

COMO SELECIONAR CONTEÚDOS DE BIOLOGIA PARA O ENSINO MÉDIO?

HOW TO SELECT THE CONTENTS FOR BIOLOGY IN SECONDARY SCHOOL?

Ítalo Nascimento Carvalho*
Nei Freitas Nunes-Neto**
Charbel N. El-Hani***

Resumo

Neste trabalho, discutimos uma possível solução para o problema do excesso de conteúdos de biologia e da forma fragmentada como os mesmos são abordados nos currículos do ensino médio. A grande quantidade de conteúdos contribui para que os estudantes apenas os memorizem por algum tempo, de modo mecânico, até que precisem utilizá-los em alguma avaliação, sem aprendê-los de forma substancial e significativa. A proposta discutida nesse trabalho é de que haja uma redução da quantidade de conteúdos no ensino de biologia, o que requer, naturalmente, que sejam propostos critérios não arbitrários para a seleção de conteúdos a serem preservados e eliminados. Um dos critérios possíveis é o de que sejam priorizados conteúdos que apresentem papel estruturante no conhecimento biológico, levando-se em conta, de um lado, uma moldura teórica hierárquica e, de outro, a distinção de dois campos nas ciências biológicas, a biologia evolutiva e a biologia funcional.

Palavras-chave: Ensino de Biologia. Currículo. Teoria das Hierarquias. Biologia Evolutiva. Biologia Funcional.

Abstract

In this work, we discuss a possible solution to the problem of the excess of contents in biology teaching and the fragmented manner in which they are addressed in high school curricula. The large amount of contents makes the students just learn them by rote for some time, in a mechanical way, until they need them for some evaluation, instead of learning them in a substantial and meaningful manner. The proposal discussed in this work is that the amount of contents in biology teaching be reduced, what naturally demands that one proposes criteria for selecting the contents to be preserved and eliminated. A possible criterion is that we prioritize contents that play a structuring role in biological knowledge, taking into account, on the one hand, a hierarchical theoretical framework, and, on the other, the distinction between two fields in the life sciences: evolutionary biology and functional biology.

Keywords: Biological Education. Curriculum. Hierarchy Theory. Evolutionary Biology. Functional Biology.

* Professor do Laboratório de Ensino, Filosofia e História das Ciências (LEFHIBio), Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia.

** Professor do Laboratório de Ensino, Filosofia e História das Ciências (LEFHIBio), Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia.

*** Professor do Laboratório de Ensino, Filosofia e História das Ciências (LEFHIBio), Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia.

1. Introdução

No final do século XIX, Ernst Mach apontou com precisão um problema crucial do ensino de ciências: “Como pode a mente florescer quando os assuntos são empilhados uns sobre os outros, e novos assuntos empilhados sobre assuntos velhos, mal digeridos.” (MACH, 1895[1986], p. 368, *apud* MATTHEWS, 1994, p. 34). Como comenta Matthews (1994, p. 34), “um texto escolar típico de 300 a 350 páginas pode conter de 2.400 a 3.000 novos termos. Isso se traduz em vinte novos conceitos por lição, ou um a cada dois minutos”. Desse modo, no ensino de ciências, os estudantes aprendem mais termos técnicos em um ano de estudo do que as palavras necessárias para aprenderem a falar uma língua estrangeira (ver MATTHEWS, 1994, p. 34). Esta grande quantidade de conteúdos contribui para que eles apenas os memorizem por algum tempo, de modo mecânico, até que precisem utilizá-los em alguma avaliação, sem aprendê-los de forma substancial e significativa. Mais de um século se passou desde que Mach apontou este problema, mas basta conversarmos com qualquer educador científico ou pesquisador da área de ensino de ciências para percebermos que o problema do excesso de conteúdos permanece.

No ensino de biologia, outro problema a ser enfrentado, além da quantidade exagerada de conteúdo, reside na forma fragmentada como o conhecimento biológico é abordado nos livros didáticos e, em geral, também na sala de aula. A divisão em áreas disciplinares, como Zoologia, Botânica e Ecologia, sem que sejam devidamente trabalhadas as relações entre elas, não permite que os estudantes percebam o mundo vivo de forma integrada, o que os leva a encarar a disciplina como não passando de um exercício de memorização de uma grande quantidade de palavras difíceis (MEGLHIORATTI *et al.*, 2009). Certamente, isso mina não somente a compreensão que os estudantes poderiam adquirir sobre o mundo vivo, mas também seu interesse pelas ciências biológicas. Tendo em vista a relevância do conhecimento biológico nas atuais relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS), podemos perceber, nesse quadro, potenciais prejuízos para uma educação para a cidadania responsável, que entendemos ser um dos principais objetivos do ensino médio.¹

Não é possível ensinar aos estudantes tanto conteúdo de forma pouco estruturada e em tão pouco tempo, e, ainda, esperar que eles construam uma compreensão do mundo vivo que seja significativa, estruturada, e poderosa em termos heurísticos e explicativos. É necessário, pois, reduzir o

¹ Por educação para a cidadania responsável, entendemos uma educação que seja capaz de promover o desenvolvimento de indivíduos capazes de ação coletiva, bem como de participar da tomada de decisões relevantes que nos atingem a todos, utilizando conhecimento autêntico sobre as situações em questão e mostrando um compromisso com o entendimento e a análise crítica dos problemas sócio-ecológicos envolvidos (Zancan, 2000; Muñoz & El-Hani, no prelo). Eles devem ser, ademais, capazes de tomar decisões socialmente responsáveis (Zoller, 1993; Santos & Mortimer, 2001), i.e., engajar-se na tomada de decisão com consciência de seu papel social, buscando uma melhor qualidade de vida em termos coletivos, de maneira cooperativa e corresponsável, em vez de tomar como base apenas razões individualistas.

conteúdo de biologia no ensino médio. Em outras palavras, precisamos almejar objetivos que sejam, ao mesmo tempo, mais modestos, em relação à quantidade de conteúdos, mas potencialmente mais poderosos, no que tange à construção, pelos estudantes, de uma compreensão do mundo vivo que possa informar sua ação e tomada de decisão cotidianas. Como sugeriu o próprio Mach, deve-se ensinar menos para que os estudantes aprendam mais, e melhor (1895[1986], *apud* MATTHEWS, 1994).

Pode-se dizer que as afirmações de que (i) o conteúdo de biologia do ensino médio é excessivo, até mesmo enciclopédico, e que, portanto (ii) ele deve ser significativamente reduzido, são relativamente triviais. Estes não são, portanto, os principais aspectos enfocados neste artigo. O ponto de contenda, e que será nosso foco central aqui, é o que se segue: *como reduzir o conteúdo de biologia do ensino médio de maneira satisfatória, ou seja, que não prejudique a aprendizagem e formação dos estudantes, tendo em vista a proposta de uma educação para a cidadania responsável?* Se concordarmos que é necessária uma redução do número de conteúdos no ensino de biologia, precisaremos, naturalmente, de critérios não arbitrários para selecionar, dentro do conhecimento biológico que tem sido apresentado aos estudantes, os conteúdos a serem preservados e eliminados.

Uma proposta interessante, que pretendemos colocar em discussão com este artigo, foi feita pelo pesquisador espanhol Raul Gagliardi (1986), que defende a importância dos *conceitos estruturantes* para a aprendizagem bem sucedida.² Partindo de uma perspectiva construtivista, ele propõe que a construção de tais conceitos por parte do indivíduo modifica seu sistema cognitivo, tornando-o capaz de adquirir novos conhecimentos de modo mais eficiente e, mais do que isso, transformando os conhecimentos adquiridos anteriormente. Segundo o autor, essa concepção é embasada, principalmente, em duas teorias. A primeira é a dos sistemas hierárquicos de restrições múltiplas, de Howard Pattee (1973), que, aplicada ao campo cognitivo, permite conceber os conceitos não como entidades possuidoras de significado isoladamente, mas como integradas em redes, sendo o jogo de interações mútuas entre os elementos dessas redes o que lhes confere significado. A segunda teoria, proposta por Maturana e Varela (1980), é a dos sistemas autopoieticos. Esses sistemas, ao se organizarem como uma rede de processos de produção, transformação e destruição de componentes, produzem concomitantemente a si mesmos e à própria rede, e, logo, às condições que possibilitam seu funcionamento. A partir dessa visão, podemos inferir – seguindo a Gagliardi – duas propriedades dos sistemas cognitivos com importantes implicações para a pedagogia: (1) o sistema cognitivo está em constante funcionamento, mantendo incessantemente sua dinâmica, e (2) as estruturas cognitivas consistem em redes de interação de conceitos, a partir das quais estes adquirem significado.

² Gagliardi utiliza em seu trabalho a expressão da língua espanhola “conceptos estructurales”. Neste trabalho, usamos a expressão “conceito estruturante” como tradução para o português, por considerarmos que ela captura melhor o papel de tais conceitos, de acordo com o significado atribuído a eles por este autor.

Ao ser exposto a um novo conceito, o estudante o interpretaria, então, com base em suas experiências anteriores, que teriam moldado seu sistema de significação. Ao modificar esse sistema, através da construção de um conceito estruturante, é possível que o estudante aprenda coisas que antes ignorava ou às quais atribuía outros significados. Dessa maneira, Gagliardi defende que, ao demarcar os conceitos estruturantes de uma ciência, podemos estabelecer objetivos primordiais a serem almejados em seu ensino. Afinal, estes são conceitos que podem levar os estudantes a uma transformação cognitiva que fornece bases para sua aprendizagem futura, bem como para a ressignificação do que já aprendeu, uma vez que o que ele aprendeu e o que ele está aprendendo passam a formar uma estrutura coerente, organizada em torno dos conceitos estruturantes, em vez de ser apenas um amálgama de idéias memorizadas que, aparentemente, não possuem muito sentido.

Em consonância com as idéias de Gagliardi, Scheiner (2010) ressalta que existe uma forte tendência de que a biologia seja ensinada apresentando-se aos estudantes longas listas de fatos e esperando-se que, a partir disso, eles deduzam generalizações. Isso se contrapõe ao que se observa no ensino de outras ciências naturais, que em geral se inicia com teorias para depois tratar de fatos particulares, sendo que essa estratégia ajuda os estudantes a manterem em mente o que exatamente eles precisam aprender. Esta é uma estratégia que, se adotada no ensino de ciências biológicas, poderia facilitar a compreensão, pelos estudantes, de como diversas áreas destas ciências se relacionam entre si.

Scheiner propõe uma moldura conceitual para a biologia, a partir da qual se pode, como recomendado por Gagliardi, identificar os principais conceitos estruturantes dessa ciência. Scheiner propõe uma “teoria da biologia”, cujo domínio e objetos de explicação são a diversidade e a complexidade dos sistemas vivos, incluindo suas causas e conseqüências. Ele identifica, ainda, cinco (sub-)teorias gerais subordinadas à teoria da biologia, que expandem seu domínio (teoria celular, teoria dos organismos, genética, ecologia e teoria evolutiva). Para ele, essas teorias podem ser organizadas como “molduras hierárquicas que conectam princípios gerais abrangentes a modelos altamente específicos” (SCHEINER, 2010, p. 296). Nessa concepção, uma teoria é composta por três níveis principais (SCHEINER & WILLIG, 2008; SCHEINER, 2010): uma teoria geral, que diz respeito a um domínio inteiro da ciência e é composta por um conjunto de princípios fundamentais, usados para a construção de teorias constituintes; teorias constituintes, incluídas na teoria geral, por serem derivadas a partir de seus princípios, e, ao mesmo tempo, contendo pressupostos (na forma de parâmetros, condições de contorno etc.) para a construção de modelos³; e modelos, no nível dos quais previsões são formalizadas, testes empíricos rigorosos podem ser realizados, e a compreensão causal é alcançada. Neste esquema formal, teorias gerais e constituintes só podem ser testadas através de modelos, o que

³ Teorias constituintes podem ser (i) famílias de modelos que explicam uma classe única de fenômenos, ou (ii) um único modelo que explica largo espectro de fenômenos.

mostra, de modo interessante, como a ciência depende tanto de consistência teórica quanto de consistência empírica: na medida em que a consistência empírica só pode ser estabelecida ao nível dos modelos, para que teorias gerais e constituintes sejam testadas, modelos devem seguir de modo consistente das teorias que os incluem.

