

Aprendizagem baseada em problemas e a natureza integrada da Biologia: uma proposta didática sobre a evolução biológica para Formação Inicial

Problem-based learning and the nature of Biology: a didactic proposal about biologic evolution to Teacher Training

Thais Benetti de Oliveira [thabenetti@fc.unesp.br]

Professora Substituta junto ao Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Unesp-Bauru.

Beatriz Ceschim [beatriz_ceschim@hotmail.com]

Estudante de mestrado do Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência da Unesp-Bauru.

Ana Maria de Andrade Caldeira [anacaldeira@fc.unesp.br]

Professora Adjunta junto ao Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Unesp-Bauru.

Resumo

Como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta?” Esse questionamento suscita especulações acerca dos mecanismos de criação e/ou origem das diferentes formas orgânicas existentes ou já extintas do planeta. O darwinismo e a Síntese Moderna explicam essa diversidade com base nos conceitos de mutação, deriva genética e seleção natural, enfatizando a perspectiva DNA-centrista ao processo evolutivo. No entanto, as interações resguardadas entre os genes, organismos e ambientes podem fornecer respostas sobre a concepção que a palavra “forjar” adquire no contexto evolutivo. A partir desses questionamentos acerca da diversidade orgânica e da necessidade de inserir essas discussões na Formação Inicial, elaboramos uma proposta didática cuja metodologia foi a aprendizagem baseada em problemas. Os exercícios propostos fornecem um esteio inicial para inserção das questões evolutivas contemporâneas nas salas de aula a partir do levantamento de hipótese, discussões e pesquisas subjacentes a uma concepção integrada e sistêmica do conhecimento biológico.

Palavras chave: formação inicial, aprendizagem baseada em problemas, evolução biológica.

Abstract

“How evolution has forged all the organisms that live in our planet?” This reflection raises speculations about the mechanisms involved on origin or criation of the different existing or extincted organic forms on the planet. Darwinism and the Modern Synthesis explain this diversity based on the concepts of mutation, genetic drift and natural selection, which emphasizing the DNA-centrist perspective of the evolutionary process. However, interactions among genes organisms and environments can provide answers for the meaning of the word "forge" in the evolutionary context. From these questions about the organic diversity and the need to introduce these discussions in the teacher training, we developed a didatic proposal whose methodology was problem-based learning. The exercises can provide an initial mainstay for insertion of discussions about contemporary evolution's questions in classrooms from the hypothesis, discussions and research whose approach is the integrated and systematic design of biological knowledge.

Key words: teacher training, problem-based learning, biological evolution.

O caráter pluralista da evolução biológica: por que considerar essa abordagem na Formação Inicial em Ciências Biológicas?

A dimensão epistêmica.

A profusão das formas orgânicas existentes e já extintas é uma indagação bastante pungente entre os naturalistas e biólogos evolutivos. A ubiquidade dessas formas é surpreendente e suscita investigações acerca dos mecanismos que puderam criar e gerir tamanha diversidade.

Darwin já propunha especulações bastante relevantes para explicar essa diversidade. Para o naturalista, a seleção natural seria responsável tanto pela geração de adaptações quanto pela geração de diversidade. A teoria Sintética reafirma os pressupostos Darwinianos, enfatizando o papel da seleção natural na criação e origem das formas orgânicas, além de acrescentar os mecanismos de deriva genética e mutação. Dessa forma, a origem da diversidade fundamentou-se, predominantemente, na ação dos mecanismos genéticos. Seria possível, portanto, que a origem de “todas as formas orgânicas que habitam o nosso planeta” estivesse relacionada apenas com a perspectiva genética? Ou a evolução teria “forjado” alguns mecanismos específicos para que fosse possível a geração de tamanha diversidade?

A paráfrase ao título do livro de Sean Carrol (Infinitas formas de grande beleza, Como a evolução forjou a quantidade de criaturas que habitam o planeta, 2006) - um dos autores que escreveu sobre a biologia do desenvolvimento -foi a motivação inicial para um estudo analítico acerca de conteúdos epistêmicos e empíricos da Biologia Evolutiva, especificamente no que se refere à origem e diversidade das formas orgânicas ao longo do tempo evolutivo.

A diversidade de formas orgânicas, mesmo em diferentes contextos de produção do conhecimento científico acerca da evolução biológica (Darwinismo, Teoria Sintética e as ideias contemporâneas sobre evo-devo e eco-evo-devo) é, constantemente, colocada como alvo de derivações heurísticas e epistemológicas, principalmente no que se refere aos mecanismos envolvidos na origem e causa dessa diversidade.

