo. Poucos estudantes participaram ativamente destas aulas em comparação com os outros encontros. Tal como aconteceu nas aulas expositivas sobre conceitos de filogenia (no sexto encontro), na medida em que a narrativa foi se tornando mais complexa, os estudantes começaram a ficar dispersos e desinteressados. Em contrapartida, o professor relatou em sua entrevista que a

narrativa foi muito motivadora para ele, uma vez que, além dos ganhos já mencionados, contribuiu para que ele conectasse os temas do cronograma escolar de modo satisfatório.

A análise das gravações de vídeo também apontou que a estrutura da narrativa, segundo o modelo proposto por Labov (1972), foi bastante complexa e confusa. O professor optou por estruturar a narrativa de uma maneira mais complexa do que a estrutura básica deste modelo (composta de Resumo, Orientação, Complicação, Avaliação, Resolução e Coda).

Resumidamente, o professor desenvolveu a narrativa da seguinte forma: No começo do oitavo encontro, ele começou a narrativa introduzindo a Explosão do Cambriano, comparando os padrões do gradualismo e do equilíbrio pontuado com a rápida diversificação encontrada no Cambriano (esta etapa pode ser entendida como o Resumo da narrativa). Seguiu caracterizando os organismos que protagonizaram este evento macroevolutivo – os animais bilaterais –, situando-os filogeneticamente no clado dos metazoários (Orientação da narrativa). Passou a problematizar a grande diversificação e disparidade que se deu logo no início do Cambriano, comparando com evidências do registro fóssil (Complicação da narrativa). Chamou a atenção para a dificuldade de se compreender como pode ter acontecido uma variação tão intensa na taxa de mudança evolutiva (Avaliação da Narrativa). Introduziu os genes desenvolvimentais e descreveu seu papel na origem das formas dos bilaterais, em termos gerais (Complicação da narrativa). Voltou a problematizar o registro fóssil do Cambriano, questionando a sua confiabilidade e como ele apresenta um aparecimento abrupto de várias linhagens (Complicação da narrativa). Localizou temporalmente a Explosão do Cambriano e apresenta alguns representantes da fauna deste período (Orientação da narrativa). Apresentou a fauna de Ediacara e comparou com a fauna do Cambriano, ressaltando a faixa de tempo relativamente curta de uma fauna para outra (Complicação da narrativa). Seguiu detalhando as mudanças ecológicas que aconteceram na transição do Ediacarano para o Cambriano, dando destaque ao surgimento de vestígios de organismos escavadores (Complicação da narrativa). Apresentou como os organismos escavadores podem ter provocado grandes alterações nas relações ecológicas do ambiente e o papel destas na evolução dos organismos (Resolução da narrativa). Voltou a problematizar o surgimento de diversos clados ao longo do Cambriano em comparação com a fauna de Ediacara, apresentando gráficos que mostram o número de classes, ordem e filos nas duas faunas (Complicação da narrativa). Retornou para a discussão sobre a dificuldade de compreender as mudanças que se deram no Cambriano a partir da perspectiva gradualista e destacou o equilíbrio pontuado como uma alternativa para entender melhor o evento (Resolução da narrativa). Passou a descrever as mudanças no contexto ambiental ao

longo do evento, pontuando a reorganização dos continentes e as mudanças na composição da água (Complicação da narrativa). Ressaltou quais pontos deveriam ser focados na narrativa, apontando para a diversificação e o aumento da disparidade dos bilaterais e para a tendência à mineralização do corpo dos organismos (Avaliação da narrativa). Começou a discutir brevemente os gatilhos desenvolvimentais, ecológicos e abióticos que podem ter promovido o evento da Explosão do Cambriano, dando destaque à dimensão desenvolvimental (Resolução da narrativa).

No nono encontro, o professor retomou a discussão sobre os processos desenvolvimentais, detalhando os mecanismos que possibilitam a mudança abrupta do fenótipo dos organismos e introduzindo o conceito de monstros esperançosos (Resolução da narrativa). Seguiu discutindo os eventos ecológicos e abióticos que podem explicar a rápida diversificação ou provocar mudanças no desenvolvimento dos organismos, como as mudanças na composição do oceano causadas pela construção de nicho dos organismos bilaterais escavadores, pela reorganização dos continentes e pela ação indireta da *SnowBall Earth*²⁹ (Resolução da narrativa). Por fim, fez uma breve síntese do que foi visto na narrativa sobre a Explosão do Cambriano (Coda da narrativa).

Percebe-se, então, que o professor não seguiu uma linearidade ao longo do desenvolvimento da narrativa, retomando várias vezes elementos da estrutura proposta por Labov, a exemplo da Complicação. Evidentemente, esta não é, em si mesma, uma escolha problemática, porque o modelo de Labov não pode ser entendido como uma regra de como todas as narrativas devem ser estruturadas. Contudo, realizar tantas retomadas traz riscos consideráveis de perda de inteligibilidade, motivação e plausibilidade para os estudantes, o que parece ter ocorrido, à luz dos indícios obtidos nas entrevistas com os estudantes e nas gravações em vídeo das interações na sala de aula. Está claro, assim, que há desafios a serem enfrentados na transposição didática da narrativa macroevolutiva sobre a Explosão do Cambriano (ou outro evento escolhido) num futuro protótipo da sequência didática, buscando-se simplificar sua estrutura, de modo que seja mais motivadora, inteligível e plausível para os estudantes.

No que se refere à última característica procedimental, as dimensões desenvolvimental, ecológica e abiótica do evento foram discutidas em sala de aula ao longo da

²⁹ Evidências crescentes apontam que a Terra passou por dois ou três eventos de grandes glaciações durante o Neoproterozoico tardio (HOFFMAN; SCHRAG, 2002), entre 780 a 635 milhões de anos atrás, de modo que o planeta ficou completamente, ou quase completamente, coberto de gelo. É dado a estes eventos de glaciação o nome de *SnowBall Earth* (Terra em bola de neve).

narrativa, o que permitiu contextualizar e integrar os diferentes processos evolutivos. Contudo, é válido ressaltar que a abordagem destas dimensões foi bastante desequilibrada, o que pode ser evidenciado pela dedicação de tempo de aula para cada uma delas ao longo da narrativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Tempo de aula dedicado a cada dimensão trabalhada durante a sequência didática.

DIMENSÃO DO EVENTO	TEMPO DEDICADO EM AULAS (aproximado)	ENCONTROS EM QUE FOI DETALHADA
Desenvolvimental	73 minutos	8 e 9
Ecológica	14 minutos	8 e 9
Abiótica	20 minutos	8 e 9

O tempo dedicado à dimensão desenvolvimental foi de aproximadamente 73 minutos, o que corresponde a cerca de 37% do tempo total dedicado à narrativa. Ao longo dessa abordagem, o professor explanou sobre os genes *Hox* e outros genes desenvolvimentais, sobre as redes de interações entre estes genes, sobre as restrições desenvolvimentais, sobre o estabelecimento de padrões corporais etc. No entanto, é notável que deu-se mais destaque, no tratamento desta dimensão, à genética do desenvolvimento do que a outras contribuições da biologia do desenvolvimento, como o papel da física do embrião no desenvolvimento, ou as relações entre modularidade e evolvibilidade. Sendo assim, o discurso sobre o desenvolvimento dos organismos que foi elaborado em sala de aula ainda manteve um foco principalmente sobre a genética, o que pode ter dificultado a compreensão dos estudantes sobre outras fontes de variação além das mutações e recombinação, o que está em conformidade com os achados das entrevistas realizadas com eles, como discutido acima.

As dimensões ecológica e abiótica ocuparam, respectivamente, cerca de 14 minutos (7% do tempo total da narrativa) e 20 minutos (10% do tempo total da narrativa). Na dimensão ecológica, o foco recaiu sobre a construção de nicho e a corrida armamentista, enquanto na dimensão abiótica buscou-se discutir a reorganização dos continentes, a *SnowBall Earth* e as mudanças na composição dos oceanos. Em termos de interdisciplinaridade, estas duas dimensões foram trabalhadas pelo professor de modo bastante competente, favorecendo a integração de conhecimentos da biologia com os de outras áreas da ciência, como a geologia, a química e a física. No entanto, em razão do pouco tempo utilizado para a abordagem destas duas dimensões, não houve possibilidade de maior detalhamento, o que influencia sobre a coerência da narrativa e a integração dos processos destas dimensões.

Por fim, é válido ressaltar que os encontros destinados para o desenvolvimento da narrativa foram os mais afetados por situações externas ao contexto da sala de aula. A narrativa foi planejada para acontecer em três encontros, com um tempo maior para abordar e detalhar seus eventos. Contudo, um destes encontros teve de ser suprimido de última hora em razão de uma demanda da própria instituição. Este acontecimento também teve outro efeito: os dois encontros voltados para a narrativa foram separados por um intervalo de tempo de 15 dias, ultrapassando em uma semana o intervalo usual entre os encontros, o que pode ter prejudicado a compreensão dos estudantes sobre os conteúdos trabalhados na narrativa. É importante ressaltar, ainda, que o último encontro também foi prejudicado por um evento esportivo³⁰ que aconteceu na cidade e causou a ausência de muitos estudantes.

Sendo assim, tal como o objetivo geral deste princípio, algumas expectativas pedagógicas não foram alcançadas plenamente. O primeiro procedimento não foi suficiente para a motivação e o interesse dos estudantes. No caso do segundo, mostrou-se necessário utilizar uma estrutura mais simples e linear na narrativa macroevolutiva, uma vez que a estrutura realizada neste protótipo não se mostrou inteligível, motivadora e convincente para os estudantes. Quanto ao terceiro, embora tenha sido alcançado, houve um desequilíbrio na abordagem das dimensões ecológica, abiótica e desenvolvimental, com maior atenção sendo dada a esta última, o que constituiu um obstáculo para a construção de uma compreensão pluralista e integrada pelos estudantes. Desta forma, este princípio ainda necessita de aprimoramento, sendo necessário pensar em procedimentos mais eficazes para despertar interesse nos estudantes e garantir um melhor equilíbrio sobre as abordagens dos processos e padrões evolutivos.

Contudo, apesar destes resultados, é importante ressaltar que, da perspectiva do professor, a utilização destas estratégias foi bastante motivadora e dinâmica. Este aspecto nos indica que a abordagem desenvolvida é bastante promissora em termos da atividade de docência, sendo, portanto, um grande motivador para continuar investindo e apostando na abordagem para o ensino de macroevolução.

³⁰ Nesta data ocorreu um jogo da seleção brasileira de futebol na cidade, o que causou muitos engarrafamentos e, conseqüentemente, atrasos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A despeito das dificuldades de trazer a macroevolução e a pluralidade de processos e de padrões para a sala de aula, a importância de sua incorporação ao ensino de evolução torna relevante a investigação de propostas instrucionais com este intuito. No presente estudo, investigamos um primeiro protótipo de tal proposta instrucional, construída com base em princípios de *design* que foram parcialmente validados na implementação da proposta no contexto real de sala de aula. Também foram encontrados limites, contudo, nestes princípios e nas expectativas pedagógicas a eles relacionadas, o que forneceu indícios para o aprimoramento dos princípios, em suas ênfases substantiva e procedimental, em futuros protótipos da intervenção. Contudo, como já mencionado, não podemos perder de vista que todas as sugestões tiveram grande sucesso em termos da prática docente, dando motivação ao professor, o que é um aspecto bastante relevante.

De todos os princípios, o que se refere ao uso de estratégias para promover o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre evolução foi inteiramente validado em sua implementação no presente estudo, já que tanto seu objetivo geral quanto suas expectativas pedagógicas foram plenamente alcançados.

O princípio que se refere ao uso de estratégias didáticas que auxiliem a compreensão do tempo geológico e sua relação com os processos evolutivos teve seu objetivo geral parcialmente alcançado, já que os estudantes ainda apresentaram dificuldades na concepção de grandes escalas temporais, uma vez que, para eles, notar grandes dimensões temporais ainda era vago. No entanto, todas as expectativas pedagógicas foram alcançadas, o que pode indicar a necessidade de incluir outras estratégias para complementar os procedimentos já propostos e permitir a realização plena do objetivo geral. Pensando nisso, a realização de atividades práticas nas quais os próprios estudantes montem linhas do tempo com os eventos da história da Terra, em complemento com as aulas expositivas dialogadas sobre este tema, é uma das estratégias candidatas para a implementação deste princípio num segundo protótipo desta intervenção.

Quanto ao uso de estratégias didáticas que fomentem o desenvolvimento do pensamento filogenético, percebeu-se que os estudantes não foram capazes de estabelecer conexões entre as representações das árvores filogenéticas e a visualização de padrões macroevolutivos, o que significa dizer que o objetivo geral do princípio correspondente também foi alcançado parcialmente. Sendo assim, é importante que a implementação deste princípio no segundo protótipo considere procedimentos que promovam a conexão explícita entre os padrões

evolutivos e as árvores filogenéticas. Representações filogenéticas de diferentes eventos macroevolutivos podem ser utilizadas para ressaltar padrões correspondentes, visando à conexão desejada. Outra lacuna relacionada à implementação deste princípio diz respeito a um dos procedimentos não ter sido realizado, o de promover uma comparação entre a ideia de evolução linear e a representação de uma árvore evolutiva, sendo necessário implementá-lo e investigá-lo num segundo protótipo.

O princípio que se refere ao uso de estratégias didáticas para promover o desenvolvimento da compreensão das relações entre micro- e macroevolução de modo não-linear não conseguiu alcançar seu objetivo geral. Os estudantes permaneceram com muitas dificuldades de entender cada uma destas escalas evolutivas e, conseqüentemente, não foram capazes de entender a relação entre elas de modo não-linear. As expectativas de demonstrar visualmente padrões evolutivos usando representações de árvores filogenéticas e de evidenciar a limitação da perspectiva microevolutiva para explicar eventos macroevolutivos não foram alcançadas. A promoção de leitura e discussão de algum texto que debata as limitações da perspectiva microevolutiva e a elaboração de evogramas³¹ no ensino de macroevolução (por exemplo, PADIAN, 2008; 2010) constitui procedimento interessantes a ser testado na implementação deste princípio.

Por fim, o objetivo geral do princípio que se refere ao uso de narrativas macroevolutivas também foi parcialmente alcançado, pois os estudantes não construíram de modo pleno uma compreensão pluralista e integrada da evolução. Tal como o objetivo geral deste princípio, algumas expectativas pedagógicas também não foram alcançadas plenamente. É necessário pensar em outros procedimentos que suscitem motivação e interesse dos estudantes. Promover a leitura e discussão de algum texto que ajude na problematização do evento macroevolutivo escolhido pode ser uma estratégia interessante para implementar este princípio de modo a torna-lo mais atraente para os estudantes. Enriquecer a narrativa com mais trechos de vídeos ou documentários certamente é um ótimo procedimento candidato para o próximo protótipo, dado a boa receptividade dos estudantes com relação aos vídeos apresentados ao longo desta intervenção. Além desta questão, é importante desenvolver a narrativa macroevolutiva de modo mais simples e linear, usando a estrutura básica do modelo de Labov (1972), em comparação com o modo como foi implementada neste primeiro

³¹ Evogramas são diagramas ilustrados que podem integrar dados paleontológicos, genéticos e desenvolvimentais a uma árvore filogenética com o objetivo de representar e evidenciar a história evolutiva de uma ou mais características de uma linhagem.

protótipo. É importante, ainda, que as dimensões desenvolvimental, ecológica e abiótica da narrativa sejam tratadas de modo mais equilibrado no próximo protótipo.

O presente estudo forneceu indícios de que um outro princípio pode ser relevante para promover o ensino de evolução de modo pluralista e integrado. Com base nos relatos da maioria dos estudantes, notou-se que a contextualização histórica da construção da teoria evolutiva foi bastante atraente e motivador. Sendo assim, pode ser relevante que o próximo protótipo considere tratar esta característica de modo mais sistematizado, para permitir sua investigação e seu desenvolvimento.