Uma vez que conceitos que figuram nos níveis mais baixos dessa hierarquia teórica são mais específicos e só podem exercer um papel estruturante em campos específicos da biologia, é nos níveis mais superiores – i.e., na teoria da biologia e nas teorias gerais que a constituem – que deverão estar os conceitos cuja apropriação pelos estudantes pode ter maiores conseqüências para sua aprendizagem, potencializando sua capacidade de construir uma compreensão significativa e, assim, apropriar-se de conhecimentos situados nos níveis mais inferiores, i.e., nas teorias constituintes e nos modelos.

Ao analisarmos os princípios listados pelo autor para cada uma das cinco teorias gerais da biologia (ver Anexo 1), podemos perceber que alguns deles são transversais e contribuem para o entendimento de mais de uma teoria, a exemplo do conceito de homeostase, explorado mais adiante e implicado em princípios considerados por Scheiner, como, por exemplo, o de que os sistemas vivos são sistemas abertos, fora do equilíbrio e persistentes, o que requer capacidade de mudança, ou de que as células interagem com o ambiente externo, trocando matéria e energia. Por sua vez, como era de se esperar, diversos princípios são específicos de suas respectivas teorias, como o princípio de que a prole se assemelha à geração parental, pertinente à genética. Além disso, alguns princípios têm maiores repercussões do que outros no que diz respeito ao entendimento das teorias gerais; por exemplo: a teoria dos organismos pode ser mais bem apreendida partindo do princípio de que os organismos mantêm sua integridade funcional e estrutural ativamente, enquanto o princípio de que organismos necessitam de fontes externas de matéria e energia seria relativamente trivial.

A partir de uma proposta como a de Scheiner, dados critérios como aqueles indicados no parágrafo anterior, podemos propor um conjunto de conceitos estruturantes, que poderiam contribuir para um ensino de biologia que capacitasse o estudante para aprender mais e de modo mais integrado sobre o mundo vivo, incluindo aspectos pertinentes ao exercício de uma cidadania responsável.

Porém, para identificar conceitos estruturantes da biologia, devemos também levar em conta que esta ciência se encontra em uma situação peculiar entre as ciências naturais. Embora possa ser entendida, em certo sentido, da perspectiva do projeto de uma ciência unificada, ela também é composta, no fundo, por dois campos de pesquisa distintos, cada um com seus próprios métodos, objetos de pesquisa e conceitos básicos, que, apesar das diferenças, se relacionam de maneira complementar. Assim, qualquer pessoa que deseje ter uma visão coerente do mundo vivo deve ter conhecimento e apreciação de ambos. Essa dualidade foi discutida independentemente por Ernst Mayr

(1988, 2004, 2005) e François Jacob ([1970]1983), e diz respeito, entre outras coisas, à escala temporal em que agem os processos biológicos: enquanto os processos ocorridos no tempo de vida de um organismo são estudados pela biologia funcional, nos termos de Mayr (ou biologia tomista ou reducionista, nos termos de Jacob), aqueles que compreendem um intervalo de tempo muito maior, de caráter filogenético, atravessando diversas gerações de populações de organismos, são estudados pela biologia evolutiva, nos termos de Mayr (ou biologia evolucionista ou integrista, nos termos de Jacob). Para que uma explicação biológica possa ser considerada completa, ela deve contemplar essas duas perspectivas.

À distinção entre biologia funcional e evolutiva, corresponde também uma distinção entre os tipos de causas que desempenham um papel nos dois campos de investigação, a saber, causas próximas e causas remotas (MAYR, 1988). A biologia funcional se ocupa das causas próximas dos fenômenos biológicos, abordando-as essencialmente através de métodos físicos e químicos. As causas próximas são os determinantes dos eventos biológicos que têm lugar na ontogenia, no tempo de vida dos organismos individuais (ou tempo somático), e estão geralmente associadas à fisiologia.⁴ A referência às causas próximas responde a questões com a forma básica “Como?”, a exemplo da seguinte questão: “Como funciona o sistema circulatório de um mamífero?”.

Por sua vez, as investigações em biologia evolutiva recorrem às causas remotas dos fenômenos biológicos. Neste campo, o organismo é sempre visto da perspectiva de sua integração em sistemas de organização mais inclusivos, como as linhagens e as populações. Desta perspectiva, as causas às quais recorreremos para explicar um evento atual dizem respeito a eventos que tiveram lugar na história evolutiva da linhagem à qual pertence o organismo, na sua filogenia. Como propõe Mayr (1988), as questões colocadas pela biologia evolutiva têm a forma básica “Por quê?” Diante da ambigüidade da expressão “Por quê?”, devemos ter ciência de que o biólogo evolutivo não tem em vista questões finalísticas da forma “Para quê?”. Quando ele pergunta ‘Por quê?’, tem sempre em mente uma questão histórica, da forma “Como surgiu?”. Uma pergunta legítima que solicita explicação no campo da biologia evolutiva seria, por exemplo: “Por que mamíferos têm corações?”.

Neste trabalho, buscaremos discutir possíveis conceitos estruturantes das ciências biológicas, que possam orientar a seleção de conteúdos para o ensino de biologia, levando em conta, de um lado, a

⁴ Em princípio, poderíamos pensar em também incluir, entre as causas próximas, outras causas que operam durante a vida de um organismo, como, por exemplo, as causas ecológicas, mas estas não parecem ajustar-se bem às distinções feitas por Mayr e Jacob, visto que também podem operar para além do tempo de vida de um organismo e demandam, como as causas remotas, que incluamos os organismos em sistemas mais amplos, como populações, comunidades, ecossistemas etc. As causas ecológicas parecem, em suma, situar-se num campo intermédio, entre as causas próximas e as causas remotas, e, além disso, entre a escala temporal menor da biologia funcional e a escala temporal maior da biologia evolutiva (num tempo ecológico, que não é nem o do organismo individual nem o tempo evolutivo). Poderíamos propor, assim, que a biologia talvez comporte três em vez de dois campos, somando uma biologia ecológica à biologia funcional e evolutiva. Não perseguiremos, contudo, esse assunto no presente artigo, uma vez que fundamentar adequadamente essa proposta nos desviaria de nosso tema central.

moldura teórica hierárquica proposta por Scheiner e, de outro, a distinção entre biologia evolutiva e biologia funcional, como encontramos em Jacob e Mayr. O artigo tem a seguinte estrutura: na próxima seção, apresentamos uma análise acerca da quantidade de conceitos presentes em livros didáticos de biologia do ensino médio publicados no Brasil, tendo como base as obras submetidas ao Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), do ano de 2007. Constataremos que, em média, os livros didáticos brasileiros trazem uma quantidade de conceitos comparável à estimativa feita por Matthews (ver acima). A terceira seção trata da distinção entre biologia evolutiva e biologia funcional, concluindo com o argumento de que, com base na distinção de Mayr e Jacob, devemos, no processo de seleção de conteúdos, privilegiar aqueles que levem os estudantes a pensar funcional e evolutivamente. Nas quarta e quinta seções, são sugeridos, respectivamente, conceitos das biologias evolutiva e funcional que podem ser considerados estruturantes, potencializando a capacidade dos estudantes de aprenderem sobre esses campos da biologia. Devemos ressaltar que, entre esses conceitos, além dos princípios gerais identificados por Scheiner, também encontraremos conceitos que não integram as cinco teorias gerais da biologia propostas por este autor (como os de “função” e “mecanismo”), mas que podem ser vistos, ainda assim, como ferramentas epistemológicas úteis para abordar estas teorias. Na última seção, apresentaremos algumas considerações finais.

2. Quanto se pretende ensinar? Uma análise de livros didáticos de biologia do ensino médio

Em 2004, foi implantado o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), que almeja à universalização da distribuição de livros didáticos para os alunos de ensino médio da rede pública, em todo o território nacional. Para a compra pelo Governo Federal dos livros didáticos a serem distribuídos, várias obras são inscritas por editoras e avaliadas pelo programa de acordo com diversos critérios, de caráter conceitual, pedagógico, ético etc.⁵. (EL-HANI, ROQUE & ROCHA, no prelo). No ano de 2008, o PNLEM já contava com uma adesão de 86% das 14.658 instituições de ensino médio então inscritas no censo escolar, tendo no Distrito Federal a maior taxa de adesão (100%) e no Amapá, a menor (47%)⁶ Em 2007, o PNLEM distribuiu 9,1 milhões de livros didáticos para 6,9 milhões de estudantes.⁷ Conseqüentemente, as editoras submetem ao PNLEM a maioria dos livros que publicam, de modo que possam ser comprados pelo programa governamental, caso aprovados, e escolhidos pelos professores. Esses aspectos mostram que os livros didáticos submetidos ao PNLEM constituem uma amostra representativa do universo de livros didáticos

⁵ Para maiores detalhes, ver http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12373&Itemid=585 Acesso em 27/11/2010.

⁶ Para maiores detalhes ver <http://www.fnde.gov.br/index.php/noticias-2008/736-divulgado-calendario-para-escolha-dos-livros-didaticos-do-ensino-medio> Acesso em 27/11/2010.

⁷ Para maiores detalhes, ver <http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=648&Itemid=666> Acesso em 18/03/2011.

publicados no Brasil e, assim, as obras de Biologia inscritas no programa são um bom indicador do modo como o conhecimento biológico tem sido apresentado aos estudantes de ensino médio em nosso país, sobretudo se considerarmos que os professores, via de regra, utilizam o conteúdo programático proposto nos livros didáticos como norteador de suas práticas pedagógicas. Buscamos, então, a partir de uma análise de 28 livros didáticos submetidos ao PNLEM (sendo 6 obras divididas em três volumes e 10 obras em volume único. Ver Anexo 2), estimar quantos conceitos científicos com relevância para o ensino de Biologia são expostos aos estudantes ao longo dos três anos do ensino médio.

Os capítulos de cada volume foram classificados de acordo com 12 áreas temáticas, tomando como base a divisão das Ciências Biológicas em disciplinas, com exceção dos capítulos introdutórios: Introdução à Biologia e origem da vida; Ecologia; Citologia; Embriologia e Histologia; Sistemática; Microbiologia e vírus; Fungos; Botânica; Zoologia; Fisiologia; Genética; e Evolução. Para cada área temática, foram sorteados, entre todos os livros, dois capítulos que a abordavam, obtendo-se uma amostra, portanto, de 24 capítulos. Após o sorteio, cada volume contribuiu para a análise com apenas um capítulo, o que implica, evidentemente, que nem todos os volumes que compunham o universo amostral foram incluídos na amostra de capítulos a serem analisados.