Embora o DNA-centrismo tenha caracterizado as explicações sobre a origem e produção da diversidade orgânica desde 1920, essa perspectiva não nos forneceu subsídios para entendermos a biologia evolutiva como um todo, bem como as especificações de controle causal do processo evolutivo. Os genes e a alteração da frequência gênica nas populações como resultado de processos seletivos não são a única explicação para a diversidade orgânica.

Atualmente, esse molecular-centrismo que caracterizou o contexto de produção teórica e empírica da biologia evolutiva é, fadidamente, criticado por filósofos e biólogos que propugnam sobre a ideia de que diversos mecanismos evolutivos têm papel causal e explicativo na evolução dos seres vivos. Essa ideia e/ou designação respalda um cenário diferente à evolução e pauta-se em um pluralismo de processos que atuam complementar e sincronicamente para a ocorrência do processo evolutivo (PIGLIUCCI, 2007; ALMEIDA; EL-HANI, 2010; GILBERT; EPEL, 2009).

O avanço das pesquisas na área da Embriologia forneceram dados bastante significativos no que se refere ao modo de operação da expressão gênica e a maneira que esse processo origina novas formas. A existência de um “kit de ferramentas” comum a organismos mesmo distantes filogeneticamente fundou a ideia de que o mais importante para a diversidade não é o conteúdo ou a quantidade de variedade sequencial do kit de ferramentas genéticas de um animal, e sim, “a maneira como você as usa”. A construção das formas depende da ativação e desativação de determinados genes em diferentes momentos e posições ao longo da embriogênese. Logo, as diferenças na forma também surgem de alterações evolutivas de determinados genes nesses locais e momentos, sobretudo daqueles que afetam o número, o formato ou o tamanho de uma estrutura. As diversas maneiras por meio das quais um gene pode ter sua utilização alterada criam uma enorme variedade nas arquiteturas corporais e na organização de cada estrutura (CARROL, 2006).

A ideia de bricolagem gênica está pautada na interação e nas relações resguardadas entre gene, organismo e ambiente. Um único genótipo pode produzir muitos fenótipos, dependendo das muitas contingências encontradas durante o desenvolvimento. Por isso, o fenótipo é o resultado de complexos eventos do processo de desenvolvimento que são influenciados tanto pelos fatores ambientais quanto pelos genes (NIJHOUT, 1999).

Por exemplo, alterações no ambiente podem resultar no desenvolvimento de fenótipos completamente diferentes em indivíduos da mesma casta e, diferentes fatores ambientais podem suscitar mudanças fenotípicas no padrão do desenvolvimento (presença de predador; mudança de estação).

Se pensarmos na quantidade de formas orgânicas existentes e na natureza sistêmica e integrada da Biologia, poderíamos prescindir as ações ontogenética, organísmica e ecológica do fenômeno evolutivo? É fato que a perspectiva genética contribui para ubiquidade das formas orgânicas existentes. No entanto, a partir da interação com o nível ontogenético e ecológico, podemos entender como a abordagem integrada e pluralista é uma das chaves que explica tamanha profusão de formas orgânicas existentes e já extintas.

A perspectiva pluralista contempla campos de pesquisa a partir dos quais podemos compreender a existência de diversos mecanismos operando de modo complementar no processo evolutivo. Como as perspectivas genética, organísmica e ecológica interagem ou exercem influências umas nas outras e no processo evolutivo?

A quantidade de mecanismos adaptativos engendrados a partir dessa interação é objeto de grande potencial para entendermos a abordagem integrada da Biologia e porque essa abordagem é reiteradamente importante no cenário evolutivo.

Essa compilação epistemológica dispôs, a partir da década de 1970, algumas objeções candentes aos pressupostos conceituais consolidados pela Teoria Sintética e fez erigir campos de pesquisas cujo conteúdo contempla a ação integrada dos fatores biológicos no processo evolutivo: a evo-devo e a eco-evo-devo.

Exposta essa breve justificativa epistêmica do trabalho, nossa segunda preocupação incide na dimensão didática. Como todos esses compêndios epistemológicos e empíricos acerca da biologia evolutiva podem ser abordados na Formação Inicial? De que forma podemos transpor didaticamente essa abordagem?