Em conclusão, desejo que este trabalho, além de ter permitido a investigação, o desenvolvimento e a validação parcial de princípios de *design* para o ensino de evolução de modo pluralista e integrado, seja uma fonte de inspiração para outros educadores que percebam limitações do ensino de evolução como tem sido usualmente conduzido e desejem superá-las. O conjunto de princípios aqui investigados podem ser utilizados, com os devidos ajustes, em outro contexto educacional. Para tanto, pode-se pensar em termos da generalização situada (SIMONS et al., 2003) dos achados do presente estudo, tomando-os como evidências transferíveis para outros contextos, conquanto haja conexão e similaridade entre o contexto em que foi realizado este estudo e os contextos em que outros educadores realizem seu trabalho pedagógico. Desta maneira, esperamos contribuir para a transformação da realidade do ensino de evolução no ensino médio brasileiro, assim como na realidade educacional de outros países.

REFERÊNCIAS

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

BIZZO, N.; EL-HANI, C. 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, p. 235-257, 2009.

BONITO, J; REBELO, D; MORGADO, M; MONTEIRO, G; MEDINA, J; MARQUES, L; MARTINS, L. A Complexidade do Tempo Geológico e a sua Aprendizagem com Alunos Portugueses (12-13 anos). **Terrae Didactica**, v. 7, n. 2, p. 81-92, 2011.

BURBANO, H. A. *Epigenetics and genetic determinism*. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 851-63, Oct-Dec. 2006.

BUTTERFIELD, N. J. *Macroevolution and macroecology through deep time*. **Palaeontology**, v. 50, n. 1, p. 41-55, 2007.

CLARKE, J. *Feathers before flight*. **Science**, v. 340, n. 6133, p. 690-692, 2013.

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

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.

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

UNIVERSITY OF CALIFORNIA MUSEUM OF PALEONTOLOGY; NATIONAL CENTER FOR SCIENCE EDUCATION. **Entendendo a evolução**. Traduzido por: Camila Leal. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/>>. Acesso em: 19 mar, 2017.

ERWIN, D. H. *Microevolution and Macroevolution are not Governed by the same Processes*. In: AYALA, F.; ARP, R. (Orgs.). **Contemporary Debates in Philosophy of Biology**, John Wiley & Sons Ltd., p. 180-193, 2010.

FOLGUERA, G.; LOMBARDI, O. *The relationship between microevolution and macroevolution, and the structure of the extended synthesis*. **History and philosophy of the life sciences**, v. 34, p. 539-559, 2012.

GOULD, S. J.; LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 205, n. 1161, p. 581-598, 1979.

GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. **Evolution of the Insects**. Cambridge University Press, 2005.

HOFFMAN, P. F.; SCHRAG, D. P. *The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change*. **Terra nova**, v. 14, n. 3, p. 129-155, 2002.

HUNEMAN, P. *Macroevolution and Microevolution: Issues of Time Scale in Evolutionary Biology*. (in) HUNEMAN, P.; BOUTON, C. (eds.), **Time of Nature, Nature of Time**. Springer, 2015.

KENRICK, P.; CRANE, P. R. *The origin and early evolution of plants on land*. **Nature**, v. 389, n. 6646, p. 33-39, 1997.

LABOV, W. *The transformation of experience in narrative syntax*. In: LABOV, W. (Ed.) **Language in the inner city**. Philadelphia: University of Pennsylvania, 1972. p. 219-247.

LALAND, K. N.; ULLER, T.; FELDMAN, M. W.; STERELNY, K.; MÜLLER, G. B.; MOCZEK, A.; JABLONKA, E.; ODLING-SMEE, J. *Does evolutionary theory need a rethink?: Yes, urgently*. **Nature**, v. 514. 2014.

_____. *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions*. **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society, 2015.

LARSSON, S. *A pluralist view of generalization in qualitative research*. **International Journal of Research & Method in Education**, London, v. 32, n. 1, p. 25-38, 2009.

MARSHALL, C. R. *Explaining the Cambrian “explosion” of animals*. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 34, p. 355-384, 2006.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico**. Brasília: UnB, 1998.

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. **Evolução: o sentido da biologia**. 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, p. 151-190, 2009.

NEHM, R.; KAMPOURAKIS, K. *History and Philosophy of Science and the Teaching of Macroevolution*. In: **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Springer Netherlands, 2014. p. 401-421.

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, p. 151-158, 2006.

NORRIS, S.; GUILBERT, S.; SMITH, M. L.; HAKIMELAHI S.; PHILLIPS, L. *A theoretical framework for narrative explanation in science*. **Science Education**, v. 89, n. 4, p. 535-563, 2005.

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

PADIAN, K. *Trickle-down evolution: an approach to getting major evolutionary adaptive changes into textbooks and curricula*. **Integrative and Comparative Biology**, v. 48, n. 2, p. 175-188, 2008.

PERSONS, W. S.; CURRIE, P. J. *Bristles before down: A new perspective on the functional origin of feathers*. **Evolution**, v. 69, n. 4, p. 857-862, 2015.

PIGLIUCCI, M. *An Extended Synthesis for Evolutionary Biology*. **The Year in Evolutionary Biology**: Ann. N. Y. Acad. Sci. 1168, 2009. p. 218-228.

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. p. 9-35, 2009.

RIBEIRO, R. M. L.; MARTINS, I. O potencial das narrativas como recurso para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos de física. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 293-309, 2007.

ROCHA, P.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, Â. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.;

OLIVEIRA, E. S. de; ASSIS, J. G. de A.; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P. de; CARVALHO, L. M. de; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. de A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H. da; ROSA, V. L. da; EL-HANI, C. N. *Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity*. In: **Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks**. 2007. p. 893-907.

SANGARI DO BRASIL. Darwin nos andes. Disponível em: <<http://neliobizzo.pro.br/midia/documentario-darwin-nos-andes/>>. Acesso em: 19 mar, 2017.

SANTOS, C. M. D.; CALOR, A. R. Ensino de biologia evolutiva utilizando a estrutura conceitual da sistemática filogenética – I, **Ciência & Ensino**. v. 1, n. 2, p. 1-8, 2007a.

_____. Ensino de biologia evolutiva utilizando a estrutura conceitual da sistemática filogenética – II, **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 1, p. 9-16, 2007 b.

SARMENTO, A. C. de H. **Como ensinar citologia e promover uma visão informada da ciência no nível médio de escolaridade**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

SEPULVEDA, C. **Perfil conceitual de adaptação: Uma ferramenta para a análise de discurso de salas de aula de biologia em contextos de ensino de evolução**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Salvador, 2010.

SEPÚLVEDA, C.; ALMEIDA, M. (orgs.) **Pesquisa colaborativa e inovações educacionais em Ensino de Biologia**. Feira de Santana: UEFS editora. 2016.

SEPÚLVEDA, C.; SARMENTO, A. C.; GUIMARÃES, A. P.; MUNIZ, C; ALMEIDA, M.; EL-HANI, C. N. A prática social de pesquisa e a controvérsia sobre o estatuto epistemológico da pesquisa docente. In: SEPÚLVEDA, C; ALMEIDA, M. (orgs.). **Pesquisa colaborativa e inovações educacionais em Ensino de Biologia**. Feira de Santana: UEFS editora. p. 49-95. 2016.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução. **Ciência e Ambiente**, v. 36, n. 93, p. 124, 2008.

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.

SHUBIN, N. **A história de quando éramos peixes**. Elsevier Brasil, 2008.

SIMONS, H.; KUSHNER, S.; JONES, K.; JAMES, D. *From evidence-based practice to practice-based evidence: the idea of situated generalization*. **Research Papers in Education**, London, v. 18, n. 4, p. 347-364, 2003.

SMITH, M. P.; HARPER, D. *Causes of the Cambrian explosion*. **Science**, v. 341, n. 6152, p. 1355-1356, 2013.

STATED CLEARLY. *What is Natural Selection?* Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0SCjhI86grU>>. Acesso em: 18 mar, 2017.

STATED CLEARLY. *What is the Evidence for Evolution?* Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=IIeO5KdPvg>>. Acesso em: 18 mar, 2017.

THEWISSEN, J.; COOPER, L.; GEORGE, J.; BAJPAI, S. *From land to water: the origin of whales, dolphins, and porpoises*. ***Evolution: Education and Outreach***, v. 2, n. 2, p. 272, 2009.

VAN DEN AKKER, J. *Principles and methods of development research*. In: VAN DEN AKKER, J.; BRANCH, R.M.; GUSTAFSON, K.; NIEVEEN, N.; PLOMP, T. (Eds), ***Design approaches and tools in education and training***. Springer Netherlands, p. 1-14, 1999.

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

WRAY, G. A.; HOEKSTRA, H. E.; FUTUYMA, D. J.; LENSKI, R. E.; MACKAY, T. F. C.; SCHLUTER, D.; STRASSMANN, J. E. *Does evolutionary theory need a rethink?: No, all is well*. ***Nature***, v. 514, 2014.

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.

ZHOU, Z. *Dinosaur evolution: feathers up for selection*. ***Current Biology***, v. 24, n. 16, p. R751-R753, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trazer a macroevolução e a pluralidade de processos e de padrões para a sala de aula não foi uma tarefa fácil, no entanto, se mostrou essencial para o ensino de evolução. Certamente que importantes passos foram dados ao longo desta pesquisa educacional, mas, como aponta os resultados da investigação do primeiro protótipo, ainda há muito o que caminhar.

Para fechar este trabalho, gostaria de mencionar dois pontos que não foram tratados ao longo dos capítulos: (1) o papel da pesquisa colaborativa sobre *design* educacional na formação continuada e desenvolvimento profissional de professores e pesquisadores educacionais e (2) as limitações da formação de professores de biologia em lidar com a escala macroevolutiva e a pluralidade de processos e de padrões.

Como já mencionado ao longo do trabalho, investigações orientadas nos moldes da pesquisa de *design* educacional inevitavelmente geram três produtos de grande importância (PLOMP, 2009). O primeiro, que representa o foco real da pesquisa, trata justamente da compreensão teórica acerca dos princípios de *design*, essencial para se fazer sugestões de ensino, bem como investigar, desenvolver e implementar intervenções educacionais. O segundo produto é a própria intervenção educacional (que pode ser, por exemplo, uma sequência didática), a qual se origina da necessidade de implementar os princípios de *design* em um contexto real de sala de aula, com a finalidade de investigá-los. E, por fim, o terceiro produto é a formação continuada e o desenvolvimento profissional de professores e pesquisadores educacionais, que é alcançada no processo colaboração entre os mesmos e que favorece a relevância, a qualidade e o progresso da pesquisa em ensino de ciências, bem como o próprio ensino.

Focando sobre este terceiro produto – uma vez que os dois primeiros já foram tratados ao longo dos artigos –, é inegável o quanto a experiência colaborativa é enriquecedora para professores e pesquisadores. Por exemplo, durante a entrevista o professor relatou:

Quando eu penso na construção da sequência inteira/ na intervenção/ de construir essa sequência com outra pessoa/ que tinha um olhar crítico sobre aquilo/ sem dúvida foi uma das características mais interessantes para mim/ Então/ eu não construí a sequência sozinho/ ela foi construída em parceria/ em que nós somamos habilidade/ e ao final nós tínhamos um produto que agradou todo mundo/ Foi a primeira vez que eu fiz isso na vida/ pensando em algo que ia fazer em sala de aula/ tudo que eu tinha feito até então/

até aquele momento/ foi exclusividade da minha cabeça/ eu pensava na melhor forma que eu poderia fazer/ agora eu tinha alguém olhando ao que estava sendo construído/ planejando/ e criticando/ e sugerindo/ e me ajudando a compor/ Isso enriqueceu muito/ eu tinha um outro olhar sobre a minha aula/ isso me enriqueceu de uma maneira muito satisfatória/ é uma experiência que eu vivi/ e que se eu puder viver de novo em outro contexto/ com uma nova temática/ eu vou querer viver/ por que.../ acho que isso só acrescenta a minha profissão/ Quantas vezes eu puder fazer isso eu vou fazer/ [...]/ inclusive isso foi retratado por uma das alunas dessa turma/ o cuidado que nós tivemos em selecionar material/ as aulas com os vídeos/ que eram muito mais ilustrativos do que era trabalhado dentro da aula expositiva/ isso facilitou muito/ e foi um elogio por partes dos alunos/ que eles gostaram muito desse processo/ inclusive pediram que eu repetisse nas outras unidades/ e eu fiquei radiante de felicidade.”

De modo similar, também compartilho o sentimento do professor. Todo esse trabalho foi bastante gratificante e me ensinou muito pessoal e profissionalmente. Professores do ensino básico que conheci ao longo da minha formação raramente me relataram boas experiências com pesquisadores acadêmicos. No entanto, eu pude vivenciar uma relação diferente. Dar ouvidos ao saber docente e reconhecer a importância de respeitar suas opiniões e seus anseios, foi fundamental para que minhas contribuições teóricas pudessem ter relevância palpável diante dos desafios reais de uma sala de aula.

Mas esta experiência também me apontou para a necessidade de refletir sobre a formação dos professores de biologia. A formação destes professores ainda possui limitações em prover a estes profissionais subsídios para tratar de muitos temas presentes neste trabalho. Mesmo no ensino superior, o tratamento da teoria evolutiva geralmente só destaca a seleção natural, as mutações, a microevolução e o gradualismo (ROCHA et al., 2007), o que tem promovido a manutenção de perspectivas exclusivamente adaptacionistas, gene-cêntricas e extrapolacionistas. Tal abordagem dificulta que os professores formados neste contexto – e até mesmo autores de livros didáticos ou outros recursos pedagógicos – possam lidar com a escala macroevolutiva e a pluralidade de processos e de padrões, elementos essenciais nesta proposta. Esse cenário salienta a importância de problematizar e propor mudanças na formação dos professores de biologia, de modo a superar estas limitações.

REFERÊNCIAS

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. p. 9-35, 2009.

ROCHA, P.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, Â. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S. de; ASSIS, J. G. de A.; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P. de; CARVALHO, L. M. de; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. de A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H. da; ROSA, V. L. da; EL-HANI, C. N. *Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity*. In: ***Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks***. 2007. p. 893-907.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Questionário 1

Questionário 1 – Levantamento de Concepções

1 - Durante uma viagem ao Monte Everest, um grupo de alpinistas trouxe várias amostras de rochas coletadas do topo da montanha. Ao analisar essas amostras, percebeu-se a presença de fragmentos incorporados às rochas que eram muito semelhantes às conchas de animais marinhos. No entanto, o Everest é uma montanha que fica muito distante do mar e seu topo é o ponto mais alto do mundo. Com base em seus conhecimentos, qual das alternativas abaixo melhor explica por que existem estas estruturas nas rochas daquele local?

- a) A região é assolada constantemente por fortes ventos. É muito provável que estas estruturas sejam originadas de conchas de animais que foram carregadas do oceano até o topo do Everest por alguma ventania mais forte que o normal, como acontece no caso de tempestades violentas ou mesmo furacões.
- b) A região onde hoje está o Everest nem sempre foi montanhosa e já esteve submersa, há muito tempo, pelo mar. Estas estruturas foram originadas a partir dos restos dos animais marinhos que viveram e morreram naquele ambiente ainda submerso. Com a elevação e formação gradual da cadeia de montanhas, as conchas preservadas destes animais foram elevadas juntamente com o material que hoje se encontra no topo da montanha.
- c) O topo do Everest é visitado com alguma regularidade por vários outros alpinistas. Não é surpreendente que outras expedições deixem restos de seus alimentos e outros objetos para trás. Estas estruturas foram originadas dos restos de conchas que faziam parte da refeição de outros alpinistas e que ficaram naquele ambiente junto às rochas.
- d) Não é provável que animais marinhos se desloquem ou sejam deslocados por distâncias tão grandes e tenham suas conchas incorporadas às rochas. Mais provavelmente, estas estruturas são fragmentos de rochas ou minerais com formatos singulares que apenas se parecem com conchas de animais marinhos.
- e) Estas estruturas não podem ser conchas de animais marinhos, mas é possível que sejam de organismos da região. O topo do Everest provavelmente foi (ou pode ainda ser) habitado por seres vivos com conchas (ou estruturas similares) que se assemelham a animais marinhos (como, por exemplo, caracóis). Portanto, os fragmentos de conchas destes animais, que sempre viveram no topo destas montanhas frias, nunca estiveram no mar.