Foram contabilizados todos os conceitos científicos com possível relevância para o ensino de Ciências Biológicas, sendo que consideramos como conceitos quaisquer palavras ou expressões, com significados definidos, que atendessem às seguintes condições⁸:

1. Pertencer ao vocabulário científico, com ao menos um significado científico claramente discernível, embora possa estar presente também na linguagem comum (como “extinção”, “caule” e “órgão”)
2. Possuir algum grau de generalidade, ou seja, referir-se a uma classe ou um grupo de entidades, e não a entidades particulares, visto que a ciência comporta um conhecimento do geral ou do universal e não apenas do particular. As entidades em questão podem ser concretas (como “estruturas anatômicas”) ou conceituais (como “clados”). É válido ressaltar que o grau de generalidade pode ser variável entre conceitos diferentes, como ocorre, por exemplo, entre “flor”, que designa um conjunto de verticilos florais que desempenham uma função reprodutiva nas angiospermas, e “célula”, que se refere a uma entidade considerada a unidade estrutural e funcional dos seres vivos (celulares), possuindo, assim, maior generalidade

⁸ Estamos entendendo um conceito, pois, como uma palavra com um dado significado, sendo este significado construído socialmente, a partir de acordos que se dão na constituição das linguagens, bem como dependente do contexto em que a palavra está sendo usada, de modo que sua dimensão semântica se torna indissociável de sua dimensão pragmática. Note-se que, desta perspectiva, tomar o significado, como por vezes é feito na linguagem comum, como sendo o conceito, parece uma simplificação aceitável, mas não parece igualmente aceitável identificar conceitos com palavras, uma vez que estas últimas podem, certamente, ter significados variados, e por vezes incompatíveis, em diferentes contextos. Assim, as mesmas palavras podem dizer respeito a diferentes conceitos. Ao contabilizar os conceitos, estivemos, pois, focados na palavra ou expressão e em seu significado, num dado contexto, e não somente na ocorrência de palavras ou expressões em si mesmas.

do que o conceito de “flor”. Isso fica claro, inclusive, quando consideramos que, para explicar o que é uma flor, podemos apelar ao conceito de célula, sendo evidente que estaremos, então, falando não de células em toda a generalidade dos referentes do termo, mas de certos tipos de células, presentes na flor.

Contudo, alguns termos e expressões, que em princípio não atendiam a ambos os critérios mencionados acima, nos pareceram, numa análise mais atenta, relevantes para a aprendizagem de Biologia, tendo sido, em decorrência disso, incluídos na contabilização de conceitos abordados pelos livros. Estes termos e expressões caem nas seguintes classes: nomes de doenças; nomes de substâncias; e denominações de áreas do conhecimento, quando relacionadas a um conjunto de práticas (como “demografia” e “biorremediação”).

Foram excluídos da contagem os nomes de espécies e outros táxons menos abrangentes (como gêneros, famílias etc.), enquanto táxons superiores, por sua vez, foram incluídos, por serem utilizados inclusive para determinar a divisão dos conteúdos em capítulos, tendo grande impacto sobre o ensino (mesmo quando não são monofiléticos, não constituindo, pois, grupos taxonomicamente válidos, à luz do conhecimento biológico corrente, a exemplo de “peixes” e reptéis”). Casos de sinonímia também não foram incluídos, desde que tivéssemos clareza de que os termos e as expressões em questão não se referiam a diferentes conceitos, por terem significados diferentes. Isso foi feito porque o objetivo era estimar o número de conceitos, não a extensão do vocabulário apresentado.

Conceitos pertencentes a outras áreas de conhecimento também foram incluídos quando desempenhavam um papel importante nas Ciências Biológicas e caso atendessem aos dois critérios supracitados. Incluem-se aqui conceitos da Química (como “molécula” e “oxidação”), da Geologia (“éon”, “era”), entre outros.

Após a contagem dos conceitos, foi calculada a média do número de conceitos encontrados para cada área temática. Também foi calculada a média de capítulos por volume para cada área temática. Esses dois números foram então multiplicados para chegarmos a uma estimativa do número médio de conceitos por área temática. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Número de conceitos estimados por área temática nos livros didáticos de Biologia do ensino médio investigados.

Área temática	Média de conceitos entre os capítulos	Média de capítulos por área temática	Estimativa do número médio de conceitos
Introdução à biologia/Origem da vida	67	0,79	52,64
Ecologia	105,5	3,50	369,25
Citologia	71,5	4,36	311,54
Embriologia/Histologia	70	2,82	197,50

Sistemática	118,5	0,46	55,02
Microbiologia/Vírus	226,5	1,61	364,02
Fungos	62,5	0,46	29,02
Botânica	107,5	2,43	261,07
Zoologia	149	3,14	468,29
Fisiologia	168	3,64	612,00
Genética	87	4,07	354,21
Evolução	116,5	1,86	216,36
Total	-	29,14	3.290,91

Desse modo, chegamos a uma estimativa de 3.290,91 conceitos apresentados aos estudantes pelos livros didáticos investigados, em três anos de ensino. Este é um número comparável àquele mencionado por Matthews, embora alcançado no presente estudo de modo empírico e sistemático. Ele deixa claro o excesso de conteúdos no ensino médio de Biologia.

Explorando mais esses resultados, podemos ver diferenças relevantes entre as áreas. Enquanto áreas como a Fisiologia e a Zoologia contribuem com o maior número de conceitos (612 e 468,29, respectivamente), áreas como Evolução e Sistemática trazem relativamente menos conceitos (216,36 e 55,02, respectivamente). Esta menor quantidade de conceitos é compatível com a quantidade mais reduzida de capítulos, em média, que abordam estes dois campos (1,86 capítulo, no caso da Evolução, e 0,46, na Sistemática). Mesmo se somarmos a quantidade média de conceitos destas duas áreas (271,38), não chegaremos à quantidade encontrada em áreas como a Citologia (311,54), a Genética (354,21), a Microbiologia (364,02) e a Ecologia (369,25). O caso da Ecologia trouxe o resultado que mais nos surpreendeu, visto que não esperávamos que ela superasse a Citologia, por exemplo.

Esses achados reforçam a impressão de que os conteúdos de Evolução não recebem, no ensino médio, uma atenção condizente com sua importância e seu papel central nas Ciências Biológicas (ver MEYER & EL-HANI, 2005). Isso sugere que, além da redução da quantidade de conteúdos no ensino médio de Biologia, é necessária uma reestruturação do conteúdo ensinado, de maneira que idéias que têm papel central no conhecimento biológico, como as evolutivas, venham a ter um papel de fato estruturante no ensino e na aprendizagem, potencializando a construção, pelos estudantes, de uma visão integrada do mundo vivo. Isso nos traz de volta ao problema de propor critérios não arbitrários para a seleção de conteúdos para o ensino médio de Biologia, bem como para sua estruturação.

3. A distinção entre biologia evolutiva e biologia funcional: um ponto de partida para a seleção de conteúdos no ensino de biologia

É comum, durante uma aula de biologia típica, que os estudantes concentrem sua atenção em perguntas a respeito da forma e do funcionamento de estruturas vivas. Por exemplo, quando se aborda

os problemas de saúde causados por helmintos e se expõe o ciclo de vida do parasito *Ascaris lumbricoides*, pode-se esperar que a maioria das questões tenha as seguintes formas: “Como o animal consegue resistir aos líquidos do tubo digestório?”; “Que células do hospedeiro reagem ao parasito?”. Ocasionalmente, porém, surgem questões de natureza diferente das anteriores, como, por exemplo: “Se os *Ascaris lumbricoides* só eclodem dos ovos dentro do tubo digestório de um ser humano, antes de os humanos existirem, poderiam existir tais vermes?” Pode-se observar que esse tipo de pergunta se diferencia das anteriores, porque, enquanto as primeiras podem ser respondidas com base numa análise de modelos de mecanismos biológicos, que se refiram à estrutura e ao funcionamento de moléculas, células e órgãos, a última invoca um tipo de análise histórica da relação entre a espécie do parasito e a espécie hospedeira.

Estes dois tipos de questões que podem ser elaboradas em biologia não estão presentes apenas no universo escolar, mas também na própria prática científica neste campo do conhecimento. Como discutido acima, há um dualismo de tradições de pesquisas na história da biologia, como propuseram Ernst Mayr e François Jacob. Para Mayr, que propôs a distinção inicialmente no seu artigo *Cause and effect in biology*, em 1961 (reimpresso em MAYR, 1988), mas aprofundou sua compreensão numa série de trabalhos posteriores, a biologia não é uma ciência uniforme, homogênea, mas divide-se em duas: biologia evolutiva e biologia funcional. Jacob sustenta a mesma tese, ainda que use expressões distintas: biologia tomista ou reducionista, de um lado, e biologia integrista ou evolucionista, de outro. Neste trabalho, consideraremos apenas as idéias de Mayr em maiores detalhes, por ele as ter desenvolvido com mais profundidade. Contudo, não se deve perder de vista que Jacob defendeu uma posição que é, em termos gerais, muito similar.

Mayr considerava a dimensão funcional como parte de uma biologia mecanicista, focada nas atividades realizadas pelos seres vivos, incluindo os processos genômicos, o metabolismo energético, a interação celular, a ação dos órgãos etc. (MAYR, 2005).⁹ Para Mayr, a biologia funcional tem como perguntas mais características questões que se iniciam com o pronome interrogativo “Como”; por exemplo: “Como ocorre a respiração celular?”; “Como a clorofila atua na fotossíntese?”; “Como um eosinófilo interage com um *Ascaris*?” O tipo de explicação produzido por essa dimensão da biologia possibilita o entendimento da constituição individual do organismo e de seu funcionamento. Quanto ao tipo de causalidade, pode-se considerar a biologia funcional como uma biologia das causas próximas, como tratamos acima. Uma vez que os eventos que causaram o fenômeno de interesse ocorreram recentemente, podendo ser percebidos pelo pesquisador, essa dimensão possui aspectos metodológicos

⁹ Mayr acreditava que esses processos poderiam ser explicados de forma mecanicista, invocando apenas conceitos da física e da química. Essa visão reducionista não leva em conta que, em processos como a expressão gênica, por exemplo, uma base puramente físico-química não é suficiente para termos uma explicação, sendo também necessário o conhecimento da ação regulatória de fenômenos em níveis superiores àquele em que se encontram os genes, por exemplo, ao nível dos organismos.

próprios, que permitem abordagens experimentais (MAYR, 2005, 2008; CAPONI, 2001, 2002, 2007). O experimento pode ser realizado e repetido inúmeras vezes, sendo possível isolar as variáveis e verificar como o sistema se comporta em cada caso, na medida em que os eventos que causam o fenômeno ocorrem em um intervalo de tempo compatível com a duração do experimento. Como resultado desse investimento de pesquisa, temos explicações guiadas por um princípio de adequação autopoiética, as chamadas explicações funcionais, que podem ser elaboradas na forma de modelos de mecanismos (ver Seção 5).

Diversas áreas da biologia seguiram uma tradição de pesquisa focada na dimensão funcional, como pode ser percebido, por exemplo, na história da fisiologia e da biologia molecular. Boa parte dos avanços da genômica também são produtos dessa biologia das causas próximas. Desenvolvimentos na biologia funcional podem ser revisitados em sala de aula na abordagem de episódios como os que levaram à descoberta dos vírus como agentes patogênicos, desde a experiência de Adolf Mayer com macerados de plantas atingidas pelo mosaico do tabaco até os experimentos de Dimitri Ivanowsky, Martinus Beijerinck e Wendel Stanley (FIELDS et al., 2001), de maneira a responder questões do tipo “como ocorre a transmissão do mosaico do tabaco, se não por meio de bactérias?” Dadas questões dessa natureza, foi possível utilizar técnicas experimentais que permitiram a obtenção de dados sobre fenômenos que estavam acontecendo numa escala temporal próxima ou até no mesmo momento em que eram pesquisados. Esta dimensão temporal da pesquisa, associada à escala temporal da causação envolvida no fenômeno, pode ser salientada em sala de aula.

O outro ramo da biologia proposto por Mayr é a biologia evolutiva, de caráter histórico, que lida com questões em que a evolução biológica é a chave para a elaboração de uma explicação. Este domínio da biologia responde, principalmente, a questões da forma “Por quê?”; por exemplo: “Por que a primeira fase da respiração celular é igual ao início da fermentação?”; “Por que as cadeias de citocromos aparecem tanto na respiração quanto na fotossíntese?”; “Por que os *Ascaris lumbricoides* podiam existir antes do surgimento dos seres humanos?” O tipo de explicação produzido por este domínio permite refletir sobre a história evolutiva de uma linhagem de organismos ou de uma determinada característica de um organismo, o que lança luz sobre as possibilidades e limitações no funcionamento de diversas estruturas biológicas. Ao buscar as causas para um fenômeno nesse domínio, deve-se invocar uma história evolutiva, que se desenrola em uma escala de tempo na qual estão em jogo de milhares a milhões, e até bilhões de anos – ou seja, a explicação se desenrola na escala do tempo evolutivo. Essa biologia das causas remotas não se presta, em geral, às abordagens experimentais – embora estas sejam possíveis ao se tratar de mecanismos evolutivos –, valendo-se de métodos comparativos e inferências históricas para reconstituir os eventos evolutivos. Além disso, dada

a natureza da explicação darwinista da evolução, largamente aceita até os dias de hoje, as explicações na biologia evolutiva não enfocam organismos isolados, mas populações de organismos.

Estas explicações são, pois, narrativas que abordam como os processos evolutivos atuaram nas populações (MAYR, 2005, 2008; CAPONI, 2001, 2002). O significado dado à evolução em tais explicações é aquele adotado pela biologia atual, na qual se compreende a evolução como um processo variacional, que envolve mudanças na distribuição de características em populações, com eventual fixação de características e participação importante, ainda que não exclusiva, da seleção natural. Este modo de compreensão demanda, em geral, a superação de visões da evolução como processo transformacional, que envolveria mudanças em características de organismos individuais e teria uma direção preferencial de mudança. Entre os diversos elementos que diferenciam a teoria da evolução de Darwin das visões de naturalistas anteriores, como Buffon e Cuvier, temos como um aspecto central a percepção de que não é possível explicar pela biologia das causas próximas a diversificação e as adaptações dos seres vivos. Enquanto a maioria dos naturalistas de sua época buscava a explicação para tais fenômenos nas condições climáticas e do solo atuando sobre indivíduos, Darwin apelou para causas remotas atuando nas populações (CAPONI, 2002).

A idéia de que a biologia abriga duas tradições de pesquisa distintas, mesmo que interdependentes, tem conseqüências para o ensino. Se os fenômenos biológicos podem ser investigados e analisados de duas perspectivas diferentes, são incompletas as abordagens escolares que se detiverem apenas na perspectiva funcional, ou apenas na perspectiva evolutiva. Tendo em vista a atenção relativamente limitada dada à evolução no ensino médio e, muitas vezes, mesmo no ensino superior, a incompletude da explicação funcional é muito mais comum no ensino de biologia. Trabalhar a pergunta “como funciona o sistema de endomembranas de uma célula”, por exemplo, trará a possibilidade de analisar os modelos de mecanismos propostos pela biologia celular; porém, esta análise necessita ser complementada com a discussão de questões do tipo: “Por que todos os elementos do complexo de endomembranas são lipoprotéicos?” Isso permitirá abordar a história evolutiva da célula eucariótica e compreender a origem e estruturação desse tipo celular.

Para considerar outro exemplo, vários cursos escolares de biologia descrevem a estrutura do ovo de répteis e aves, analisando o funcionamento de estruturas como âmnio, cório e alantóide. Essas explicações funcionais não são suficientes para que o estudante compreenda o assunto, levando-o muitas vezes a recorrer à memorização dos conteúdos, em particular, de um excesso de vocabulário técnico, que tipicamente caracteriza o ensino de biologia. Porém, uma análise evolutiva da conquista do meio terrestre pelos tetrápodes e a comparação dos ovos desses animais com os de demais grupos vertebrados poderiam dar significado à presença das estruturas encontradas nestes ovos.

É importante que autores de livros didáticos, professores, proponentes de currículos etc. percebam, então, que não se trata de tomar partido de uma dimensão da biologia e abandonar a outra. Para que o estudante possa compreender o mundo vivo e, mais ainda, para que possa entendê-lo de modo integrado, ele necessita das duas dimensões, da biologia evolutiva e da biologia funcional. Isso delimita, então, nossa busca de uma proposta de conceitos estruturantes da biologia, na medida em que precisamos encontrá-los tanto na biologia funcional quanto na biologia evolutiva, discutindo como eles podem contribuir para o ensino médio de biologia e como podem ser relacionados.

4. Pensar evolutivamente

Vale a pena nos perguntarmos por que o pensamento evolutivo tem papel central no conhecimento biológico e, por extensão, o ensino de evolução deveria ter papel mais estruturador no ensino de biologia. Uma resposta capaz de justificar tal papel põe em destaque a relação entre o surgimento da Biologia como uma ciência autônoma e com objeto de estudo bem definido, no final do século XVIII e começo do século XIX, e a construção de uma compreensão da vida como fenômeno unificado. Embora possa parecer surpreendente, o fenômeno da ‘vida’ apareceu como um problema para a ciência somente no fim do século XVIII. Anteriormente, os naturalistas não estudavam a ‘vida’ como um fenômeno único, mas somente seres vivos, que eram estudados de maneira separada por diferentes ramos do conhecimento, a medicina (incluindo divisões como a anatomia e a fisiologia), a zoologia, a botânica, a horticultura etc. Assim, não podíamos, naquela época, falar em biologia, na medida em que esta é uma ciência que estuda a vida como um fenômeno único, e não seres vivos em separado. Como escreveu Michel Foucault ([1966]1987, p. 175-176),

... até o fim do século XVIII, a vida não existe. Apenas existem seres vivos. Estes formam uma, ou antes, várias classes na série de todas as coisas do mundo: e se se pode falar da vida, é somente como de um caráter [...] na universal distribuição dos seres. Tem-se o hábito de repartir as coisas da natureza em três classes: os minerais, aos quais se reconhece o crescimento, mas sem movimento nem sensibilidade; os vegetais, que podem crescer e que são suscetíveis de sensação; e os animais, que se deslocam espontaneamente. [...]. A vida não constitui um limiar manifesto a partir do qual formas inteiramente novas do saber são requeridas.

Ou ainda:

Pretende-se fazer histórias da biologia no século XVIII; mas não se tem em conta que a biologia não existia e que a repartição do saber que nos é familiar há mais de 150 anos não pode valer para um período anterior. E que, se a biologia era desconhecida, o era por uma razão bem simples: é que a própria vida não existia. Existiam apenas seres vivos e que apareciam através de um crivo do saber constituído pela história natural (FOUCAULT, [1966]1987, p. 141, ênfase no original).

Podemos compreender, então, por que a palavra ‘biologia’ é uma filha da segunda metade do século XVIII (cf. MCLAUGHLIN, 2002) e a idéia moderna de uma ciência unificada dos sistemas vivos tenha se consolidado no século XIX (MAYR, 1982). Não é coincidência que os pensadores que conceberam a idéia de uma ciência unificada dos seres vivos, na virada do século XVIII para o XIX, tenham sido evolucionistas. No pensamento criacionista e fixista precedente, os seres vivos não têm relação de parentesco uns com os outros, tornando-se mais difícil sustentar uma compreensão unificada da vida, como objeto de uma ciência única, a biologia. Se plantas e animais, por exemplo, não tivessem relações de parentesco uns com os outros, por que botânica e zoologia deveriam ser unificadas, subordinadas a um único conjunto de princípios? Por que elas deveriam ser pensadas como

subdisciplinas de uma ciência mais ampla, a biologia? Por sua vez, é natural que, uma vez que tenham aceitado o pensamento evolucionista, admitindo que os seres vivos se transformam e dão origem uns aos outros, naturalistas tenham defendido a idéia de que eles deveriam ser estudados por uma ciência única.

O pensamento darwinista trouxe, em particular, uma contribuição importante para a concretização do projeto de uma ciência única dos fenômenos vivos, na medida em que a teoria da evolução proposta por Darwin unificou a compreensão de uma série de fenômenos que eram antes explicados de modo relativamente independente, do desenvolvimento ao comportamento dos organismos, dos fósseis às relações entre os seres vivos expressas nos sistemas de classificação. Podemos concluir, então, que o pensamento darwinista traz, para o ensino de biologia, contribuições que ultrapassam os limites do próprio ensino de evolução.

É necessário, contudo, dar mais ênfase, no ensino de evolução, à distinção entre os modos como o darwinismo e teorias evolutivas anteriores explicam o processo evolutivo. Não se trata, evidentemente, de reforçar comparações anacrônicas e caricaturais entre Darwin e Lamarck, que não têm na devida conta a natureza do pensamento do naturalista francês (MARTINS, 1997; MEYER & EL-HANI, 2005). Ao contrário, estamos nos referindo à necessidade de considerar, de modo claro e preciso, o que consideramos ser, no âmbito da educação básica, a principal distinção a ser feita entre a teoria evolutiva darwinista e as teorias anteriores, a saber, a **oposição entre o pensamento populacional e variacional, na primeira, e o pensamento transformacional, nestas últimas**, sendo esta diferença um conceito com possível papel estruturante no ensino da teoria darwinista.

No pensamento transformacional, entende-se o processo evolutivo como resultado de mudanças simultâneas que ocorrem com cada membro individual da espécie (Caponi, 2005), de modo que a mudança evolutiva (filogenética) pode ser tratada como o resultado de um acúmulo de mudanças desenvolvimentais (ontogenéticas). Em geral, este modo de pensar também se compromete com a idéia de que as transformações sofridas pelos organismos se dão numa direção definida e progressiva, rumo a um estado ótimo de ajuste ao ambiente. Nesses termos, a evolução é entendida de modo teleológico. Neste caso, temos já um pensamento evolutivo, mas que ainda mantém um cerne de pensamento essencialista. Isso se torna claro quando consideramos que a variação não é um aspecto central desse modo de pensar, sendo considerada, antes, como uma espécie de imperfeição, no sentido de que desvia as espécies do que seria seu plano corporal perfeito, mais de acordo com sua essência.

Em contraste com o pensamento transformacional, o pensamento variacional, introduzido pelo darwinismo, explica as mudanças sofridas pelas espécies como conseqüências de alterações nas proporções de organismos individuais dentro de suas populações, e não em termos de mudanças

individuais dos organismos. Portanto, desta perspectiva, a evolução é *mais do que* um somatório de processos de desenvolvimento. Embora estejam relacionados, evolução e desenvolvimento são processos que seguem lógicas distintas.

Além disso, outra grande inovação introduzida por Darwin, também com poder estruturante em sua teoria, foi a idéia de que a evolução não é um processo linear, mas um processo de **divergência a partir de ancestrais comuns**. Assim, duas espécies se assemelham porque descendem de uma espécie ancestral comum que teria existido no passado. Desde sua origem a partir do ancestral comum, elas teriam divergido, dando origem às diferenças que vemos hoje. Quando comparamos duas espécies mais diferentes, estamos diante de espécies que divergiram de um ancestral comum há mais tempo e, portanto, acumularam mais diferenças. Todas as espécies seriam, em maior ou menor grau, aparentadas umas com as outras.

A representação da história da vida sugerida por essa idéia de descendência comum, e que foi, de fato, adotada pelo próprio Darwin e por seus seguidores, é a de uma árvore da vida, em contraste com a imagem linear de uma grande cadeia dos seres, como encontramos, por exemplo, em Lamarck. Na árvore da vida, sucessivos eventos de ramificação representam o surgimento de novas espécies a partir das preexistentes. Esse modo de evolução foi chamado por Darwin de descendência com modificação.

Em conjunto com o conceito de ancestralidade comum, o uso de **narrativas históricas** no ensino de evolução, ou seja, o uso de filogenias para narrar a história de espécies e/ou características, pode ser de grande ajuda, não apenas para explicar o surgimento de adaptações, mas para promover uma melhor compreensão de eventos evolutivos em geral. Tais narrativas estão notavelmente ausentes dos livros didáticos de Biologia do ensino médio, que, tipicamente, enfocam apenas mecanismos evolutivos, com grande ênfase sobre a seleção natural, e tratam da diversidade biológica de modo marcadamente não comparativo e a-histórico (Rocha et al., 2007).