2 - Considere os seguintes eventos naturais abaixo:

- I – Formação de uma nova espécie
- II – Tempestade
- III – Amadurecimento de plantas e animais
- IV – Erupções vulcânicas
- V – Formação de cadeias de montanhas

Cada um destes eventos acontece em uma escala de tempo muito diferente. Alguns duram horas do seu início ao seu fim, outros milhões de anos. Assinale a alternativa que apresenta uma ordenação MAIS PROVÁVEL, considerando uma ordem crescente a partir do evento que precisa de menos tempo para ocorrer para o que precisa de mais tempo:

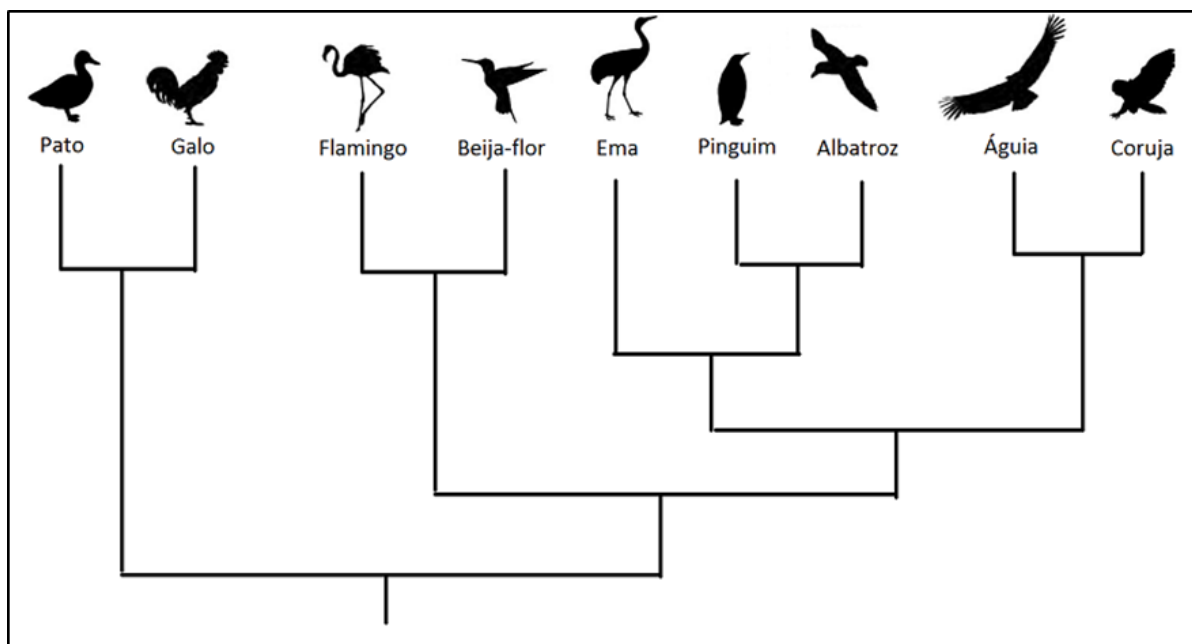
- a) II – I – III – IV – V
- b) I – II – V – III – IV

- c) V – IV – II – III – I
- d) II – IV – III – I – V
- e) V – II – IV – I – III

3 - Os mamíferos surgiram no ambiente terrestre, mas alguns deles, como as baleias, são adaptados a uma vida completamente marinha. Novas descobertas estão fornecendo evidências sobre a história evolutiva das baleias e tem se percebido um estreito parentesco entre estes animais e os hipopótamos. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa aproximação das baleias com os hipopótamos se dá em razão de:

- a) Serem grandes, pesados, com corpos redondos e grandes bocas.
- b) Compartilharem um ancestral comum recente.
- c) Possuírem dieta semelhante e viverem na água.
- d) Exibirem comportamentos sociais semelhantes.
- e) Os hipopótamos primitivos terem dado origem as baleias atuais.

4 - Com base no gráfico abaixo, podemos dizer que ele sugere que:



(Adaptado de Dobson, 2012)

- a) As águias são mais estreitamente aparentadas com os albatrozes do que com as emas.
- b) Os patos não são aparentados com as corujas.
- c) As corujas são as mais evoluídas dentre os animais presentes na imagem.
- d) Os patos e os galos são os ancestrais de todas as outras aves da imagem.
- e) Os flamingos são mais estreitamente aparentados com as águias do que com os galos.

5 - Uma microbiologista tem estudado, ao longo de alguns anos, cepas de bactérias em seu laboratório. No início do experimento, ela aplicou doses de antibióticos potentes nestas cepas, avaliando quantas bactérias morriam. Funcionou no começo, mas depois de meses de aplicação, ela percebeu que o efeito dos antibióticos foi se tornando cada vez menor e menos bactérias morriam. Mesmo aumentando as doses, o efeito era o mesmo: funcionava no começo e depois o efeito dos antibióticos amenizava. Por que isso acontece?

- a) Para sobreviverem, as bactérias mudam seus hábitos nas cepas e passam a se aproximar de regiões que estão menos afetadas pelos antibióticos ou que possuam quantidades inofensivas destes. As bactérias não ganham resistência aos antibióticos, mas aprendem a se defender deles.
- b) Na tentativa de se defender dos antibióticos, as bactérias desenvolvem substâncias, como anticorpos, que neutralizam o efeito destas substâncias. Em razão disso, elas se tornam mais e mais resistentes a cada nova aplicação de antibióticos.
- c) As bactérias que estavam nas cepas ficam fracas e morrem. Mas outras bactérias, que podem vir do ar ou dos equipamentos do laboratório, podem chegar ao local. Estas novas bactérias estão saudáveis e, por isso, resistem mais ao efeito dos antibióticos.
- d) A maioria dos agentes químicos, como os antibióticos, afeta o DNA dos organismos. Quando isso acontece, os organismos começam a sofrer mutações e, quando surge alguma mutação benéfica, eles acabam ganhando resistência aos antibióticos e aperfeiçoando o seu DNA.
- e) Existem diferenças herdáveis na resistência aos antibióticos entre os indivíduos das cepas de bactérias. As que são mais resistentes têm mais chances de sobreviver e reproduzir. Ao longo do tempo, a característica da resistência se torna mais frequente na população, até que toda a população se torna resistente aos antibióticos.

6 - A caça de uma espécie de lagarto fez com que a população desses animais fosse reduzida a poucos indivíduos. A ação de conscientização promovida por biólogos foi importante para que houvesse a redução da atividade de caça destes animais, permitindo com que a população destes lagartos voltasse a crescer. No entanto, algo inesperado aconteceu: aparentemente sem motivo algum, os lagartos passaram a ter as cores das escamas organizadas em um padrão ligeiramente diferente de antes. Os biólogos confirmaram que se tratava da mesma espécie e que este novo padrão de cores parece não ter função alguma. Qual o provável motivo para que isto tenha acontecido?

- a) Os lagartos mudaram seu padrão de cores para poderem se disfarçar e evitarem que os caçadores identificassem eles rapidamente. A necessidade de sobrevivência fez com que novas mutações surgissem e tornassem estes animais diferentes de como eles eram.
- b) A ação dos caçadores afetou a saúde destes animais, deixando-os suscetíveis a doenças e mutações deletérias, inclusive nas escamas, o que gerou o novo padrão de cores. Com o fim recente da atividade de caça, logo estes animais voltarão ao padrão de cores antigo.
- c) Reiniciando o crescimento da população a partir de poucos indivíduos sobreviventes, a população destes lagartos ficou fortemente sujeita ao efeito do acaso, fixando características novas ou raras, mesmo que estas características não tenham função, como o novo padrão de escamas.
- d) Com poucos indivíduos na população, os lagartos passaram a ter uma dieta alimentar mais ampliada e diversificada. A dieta mais variada fornece nutrientes diferentes dos que eles costumavam obter, o que acaba provocando mudanças no padrão de suas escamas.
- e) Com poucos indivíduos na população, os lagartos passaram a competir menos entre eles, o que diminuiu a pressão para sobreviver. Por causa disso, estes animais passaram a acumular mutações, mesmo aquelas que são ruins para a sobrevivência, o que alterou o padrão das escamas de todos na população.

7 - Os castores são um tipo de roedor aquático que vivem em certas regiões da América do Norte e da Europa. Sua presença é muito importante para a vida nestas regiões. Por exemplo, as represas construídas pelos castores oferecem abrigo e proteção para vários outros animais, criam zonas úmidas, modificam aspectos da água e são responsáveis por manter alguns ciclos de matéria e energia. Dito isso, qual o significado evolutivo da presença dos castores nestas regiões?

- a) Os castores competem com as marmotas pelo domínio do ambiente. A presença de grandes números de represas de castores, ao invés de tocas de marmotas, demonstra que a seleção natural favoreceu os castores naquele ambiente.

b) Não há qualquer significado evolutivo entre estes animais e as construções que fazem, as represas, e as regiões que vivem. No entanto, eles possuem grande importância ecológica nestes ambientes por oferecerem abrigo e proteção para vários outros animais, criarem zonas úmidas, modificarem aspectos do solo e manterem alguns ciclos de matéria e energia.

c) Os castores, através da construção de suas represas, modificam e mantêm o habitat adequado para sua sobrevivência. Contudo, suas atividades acabam por transformar a paisagem ao redor, o que afeta a sobrevivência e a evolução de outros organismos da região. Se por um lado os castores sofrem influências do ambiente em que vivem; por outro lado, eles o influenciam, o que afeta muitos outros seres vivos.

d) Os castores fazem parte de todas as cadeias alimentares da região. Sem eles, vários animais morreriam pela falta de alimento e isso poderia, ao longo do tempo, destruir todo o ambiente. Podemos dizer que os castores são a base de toda a vida nestes locais, principalmente da vida animal.

e) Os castores são produtos de um longo passado evolutivo que remonta milhões de anos e estão tão bem adaptados ao ambiente em que vivem que parece que eles são uma parte deste ambiente. Por isso, eles são tão vitais para as regiões onde vivem, pois desenvolveram uma relação harmônica com este ambiente.

8 - Um observador de aves notou que elas possuem pouca diversidade de formas de asas. De modo geral, elas têm muita diferença nos bicos, no tamanho e nas penas. Mas a forma da asa é muito parecida. Pensando nisso, ele perguntou para um biólogo especialista. Este especialista contou que a formação das asas funcionais nas aves depende de um complicado processo desenvolvimental, que pode ser estudado através dos embriões destes animais. E durante esse processo ocorre uma série de fusões e reduções de partes do esqueleto dos membros anteriores (que irão se tornar as asas). Qual a relação entre a explicação do biólogo e a dúvida do observador de aves?

a) O desenvolvimento das asas das aves impõe restrições às variações na forma delas. Desta forma, os estágios embrionários essenciais para a formação de asas funcionais em aves dificultam que as estruturas das asas sofram mudanças evolutivas que poderiam dar origem a novas formas, principalmente em razão das reduções e dos fusionamentos de estruturas.

b) As aves não precisam diversificar suas asas. Ao longo da evolução, as aves alcançaram o máximo evolutivo em suas asas. Seus estágios embrionários indicam que as asas das aves superaram a necessidade de mudar de forma e agora estão perfeitamente ajustadas aos seus hábitos de vida. Sendo assim, elas não precisam que ocorram mudanças na estrutura de suas asas.

c) As asas não podem variar devido às pressões ambientais. Os estágios do desenvolvimento das asas das aves foram adaptados pelas pressões ambientais, gerando asas bem adaptadas. Se houver qualquer mudança, a nova variação não terá vantagem adaptativa e será eliminada.

d) Não aconteceram mutações que permitissem novas estruturas nas asas das aves, uma vez que o surgimento de novas mutações é completamente aleatório e não direcionado. As asas das aves podem vir a exibir novas formas se vier a acontecer mutações nos genes das mesmas.

e) As aves apresentam diversificação nas formas das asas. Os estágios embrionários provam que existe uma diversidade de formas das asas das aves. No entanto não vemos a diversidade pois acontece antes do nascimento do animal.

9 - A análise do material genético de uma bactéria (*E. Coli*) nos mostra que grande parte de seu DNA foi incorporado naturalmente a partir do DNA de bactérias de várias outras espécies. O que isso nos diz quando olhamos para a árvore da vida?

a) O DNA das bactérias é frágil. Por ser quimicamente mais frágil que o DNA de outros organismos, o material genético das bactérias tende a se misturar com o material genético de outras.

b) As bactérias são organismos muito simples e primitivos. Na medida em que adicionam mais DNA, elas se tornam mais evoluídas.

- c) A analogia da árvore da vida é reforçada. A mistura de DNA indica que existe relação entre as bactérias, o que dá suporte à analogia de árvore.
- d) Não é possível enquadrar as bactérias muito bem na história da vida. Por terem muita mistura no DNA, fica muito difícil definir quais bactérias fazem parte da árvore da vida.
- e) A analogia da árvore da vida não é muito adequada para bactérias. A transferência lateral de genes em bactérias é muito comum, o que torna mais adequada uma analogia com padrões de redes.

10 - Uma zoóloga dedicou anos de trabalho a descobrir e classificar novas espécies de caramujos. Em seu trabalho, percebeu que é bastante comum a presença de um orifício, chamado de umbílico, nas conchas destes animais. Alguns caracóis usam o umbílico para proteger os ovos com seus filhotes. Outros não usam o umbílico aparentemente para nada. Por que esta estrutura existe nestes animais?

- a) Provavelmente estas estruturas são adaptações que auxiliam a sobrevivência e reprodução destes animais.
- b) São estruturas que foram geradas pela atuação da seleção natural nas populações de caramujos. Este processo eliminou todas as formas de concha que não possuíam o umbílico.
- c) Quando os caramujos evoluem a partir dos vermes, eles ainda mantêm resquícios dos seus antepassados. Um exemplo destes resquícios é o umbílico.
- d) Os caramujos possuem esta estrutura porque eles podem precisar dela, ainda que nem sempre a usem, para proteger seus filhotes em alguma eventualidade.
- e) Não é possível dizer a razão de a estrutura existir sem antes estudar o seu desenvolvimento embrionário, filogenia e função. A seleção natural pode não explicar a existência desta estrutura.

11 - Ao observar um bando de araras, um observador de aves notou que mesmo sendo de uma mesma espécie, alguns indivíduos do bando possuíam características diferentes. Alguns variavam em tamanho, outros em formato do bico ou cor das penas, enquanto outros preferiam comer sementes diferentes ou voavam mais alto. Qual a origem desta variação no corpo e no comportamento destes animais?

- a) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais. Estas mudanças no desenvolvimento dependem de vários fatores, que podem ser genéticos, epigenéticos, comportamentais, ambientais etc.
- b) A origem da variação está muito relacionada com fatores como doenças e alimentação. Sem estes elementos, todos os organismos seriam sempre iguais.
- c) Os animais que variam sofreram alguma mutação. O DNA contém toda a informação para a forma e o comportamento de um ser vivo, uma vez que os genes definem diretamente suas características. Portanto, animais que apresentam mudanças no material genético apresentam variações.
- d) A origem da variação no corpo destes animais envolve mutação e recombinação gênica. Mas a origem da variação do comportamento depende do aprendizado e da experiência de vida do organismo.
- e) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais, sendo que estas mudanças do desenvolvimento dependem exclusivamente de mutações e recombinações gênicas.

12 - Os termos macroevolução e microevolução são utilizados para diferenciar diferentes escalas de análise na biologia evolutiva. A evolução do voo nas aves é um exemplo de evento macroevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas acima das populações), enquanto a fixação da cor azul nas penas de uma espécie de ave é um exemplo microevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas no nível das populações). O que podemos dizer sobre a relação da micro- e da macroevolução?

- a) A microevolução se diferencia da macroevolução por ser uma mudança gradual, enquanto a macroevolução, pelo contrário, não acontece de forma gradual.

b) Não existe relação entre a micro- e a macroevolução. Estas duas escalas tratam de fenômenos muito diferentes e que são completamente independentes.

c) A microevolução contempla o início das mudanças evolutivas, que, depois de algum tempo, geram a macroevolução. Em outras palavras, a evolução começa como microevolução e então se torna macroevolução.

d) A macroevolução é o resultado da soma de vários eventos microevolutivos anteriores. Ou seja, a macroevolução é o resultado do somatório de microevoluções, quando estendemos a evolução por longos períodos de tempo.

e) A compreensão da macroevolução muitas vezes exige a integração de processos desenvolvimentais, ecológicos, geológicos, climáticos, microevolutivos etc. Ou seja, a macroevolução, em geral, não pode ser traduzida na microevolução.