Robert Richards (1998) destaca diversos pontos pertinentes sobre a estrutura das narrativas evolutivas. Uma narrativa deve articular e ligar os acontecimentos de forma inteligível, sendo os eventos conectados em uma seqüência temporal, de tal modo que fique claro que acontecimentos anteriores influenciam e dão lugar aos acontecimentos posteriores. Ao investigar o passado de uma perspectiva privilegiada, o narrador tem conhecimento dos acontecimentos futuros e do estado final do objeto da explicação narrativa. Isso lhe permite selecionar critérios que indiquem quais eventos possuem maior relevância, à luz da evolução futura. Assim, ele pode focar a narrativa nesses eventos, omitindo os que possuem pouca relevância, dado o conhecimento do futuro evolutivo da linhagem. Observa-se, então, que os acontecimentos narrados não são idênticos aos reais, de modo que a narrativa deve valer-se de

triangulações históricas a partir de múltiplas evidências materiais, que existam independentemente da narrativa que se está construindo, incluindo generalizações científicas, como, por exemplo, aquelas relativas à ação da seleção natural e ao papel da deriva.

Outra idéia central na teoria darwinista da evolução, que também desempenha um papel estruturante, consiste em sua explicação do mecanismo que causa as mudanças evolutivas, a **seleção natural**, cuja compreensão foi formulada independentemente por Wallace. O mecanismo da seleção natural foi proposto com base em um raciocínio que reunia observações e ideias que, individualmente, causavam pouca controvérsia, mas que, uma vez combinadas, forneceram bases para uma teoria plausível e ousada, que explicava fenômenos como a origem, diversificação e adaptação dos seres vivos de forma que tornava desnecessário apelar para forças sobrenaturais. Essas idéias e observações são as seguintes (MAYR, 1982; MEYER & EL-HANI, 2005):¹⁰

1. Os organismos vivos são dotados de grande fertilidade e, caso o potencial reprodutivo de todos os indivíduos de uma população se concretize, seu número tenderá a aumentar exponencialmente;
2. Típicamente, as populações apresentam um tamanho estável, oscilando dentro de certos limites, a despeito de seu grande potencial de crescimento;
3. A tensão existente entre estas duas observações pode ser resolvida com base na idéia originalmente articulada por Thomas Malthus, em seu *Ensaio sobre o princípio da população*, publicado em 1797: as populações humanas crescem mais rapidamente do que sua capacidade de mobilizar os recursos dos quais depende. Ao aplicar-se esta idéia ao mundo natural, chega-se à conclusão de que, como o aumento da disponibilidade dos recursos naturais não acompanha o crescimento populacional, a disponibilidade de recursos limita o potencial de crescimento das populações.

Ao considerar esses três pontos, conclui-se que há competição na natureza (nos termos de Darwin, uma luta pela existência), sempre que a quantidade disponível de recursos for insuficiente para permitir a sobrevivência de todos os indivíduos produzidos nas populações. Apenas uma parte – com frequência, uma parte muito pequena – dos que nascem a cada geração sobrevive o suficiente para se reproduzir. Podemos questionar, então, o que determina quais serão os sobreviventes. Um dos pontos centrais da teoria darwinista – que se contrapõe à sua representação na opinião pública e mesmo na comunidade científica como uma teoria que subordinaria a evolução ao puro acaso – é o de que a

¹⁰ É importante não perder de vista que o que segue é uma reconstrução do raciocínio que conduz à idéia de seleção natural, e não uma reprodução do modo como Darwin e Wallace apresentaram seu argumento.

sobrevivência e reprodução bem sucedidas não são produtos do acaso. A segunda parte do raciocínio subjacente à formulação do mecanismo da seleção natural é, exatamente, dirigida à compreensão do que determina quem sobrevive na disputa pelos recursos, a partir de uma combinação de observações sobre a variação e a herança, e idéias sobre competição:

4. Os organismos de uma população apresentam variabilidade numa série de características;
5. Parte dessa variação é herdável;
6. Parte dessa variação ocorre em características que influenciam as chances de sobrevivência e reprodução dos indivíduos, na medida em que conferem a alguns indivíduos vantagens na obtenção de recursos num dado ambiente.

A partir desse raciocínio, a seleção natural segue como uma conclusão: em um mundo em que os recursos são limitados, os indivíduos possuidores de características que lhes permitem melhor explorar os recursos do ambiente em que vivem *tendem* a sobreviver e reproduzir-se com sucesso, sendo que, se essas características forem herdáveis, elas passarão às novas gerações, aumentando de frequência, em relação às características que favorecem menos a performance dos organismos na obtenção de recursos. Desse modo, após várias a muitas gerações, a população será constituída em sua maioria por indivíduos portadores das características vantajosas.

No darwinismo original, este mecanismo era considerado o principal (mas não exclusivo) fator que levava à origem, diversificação e adaptação dos seres vivos. No pensamento contemporâneo, a explicação da adaptação ainda cabe à seleção natural em si mesma, mas a explicação da origem e da diversificação dos seres vivos também demanda outros mecanismos, a exemplo da especiação e da deriva (SEPULVEDA, MEYER & EL-HANI, 2011).

O conceito de seleção natural traz dificuldades para a aprendizagem dos estudantes, sendo comuns as concepções alternativas sobre o assunto (KALINOWSKI et al., 2010; SETTLAGÉ Jr., 2007; ALTERS & NELSON, 2002; SHTULMAN, 2006). Entre estas dificuldades, encontra-se a compreensão da natureza populacional do mecanismo e, em particular, de como ele envolve causas que atuam ao nível dos organismos enquanto os efeitos se dão ao nível populacional. O entendimento deste ponto seria mais provável se, em vez de se fazer, ao se ensinar evolução no ensino médio, uma comparação superficial e anacrônica entre as teorias de Darwin e de Lamarck, fosse discutida a diferença entre o pensamento populacional e variacional, empregado a partir da teoria darwinista, e o pensamento tipológico, essencialista e transformacional que marcava as teorias anteriores a Darwin, como abordados anteriormente.

Ao apreender os elementos presentes na teoria da seleção natural, os estudantes teriam também maior facilidade para compreender como outras três teorias gerais da biologia (conforme identificadas por Scheiner) se relacionam através dela. As observações 2 e 3, citadas acima, se relacionam com dois dos princípios fundamentais da teoria geral da ecologia apontados por Scheiner: a heterogeneidade dos recursos no tempo e no espaço; e a influência da interação entre os meios biótico e abiótico sobre as taxas de natalidade e mortalidade observadas nas populações. As observações 4 e 5 são conectadas a princípios fundamentais da teoria geral da genética, respectivamente: imperfeições no sistema de correção permitem eventuais erros no processo de cópia do DNA e possibilitam a geração de nova informação, assim como os processos de troca e recombinação de informação entre indivíduos; e a prole se assemelha (mas não se iguala) à geração parental. Já as observações 1 e 6 se vinculam à teoria geral dos organismos através dos seguintes princípios: a reprodução dos organismos é tanto causa quanto consequência do processo evolutivo; e a heterogeneidade dos recursos no tempo e no espaço causam variações na ontogenia do indivíduos e nos padrões históricos da vida.

5. Pensar funcionalmente

Uma vez que o objeto de estudo da biologia funcional são as atividades realizadas pelos seres vivos, podemos entendê-la melhor ao adotarmos um olhar verticalizado sobre o organismo, considerando suas partes constituintes e seu funcionamento em diversos níveis hierárquicos (desde o nível intracelular até o do organismo individual) e empregando uma perspectiva na qual os organismos sejam vistos como sistemas dinâmicos nos quais diversos processos ocorrem concomitantemente.

Scheiner (2010) coloca entre os princípios fundamentais de uma teoria da biologia o de que sistemas vivos consistem de sistemas abertos e em um estado de não equilíbrio, que estão constantemente trocando matéria e energia com o ambiente de modo a manterem sua ordem e persistirem. Essa persistência seria, então, um dos objetos de explicação da biologia e, para construir essa explicação, podemos apelar inicialmente para outro princípio fundamental identificado pelo autor: os sistemas vivos são dinâmicos e devem estar em constante mudança ao longo do tempo para manter sua organização, sendo que mudanças em algumas partes do sistema levam à estabilidade em outras.

Da combinação desses dois princípios fundamentais, que encontram equivalentes na teoria geral dos organismos, é possível chegar a um primeiro conceito estruturante do ensino das ciências biológicas, no contexto da biologia funcional: os componentes dos organismos agem em conjunto de maneira a regular o ambiente interno, mantendo-o estável e permitindo a continuidade dos processos que ali ocorrem, ou seja, mantêm-se em **homeostase**. É necessário deixar claro para os estudantes que a manutenção da homeostase dota os organismos de certa resiliência, ou seja, de uma capacidade limitada de retornar às condições mais propícias para seu funcionamento após terem essas condições

perturbadas por uma influência externa. Assim, a manutenção da ordem nos organismos seria um processo dinâmico e constante, que envolve e influencia diversas atividades fisiológicas em diversos níveis hierárquicos da estrutura dos organismos. Por exemplo: a temperatura corporal em animais ectotérmicos é regulada através do comportamento ao longo de todo o dia; peixes de água doce mantêm o equilíbrio osmótico através da eliminação de água em uma urina muito diluída e da constante obtenção de íons Cl^- por transporte ativo em células das brânquias.

O conceito de homeostase possui implicações para a compreensão, por parte dos estudantes, da teoria geral do organismo, agindo como elemento de ligação entre diversos princípios fundamentais desta teoria, como os de que o organismo mantém ativamente sua integridade estrutural e funcional, ou de que são necessárias mudanças em um determinado nível hierárquico (tipicamente, ao nível das partes do sistema) para que outro seja mantido constante (tipicamente, ao nível do sistema como um todo), ou de que interferências externas podem forçar mudanças no organismo. Este conceito também seria um ponto de sobreposição entre as teorias gerais do organismo e da ecologia, ajudando o estudante a compreender, por exemplo, como o princípio da interação dos organismos com fatores bióticos e abióticos implica a distribuição heterogênea dos mesmos no espaço e no tempo. Afinal, influências ambientais que perturbam a homeostase dos organismos, de forma que a resiliência dos mesmos seja extrapolada, impossibilita sua sobrevivência em determinados ambientes.

Uma vez que a manutenção da homeostase é um processo dinâmico, ou seja, que necessariamente envolve mudanças, torna-se necessário chamar a atenção para o fato de que essas mudanças são limitadas e *reguladas*. Ao observarmos os diversos processos que influenciam a homeostase dos sistemas vivos, notamos que muitos deles seguem um padrão de autorregulação, que apontaremos aqui como mais um conceito estruturante para o ensino da biologia fundamental: as **alças de retroalimentação** (*feedback loops*). Em mecanismos de retroalimentação, o produto resultante de uma cadeia de eventos regula a velocidade de sua produção mediante a interferência em um ou mais pontos da cadeia. Essa regulação pode levar a um aumento na velocidade da produção (retroalimentação positiva) ou à redução ou terminação da mesma (retroalimentação negativa).

Os processos regulatórios envolvem estruturas em diversos níveis hierárquicos dos sistemas vivos, podendo ser modelados com três componentes funcionais básicos: um receptor, um centro de controle e um efetor (Campbell & Reece, 2002). Tomando como exemplo a manutenção da temperatura corporal nos humanos, neurônios termorreceptores presentes na pele, no hipotálamo e em outras regiões do corpo agem de forma semelhante a um termostato, monitorando a temperatura do sangue (agindo como receptores). Caso a temperatura esteja acima da faixa considerada ótima (entre 36,5° e 37°C), esses neurônios enviam impulsos ao próprio hipotálamo (centro de controle), que, por sua vez, envia sinais para que as glândulas sudoríparas produzam suor e para que os vasos sanguíneos

da pele se dilatam, ajudando a dissipar o calor (efetores). Uma vez que a temperatura volta à faixa normal, os receptores cessam a sinalização e os efetores deixam de agir, evitando que a temperatura caia abaixo da faixa ótima e fechando, assim, uma alça de retroalimentação negativa (Campbell & Reece, 2002). Já em animais ectotérmicos, como os répteis, a retroalimentação possui entre os efetores atitudes comportamentais: o indivíduo se desloca para mais próximo ou mais longe de fontes de calor.

Ainda com relação aos processos regulatórios, consideramos que um problema importante na construção do conhecimento biológico ao longo do século XX foi a redução da compreensão de tais processos a níveis inferiores da hierarquia biológica, tipicamente, ao nível molecular. Considerem, por exemplo, a explicação típica da regulação enzimática como uma consequência da interação entre uma molécula alostérica e a enzima, ou da regulação da transcrição com base na interação entre fatores de transcrição e determinadas regiões do DNA. Nestas explicações, a regulação parece ter lugar no nível inferior, sem qualquer envolvimento de processos de nível superior, por exemplo, ao nível do organismo, ou mesmo do ecossistema. No entanto, uma vez que a molécula alostérica, por exemplo, esteja presente no mesmo compartimento celular que a enzima, a uma dada concentração, a interação entre estas moléculas tenderá a ocorrer. Logo, a questão da regulação não se limita a entender a interação molecular em si mesma, mas por que a molécula alostérica está presente onde e quando ela o está. Para explicar a presença desta molécula num dado tempo e local específico, precisaremos considerar mais do que a interação molecular em si, enfocando a influência do contexto celular, supracelular, por vezes até mesmo supra-organísmico, ao qual a enzima e a molécula alostérica estão, ambas, subordinadas.

Uma analogia pode tornar mais claro o que queremos dizer: explicar a regulação enzimática – para tomar um dos exemplos citados – apenas ao nível molecular é como explicar a ação de pegar objetos apontando apenas para os dedos ou a mão que pega o objeto. É evidente que sistemas perceptivos e cognitivos, o corpo, o contexto da ação devem ser levados em conta para explicar esta ação. A mão ou os dedos são apenas efetores finais da ação. O mesmo vale para a regulação enzimática. A molécula alostérica é o efetor final, mas, se quisermos compreender a regulação, teremos de considerar níveis superiores de organização do sistema vivo, que afetam a distribuição das moléculas envolvidas no espaço e no tempo. Parece-nos que estes argumentos mostram a necessidade, ao se ensinar sobre regulação, em todos os níveis de ensino, de evitar uma redução dos processos regulatórios apenas aos efetores finais, considerando como estes processos envolvem a influência de níveis superiores àquele na qual a interação final tem lugar, tipicamente, no nível molecular.

O leitor deve ter notado que, ao descrever o princípio das alças de retroalimentação, foram usadas as expressões “componentes funcionais” e “mecanismos”. Essas duas expressões constituem

pontos de partida para dois outros conceitos estruturantes complementares entre si: **função** e **mecanismo**.

A linguagem funcional não se restringe às explicações sobre alças de retroalimentação, mas perpassa toda a biologia. Questões do tipo “Qual a função da folha modificada da *Dionea sp.*?”, por exemplo, são solicitações de uma explicação funcional. A resposta, neste caso, consiste na própria atribuição de uma função à folha da *Dionea*. Na biologia funcional em particular, e em outras áreas da ciência que lidam com sistemas complexos, uma noção de **função** muito influente foi formalizada pelo filósofo norte-americano Robert Cummins (1975[1998], 1983).

Cummins aborda o problema das atribuições funcionais de uma perspectiva consistente com o pensamento sistêmico, tal como expresso, por exemplo, na Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy, em meados do século XX. Por isso mesmo, sua abordagem pode ser caracterizada como sistêmica, opondo-se a uma outra abordagem, etiológica, das funções. A abordagem etiológica mais influente foi proposta por Larry Wright (1973[1998]), que defendia que solicitar a função de uma estrutura significa solicitar uma explicação para sua existência, considerando o cenário causal que a originou. Assim, a determinação de uma função dependeria da análise histórica da estrutura que a apresenta, o que, no caso de uma estrutura biológica, significa analisar sua trajetória evolutiva.¹¹

Para Cummins (1975[1998]), por sua vez, as explicações ou atribuições funcionais dos biólogos podem ser realizadas de forma independente de condições evolutivas, seguindo uma “estratégia analítica”, própria da biologia e bastante distinta da estratégia mais amplamente usada em áreas como física e química, que ele denomina estratégia de instanciação ou subsunção. Ao contrário desta última estratégia, que se baseia no uso de leis gerais para explicar fenômenos como ocorrências particulares daquelas leis, na estratégia analítica, uma capacidade complexa de certo sistema, digamos, a capacidade de circulação de gases e nutrientes num dado organismo, é decomposta ou analisada em capacidades dos componentes do sistema que contribuem para a capacidade sistêmica, por exemplo, a capacidade do coração de bombear sangue. Nos termos da teoria de Cummins, uma função é, precisamente, uma capacidade de uma parte do sistema que contribui para a realização de uma capacidade do sistema como um todo – no exemplo acima, a função do coração é bombear sangue porque esta é a capacidade que o coração exibe que contribui para a capacidade sistêmica que se pretende explicar. Note-se, primeiro, como há, nesta abordagem sobre as funções, uma ênfase sobre a relação entre parte e todo, uma relação que não é temporal (todos e partes sempre coexistem, em qualquer corte temporal), o que salienta a diferença entre esta abordagem e uma teoria etiológica das

¹¹ Para uma explicação mais detalhada das abordagens funcionais de Wright e Cummins, ver Chediak (2008, 2011) e Nunes-Neto & El-Hani (2009).

funções. Segundo, que a atribuição de função a um componente do sistema depende de qual capacidade sistêmica se pretende explicar, ou seja, do interesse de pesquisa que guia a análise funcional.

Cummins nos oferece um exemplo, de uma linha de montagem, que ilustra bem como a estratégia analítica pode capturar um uso adequado do termo ‘função’ em diversas ciências. A produção numa linha de montagem é dividida em várias tarefas distintas. A capacidade da linha de produzir o produto se deve à capacidade de cada ponto ou componente da linha de realizar certas tarefas. Se estas tarefas são realizadas de um modo organizado, o resultado é o produto final. Assim, para Cummins, explicamos a capacidade da linha de montagem de produzir o produto apelando às capacidades dos componentes da linha de realizar suas tarefas específicas, dentro de um modelo que também considera a organização espaço-temporal do processo em questão. O exercício, por certo componente, de sua capacidade específica é sua função na linha. Ou seja, a função de um componente, para Cummins, é o que quer seja que ele faça ao qual nós apelamos para explicar a capacidade da linha como um todo.

No ensino de biologia, a abordagem teórica desenvolvida por Cummins pode oferecer bases consistentes para os usos de função, seja nos livros didáticos de biologia, seja na sala de aula (Carmo, 2010). Ela parece transponível para a educação básica, ao menos ao nível do ensino médio, na medida em que os conteúdos necessários para que os estudantes a compreendam já estão presentes nos currículos, como mostra o exemplo acima da atribuição de função ao coração mediante análise da capacidade sistêmica de circulação de gases e nutrientes.

A análise funcional de Cummins é complementada, a partir de uma estratégia igualmente analítica, por uma compreensão de como a explicação em biologia (assim como em outras ciências) apela com frequência para a modelagem de **mecanismos**. Craver e Bechtel (2006) descrevem um modelo de mecanismo como tendo quatro aspectos: fenomênico, componencial, causal e organizacional.

O aspecto fenomênico diz respeito ao fenômeno levado a cabo pelo mecanismo, aquilo que será objeto da explicação através da análise de como o mecanismo funciona. O fenômeno que o mecanismo explica define os limites do próprio mecanismo e nos permite identificar quais são seus componentes. Tomando como exemplo o mecanismo de retroalimentação negativa citado acima, o aspecto fenomenal seria a manutenção da temperatura corporal do indivíduo entre 36,5 e 37° C, garantindo a homeostase térmica.

O segundo aspecto, o componencial, se refere aos componentes que fazem parte do mecanismo. Para que algo seja considerado um dos componentes, ele deve possuir propriedades que sejam relevantes para a realização do fenômeno explicado, ou seja, uma *função* dentro do mecanismo. A função do hipotálamo na manutenção da homeostase térmica em humanos é perceber a temperatura do

sangue, processar os estímulos recebidos dos diversos neurônios termorreceptores espalhados pelo corpo e enviar sinais para os vasos sanguíneos da pele, cuja função é irradiar calor próximo à superfície, assim como para as glândulas sudoríparas, sendo a função destas secretar o suor, que dissipará parte do calor através de sua evaporação.

A interação dos componentes entre si é responsável pelo aspecto causal de um mecanismo. Se não houvesse essa interação, o mecanismo não agiria e não haveria produção do fenômeno. As únicas formas de interação que interessam ao se analisar um mecanismo são aquelas nas quais há relações causais relevantes (para a produção do fenômeno a ser explicado) entre as partes. As glândulas sudoríparas começam a secretar suor *porque* receberam um estímulo do hipotálamo, que disparou esse estímulo *porque* recebeu sinais de células nervosas espalhadas pelo corpo.

O último aspecto, organizacional, está relacionado à organização espacial (formas, tamanhos, posições relativas, conexões etc.) e temporal (frequência, ordem, duração, proporção etc.) dos componentes e de suas relações causais. Espacialmente, as células nervosas termorreceptoras, o hipotálamo, as glândulas sudoríparas e os vasos sanguíneos da pele estão conectados através do sistema nervoso, sendo que os dois últimos se localizam mais próximos à superfície do corpo. Quanto à organização temporal, para que a homeostase térmica seja mantida, o hipotálamo deve enviar estímulos aos vasos sanguíneos e glândulas apenas quando receber sinais das células termorreceptoras e, ainda, em um curto período de tempo após esse evento.

A modelagem de mecanismos oferece, através destes quatro aspectos, uma forma de explicar analiticamente o funcionamento de diversas estruturas e processos presentes nos seres vivos. Ao relacionarmos os aspectos componencial, causal e organizacional, é possível identificarmos as funções dos componentes de um sistema e percebermos de que modo os mesmos se relacionam, não só espacialmente, mas também adicionando um componente temporal, o que representa uma complementação em relação à análise funcional de Cummings.

Além dos quatro conceitos apresentados acima, existem conceitos já presentes nos livros didáticos de biologia para o ensino médio que também podem ter papel estruturante no ensino da biologia funcional. Porém, esses conceitos não são explorados com profundidade na sala de aula, sendo apresentados como fatos isolados ou com pouca conexão com diversos outros conteúdos abordados. Como exemplos, expomos a seguir alguns conceitos, apresentados quando se estuda a célula, e como eles poderiam ser utilizados em conjunto com outros, de maneira a dar a eles um papel estruturante na aprendizagem de algumas teorias gerais da biologia.

Ao estudar citologia, é comum que o estudante tenha contato com o conceito de que **a célula é a unidade básica dos organismos**, seguido de uma visão da célula como uma estrutura estanque,

sendo seus componentes analisados separadamente e apenas sob o aspecto espacial, atendendo ao que Scheiner aponta como um dos princípios da teoria geral das células: **as células são compostas por estruturas heterogêneas que compartimentalizam recursos e processos**. É necessário adicionar o componente temporal a esta explicação, chamando a atenção dos estudantes para outro princípio proposto por Scheiner: **as células são entidades dinâmicas reguladas por redes de reações bioquímicas e interações supramoleculares**. A partir desses pontos, é possível também fornecer elementos que ajudem o estudante a entender a conexão entre a teoria geral das células e a teoria geral da genética.

Também é comum que as células sejam apresentadas como entidades isoladas, mostrando-se os diversos tipos de célula (musculares, nervosas etc.) e as diferenças morfológicas e, por vezes, funcionais entre elas. Essa visão deve ser complementada com mais um conceito: **as células interagem com seu ambiente externo e entre si**, o que também ajudaria a entender a conexão entre a teoria geral das células e a teoria geral do organismo.

Esta abordagem certamente não se restringe ao estudo da citologia, mas pode também ser aplicada ao ensino da genética e da ecologia, por exemplo.