13 - Intrigado com suas aulas sobre o processo evolutivo, um professor buscou relacionar os conhecimentos sobre embriologia (estudo dos estágios dos embriões) e citologia (estudo das células) com a evolução. De que maneira esta relação pode ser possível?

a) A embriologia e citologia se relacionam para explicar várias doenças, como o câncer, que serão eliminadas pela seleção natural.

b) Não é necessário integrar os conhecimentos de embriologia e citologia à evolução, uma vez que a genética é a principal área de conhecimento da biologia que se relaciona com a evolução.

c) Não é possível integrar estes conhecimentos da biologia pois estão relacionados a teorias muito diferentes. A citologia e a embriologia, por exemplo, são muito descritivas, enquanto a evolução se relaciona com processos muito complexos.

d) A embriologia e a citologia são integradas ao conhecimento da biologia evolutiva, por exemplo, para explicar importantes fenômenos relativos a origem da variação e da forma orgânica, a herança epigenética e os vieses desenvolvimentais.

e) A embriologia e a citologia integram-se ao conhecimento da evolução de modo satisfatório para explicar a origem da vida no planeta.

14 - Um grupo de ecólogos vem notando grandes mudanças em uma baía. Tudo indica que houve uma mutação nas brânquias de uma espécie de molusco filtrador abundante na região. A atividade destes moluscos começou a mudar a composição, oxigenação e outras características da água do local. Como consequência, por exemplo, outras espécies da região começaram a extinguir-se ou começaram a mudar também. Visando fazer um relatório do acontecimento, os ecólogos chamaram biólogos de diferentes subáreas da biologia para auxiliá-los. Quais subáreas são minimamente necessárias para compreender o que aconteceu de uma perspectiva evolutiva?

a) Genética, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos; Ecologia e Citologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies; e Zoologia e Botânica, para classificar os seres vivos da região e descobrir se existe uma nova espécie.

b) Genética e Citologia, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos e o seu desenvolvimento; Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de outras espécies; e Evolução, para explicar as razões de os moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias.

c) Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas; Biologia do Desenvolvimento, para explicar o crescimento e as mudanças genéticas nos moluscos; e Evolução, para explicar as razões dos moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias e a extinção de espécies na região.

d) Genética e Biologia do Desenvolvimento, para explicar a relação entre a mutação e a mudança na forma das brânquias dos moluscos; Evolução, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas

com as mudanças ecológicas; e Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies.

e) Zoologia, para classificar os moluscos que sofreram a mutação; Genética, para explicar o crescimento dos moluscos e as mudanças na forma das brânquias nos moluscos; e Evolução e Ecologia, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas.

15 - Um estudante foi a um museu de história natural. Ficou impressionado com os fósseis de dinossauros e da fauna de mamíferos gigantes. Em um mural, ele leu que, logo após a extinção de muitos dinossauros e outros répteis gigantes, houve uma rápida evolução e diversificação dos mamíferos. Mas o que deixou o estudante mais intrigado foi que o mesmo mural também dizia que o que é sabido deste evento só se tornou possível pelo esforço conjunto de vários especialistas, além de biólogos. Como outros especialistas poderiam ajudar a entender um evento evolutivo, ainda que não sejam biólogos?

a) Neste tipo de evento evolutivo, que acontecem em grandes períodos de tempo e aconteceram em um passado remoto, as maiores contribuições não são da biologia, mas de outras ciências, como a paleontologia e a geologia. Os biólogos não conseguem fazer muitas inferências evolutivas com populações que não estão vivas por falta de dados genéticos.

b) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita principalmente do conhecimento da biologia, mas o conhecimento de outras ciências tem pouca importância. De modo geral, as outras ciências fornecem apenas dados que oferecem detalhes que podem ser interessantes para complementar o que é descoberto pela biologia e caracterizar as mudanças graduais do ambiente.

c) É pouco provável que outros especialistas consigam auxiliar neste tipo de evento evolutivo, uma vez que os conceitos da biologia evolutiva são bastante complicados e raramente aqueles que não são biólogos conseguem compreender a dinâmica evolutiva sem fazer interpretações equivocadas.

d) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita não apenas do conhecimento sobre a biologia dos organismos, mas sobre as características ambientais e como mudanças do ambiente influenciaram os organismos. Neste sentido, conhecimentos de várias especialidades da geologia e da paleontologia (que por sua vez precisam da química, física, geografia, oceanografia, climatologia, entre outras) são importantíssimos.

e) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita apenas do conhecimento sobre os fósseis, mas conhecimentos de outras subáreas da biologia podem complementar. Neste sentido, conhecimentos da ecologia, da embriologia, da genética, da citologia e da sistemática dão respaldo ao que já é possível inferir por meio dos fósseis.

GABARITO

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resp.:	b	d	b	e	e	c	c	a	e	e	a	e	d	d	d

APÊNDICE II – Questionário 2

Questionário 2

1 - Durante uma expedição na Antártica, um grupo de geólogos encontrou uma grande quantidade de blocos de rochas onde se percebeu a presença de estruturas muito semelhantes a troncos de árvores. No entanto, a Antártica é um continente muito frio e muito seco, não permitindo a sobrevivência de árvores. Com base em seus conhecimentos, qual das alternativas abaixo melhor explica por que existem estas estruturas nas rochas daquele local?

- a) A Antártica é um continente visitado com alguma regularidade por vários outros cientistas. Não é surpreendente que outras expedições deixem restos de equipamentos de madeira e outros objetos para trás. As estruturas encontradas provavelmente foram originadas destes restos, especialmente dos pedaços de madeira utilizados nas fundações das barracas e que ficaram naquele ambiente junto às rochas.
- b) Estas estruturas podem parecer, mas não é possível que sejam troncos de árvores. Não é provável que árvores germinem naquele lugar ou sejam deslocadas por distâncias tão grandes e tenham sido incorporadas às rochas. Mais provavelmente, estas estruturas são fragmentos de rochas ou minerais com formatos singulares que apenas se parecem com troncos.
- c) A região é assolada constantemente por fortes tempestades. É muito provável que estas estruturas sejam originadas de troncos de árvores que foram transportados pelos mares a partir de florestas de outras regiões mais quentes por alguma tempestade mais forte que o normal, como acontece quando há furacões.
- d) A Antártica nem sempre pertenceu ao polo e já esteve situada na zona tropical e temperada. Estas estruturas foram originadas a partir dos restos de árvores que viveram naquele ambiente quando este ainda era uma floresta afastada da região polar. Com o movimento das placas tectônicas, os troncos preservados foram deslocados, juntamente com todo o continente, para o polo sul.
- e) Estas estruturas não podem ser restos de troncos de árvores, mas de podem ser de outros organismos da região. A Antártica provavelmente foi (ou pode ainda ser) habitada por organismos de ambiente frio que se assemelham às árvores (como, por exemplo, grandes algas e esponjas). Portanto, as estruturas encontradas são restos destes organismos, que sempre viveram naquele continente do jeito que ele é e sempre foi.

2 - Considere os seguintes eventos naturais abaixo:

- I – Fragmentação de continentes
- II – Uma volta da Terra em seu próprio eixo
- III – Amadurecimento de plantas e animais
- IV – Erupções vulcânicas
- V – Formação de uma nova espécie

Cada um destes eventos acontece em uma escala de tempo muito diferente. Alguns duram horas do seu início ao seu fim, outros milhões de anos. Assinale a alternativa que apresenta uma ordenação MAIS PROVÁVEL, considerando uma ordem crescente a partir do evento que precisa de menos tempo para ocorrer para o que precisa de mais tempo:

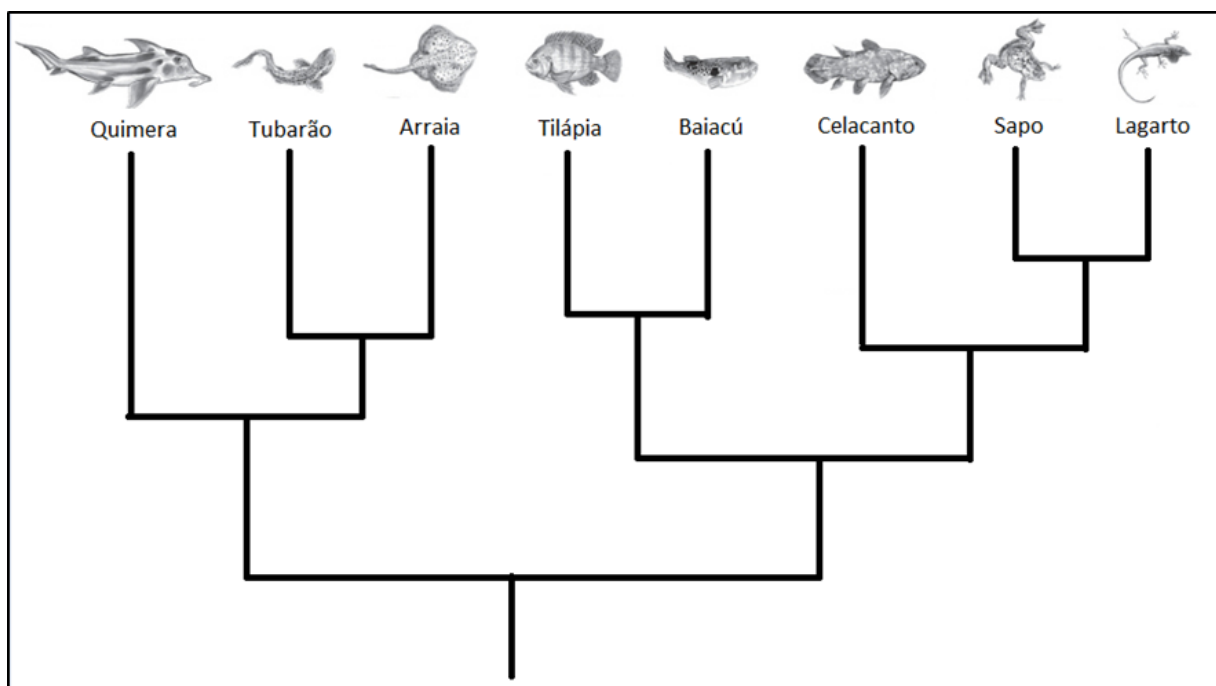
- a) II – V – I – III – IV
- b) II – IV – III – V – I
- c) III – II – IV – I – V

- d) III – IV- II – V – I
- e) II – I – V – IV – III

3 - Os tetrápodes são um agrupamento de animais vertebrados que possuem quatro patas. Como exemplos deste grupo, podemos citar cães, lagartos, elefantes, sapos e os humanos. Novas descobertas estão fornecendo evidências sobre a história evolutiva dos tetrápodes e têm se percebido um estreito parentesco entre estes animais e os peixes celacantos. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa aproximação dos tetrápodes com os celacantos se dá em razão de:

- a) Possuírem o mesmo número de membros e dedos.
- b) Exibirem comportamentos sociais semelhantes.
- c) Os celacantos primitivos terem se tornado tetrápodes para viverem na terra.
- d) Compartilharem um ancestral comum mais próximo.
- e) Possuírem dietas semelhantes.

4 - Com base no gráfico abaixo, podemos dizer que ele sugere que:



Adaptado de Amemiya et al. (2013).

- a) As tilápias são mais estreitamente aparentadas com os lagartos do que com as arraias.
- b) As quimeras não são aparentadas com os lagartos.
- c) As quimeras são as ancestrais de todos os outros animais da imagem.
- d) Os lagartos são os mais evoluídos dentre os animais presentes na imagem.
- e) Os celacantos são mais estreitamente aparentados com os baiacus do que com os lagartos.

5 - Um agricultor vem sofrendo, ao longo de uma década, com uma praga de besouros em suas plantações. Seis anos atrás, ele iniciou a aplicação de agrotóxicos para matar as pragas. Funcionou no começo, mas depois de meses de aplicação, ele percebeu que cada vez menos besouros morriam com o veneno. Mesmo

aumentando as doses do veneno, o efeito era o mesmo: funcionava no começo e depois poucos besouros morriam. Por que isso acontece?

- a) Na tentativa de se defender do veneno, os besouros desenvolvem substâncias, como anticorpos, que neutralizam o veneno. Em razão disso, eles se tornam mais e mais resistentes a cada nova aplicação de agrotóxico.
- b) Existem diferenças herdáveis na resistência ao veneno entre os indivíduos da população de besouros. Os que são mais resistentes têm mais chances de sobreviver e reproduzir. Ao longo do tempo, a característica da resistência se torna mais frequente na população, até que toda a população se torna resistente ao veneno.
- c) A maioria dos agentes químicos, como o veneno, afeta o DNA dos organismos. Quando isso acontece, os organismos começam a sofrer mutações e, quando surge alguma mutação benéfica, eles acabam ganhando resistência ao veneno e aperfeiçoando o seu DNA.
- d) Os besouros, para sobreviverem, mudam seus hábitos alimentares e passam a comer as folhas que não estão contaminadas com o veneno ou que possuam uma quantidade inofensiva do veneno. Eles não ganham resistência ao veneno, mas aprendem a se defender do veneno.
- e) Os besouros que estavam nas plantações ficam fracos e chegam a morrer. Mas outros besouros, que podem vir de outras fazendas e ambientes selvagens, podem chegar ao local. Estes novos besouros estão saudáveis e, por isso, eles resistem mais ao veneno.

6 - Uma erupção vulcânica acidificou um rio, afetando seriamente uma espécie de camarão de água doce, fazendo com que a população desses animais fosse reduzida a poucos indivíduos, quase levando ao seu desaparecimento. Depois de meses, a diminuição do efeito da atividade vulcânica permitiu que a população destes camarões se recuperasse. No entanto, algo inesperado aconteceu: aparentemente sem motivo algum, os camarões passaram a ter um corpo mais fino e alongado. Os biólogos confirmaram que se tratava da mesma espécie e que esta nova característica parece não ter função alguma. Qual o provável motivo para que isto tenha acontecido?

- a) Os camarões mudaram seu formato de corpo para poderem se disfarçar e evitarem que predadores identificassem eles rapidamente. A necessidade de sobrevivência fez com que novas mutações surgissem e tornassem estes animais diferentes de como eles eram.
- b) A acidificação do rio afetou drasticamente a saúde destes animais, deixando-os suscetíveis a doenças e mutações deletérias, inclusive em todo o corpo, o que gerou o novo formato mais fino e alongado. Com o fim recente do efeito da atividade vulcânica, logo estes animais voltarão ao formato antigo.
- c) Reiniciando o crescimento da população a partir de poucos indivíduos sobreviventes, a população destes camarões ficou fortemente sujeita ao efeito do acaso, fixando características novas ou que antes eram raras, mesmo que estas características não tenham função, como o novo formato.
- d) Com poucos indivíduos na população, os camarões passaram a ter uma dieta alimentar mais ampliada e diversificada. A dieta mais variada fornece nutrientes diferentes dos que eles costumavam obter, o que acaba provocando mudanças no formato do seu corpo.
- e) Com poucos indivíduos na população, os camarões passaram a competir menos entre eles, o que diminuiu a pressão para sobreviver. Por causa disso, estes animais passaram a acumular mutações, mesmo aquelas que são ruins para a sobrevivência, o que alterou o formato do corpo de todos na população.

7 - No cerrado, os cupinzeiros são comuns na paisagem e sua presença é muito importante para a vida neste bioma. Por exemplo, os cupinzeiros oferecem abrigo e proteção para vários outros animais (como escorpiões, lagartos e besouros), modificam aspectos do solo e são responsáveis por manter alguns ciclos de matéria e energia. Dito isso, qual o significado evolutivo da presença dos cupinzeiros nesta região?