6. Considerações finais

A proposta de que o conteúdo do ensino médio de biologia deve ser reduzido e a discussão de critérios não arbitrários para esta redução, da perspectiva dos conceitos estruturantes das biologias evolutiva e funcional, têm como intuito colocar em pauta modos de tornar mais provável a compreensão, pelos estudantes, do mundo vivo de uma forma integrada, o que depende de sua compreensão das relações existentes entre as diversas disciplinas que integram as ciências biológicas. É preciso considerar, contudo, que esta é somente uma perspectiva da qual se poderiam selecionar conteúdos para o ensino médio de biologia de modo não arbitrário. Há outros critérios a considerar e discutir, sem dúvida, como, por exemplo, aqueles relacionados a conteúdos do ensino de biologia que sejam importantes para que o estudante se torne mais capaz de participar de maneira informada de processos sociais de tomada de decisão nos quais o conhecimento biológico tenha papel importante, a exemplo dos recentes debates em nosso país sobre o uso de células-tronco embrionárias na pesquisa científica. Além disso, ainda há limites importantes no tratamento que demos aqui à seleção de conceitos estruturantes da biologia, sobretudo no que diz respeito à formulação mais adequada da posição da ecologia entre a biologia funcional e a biologia evolutiva (ver nota 4), que se refletem numa atenção relativamente menor, neste artigo, a conceitos estruturantes que situem os organismos em sistemas mais inclusivos, como comunidades, ecossistemas, paisagens etc. Este é um tema para investigação futura, dentro desta mesma linha de pesquisa.

Aqui não buscamos estabelecer, em definitivo, quais conceitos devem ser ensinados dentro da educação biológica no nível médio e, tampouco, pretendemos construir uma lista exaustiva dos mesmos. Isso não seria nem factível, nem de fato legítimo se feito da perspectiva de um único grupo de pesquisa, sem uma ampla discussão com os diversos atores sociais envolvidos com o ensino de biologia. O que pretendemos aqui foi iniciar um debate sobre a redução dos conteúdos de biologia de uma perspectiva não arbitrária, com base na distinção entre biologia funcional e evolutiva, como proposta por Mayr e Jacob, e na busca de conceitos estruturantes, como sugerido por Gagliardi. Desse modo, pretendemos iniciar o debate mencionado acima, o que já vem ocorrendo numa comunidade virtual de prática, a ComPratica¹², que reúne professores de Biologia do ensino médio de vários estados brasileiros, licenciandos de Biologia de diferentes universidades, pesquisadores, pós-graduandos e graduandos envolvidos na pesquisa em ensino de ciências, bem como em grupo de pesquisa colaborativa com professores do ensino médio com o qual nosso laboratório está envolvido.¹³

Os conceitos estruturantes apontados ao longo deste artigo são reunidos na Tabela 2. Além de ter em conta a divisão entre biologia evolutiva e biologia funcional, consideramos também seu papel estruturador dentro das teorias gerais da biologia identificadas por Scheiner, assim como as relações que podem estabelecer com conceitos de outras teorias gerais. Se estes conceitos forem tomados como estruturantes do ensino de biologia, consideramos que podem ter efeitos positivos sobre a aprendizagem dos estudantes, permitindo uma visão mais integrada desta ciência, assim como uma maior capacitação dos alunos para que compreendam conceitos mais específicos da biologia, inclusive a partir de seu próprio esforço de aprendizagem, para além do ensino intencional. Na medida em que os estudantes sejam assim capacitados para que aprendam a aprender biologia, tornar-se-á mais viável diminuir os currículos enciclopédicos que têm caracterizado o ensino desta ciência, não só em nosso país, mas em todo o mundo.

Tabela 2. Conceitos estruturantes da biologia evolutiva e biologia funcional com potencial uso no ensino de ciências biológicas, no nível médio.

¹² Para maiores informações sobre a ComPratica, ver El-Hani & Greca (2009, no prelo). Ver tb. <http://www.moodle.ufba.br/course/view.php?id=8823>. Professores de biologia do ensino médio de qualquer estado brasileiro interessados em participar da comunidade devem escrever para Prof. Charbel El-Hani, pelo email charbel.elhani@pq.cnpq.br

¹³ O Laboratório de Ensino, Filosofia e História da Biologia (LEFHIBio) esteve envolvido – com apoio do CNPq – no estabelecimento da ComPratica desde 2007. Esta comunidade inclui fóruns e chats para a discussão de uma série de aspectos relacionados ao ensino de ciências e, em particular, de biologia na educação básica, sendo focada no desenvolvimento, a partir de tal discussão, de inovações educacionais que possam ser investigadas pelos professores e pesquisadores participantes. A partir da ComPratica, e em interação com o Grupo Colaborativo de Pesquisa em Ensino de Ciências, da UEFS, coordenado por Cláudia Sepulveda, foi estabelecido um trabalho de pesquisa cooperativa com professores do ensino médio e pesquisadores, que tem atuado na investigação de inovações educacionais geradas pela comunidade, numa rede que conta com cinco escolas públicas do estado da Bahia (Colégio da Polícia Militar, Unidade Dendezeiros, em Salvador; Instituto de Educação Gastão Guimarães, em Feira de Santana; Colégio Estadual Hermano Gouveia Neto, em Lauro de Freitas; Colégio Estadual Marcílio Dias, em Salvador; Colégio Estadual Pedro Calmon, em Amargosa). Com o apoio da FAPESB e da SEC/IAT, foram implantados nas três primeiras escolas Núcleos de Pesquisa em Ensino de Ciências (NUPECs), que constituem um locus institucional para a pesquisa nas escolas públicas, que passa a contar, assim, com um espaço identificado com a mesma dentro do ambiente escolar, bem equipado e estruturado, descentrando a pesquisa de dentro da universidade, para dentro da realidade de atuação dos professores da educação básica.

Biologia evolutiva	Biologia Funcional
As mudanças evolutivas ocorrem através de mudanças das frequências das variações presentes nas populações.	Os organismos mantêm suas condições internas relativamente constantes (homeostase), apesar das influências externas e das transformações que estas acarretam nos sistemas vivos.
As semelhanças entre as espécies se devem ao fato de elas compartilharem ancestrais comuns.	A homeostase é mantida através de mecanismos autorregulatórios que formam alças de retroalimentação.
Eventos evolutivos podem ser compreendidos através de narrativas históricas que dêem conta da filogenia das espécies.	As explicações do funcionamento dos organismos vivos podem ser feitas através de estratégias analíticas, apelando-se ao conceito de função.
A seleção natural, que envolve processos desde os níveis genéticos até os níveis ecológicos, é um importante mecanismo evolutivo, cumprindo papel relevante na explicação da origem, diversidade e adaptações dos seres vivos.	A modelagem de mecanismos fornece meios de relacionar a produção de fenômenos às relações espaço-temporais de estruturas e processos, bem como às suas funções.
	O funcionamento dos sistemas vivos é regulado por processos que têm lugar acima do nível molecular, o que torna necessário não somente analisá-los, mas também integrá-los em sistemas e processos mais inclusivos.

Em conclusão, inspirados em Ernst Mach, cujas idéias nos guiaram no começo deste trabalho, podemos dizer que ensinar biologia bem não significa ensinar muitos conteúdos, mas sim ensinar conhecimentos biológicos que sejam significativos, ou seja, que façam diferença para a aprendizagem dos estudantes. Entre estes conteúdos significativos, temos os conceitos estruturantes de teorias gerais da biologia, discutidos no presente artigo.

7. Referências bibliográficas

- ALTERS, B.J; NELSON, C.E. Perspective: teaching evolution in higher education. **Evolution**, v. 56, n 10, p. 1891-1901, 2002.
- CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. **Biology**, 6^a ed. San Francisco: Benjamin Cummings, 2002
- CAPONI, G. Biología Funcional vs. Biología Evolutiva. **Episteme**, n. 12, p. 23-46, 2001.
- CAPONI, G. Explicación seleccional e explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. **Episteme**, n. 14, p. 57-88, 2002.
- CAPONI, G. O darwinismo e seu outro: a teoria transformacional da evolução. **Scientiae Studia**, n. 3, v. 2, p. 233-242, 2005.
- CAPONI, G. Física del organismo vs hermenéutica del viviente: el alcance del programa reduccionista en la biología contemporánea. **História, Ciência, Saúde – Manguinhos**, vol. 14, n. 2, p. 443-468, abr-jun, 2007.

- CARMO, R. S. **Explicações teleológicas e funcionais em livros didáticos de biologia do ensino médio**. Salvador: Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, UFBA/UEFS, dissertação de mestrado, 2010.
- CHEDIAK, K. Função. In **Filosofia da biologia**. Rio de Janeiro: Zahar. p. 38-49, 2008.
- CHEDIAK, K. Função e explicações funcionais em biologia. In ABRANTES, P. (Org.). **Filosofia da biologia**. Porto Alegre: ARTMED, p. 83-96, 2011.
- CRAVER, C. F.; BECHTEL, W. Mechanism. In SARKAR, S. & PFEIFER, J. (Eds.), **Philosophy of science: an encyclopedia**. New York: Routledge, p. 469-478, 2006.
- CUMMINS, R. Functional Analysis. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (orgs). **Nature's Purposes – Analyses of Function and Design in Biology**. Cambridge, MA: MIT Press, p. 169-196, [1975]1998.
- CUMMINS, R. **The Nature of the Psychological Explanation**. Cambridge, MA: MIT Press, 1983.
- EL-HANI, C. N. & GRECA, I. Uma comunidade virtual de prática como meio de diminuir a lacuna pesquisa-prática na educação científica. In **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (ENPEC), a1069. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2009.
- EL-HANI, C. N. & GRECA, I. Participação em uma comunidade virtual de prática desenhada como meio de diminuir a lacuna pesquisa-prática na educação em biologia. **Ciência e Educação** (no prelo).
- EL-HANI, C. N.; QUEIROZ, J. & EMMECHE, C. **Genes, information, and semiosis**. Tartu: Tartu University Press, Tartu Semiotics Library, 2009.
- EL-HANI, C. N.; ROQUE, N. & ROCHA, P. L. B. Livros didáticos de Biologia do ensino médio: Resultados do PNLEM/2007. **Educação em Revista**, vol. 27, n. 1, p. 211-240, 2011.
- FIELDS, B. N.; HOWLEY, P. M.; GRIFFIN, D. E.; LAMB, R. A.; MARTIN, M. A. ROIZMAN, B.; STRAUS, S. E.; KNIPE, D. M. **Virology** (4^a ed). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- FOUCAULT, M. **As palavras e as coisas**. São Paulo: Martins Fontes, [1966]1987.
- GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.
- GRIFFITHS, P. E. Genetic information: A metaphor in search of a theory. **Philosophy of Science**, vol. 68, n. 3, p. 394-403, 2001.
- GOULD, S. J. **The structure of evolutionary theory**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2002.
- GRANTHAM, T. Is macroevolution more than successive rounds of microevolution. **Paleontology**, vol. 50, Part 1, p. 75-85, 2007.
- JABLONKA, E. Information: Its interpretation, its inheritance, and its sharing. **Philosophy of Science**, vol. 69, p. 578-605, 2002.
- JACOB, F. **A Lógica da Vida: uma história da hereditariedade**. Trad. Ângela Loureiro de Souza. Rio de Janeiro: Graal. [1970]1983.

KALINOWSKI, S.T.; LEONARD, M. J.; ANDREWS, T.M. Nothing in evolution makes sense except in the light of DNA. **Life Sciences Education**, v. 9, p. 87-97, 2010

MATTHEWS, M. **Science Teaching: the role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 2004.

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

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **Autopoiesis and cognition: The realization of the living**. Dordrecht: D. Reidel, 1980.

MAYR, E. **The growth of biological thought: Diversity, evolution, and inheritance**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.

MAYR, E. **Toward a new philosophy of biology: Observations of an evolutionist**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.

MAYR, E. **Biologia: ciência única**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

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

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

MEGLHIORATTI, F. A.; BRANDO, F. R.; ANDRADE, M. A. B. S.; CALDEIRA, A. M. A. A integração conceitual no Ensino de Biologia: uma proposta hierárquica de organização do conhecimento biológico. In: CALDEIRA, A. M. A.; ARAUJO, E. S. N. N. (orgs). **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras, 2009. p. 189-205.

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

MUÑOZ, Y. J.; EL-HANI, C. N. The student with a thousand faces: From the ethics in video games to becoming a citizen. **Cultural Studies of Science Education**, no prelo.

NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. O que é função? Debates na filosofia da biologia contemporânea. **Scientiae Studia**, v. 7, n. 3, p. 353-401, 2009.

PATTEE, H. H. **Hierarchy theory: The challenge of complex systems**. New York: George Braziller, 1973.

RICHARDS, R. J. La estructura de la explicación narrativa em historia y biologia. In: MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (orgs). **Historia y explicación em biología**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1998. p. 212-246.

ROCHA, P. L. B.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, A. M. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S.; ASSIS, J. G. A.; FREGONEZE, J.; PAGANUCCI, L.; CARVALHO, L. M.; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H.; ROSA, V. L. & 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**. Tunis: University of Tunis, 2007. v.1. p.893 – 907.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, vol. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

SCHEINER, S. M. Toward a conceptual framework for biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 85, n. 3, p. 293-318, 2010.

SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R. A general theory of ecology. **Theoretical ecology**, n. 1, p. 21-28, 2008.

SEPULVEDA, C.; MEYER, D. & EL-HANI, C. N. Adaptacionismo. In: ABRANTES, P. (Org.). **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: ARTMED, 2011. p. 162-192.

SETTLAGE JR., J. Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process. **Journal of research in science teaching**, v. 31, n. 5, p. 449-457, 2007.

SHTULMAN, A. Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. **Cognitive psychology**, v. 56, p. 170-194, 2006.

WRIGHT, L. Functions. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M. & LAUDER, G. (Eds.). **Nature's purposes – analyses of function and design in biology**. Cambridge: MIT Press, 1998 [1973]. p. 51-78.

ZANCAN, G. T. Educação científica: uma prioridade nacional. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 3, p. 3-7, 2000.

ZOLLER, U. Expanding the meaning of STS and the movement across the globe. In: YAGER, R. E. (Ed.). **The science, technology, society movement**. Washington, DC: National Science Teachers Association, 1993, p. 125-134.

ANEXO 1

A teoria da biologia e as cinco teorias gerais propostas por Scheiner (2010) e seus respectivos princípios fundamentais (tradução dos autores).

Tabela 1

O domínio e os princípios fundamentais da teoria da biologia

Domínio
A diversidade e complexidade dos sistemas vivos, incluindo suas causas e consequências
Princípios
1. A vida consiste de sistemas abertos, em estado de não equilíbrio e persistentes.
2. A célula é a unidade fundamental da vida.
3. A vida requer um sistema para armazenar, usar e transmitir informação.
4. Os sistemas vivos variam em sua composição e estrutura em todos os níveis.
5. Os sistemas vivos consistem de conjuntos complexos de partes interagentes.
6. A complexidade dos sistemas vivos produz propriedades emergentes.
7. A complexidade dos sistemas vivos permite a ação de contingências.
8. A persistência dos sistemas vivos requer que eles sejam capazes de mudar ao longo do tempo.
9. Os sistemas vivos surgem a partir de outros sistemas vivos.
10. A vida se originou de matéria não viva.

Tabela 2

O domínio e os princípios fundamentais da teoria celular

Domínio
Células e as causas de sua estrutura, função e variação
Princípios
1. Células são sistemas altamente ordenados e espacialmente demarcados.
2. Células são compostas de partes heterogêneas, consistindo de subsistemas que agem de maneira a compartimentalizar recursos e processos.
3. Células são reguladas por redes de interações bioquímicas e supramoleculares.
4. Células interagem com o ambiente externo a elas, incluindo outras células.
5. Células trocam matéria como o meio externo através de membranas semipermeáveis que agem como barreiras.
6. Células necessitam de uma fonte externa de energia, seja ela química ou eletromagnética.
7. Células usam energia para criar gradientes de concentração de íons e moléculas.
8. Novas células são formadas a partir de células pré-existentes.
9. Células contêm toda a informação necessária para sua própria construção, operação e replicação.(*)
10. As propriedades das células são resultado da evolução.

(*) Esta é uma afirmação potencialmente controversa e de significado pouco claro, que inspira cuidado. Primeiro, porque o conceito de 'informação' não tem significado claro na biologia, podendo ser considerado nada mais que uma metáfora à espera de uma teoria que atribua a ela tal significado claro no contexto desta ciência (Griffiths, 2001; El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2009). Segundo, porque tem sido proposto que há diversos sistemas informacionais nos sistemas vivos, que podem influenciar a dinâmica celular e a transmissão de informações (e.g., Jablonka, 2002).

Tabela 3A

O domínio e os princípios fundamentais da teoria dos organismos

Domínio
Indivíduos e as causas de sua estrutura, função e variação
Princípios
1. Um organismo individual mantém ativamente sua integridade estrutural e funcional.
2. Todos os organismos são compostos por células em algum ponto de seus ciclos de vida.
3. A manutenção de um nível do organismo requer mudanças em outros níveis.
4. Há conflitos (<i>trade-offs</i>) entre as funções organizmáticas.
5. A manutenção do organismo ocorre em função de interações com os ambientes biótico e abiótico.
6. Organismos necessitam de fontes externas de matéria e energia para sua manutenção, crescimento e reprodução.
7. Porque os organismos são mutáveis, influências externas podem forçar a mudança.
8. A heterogeneidade de recursos no espaço e no tempo leva à variação na ontogenia e nos padrões de história de vida.
9. A reprodução dos organismos é tanto uma causa quanto uma consequência dos processos evolutivo.
10. As propriedades dos organismos são resultado da evolução.

Tabela 3B

Os princípios fundamentais da subteoria dos organismos multicelulares

Princípios
1. A multicelularidade permite a especialização de células.
2. Interações entre células são necessárias para a especialização celular.
3. A especialização de células requer sua localização espacial e temporal em algum ponto do ciclo de vida.
4. A especialização de células gera propriedades emergentes no organismo.
5. A especialização de células permite a modularidade.
6. O desenvolvimento requer heterogeneidade na composição celular ou organizmática.

Tabela 4

O domínio e os princípios fundamentais da teoria da genética

Domínio
Padrões e processos de uso, armazenamento e transmissão de informação nos organismos
Princípios
1. A prole se assemelha à geração parental.
2. A fidelidade da transmissão da informação requer um sistema de correção de erros.
3. Uma vez que a vida é o produto da seleção natural, o sistema de informação deve ser capaz de produzir nova informação.(**)
4. As imperfeições na correção de erros criam nova informação.
5. A troca e a recombinação de informação entre indivíduos criam nova informação.
6. Processos aleatórios cumprem um importante papel na transmissão da informação, correção de erros e troca de

-
- informação entre indivíduos.
7. O sistema de utilização da informação deve ser robusto em relação à ocorrência de erros.
 8. A utilização da informação depende do contexto.
 9. As propriedades dos sistemas informacionais são resultado da evolução.
-

(**) Aqui, Scheiner se compromete com uma visão adaptacionista do processo evolutivo, o que nos parece desnecessário. Para evitar este problema, basta modificar o princípio, afirmando que “uma vez que a vida é produto do processo evolutivo, no qual a seleção natural cumpre papel importante, o sistema de informação deve ser capaz de produzir nova informação”

Tabela 5
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da ecologia

Domínio
Padrões espaciais e temporais de distribuição e abundância dos organismos, incluindo suas causas e conseqüências
Princípios
<ol style="list-style-type: none">1. Os organismos apresentam uma distribuição desigual no espaço e no tempo.2. Os organismos interagem com seus ambientes biótico e abiótico.3. Variações nas características dos organismos resultam na heterogeneidade dos padrões e processos ecológicos.4. A distribuição dos organismos e suas interações dependem de contingências.5. As condições ambientais são heterogêneas no espaço e no tempo.6. Os recursos são finitos e heterogêneos no espaço e no tempo.7. Taxas de natalidade e mortalidade são uma conseqüência das interações com os ambientes biótico e abiótico.8. As propriedades ecológicas das espécies são resultado da evolução.

Tabela 6
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da evolução

Domínio
Padrões intergeracionais das características dos organismos, incluindo suas causas e conseqüências
Princípios
<ol style="list-style-type: none">1. As características do organismo mudam com o passar das gerações.2. As espécies originam outras espécies.3. Todos os organismos se relacionam por meio de ancestrais comuns.4. A evolução ocorre por meio de processos graduais.(***)5. A variação entre os organismos de uma espécie em seu genótipo e fenótipo é necessária para a mudança evolutiva.6. A mudança evolutiva é causada primariamente pela seleção natural.(****)7. A evolução depende de contingências.

(***) Este é outro ponto controverso. Na teoria darwinista da evolução, em sua versão original, encontrada na obra de Darwin, e na teoria sintética, entende-se que a evolução é sempre gradual, sendo todos os padrões macro-evolutivos que constituem a árvore da vida redutíveis a processos micro-evolutivos, que ocorrem ao nível das populações (e.g., seleção e deriva), estendidos por longas escalas de tempo. Contudo, tem sido objeto de controvérsia crescente a possibilidade de que fenômenos macro-evolutivos não sejam completamente explicados por processos micro-evolutivos, podendo a evolução não ser sempre gradual, sempre um processo de lento acúmulo de variação geração após geração (e.g., Gould, 2002; Meyer & El-Hani, 2005; Grantham, 2007).

(****) A seleção natural é um mecanismo altamente corroborado e certamente muito importante na mudança evolutiva, mas tem sido debatido se este mecanismo é, em todos os casos, de importância primária, propondo-se que há processos de mudança evolutiva nos quais a importância da seleção é sobrepujada por outros processos, a exemplo da deriva e das restrições desenvolvimentais. Ver Gould (2002), Meyer & El-Hani (2007), Sepulveda, Meyer & El-Hani (2011).

ANEXO 2

Lista das obras submetidas ao PNLEM 2007 analisadas no presente trabalho

OBRAS EM VOLUME ÚNICO:

BORBA, A. A.; CROZETTA, M. A. S.; LAGO, S. R. *Biologia*. São Paulo: IBEP, 2005
BOSCHILIA, C. *Biologia sem segredos*. São Paulo: RIDEEL, 2005.
CARVALHO, W. *Biologia em Foco*. São Paulo: FTD, 2005
CHEIDA, L. E. *Biologia Integrada*. São Paulo: FTD, 2005
FAVARETTO, J. A.; MERCADANTE, C. *Biologia*. São Paulo: Moderna, 2005.
GAINOTTI, A.; MODELLI, A. *Biologia*. São Paulo: Scipione, 2005.
LAURENCE, J. *Biologia*. São Paulo: Nova Geração, 2005.
LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. *Biologia*. São Paulo: Ática, 2005.
MACHADO, S.W.S. *Biologia*. São Paulo: Scipione, 2005
MARANDINI, C.; BELLINELLO, L. C.; *Biologia*. São Paulo: Editora Atual, 2005

OBRAS EM TRÊS VOLUMES:

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia*. São Paulo: Moderna, 2005.
BORBA, A. A.; CANÇADO, O. F. L. *Biologia*. Curitiba: Editora Positivo, 2005
FAUCZ, F. R.; QUINTILHAM, C. T. *Biologia – Caminho da Vida*. Curitiba: Base Editora, 2005
FROTA-PESSOA, O. *Biologia*. São Paulo: Scipione, 2005
SILVA-JÚNIOR, C.; SASSON, S. *Biologia*. São Paulo: Saraiva, 2005.
PAULINO, W. R. *Biologia*. São Paulo: Ática, 2005.