- a) Os cupinzeiros fazem parte de todas as cadeias alimentares da região. Sem eles, vários animais morreriam pela falta de alimento e isso poderia, ao longo do tempo, destruir todo o cerrado. Podemos dizer que os cupinzeiros são a base de toda a vida no cerrado, principalmente da vida animal.
- b) Os cupins, através da construção de seus cupinzeiros, modificam e mantêm o habitat adequado para sua sobrevivência. Contudo, suas atividades acabam por transformar a paisagem ao redor, o que afeta a sobrevivência e a evolução de outros organismos da região. Se por um lado os cupins sofrem influências do ambiente em que vivem; por outro lado, eles o influenciam, o que afeta muitos outros seres vivos.
- c) Os cupins são produtos de um longo passado evolutivo que remonta milhões de anos e estão tão bem adaptados ao ambiente em que vivem que parece que eles são uma parte deste ambiente. Por isso, eles são tão vitais para o cerrado, pois desenvolveram uma relação harmônica com este ambiente.
- d) Não há qualquer significado evolutivo entre estes animais e as construções que fazem, os cupinzeiros, e o cerrado. No entanto, eles possuem grande importância ecológica por oferecerem abrigo e proteção para vários outros animais, modificarem aspectos do solo e manterem alguns ciclos de matéria e energia no cerrado.
- e) Os cupins competem com as formigas pelo domínio do ambiente. A presença de grandes números de cupinzeiros, ao invés de formigueiros, demonstra que a seleção natural favoreceu os cupins naquele ambiente.

8 - Uma historiadora observou que, ao contrário das criaturas das mitologias da antiguidade, os vertebrados terrestres (por exemplo, os cavalos) não possuem mais que quatro membros (como o Pégaso, que era descrito como tendo quatro patas e duas asas). Pensando nisso, ela perguntou para um biólogo e este explicou que o cavalo é um tetrápode, assim como todos vertebrados terrestres, e que o número de patas deste grupo de animais depende de um complicado processo desenvolvimental, originado de um ancestral comum. Este processo é essencial para a formação do corpo destes animais e poucos tetrápodes fugiram do padrão (como as baleias e serpentes, embora alguns ainda apresentem resquícios de patas). Qual a relação entre a explicação do biólogo e a dúvida da historiadora?

- a) O número de patas não pode variar devido às pressões ambientais. Os estágios do desenvolvimento destes animais foram adaptados pelas pressões ambientais, gerando quatro patas bem adaptadas. Se houver qualquer mudança, a nova variação não terá vantagem adaptativa e será eliminada.
- b) Os tetrápodes apresentam diversificação nas formas das asas. Os estágios embrionários provam que existe uma diversidade durante algumas etapas do complicado desenvolvimento destes animais. No entanto não vemos a diversidade pois acontece antes do nascimento.
- c) O desenvolvimento dos tetrápodes impõe restrições às variações no número de patas deles. Desta forma, os estágios embrionários essenciais para a formação do corpo destes animais, originado de um ancestral comum, dificultam que o número de patas sofra mudança ao longo da evolução.
- d) Não aconteceram mutações que permitissem o aumento do número de patas nos tetrápodes, uma vez que o surgimento de novas mutações é completamente aleatório e não direcionado. Os tetrápodes podem vir a possuir maior número de patas se vier a acontecer mutações específicas.
- e) Os tetrápodes não precisam diversificar o seu número de patas. Ao longo da evolução, eles alcançaram o máximo evolutivo. Seus estágios embrionários indicam que seu corpo superaram a necessidade de mudar de forma e agora estão perfeitamente ajustadas aos seus hábitos de vida. Sendo assim, eles não precisam que ocorram mudanças no número de suas patas.

9 - Estudos feitos com organelas celulares de eucariontes, tem evidenciado que os cloroplastos e as mitocôndrias foram originados a partir de bactérias que foram incorporadas ao citoplasma da célula eucariótica. Uma parcela do DNA destas bactérias ainda existe nestas organelas, mas uma outra parte foi incluída ao DNA da célula eucariótica. Esta união de organismos de linhagens diferentes deu origem a linhagens de seres vivos completamente novas. O que isso nos diz quando olhamos para a árvore da vida?

- a) Não é possível enquadrar as células eucarióticas muito bem na história da vida. Por terem muita mistura no DNA com bactérias, fica muito difícil definir quais fazem parte da árvore da vida.
- b) O DNA das células eucarióticas é frágil. Por ser quimicamente mais frágil que o DNA das bactérias, o material genético das bactérias tende a se misturar com o material genético dos eucariontes.
- c) A analogia da árvore da vida é reforçada. A mistura de DNA indica que existe relação entre as bactérias e os eucariontes, o que dá suporte à analogia de árvore.
- d) As bactérias são organismos muito simples e primitivos. Na medida em que se unem com o DNA de eucariontes, eles dão origem a organismos mais evoluídos.
- e) A analogia da árvore da vida não é suficiente para estes casos. A transferência lateral de genes nestes organismos torna importante considerar padrões de redes.

10 - Uma zoóloga dedicou anos de trabalho a descobrir e classificar novas espécies de caramujos. Em seu trabalho, percebeu que é bastante comum a presença de um orifício, chamado de umbílico, nas conchas destes animais. Alguns caracóis usam o umbílico para proteger os ovos com seus filhotes. Outros não usam o umbílico aparentemente para nada. Por que esta estrutura existe nestes animais?

- a) Quando os caramujos evoluem a partir dos vermes, eles ainda mantêm resquícios dos seus antepassados. Um exemplo destes resquícios é o umbílico.
- b) São estruturas que foram geradas pela atuação da seleção natural nas populações de caramujos. Este processo eliminou todas as formas de concha que não possuíam o umbílico.
- c) Não é possível dizer a razão de a estrutura existir sem antes estudar o seu desenvolvimento embrionário, filogenia e função. A seleção natural pode não explicar a existência desta estrutura.
- d) Os caramujos possuem esta estrutura porque eles podem precisar dela, ainda que nem sempre a usem, para proteger seus filhotes em alguma eventualidade.
- e) Provavelmente estas estruturas são adaptações que auxiliam a sobrevivência e reprodução destes animais.

11 - Ao observar uma plantação de batatas, um fazendeiro notou que mesmo sendo de uma mesma espécie, algumas plantas individuais possuíam características diferentes. Algumas variavam em tamanho, outras em formato ou cor das folhas, caule ou raiz, enquanto outras cresciam melhor em solos diferentes ou floresciam em épocas ligeiramente diferentes. Qual a origem desta variação na forma e no crescimento destes vegetais?

- a) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes vegetais. Estas mudanças no desenvolvimento dependem de vários fatores, que podem ser genéticos, epigenéticos, comportamentais, ambientais etc.
- b) A origem da variação está muito relacionada com fatores como doenças e absorção de nutrientes diferentes. Sem estes elementos, todos os organismos seriam sempre iguais.
- c) Os vegetais que variam sofreram alguma mutação. O DNA contém toda a informação para a forma e o comportamento de um ser vivo, uma vez que os genes definem diretamente suas características. Portanto, vegetais que apresentam mudanças no material genético apresentam variações.
- d) A origem da variação na forma destas plantas envolve mutação e recombinação gênica. Mas a origem da variação do crescimento depende do ambiente que cerca o organismo.
- e) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destas plantas, sendo que estas mudanças do desenvolvimento dependem exclusivamente de mutações e recombinações gênicas.

12 - Os termos macroevolução e microevolução são utilizados para diferenciar diferentes escalas de análise na biologia evolutiva. A evolução do voo nas aves é um exemplo de evento macroevolutivo (que é

relacionado com mudanças evolutivas acima das populações), enquanto a fixação da cor azul nas penas de uma espécie de ave é um exemplo microevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas no nível das populações). O que podemos dizer sobre a relação da micro- e da macroevolução?

- a) Não existe relação entre a micro- e a macroevolução. Estas duas escalas tratam de fenômenos muito diferentes e que são completamente independentes.
- b) A microevolução se diferencia da macroevolução por ser uma mudança gradual, enquanto a macroevolução, pelo contrário, não acontece de forma gradual.
- c) A microevolução contempla o início das mudanças evolutivas, que, depois de algum tempo, geram a macroevolução. Em outras palavras, a evolução começa como microevolução e então se torna macroevolução.
- d) A macroevolução é o resultado da soma de vários eventos microevolutivos anteriores. Ou seja, a macroevolução é o resultado do somatório de microevoluções, quando estendemos a evolução por longos períodos de tempo.
- e) A compreensão da macroevolução muitas vezes exige a integração de processos desenvolvimentais, ecológicos, geológicos, climáticos, microevolutivos etc. Ou seja, a macroevolução, em geral, não pode ser traduzida na microevolução.

13 - Intrigado com suas aulas sobre o processo evolutivo, um professor buscou relacionar os conhecimentos sobre embriologia (estudo dos estágios dos embriões) e citologia (estudo das células) com a evolução. De que maneira esta relação pode ser possível?

- a) A embriologia e citologia se relacionam para explicar várias doenças, como o câncer, que serão eliminadas pela seleção natural.
- b) Não é possível integrar estes conhecimentos da biologia pois estão relacionados a teorias muito diferentes. A citologia e a embriologia, por exemplo, são muito descritivas, enquanto a evolução se relaciona com processos muito complexos.
- c) Não é necessário integrar os conhecimentos de embriologia e citologia à evolução, uma vez que a genética é a principal área de conhecimento da biologia que se relaciona com a evolução.
- d) A embriologia e a citologia integram-se ao conhecimento da evolução de modo satisfatório para explicar a origem da vida no planeta.
- e) A embriologia e a citologia são integradas ao conhecimento da biologia evolutiva, por exemplo, para explicar importantes fenômenos relativos a origem da variação e da forma orgânica, a herança epigenética e os vieses desenvolvimentais.

14 - Um grupo de ecólogos vem notando grandes mudanças em uma baía. Tudo indica que houve uma mutação nas brânquias de uma espécie de molusco filtrador abundante na região. A atividade destes moluscos começou a mudar a composição, oxigenação e outras características da água do local. Como consequência, por exemplo, outras espécies da região começaram a extinguir-se ou começaram a mudar também. Visando fazer um relatório do acontecimento, os ecólogos chamaram biólogos de diferentes subáreas da biologia para auxiliá-los. Quais subáreas são minimamente necessárias para compreender o que aconteceu de uma perspectiva evolutiva?

- a) Genética e Biologia do Desenvolvimento, para explicar a relação entre a mutação e a mudança na forma das brânquias dos moluscos; Evolução, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas; e Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies.
- b) Zoologia, para classificar os moluscos que sofreram a mutação; Genética, para explicar o crescimento dos moluscos e as mudanças na forma das brânquias nos moluscos; e Evolução e Ecologia, para explicar

as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas.

c) Genética e Citologia, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos e o seu desenvolvimento; Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de outras espécies; e Evolução, para explicar as razões de os moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias.

d) Genética, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos; Ecologia e Citologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies; e Zoologia e Botânica, para classificar os seres vivos da região e descobrir se existe uma nova espécie.

e) Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas; Biologia do Desenvolvimento, para explicar o crescimento e as mudanças genéticas nos moluscos; e Evolução, para explicar as razões dos moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias e a extinção de espécies na região.

15 - Um estudante foi a um museu de história natural. Ficou impressionado com os fósseis de dinossauros e da fauna de mamíferos gigantes. Em um mural, ele leu que, logo após a extinção de muitos dinossauros e outros répteis gigantes, houve uma rápida evolução e diversificação dos mamíferos. Mas o que deixou o estudante mais intrigado foi que o mesmo mural também dizia que o que é sabido deste evento só se tornou possível pelo esforço conjunto de vários especialistas, além de biólogos. Como outros especialistas poderiam ajudar a entender um evento evolutivo, ainda que não sejam biólogos?

a) É pouco provável que outros especialistas consigam auxiliar neste tipo de evento evolutivo, uma vez que os conceitos da biologia evolutiva são bastantes complicados e raramente aqueles que não são biólogos conseguem compreender a dinâmica evolutiva sem fazer interpretações equivocadas.

b) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita apenas do conhecimento sobre os fósseis, mas conhecimentos de outras subáreas da biologia podem complementar. Neste sentido, conhecimentos da ecologia, da embriologia, da genética, da citologia e da sistemática dão respaldo ao que já é possível inferir por meio dos fósseis.

c) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita principalmente do conhecimento da biologia, mas o conhecimento de outras ciências tem pouca importância. De modo geral, as outras ciências fornecem apenas dados que oferecem detalhes que podem ser interessantes para complementar o que é descoberto pela biologia e caracterizar as mudanças graduais do ambiente.

d) Neste tipo de evento evolutivo, que acontecem em grandes períodos de tempo e aconteceram em um passado remoto, as maiores contribuições não são da biologia, mas de outras ciências, como a paleontologia e a geologia. Os biólogos não conseguem fazer muitas inferências evolutivas com populações que não estão vivas por falta de dados genéticos.

e) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita não apenas do conhecimento sobre a biologia dos organismos, mas sobre as características ambientais e como mudanças do ambiente influenciaram os organismos. Neste sentido, conhecimentos de várias especialidades da geologia e da paleontologia (que por sua vez precisam da química, física, geografia, oceanografia, climatologia, entre outras) são importantíssimos.

GABARITO

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resp.:	d	b	d	a	b	c	b	c	e	c	a	e	e	a	e

APÊNDICE III – Questionário 3

Questionário 3

1 - Paleontólogos têm encontrado, em rochas localizadas na Chapada do Araripe (uma região do nordeste brasileiro), estruturas que se assemelham a esqueletos de peixes marinhos. No entanto, estes lugares estão bem acima do nível do mar e estes esqueletos não foram encontrados associados à corpos d'água. Sabendo disto, qual das alternativas abaixo melhor explica por que existem estas estruturas nas rochas desta região?

- a) Estas estruturas não podem ser esqueletos de peixes marinhos, mas provavelmente são de outros peixes da região. Esta região provavelmente foi (ou pode ainda ser) habitada por peixes de água doce. Portanto, as estruturas encontradas são restos destes animais, que sempre viveram nestas regiões, que ocasionalmente morrem fora dos corpos d'água.
- b) Estas estruturas podem parecer, mas não podem ser esqueletos de peixes. Não é provável que peixes tenham se deslocados ou sejam levados por distâncias tão grandes e tenham sido incorporados às rochas. Mais provavelmente, estas estruturas são fragmentos de rochas ou minerais com formatos singulares que apenas se parecem com esqueletos de peixes.
- c) A região onde hoje estão estes esqueletos nem sempre esteve acima do nível do mar e já esteve, há muito tempo, submersa por ele. Estes esqueletos foram originados a partir dos restos de peixes marinhos que viveram e morreram naquele ambiente ainda submerso. Com a elevação e formação gradual da chapada, estes esqueletos foram elevados juntamente com as rochas da região.
- d) A região é assolada constantemente por intensos fenômenos climáticos. É muito provável que estas estruturas sejam originadas de esqueletos de peixes que foram carregados do oceano até a Chapada do Araripe por alguma ventania mais forte que o normal, como acontece quando há tempestades intensas.
- e) A chapada é frequentemente visitada por vários outros cientistas. Não é surpreendente que nestas expedições, sejam deixados restos de alimentos e outros objetos para trás. Estas estruturas foram originadas dos restos de peixes que faziam parte da refeição destes cientistas e que ficaram naquele ambiente junto às rochas.

2 - Considere os seguintes eventos naturais abaixo:

- I – Fragmentação de continentes
- II – Formação de uma nova espécie
- III – Um ciclo lunar
- IV – Tempestades
- V – Amadurecimento de plantas e animais

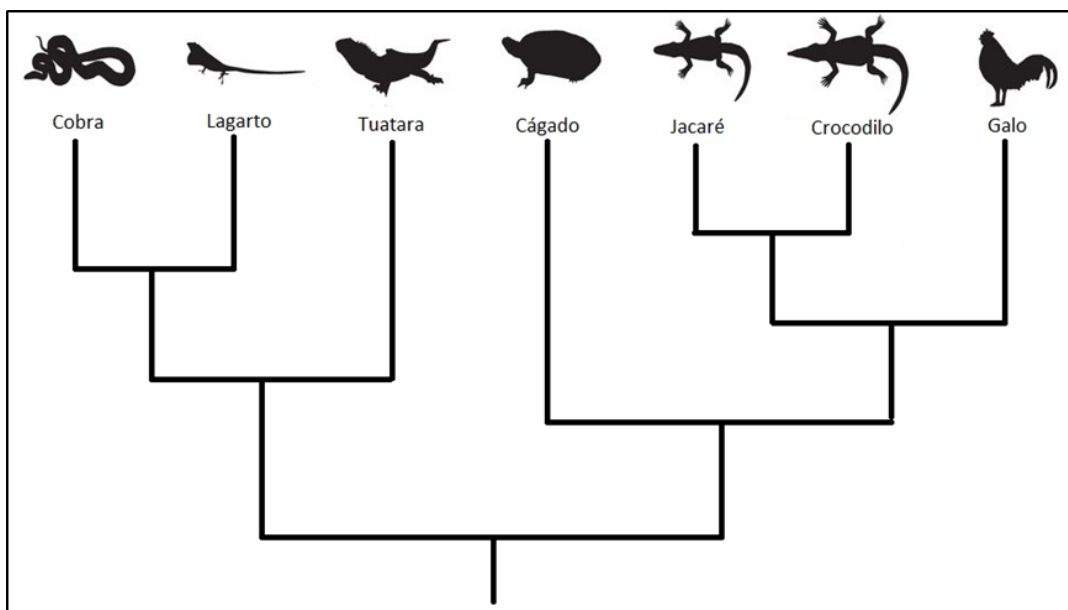
Cada um destes eventos acontece em uma escala de tempo muito diferente. Alguns duram horas do seu início ao seu fim, outros milhões de anos. Assinale a alternativa que apresenta uma ordenação MAIS PROVÁVEL, considerando uma ordem crescente a partir do evento que precisa de menos tempo para ocorrer para o que precisa de mais tempo:

- a) IV – II – V – III – I
- b) II – V – IV – III – I
- c) III – V – III – I - IV
- d) III – IV – I – III - II
- e) IV – III – V – II – I

3 - Estudos sobre as cobras-cegas mostram, por meio de várias evidências, que estes animais são muito mais aparentados dos sapos e salamandras que das cobras. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa relação das cobras-cegas com os sapos e salamandras se dá em razão de:

- a) Exibirem comportamentos reprodutivos semelhantes.
- b) Possuírem corpo coberto por muco e pele úmida.
- c) Cobras-cegas primitivas terem se tornado salamandras para se tornarem ágeis.
- d) Possuírem dietas semelhantes.
- e) Compartilharem um ancestral comum mais próximo.

4 - Com base no gráfico abaixo, podemos dizer que ele sugere que:



Adaptado de Crawford et al. (2013)

- a) As cobras não são aparentadas com os galos.
- b) Os cágados são mais estreitamente aparentados com os galos do que com as tuataras.
- c) As cobras são as ancestrais de todos os outros animais da imagem.
- d) Os jacarés são mais estreitamente aparentados com os cágados do que com os galos.
- e) Os galos são os mais evoluídos dentre os animais presentes na imagem.

5 - Uma microbiologista tem estudado, ao longo de alguns anos, cepas de bactérias em seu laboratório. No início do experimento, ela aplicou doses de antibióticos potentes nestas cepas, avaliando quantas bactérias morriam. Funcionou no começo, mas depois de meses de aplicação, ela percebeu que o efeito dos antibióticos foi se tornando cada vez menor e menos bactérias morriam. Mesmo aumentando as doses, o efeito era o mesmo: funcionava no começo e depois o efeito dos antibióticos amenizava. Por que isso acontece?

- a) A maioria dos agentes químicos, como os antibióticos, afeta o DNA dos organismos. Quando isso acontece, os organismos começam a sofrer mutações e, quando surge alguma mutação benéfica, eles acabam ganhando resistência aos antibióticos e aperfeiçoando o seu DNA.

- b) As bactérias que estavam nas cepas ficam fracas e morrem. Mas outras bactérias, que podem vir do ar ou dos equipamentos do laboratório, podem chegar ao local. Estas novas bactérias estão saudáveis e, por isso, resistem mais ao efeito dos antibióticos.
- c) Existem diferenças herdáveis na resistência aos antibióticos entre os indivíduos das cepas de bactérias. As que são mais resistentes têm mais chances de sobreviver e reproduzir. Ao longo do tempo, a característica da resistência se torna mais frequente na população, até que toda a população se torna resistente aos antibióticos.
- d) Para sobreviverem, as bactérias mudam seus hábitos nas cepas e passam a se aproximar de regiões que estão menos afetadas pelos antibióticos ou que possuam quantidades inofensivas destes. As bactérias não ganham resistência aos antibióticos, mas aprendem a se defender deles.
- e) Na tentativa de se defender dos antibióticos, as bactérias desenvolvem substâncias, como anticorpos, que neutralizam o efeito destas substâncias. Em razão disso, elas se tornam mais e mais resistentes a cada nova aplicação de antibióticos.

6 - A caça de uma espécie de lagarto fez com que a população desses animais fosse reduzida a poucos indivíduos. A ação de conscientização promovida por biólogos foi importante para que houvesse a redução da atividade de caça destes animais, permitindo com que a população destes lagartos voltasse a crescer. No entanto, algo inesperado aconteceu: aparentemente sem motivo algum, os lagartos passaram a ter as cores das escamas organizadas em um padrão ligeiramente diferente de antes. Os biólogos confirmaram que se tratava da mesma espécie e que este novo padrão de cores parece não ter função alguma. Qual o provável motivo para que isto tenha acontecido?

- a) Com poucos indivíduos na população, os lagartos passaram a competir menos entre eles, o que diminuiu a pressão para sobreviver. Por causa disso, estes animais passaram a acumular mutações, mesmo aquelas que são ruins para a sobrevivência, o que alterou o padrão das escamas de todos na população.
- b) A ação dos caçadores afetou a saúde destes animais, deixando-os suscetíveis a doenças e mutações deletérias, inclusive nas escamas, o que gerou o novo padrão de cores. Com o fim recente da atividade de caça, logo estes animais voltarão ao padrão de cores antigo.
- c) Com poucos indivíduos na população, os lagartos passaram a ter uma dieta alimentar mais ampliada e diversificada. A dieta mais variada fornece nutrientes diferentes dos que eles costumavam obter, o que acaba provocando mudanças no padrão de suas escamas.
- d) Reiniciando o crescimento da população a partir de poucos indivíduos sobreviventes, a população destes lagartos ficou fortemente sujeita ao efeito do acaso, fixando características novas ou raras, mesmo que estas características não tenham função, como o novo padrão de escamas.
- e) Os lagartos mudaram seu padrão de cores para poderem se disfarçar e evitarem que os caçadores identificassem eles rapidamente. A necessidade de sobrevivência fez com que novas mutações surgissem e tornassem estes animais diferentes de como eles eram.

7 - Os castores são um tipo de roedor aquático que vivem em certas regiões da América do Norte e da Europa. Sua presença é muito importante para a vida nestas regiões. Por exemplo, as represas construídas pelos castores oferecem abrigo e proteção para vários outros animais, criam zonas úmidas, modificam aspectos da água e são responsáveis por manter alguns ciclos de matéria e energia. Dito isso, qual o significado evolutivo da presença dos castores nestas regiões?

- a) Não há qualquer significado evolutivo entre estes animais e as construções que fazem, as represas, e as regiões que vivem. No entanto, eles possuem grande importância ecológica nestes ambientes por oferecerem abrigo e proteção para vários outros animais, criarem zonas úmidas, modificarem aspectos do solo e manterem alguns ciclos de matéria e energia.

b) Os castores competem com as marmotas pelo domínio do ambiente. A presença de grandes números de represas de castores, ao invés de tocas de marmotas, demonstra que a seleção natural favoreceu os castores naquele ambiente.

c) Os castores são produtos de um longo passado evolutivo que remonta milhões de anos e estão tão bem adaptados ao ambiente em que vivem que parece que eles são uma parte deste ambiente. Por isso, eles são tão vitais para as regiões onde vivem, pois desenvolveram uma relação harmônica com este ambiente.

d) Os castores fazem parte de todas as cadeias alimentares da região. Sem eles, vários animais morreriam pela falta de alimento e isso poderia, ao longo do tempo, destruir todo o ambiente. Podemos dizer que os castores são a base de toda a vida nestes locais, principalmente da vida animal.

e) Os castores, através da construção de suas represas, modificam e mantêm o habitat adequado para sua sobrevivência. Contudo, suas atividades acabam por transformar a paisagem ao redor, o que afeta a sobrevivência e a evolução de outros organismos da região. Se por um lado os castores sofrem influências do ambiente em que vivem; por outro lado, eles o influenciam, o que afeta muitos outros seres vivos.

8 - Um observador de aves notou que elas possuem pouca diversidade de formas de asas. De modo geral, elas têm muita diferença nos bicos, no tamanho e nas penas. Mas a forma da asa é muito parecida. Pensando nisso, ele perguntou para um biólogo especialista. Este especialista contou que a formação das asas funcionais nas aves depende de um complicado processo desenvolvimental, que pode ser estudado através dos embriões destes animais. E durante esse processo ocorre uma série de fusões e reduções de partes do esqueleto dos membros anteriores (que irão se tornar as asas). Qual a relação entre a explicação do biólogo e a dúvida do observador de aves?

a) As aves não precisam diversificar suas asas. Ao longo da evolução, as aves alcançaram o máximo evolutivo em suas asas. Seus estágios embrionários indicam que as asas das aves superaram a necessidade de mudar de forma e agora estão perfeitamente ajustadas aos seus hábitos de vida. Sendo assim, elas não precisam que ocorram mudanças na estrutura de suas asas.

b) O desenvolvimento das asas das aves impõe restrições às variações na forma delas. Desta forma, os estágios embrionários essenciais para a formação de asas funcionais em aves dificultam que as estruturas das asas sofram mudanças evolutivas que poderiam dar origem a novas formas, principalmente em razão das reduções e dos fusionamentos de estruturas.

c) As aves apresentam diversificação nas formas das asas. Os estágios embrionários provam que existe uma diversidade de formas das asas das aves. No entanto não vemos a diversidade pois acontece antes do nascimento do animal.

d) Não aconteceram mutações que permitissem novas estruturas nas asas das aves, uma vez que o surgimento de novas mutações é completamente aleatório e não direcionado. As asas das aves podem vir a exibir novas formas se vier a acontecer mutações nos genes das mesmas.

e) As asas não podem variar devido às pressões ambientais. Os estágios do desenvolvimento das asas das aves foram adaptados pelas pressões ambientais, gerando asas bem adaptadas. Se houver qualquer mudança, a nova variação não terá vantagem adaptativa e será eliminada.

9 - A análise do material genético de uma bactéria (*E. Coli*) nos mostra que grande parte de seu DNA foi incorporado naturalmente a partir do DNA de bactérias de várias outras espécies. O que isso nos diz quando olhamos para a árvore da vida?

a) As bactérias são organismos muito simples e primitivos. Na medida em que adicionam mais DNA, elas se tornam mais evoluídas.

b) O DNA das bactérias é frágil. Por ser quimicamente mais frágil que o DNA de outros organismos, o material genético das bactérias tende a se misturar com o material genético de outras.

- c) A analogia da árvore da vida não é muito adequada para bactérias. A transferência lateral de genes em bactérias é muito comum, o que torna mais adequada uma analogia com padrões de redes.
- d) Não é possível enquadrar as bactérias muito bem na história da vida. Por terem muita mistura no DNA, fica muito difícil definir quais bactérias fazem parte da árvore da vida.
- e) A analogia da árvore da vida é reforçada. A mistura de DNA indica que existe relação entre as bactérias, o que dá suporte à analogia de árvore.

10 - Uma zoóloga dedicou anos de trabalho a descobrir e classificar novas espécies de caramujos. Em seu trabalho, percebeu que é bastante comum a presença de um orifício, chamado de umbílico, nas conchas destes animais. Alguns caracóis usam o umbílico para proteger os ovos com seus filhotes. Outros não usam o umbílico aparentemente para nada. Por que esta estrutura existe nestes animais?

- a) Provavelmente estas estruturas são adaptações que auxiliam a sobrevivência e reprodução destes animais.
- b) São estruturas que foram geradas pela atuação da seleção natural nas populações de caramujos. Este processo eliminou todas as formas de concha que não possuíam o umbílico.
- c) Quando os caramujos evoluem a partir dos vermes, eles ainda mantêm resquícios dos seus antepassados. Um exemplo destes resquícios é o umbílico.
- d) Não é possível dizer a razão de a estrutura existir sem antes estudar o seu desenvolvimento embrionário, filogenia e função. A seleção natural pode não explicar a existência desta estrutura.
- e) Os caramujos possuem esta estrutura porque eles podem precisar dela, ainda que nem sempre a usem, para proteger seus filhotes em alguma eventualidade.

11 - Ao observar um cardume de peixes, uma mergulhadora notou que mesmo peixes de uma mesma espécie possuíam características diferentes. Alguns variavam em tamanho, outros em formato e cor da nadadeira, enquanto outros nadavam de forma um pouco diferente. Qual a origem desta variação no corpo e no comportamento destes animais?

- a) Os animais que variam sofreram alguma mutação. O DNA contém toda a informação para a forma e o comportamento de um ser vivo, uma vez que os genes definem diretamente suas características. Portanto, animais que apresentam mudanças no material genético apresentam variações.
- b) A origem da variação no corpo destes animais envolve mutação e recombinação gênica. Mas a origem da variação do comportamento depende do aprendizado e da experiência de vida do organismo.
- c) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais. Estas mudanças no desenvolvimento dependem de vários fatores, que podem ser genéticos, epigenéticos, comportamentais, ambientais etc.
- d) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais, sendo que estas mudanças do desenvolvimento dependem exclusivamente de mutações e recombinações gênicas.
- e) A origem da variação está muito relacionada com fatores como doenças e alimentação. Sem estes elementos, todos os organismos seriam sempre iguais.

12 - Os termos macroevolução e microevolução são utilizados para diferenciar diferentes escalas de análise na biologia evolutiva. A evolução do voo nas aves é um exemplo de evento macroevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas acima das populações), enquanto a fixação da cor azul nas penas de uma espécie de ave é um exemplo microevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas no nível das populações). O que podemos dizer sobre a relação da micro- e da macroevolução?

- a) A compreensão da macroevolução muitas vezes exige a integração de processos desenvolvimentais, ecológicos, geológicos, climáticos, microevolutivos etc. Ou seja, a macroevolução, em geral, não pode ser traduzida na microevolução.
- b) A macroevolução é o resultado da soma de vários eventos microevolutivos anteriores. Ou seja, a macroevolução é o resultado do somatório de microevoluções, quando estendemos a evolução por longos períodos de tempo.
- c) Não existe relação entre a micro- e a macroevolução. Estas duas escalas tratam de fenômenos muito diferentes e que são completamente independentes.
- d) A microevolução contempla o início das mudanças evolutivas, que, depois de algum tempo, geram a macroevolução. Em outras palavras, a evolução começa como microevolução e então se torna macroevolução.
- e) A microevolução se diferencia da macroevolução por ser uma mudança gradual, enquanto a macroevolução, pelo contrário, não acontece de forma gradual.

13 - Intrigado com suas aulas sobre o processo evolutivo, um professor buscou relacionar os conhecimentos sobre embriologia (estudo dos estágios dos embriões) e citologia (estudo das células) com a evolução. De que maneira esta relação pode ser possível?

- a) Não é possível integrar estes conhecimentos da biologia pois estão relacionados a teorias muito diferentes. A citologia e a embriologia, por exemplo, são muito descritivas, enquanto a evolução se relaciona com processos muito complexos.
- b) A embriologia e citologia se relacionam para explicar várias doenças, como o câncer, que serão eliminadas pela seleção natural.
- c) Não é necessário integrar os conhecimentos de embriologia e citologia à evolução, uma vez que a genética é a principal área de conhecimento da biologia que se relaciona com a evolução.
- d) A embriologia e a citologia integram-se ao conhecimento da evolução de modo satisfatório para explicar a origem da vida no planeta.
- e) A embriologia e a citologia são integradas ao conhecimento da biologia evolutiva, por exemplo, para explicar importantes fenômenos relativos a origem da variação e da forma orgânica, a herança epigenética e os vieses desenvolvimentais.

14 - Um grupo de ecólogos vem notando grandes mudanças em uma baía. Tudo indica que houve uma mutação nas brânquias de uma espécie de molusco filtrador abundante na região. A atividade destes moluscos começou a mudar a composição, oxigenação e outras características da água do local. Como consequência, por exemplo, outras espécies da região começaram a extinguir-se ou começaram a mudar também. Visando fazer um relatório do acontecimento, os ecólogos chamaram biólogos de diferentes subáreas da biologia para auxiliá-los. Quais subáreas são minimamente necessárias para compreender o que aconteceu de uma perspectiva evolutiva?

- a) Genética, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos; Ecologia e Citologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies; e Zoologia e Botânica, para classificar os seres vivos da região e descobrir se existe uma nova espécie.
- b) Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas; Biologia do Desenvolvimento, para explicar o crescimento e as mudanças genéticas nos moluscos; e Evolução, para explicar as razões dos moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias e a extinção de espécies na região.
- c) Genética e Citologia, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos e o seu desenvolvimento; Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções

de outras espécies; e Evolução, para explicar as razões de os moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias.

d) Genética e Biologia do Desenvolvimento, para explicar a relação entre a mutação e a mudança na forma das brânquias dos moluscos; Evolução, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas; e Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies.

e) Zoologia, para classificar os moluscos que sofreram a mutação; Genética, para explicar o crescimento dos moluscos e as mudanças na forma das brânquias nos moluscos; e Evolução e Ecologia, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas.

15 - Um estudante foi a um museu de história natural. Ficou impressionado com os fósseis de dinossauros e da fauna de mamíferos gigantes. Em um mural, ele leu que, logo após a extinção de muitos dinossauros e outros répteis gigantes, houve uma rápida evolução e diversificação dos mamíferos. Mas o que deixou o estudante mais intrigado foi que o mesmo mural também dizia que o que é sabido deste evento só se tornou possível pelo esforço conjunto de vários especialistas, além de biólogos. Como outros especialistas poderiam ajudar a entender um evento evolutivo, ainda que não sejam biólogos?

a) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita não apenas do conhecimento sobre a biologia dos organismos, mas sobre as características ambientais e como mudanças do ambiente influenciaram os organismos. Neste sentido, conhecimentos de várias especialidades da geologia e da paleontologia (que por sua vez precisam da química, física, geografia, oceanografia, climatologia, entre outras) são importantíssimos.

b) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita principalmente do conhecimento da biologia, mas o conhecimento de outras ciências tem pouca importância. De modo geral, as outras ciências fornecem apenas dados que oferecem detalhes que podem ser interessantes para complementar o que é descoberto pela biologia e caracterizar as mudanças graduais do ambiente.

c) É pouco provável que outros especialistas consigam auxiliar neste tipo de evento evolutivo, uma vez que os conceitos da biologia evolutiva são bastantes complicados e raramente aqueles que não são biólogos conseguem compreender a dinâmica evolutiva sem fazer interpretações equivocadas.

d) Neste tipo de evento evolutivo, que acontecem em grandes períodos de tempo e aconteceram em um passado remoto, as maiores contribuições não são da biologia, mas de outras ciências, como a paleontologia e a geologia. Os biólogos não conseguem fazer muitas inferências evolutivas com populações que não estão vivas por falta de dados genéticos.

e) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita apenas do conhecimento sobre os fósseis, mas conhecimentos de outras subáreas da biologia podem complementar. Neste sentido, conhecimentos da ecologia, da embriologia, da genética, da citologia e da sistemática dão respaldo ao que já é possível inferir por meio dos fósseis.

GABARITO

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resp.:	c	e	e	b	c	d	e	b	e	d	c	a	e	d	a

APÊNDICE IV – Questionário 4

Questionário 4

1 - Durante uma viagem à Groelândia, um grupo de biólogos trouxe várias amostras de rochas que continham estruturas que pareciam ossos de algum tipo de salamandra. No entanto, a Groelândia fica próximo ao círculo polar ártico, sendo muito fria para a sobrevivência de salamandras ou outros tipos de anfíbios. Com base nisso, qual das alternativas abaixo melhor explica por que existem estas estruturas nas rochas daquele local?

- a) A Groelândia nem sempre esteve na posição atual e já esteve situada na zona tropical e temperada. Estas estruturas foram originadas a partir dos restos de anfíbios que viveram naquele ambiente quando este ainda era um pântano afastado da região polar. Com o movimento das placas tectônicas, os ossos preservados foram deslocados, juntamente com toda a ilha, para o polo norte.
- b) A região é assolada constantemente por tempestades. É muito provável que estas estruturas sejam originadas de restos de animais que foram carregados pelos oceanos até a ilha por alguma tempestade mais forte que o normal, como acontece quando há furacões.
- c) A região é visitada com alguma regularidade por vários outros biólogos. Não é surpreendente que outras expedições deixem restos de seus alimentos e outros objetos para trás. Estas estruturas foram originadas dos restos de alimentos que faziam parte da refeição destas expedições e que ficaram naquele ambiente junto às rochas.
- d) Estas estruturas não podem ser ossos de salamandras, mas de organismos da região. A Groelândia provavelmente foi (ou pode ainda ser) habitado por seres vivos parecido com salamandras (como, por exemplo, lagartos e cobras). Portanto, as estruturas encontradas são restos destes animais, que sempre viveram nesta região do jeito que é hoje.
- e) Estas estruturas podem parecer, mas não podem ser ossos. Não é provável que anfíbios se desloquem ou sejam deslocados por distâncias tão grandes e tenham seus ossos incorporados às rochas. Mais provavelmente, estas estruturas são fragmentos de rochas ou minerais com formatos singulares que apenas se parecem com ossos de salamandra.

2 - Considere os seguintes eventos naturais abaixo:

- I – Amadurecimento de plantas e animais
- II – Formação de uma nova espécie
- III – Erupções vulcânicas
- IV – Fragmentação de continentes
- V – Tempo de uma estação do ano

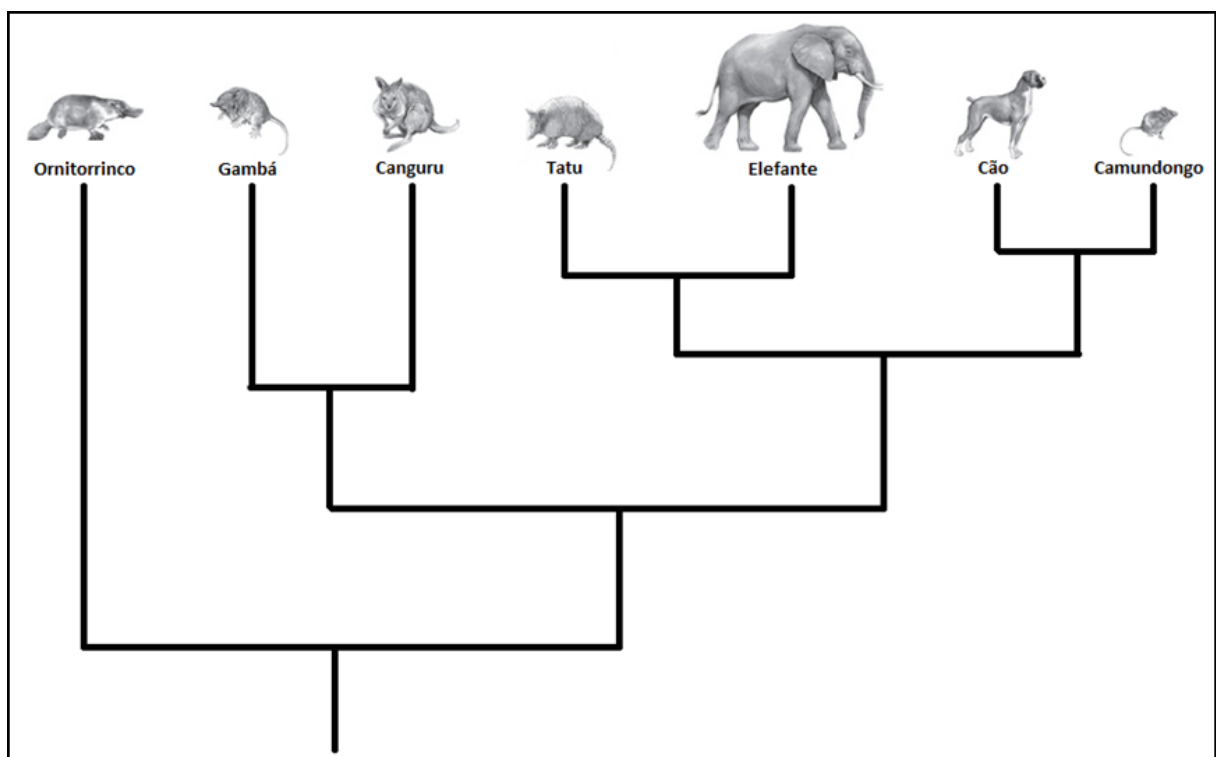
Cada um destes eventos acontece em uma escala de tempo muito diferente. Alguns duram horas do seu início ao seu fim, outros milhões de anos. Assinale a alternativa que apresenta uma ordenação MAIS PROVÁVEL, considerando uma ordem crescente a partir do evento que precisa de menos tempo para ocorrer para o que precisa de mais tempo:

- a) III – I – II – V – IV
- b) V – I – II – IV – III
- c) III – V – I – II – IV
- d) I – II – V – III – IV
- e) V – III – IV – I – II

3 - O caranguejo-ferradura é um artrópode marinho que se parece muito com lagostas e caranguejos. No entanto, vários estudos levantam evidências de que estes animais são muito mais aparentados das aranhas e os escorpiões. Com base em seus conhecimentos sobre o parentesco entre os seres vivos, essa relação das caranguejos-ferradura com as aranhas e os escorpiões se dá em razão de:

- a) Compartilhem um ancestral comum mais próximo.
- b) Possuírem muitas pernas articuladas e muitos olhos.
- c) Possuírem dietas semelhantes.
- d) Os caranguejos-ferraduras tornarem-se aranhas quando evoluem.
- e) Exibirem comportamentos reprodutivos semelhantes.

4 - Com base no gráfico abaixo, podemos dizer que ele sugere que:



- a) Os camundongos são os mais evoluídos dentre os animais presentes na imagem.
- b) Os ornitorrincos não são aparentados com os camundongos.
- c) Os cães são mais estreitamente aparentados com os elefantes do que com os tatus.
- d) Os tatus são mais estreitamente aparentados com os cães do que com os cangurus.
- e) Os ornitorrincos são os ancestrais de todos os outros mamíferos da imagem.

5 - Um agricultor vem sofrendo, ao longo de uma década, com uma praga de besouros em suas plantações. Seis anos atrás, ele iniciou a aplicação de agrotóxicos para matar as pragas. Funcionou no começo, mas depois de meses de aplicação, ele percebeu que cada vez menos besouros morriam com o veneno. Mesmo aumentando as doses do veneno, o efeito era o mesmo: funcionava no começo e depois poucos besouros morriam. Por que isso acontece?

a) Os besouros que estavam nas plantações ficam fracos e chegam a morrer. Mas outros besouros, que podem vir de outras fazendas e ambientes selvagens, podem chegar ao local. Estes novos besouros estão saudáveis e, por isso, eles resistem mais ao veneno.

b) Os besouros, para sobreviverem, mudam seus hábitos alimentares e passam a comer as folhas que não estão contaminadas com o veneno ou que possuam uma quantidade inofensiva do veneno. Eles não ganham resistência ao veneno, mas aprendem a se defender do veneno.

c) A maioria dos agentes químicos, como o veneno, afeta o DNA dos organismos. Quando isso acontece, os organismos começam a sofrer mutações e, quando surge alguma mutação benéfica, eles acabam ganhando resistência ao veneno e aperfeiçoando o seu DNA.

d) Existem diferenças herdáveis na resistência ao veneno entre os indivíduos da população de besouros. Os que são mais resistentes têm mais chances de sobreviver e reproduzir. Ao longo do tempo, a característica da resistência se torna mais frequente na população, até que toda a população se torna resistente ao veneno.

e) Na tentativa de se defender do veneno, os besouros desenvolvem substâncias, como anticorpos, que neutralizam o veneno. Em razão disso, eles se tornam mais e mais resistentes a cada nova aplicação de agrotóxico.

6 - Uma erupção vulcânica acidificou um rio, afetando seriamente uma espécie de camarão de água doce, fazendo com que a população desses animais fosse reduzida a poucos indivíduos, quase levando ao seu desaparecimento. Depois de meses, a diminuição do efeito da atividade vulcânica permitiu que a população destes camarões se recuperasse. No entanto, algo inesperado aconteceu: aparentemente sem motivo algum, os camarões passaram a ter um corpo mais fino e alongado. Os biólogos confirmaram que se tratava da mesma espécie e que esta nova característica parece não ter função alguma. Qual o provável motivo para que isto tenha acontecido?

a) Com poucos indivíduos na população, os camarões passaram a ter uma dieta alimentar mais ampliada e diversificada. A dieta mais variada fornece nutrientes diferentes dos que eles costumavam obter, o que acaba provocando mudanças no formato do seu corpo.

b) A acidificação do rio afetou drasticamente a saúde destes animais, deixando-os suscetíveis a doenças e mutações deletérias, inclusive em todo o corpo, o que gerou o novo formato mais fino e alongado. Com o fim recente do efeito da atividade vulcânica, logo estes animais voltarão ao formato antigo.

c) Com poucos indivíduos na população, os camarões passaram a competir menos entre eles, o que diminuiu a pressão para sobreviver. Por causa disso, estes animais passaram a acumular mutações, mesmo aquelas que são ruins para a sobrevivência, o que alterou o formato do corpo de todos na população.

d) Os camarões mudaram seu formato de corpo para poderem se disfarçar e evitarem que predadores identificassem eles rapidamente. A necessidade de sobrevivência fez com que novas mutações surgissem e tornassem estes animais diferentes de como eles eram.

e) Reiniciando o crescimento da população a partir de poucos indivíduos sobreviventes, a população destes camarões ficou fortemente sujeita ao efeito do acaso, fixando características novas ou que antes eram raras, mesmo que estas características não tenham função, como o novo formato.

7 - No cerrado, os cupinzeiros são comuns na paisagem e sua presença é muito importante para a vida neste bioma. Por exemplo, os cupinzeiros oferecem abrigo e proteção para vários outros animais (como escorpiões, lagartos e besouros), modificam aspectos do solo e são responsáveis por manter alguns ciclos de matéria e energia. Dito isso, qual o significado evolutivo da presença dos cupinzeiros nesta região?

a) Os cupins são produtos de um longo passado evolutivo que remonta milhões de anos e estão tão bem adaptados ao ambiente em que vivem que parece que eles são uma parte deste ambiente. Por isso, eles são tão vitais para o cerrado, pois desenvolveram uma relação harmônica com este ambiente.

b) Não há qualquer significado evolutivo entre estes animais e as construções que fazem, os cupinzeiros, e o cerrado. No entanto, eles possuem grande importância ecológica por oferecerem abrigo e proteção para vários outros animais, modificarem aspectos do solo e manterem alguns ciclos de matéria e energia no cerrado.

c) Os cupinzeiros fazem parte de todas as cadeias alimentares da região. Sem eles, vários animais morreriam pela falta de alimento e isso poderia, ao longo do tempo, destruir todo o cerrado. Podemos dizer que os cupinzeiros são a base de toda a vida no cerrado, principalmente da vida animal.

d) Os cupins, através da construção de seus cupinzeiros, modificam e mantêm o habitat adequado para sua sobrevivência. Contudo, suas atividades acabam por transformar a paisagem ao redor, o que afeta a sobrevivência e a evolução de outros organismos da região. Se por um lado os cupins sofrem influências do ambiente em que vivem; por outro lado, eles o influenciam, o que afeta muitos outros seres vivos.

e) Os cupins competem com as formigas pelo domínio do ambiente. A presença de grandes números de cupinzeiros, ao invés de formigueiros, demonstra que a seleção natural favoreceu os cupins naquele ambiente.

8 - Uma historiadora observou que, ao contrário das criaturas das mitologias da antiguidade, os vertebrados terrestres (por exemplo, os cavalos) não possuem mais que quatro membros (como o Pégaso, que era descrito como tendo quatro patas e duas asas). Pensando nisso, ela perguntou para um biólogo e este explicou que o cavalo é um tetrápode, assim como todos vertebrados terrestres, e que o número de patas deste grupo de animais depende de um complicado processo desenvolvimental, originado de um ancestral comum. Este processo é essencial para a formação do corpo destes animais e poucos tetrápodes fugiram do padrão (como as baleias e serpentes, embora alguns ainda apresentem resquícios de patas). Qual a relação entre a explicação do biólogo e a dúvida da historiadora?

a) O desenvolvimento dos tetrápodes impõe restrições às variações no número de patas deles. Desta forma, os estágios embrionários essenciais para a formação do corpo destes animais, originado de um ancestral comum, dificultam que o número de patas sofra mudança ao longo da evolução.

b) Os tetrápodes apresentam diversificação nas formas das asas. Os estágios embrionários provam que existe uma diversidade durante algumas etapas do complicado desenvolvimento destes animais. No entanto não vemos a diversidade pois acontece antes do nascimento.

c) O número de patas não pode variar devido às pressões ambientais. Os estágios do desenvolvimento destes animais foram adaptados pelas pressões ambientais, gerando quatro patas bem adaptadas. Se houver qualquer mudança, a nova variação não terá vantagem adaptativa e será eliminada.

d) Os tetrápodes não precisam diversificar o seu número de patas. Ao longo da evolução, eles alcançaram o máximo evolutivo. Seus estágios embrionários indicam que seu corpo superaram a necessidade de mudar de forma e agora estão perfeitamente ajustadas aos seus hábitos de vida. Sendo assim, eles não precisam que ocorram mudanças no número de suas patas.

e) Não aconteceram mutações que permitissem o aumento do número de patas nos tetrápodes, uma vez que o surgimento de novas mutações é completamente aleatório e não direcionado. Os tetrápodes podem vir a possuir maior número de patas se vier a acontecer mutações específicas.

9 - Estudos feitos com organelas celulares de eucariontes, tem evidenciado que os cloroplastos e as mitocôndrias foram originados a partir de bactérias que foram incorporadas ao citoplasma da célula eucariótica. Uma parcela do DNA destas bactérias ainda existe nestas organelas, mas uma outra parte foi incluída ao DNA da célula eucariótica. Esta união de organismos de linhagens diferentes deu origem a linhagens de seres vivos completamente novas. O que isso nos diz quando olhamos para a árvore da vida?

a) Não é possível enquadrar as células eucarióticas muito bem na história da vida. Por terem muita mistura no DNA com bactérias, fica muito difícil definir quais fazem parte da árvore da vida.

- b) A analogia da árvore da vida é reforçada. A mistura de DNA indica que existe relação entre as bactérias e os eucariontes, o que dá suporte à analogia de árvore.
- c) O DNA das células eucarióticas é frágil. Por ser quimicamente mais frágil que o DNA das bactérias, o material genético das bactérias tende a se misturar com o material genético dos eucariontes.
- d) A analogia da árvore da vida não é suficiente para estes casos. A transferência lateral de genes nestes organismos torna importante considerar padrões de redes.
- e) As bactérias são organismos muito simples e primitivos. Na medida em que se unem com o DNA de eucariontes, eles dão origem a organismos mais evoluídos.

10 - Uma zoóloga dedicou anos de trabalho a descobrir e classificar novas espécies de caramujos. Em seu trabalho, percebeu que é bastante comum a presença de um orifício, chamado de umbílico, nas conchas destes animais. Alguns caracóis usam o umbílico para proteger os ovos com seus filhotes. Outros não usam o umbílico aparentemente para nada. Por que esta estrutura existe nestes animais?

- a) Quando os caramujos evoluem a partir dos vermes, eles ainda mantêm resquícios dos seus antepassados. Um exemplo destes resquícios é o umbílico.
- b) São estruturas que foram geradas pela atuação da seleção natural nas populações de caramujos. Este processo eliminou todas as formas de concha que não possuíam o umbílico.
- c) Provavelmente estas estruturas são adaptações que auxiliam a sobrevivência e reprodução destes animais.
- d) Os caramujos possuem esta estrutura porque eles podem precisar dela, ainda que nem sempre a usem, para proteger seus filhotes em alguma eventualidade.
- e) Não é possível dizer a razão de a estrutura existir sem antes estudar o seu desenvolvimento embrionário, filogenia e função. A seleção natural pode não explicar a existência desta estrutura.

11 - Ao observar um bando de antílopes, um guarda florestal notou que mesmo sendo de uma mesma espécie, alguns indivíduos do bando possuíam características diferentes. Alguns variavam em tamanho, outros em formato do chifre ou cor do pelo, enquanto outros preferiam pastar em gramas diferentes ou eram mais agressivos. Qual a origem desta variação no corpo e no comportamento destes animais?

- a) A origem da variação no corpo destes animais envolve mutação e recombinação gênica. Mas a origem da variação do comportamento depende do aprendizado e da experiência de vida do organismo.
- b) A origem da variação está muito relacionada com fatores como doenças e alimentação. Sem estes elementos, todos os organismos seriam sempre iguais.
- c) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais, sendo que estas mudanças do desenvolvimento dependem exclusivamente de mutações e recombinações gênicas.
- d) A origem da variação depende de mudanças no desenvolvimento destes animais. Estas mudanças no desenvolvimento dependem de vários fatores, que podem ser genéticos, epigenéticos, comportamentais, ambientais etc.
- e) Os animais que variam sofreram alguma mutação. O DNA contém toda a informação para a forma e o comportamento de um ser vivo, uma vez que os genes definem diretamente suas características. Portanto, animais que apresentam mudanças no material genético apresentam variações.

12 - Os termos macroevolução e microevolução são utilizados para diferenciar diferentes escalas de análise na biologia evolutiva. A evolução do voo nas aves é um exemplo de evento macroevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas acima das populações), enquanto a fixação da cor azul nas penas de uma espécie de ave é um exemplo microevolutivo (que é relacionado com mudanças evolutivas no nível das populações). O que podemos dizer sobre a relação da micro- e da macroevolução?

- a) A microevolução se diferencia da macroevolução por ser uma mudança gradual, enquanto a macroevolução, pelo contrário, não acontece de forma gradual.
- b) Não existe relação entre a micro- e a macroevolução. Estas duas escalas tratam de fenômenos muito diferentes e que são completamente independentes.
- c) A macroevolução é o resultado da soma de vários eventos microevolutivos anteriores. Ou seja, a macroevolução é o resultado do somatório de microevoluções, quando estendemos a evolução por longos períodos de tempo.
- d) A microevolução contempla o início das mudanças evolutivas, que, depois de algum tempo, geram a macroevolução. Em outras palavras, a evolução começa como microevolução e então se torna macroevolução.
- e) A compreensão da macroevolução muitas vezes exige a integração de processos desenvolvimentais, ecológicos, geológicos, climáticos, microevolutivos etc. Ou seja, a macroevolução, em geral, não pode ser traduzida na microevolução.

13 - Intrigado com suas aulas sobre o processo evolutivo, um professor buscou relacionar os conhecimentos sobre embriologia (estudo dos estágios dos embriões) e citologia (estudo das células) com a evolução. De que maneira esta relação pode ser possível?

- a) A embriologia e citologia se relacionam para explicar várias doenças, como o câncer, que serão eliminadas pela seleção natural.
- b) Não é possível integrar estes conhecimentos da biologia pois estão relacionados a teorias muito diferentes. A citologia e a embriologia, por exemplo, são muito descritivas, enquanto a evolução se relaciona com processos muito complexos.
- c) Não é necessário integrar os conhecimentos de embriologia e citologia à evolução, uma vez que a genética é a principal área de conhecimento da biologia que se relaciona com a evolução.
- d) A embriologia e a citologia são integradas ao conhecimento da biologia evolutiva, por exemplo, para explicar importantes fenômenos relativos a origem da variação e da forma orgânica, a herança epigenética e os vieses desenvolvimentais.
- e) A embriologia e a citologia integram-se ao conhecimento da evolução de modo satisfatório para explicar a origem da vida no planeta.

14 - Um grupo de ecólogos vem notando grandes mudanças em uma baía. Tudo indica que houve uma mutação nas brânquias de uma espécie de molusco filtrador abundante na região. A atividade destes moluscos começou a mudar a composição, oxigenação e outras características da água do local. Como consequência, por exemplo, outras espécies da região começaram a extinguir-se ou começaram a mudar também. Visando fazer um relatório do acontecimento, os ecólogos chamaram biólogos de diferentes subáreas da biologia para auxiliá-los. Quais subáreas são minimamente necessárias para compreender o que aconteceu de uma perspectiva evolutiva?

- a) Zoologia, para classificar os moluscos que sofreram a mutação; Genética, para explicar o crescimento dos moluscos e as mudanças na forma das brânquias nos moluscos; e Evolução e Ecologia, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas.
- b) Genética, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos; Ecologia e Citologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies; e Zoologia e Botânica, para classificar os seres vivos da região e descobrir se existe uma nova espécie.
- c) Genética e Citologia, para explicar a origem da mutação que aconteceu nos moluscos e o seu desenvolvimento; Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções

de outras espécies; e Evolução, para explicar as razões de os moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias.

d) Genética e Biologia do Desenvolvimento, para explicar a relação entre a mutação e a mudança na forma das brânquias dos moluscos; Evolução, para explicar as razões de a nova forma das brânquias ter sido fixada nesta espécie de molusco e as novas mudanças evolutivas relacionadas com as mudanças ecológicas; e Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas e as extinções de espécies.

e) Ecologia, para explicar a ruptura e reconstrução das relações ecológicas; Biologia do Desenvolvimento, para explicar o crescimento e as mudanças genéticas nos moluscos; e Evolução, para explicar as razões dos moluscos precisarem adquirir a mutação nas brânquias e a extinção de espécies na região.

15 - Um estudante foi a um museu de história natural. Ficou impressionado com os fósseis de dinossauros e da fauna de mamíferos gigantes. Em um mural, ele leu que, logo após a extinção de muitos dinossauros e outros répteis gigantes, houve uma rápida evolução e diversificação dos mamíferos. Mas o que deixou o estudante mais intrigado foi que o mesmo mural também dizia que o que é sabido deste evento só se tornou possível pelo esforço conjunto de vários especialistas, além de biólogos. Como outros especialistas poderiam ajudar a entender um evento evolutivo, ainda que não sejam biólogos?

a) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita não apenas do conhecimento sobre a biologia dos organismos, mas sobre as características ambientais e como mudanças do ambiente influenciaram os organismos. Neste sentido, conhecimentos de várias especialidades da geologia e da paleontologia (que por sua vez precisam da química, física, geografia, oceanografia, climatologia, entre outras) são importantíssimos.

b) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita principalmente do conhecimento da biologia, mas o conhecimento de outras ciências tem pouca importância. De modo geral, as outras ciências fornecem apenas dados que oferecem detalhes que podem ser interessantes para complementar o que é descoberto pela biologia e caracterizar as mudanças graduais do ambiente.

c) Compreender um evento macroevolutivo como este necessita apenas do conhecimento sobre os fósseis, mas conhecimentos de outras subáreas da biologia podem complementar. Neste sentido, conhecimentos da ecologia, da embriologia, da genética, da citologia e da sistemática dão respaldo ao que já é possível inferir por meio dos fósseis.

d) Neste tipo de evento evolutivo, que acontecem em grandes períodos de tempo e aconteceram em um passado remoto, as maiores contribuições não são da biologia, mas de outras ciências, como a paleontologia e a geologia. Os biólogos não conseguem fazer muitas inferências evolutivas com populações que não estão vivas por falta de dados genéticos.

e) É pouco provável que outros especialistas consigam auxiliar neste tipo de evento evolutivo, uma vez que os conceitos da biologia evolutiva são bastante complicados e raramente aqueles que não são biólogos conseguem compreender a dinâmica evolutiva sem fazer interpretações equivocadas.

GABARITO

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resp.:	a	c	a	d	d	e	d	a	d	e	d	e	d	d	a

APÊNDICE V – Protocolo de entrevista com o professor

Protocolo de entrevista com o professor

1. Primeiramente, pergunto como descreveria seus alunos e a ele mesmo como professor.
2. Sugiro que comente sobre as impressões gerais quanto a sequência didática após sua aplicação; pontos positivos e negativos; relação com estudantes, maiores dificuldades...
3. Em seguida, peço que fale quais conteúdos foram os mais difíceis para serem ensinados.
4. Alguns destes conteúdos são completamente novos para o ensino de evolução tradicional. O que você acha da transposição destes conteúdos para a sala de aula?
5. Pergunto se a captação das concepções prévias (através de questionários e debates) foi útil para repensar as aulas, especialmente quanto ao evento macroevolutivo.
6. Você considera que as aulas/atividades sobre tempo geológico e filogenia foram essenciais?
7. Você considera que a relação entre micro e macro evolução foi trabalhada de uma boa maneira?
8. Pergunto qual parte da sequência didática foi mais interessante, atraente e motivante; E quanto à narrativa do evento macroevolutivo?
9. Existiram fatores externos (questões curriculares, cronograma geral, responsabilidades administrativas e pedagógicas, relação com outros professores...) que vieram a se tornar um problema ou solução para o que se desenvolveu em sala de aula?
10. O que muda sobre sua experiência quanto ao ensino de evolução? O que foi relevante para sua própria atuação como professor?
11. Sugeriria os princípios da sequência didática para outros professores?
12. Pergunto o que poderia ser feito para melhorar a sequência didática. O que acha que faltou ou se houveram exageros?

APÊNDICE VI – Protocolo de entrevista com os estudantes

Protocolo de entrevista com os estudantes

1. Primeiramente, sugiro que comentem sobre as impressões gerais quanto a sequência didática realizada e as atividades realizadas; pontos positivos e negativos.
2. Em seguida, peço que falem quais conteúdos/tópicos foram os mais difíceis para serem aprendidos, especialmente aqueles que, em razão da dificuldade, não puderem ser aprendidos.
3. Solicito que eles comparem as concepções sobre o tema “evolução” deles antes e depois da aplicação da sequência didática; Importância do tema, compreensão do conteúdo, visão de mundo, concepção de ciência, relação com professor, preocupações...
4. Pergunto qual parte da sequência didática foi mais interessante, atraente e motivante; E quanto à narrativa do evento macroevolutivo (a explosão do cambriano)?
5. Pergunto sobre a relevância sobre as atividades sobre tempo geológico para entender a evolução biológica. Dificuldades para compreender a dimensão do tempo profundo?
6. Adaptação da Questão 2 do questionário 4 (sem alternativas)
7. Pergunto sobre a importância de entender filogenia (ancestralidade comum e o parentesco dos seres vivos) para entender evolução?
8. Adaptação da Questão 4 do questionário 4. (mantendo alternativas)
9. Pergunto sobre a origem das adaptações e das características dos organismos. E como elas evoluem ao longo do tempo.
10. Pergunto o que eles acham que quer dizer pluralidade de processos e padrões na evolução? Exemplo?
11. Peço que fale sobre os processos evolutivos que recordam e que descrevam brevemente como funcionam. Exemplos?
12. Adaptação da Questão 5 do questionário 4 (sem alternativas)
13. Adaptação da Questão 6 do questionário 4 (sem alternativas)
14. Adaptação da Questão 7 do questionário 4 (sem alternativas)
15. Adaptação da Questão 8 do questionário 4 (sem alternativas)
16. Qual a relação entre micro- e macroevolução? Essa divisão é importante?
17. Pergunto se eles acham que a evolução integra os conhecimentos da biologia. Como? Exemplo? Relação entre evolução X genética X citologia X embriologia X ecologia?
18. Pergunto se a evolução tem um potencial interdisciplinar. Exemplo?
19. Pergunto o que poderia ser feito para melhorar a sequência didática.