A justificativa epistêmica deste trabalho provisiona a estrutura da proposta didática que será apresentada: faz-se necessária a elaboração de atividades que abarquem a importância da perspectiva genética nos processos evolutivos (e contempla os pressupostos teóricos da Teoria Sintética e do Darwinismo), mas também, a pluralidade de fatores (interação gene-organismo-ambiente) necessária para explicar a diversidade morfológica.

Como uma tentativa de articulação entre epistemologia e didática, elaboramos uma proposta didática fundamentada na aprendizagem baseada em problemas (ABP) cujo principal esteio teórico e metodológico foi a integração dos diferentes níveis biológicos no fenômeno evolutivo. O potencial heurístico desse tipo de proposta didática pode auxiliar os alunos a entenderem o conhecimento de forma mais complexa e sistêmica, além de ser um subsídio pedagógico para os professores da disciplina de evolução.

A dimensão didática

É notório que essa falta de integração entre os conceitos biológicos reflete na organização curricular dos cursos de Formação Inicial e na própria formação que o futuro professor de biologia está submetido. Uma vez que o conhecimento biológico é tratado de forma compartimentalizada nas salas de aula, o aluno, dificilmente, irá sozinho, derivar as relações de integração entre os diferentes conceitos biológicos.

No que é referente à evolução, por exemplo, o conteúdo sobre biologia evolutiva do desenvolvimento, ou evo-devo, encontra-se nos capítulos finais de alguns livros didáticos de Evolução para o Ensino Superior - como Ridley (2006) e Futuyma (2009). Os livros didáticos influenciam diretamente a prática da maioria dos professores e a aprendizagem dos estudantes, além de exercer direcionamento sobre a elaboração do currículo, uma vez utilizado para sequenciar conteúdos, atividades, abordagens e avaliação (BITTENCOURT-DOS-SANTOS; EL-HANI, 2013). A ordem e a organização compartimentalizada dos conteúdos referentes à evolução no livro didático colaboram para um afastamento entre os conceitos ontogenéticos e o eixo teórico central (dado pelos conceitos constituintes da Teoria Sintética).

Grande parte dos conteúdos relativos aos mecanismos evolutivos diferentes de seleção natural aparece em apêndices, notas de rodapé, leituras complementares, ou em capítulos finais, nos quais são abordados de maneira fragmentada, sem a devida integração aos demais conteúdos abordados pelo livro (BITTENCOURT-DOS-SANTOS; EL-HANI, 2013).

A eco-evo-devo, uma abordagem ainda mais pluralista e sistêmica da biologia evolutiva ainda não está inserida em livros didáticos no Brasil. Ao contrário da maioria dos exemplos evolutivos, em que o ambiente é um mero filtro que seleciona as variações existentes e configura pressões seletivas específicas, para eco-evo-devo, o ambiente é uma fonte de variação. O ambiente contém sinais que podem possibilitar o desenvolvimento do organismo a produzir um fenótipo que aumentará o seu “fitness” em um ambiente particular. No entanto,

essa não é a ideia comumente apresentada pelos livros textos atuais ou nas apresentações populares da Biologia (GILBERT; EPEL, 2009).

Não podemos reduzir completamente o fenótipo aos genes herdados. O ambiente tem um incrível repertório de possibilidades para a geração de fenótipos (a sazonalidade, o tipo de alimentação, a presença de predadores, adaptações para fuga ou regulação térmica).

Dessa forma, armando-se de razões tanto epistêmicas quanto didáticas, pretendemos, por meio de uma proposta didática baseada na aprendizagem por problemas, fornecer esteios pedagógicos iniciais para professores de evolução.

Os exemplos apresentados pela atividade têm grande potencial didático para discussão dessa caracterização sistêmica e integrada da evolução biológica.

Nesse sentido, é de suma importância que o professor esteja atualizando-se constantemente- já que durante muito tempo o gene foi considerado o elemento exclusivo para muitas das explicações biológicas e a participação do ambiente, muitas vezes, mencionada de forma simplificada e equivocada- e que os conteúdos abordados na Formação Inicial não fiquem restritos a literaturas desatualizadas.

A leitura de artigos e de publicações estrangeiras é subsídio fundamental para que o professor possa buscar novos exemplos, compilações epistêmicas, desafios, suscitando novas dúvidas, indagações e colaborando com a formação de um professor e pesquisador cujo processo de formação permite um entendimento da real natureza do conhecimento biológico e suas vicissitudes.

Uma possibilidade de articulação entre a Didática e a Epistemologia da Biologia: a aprendizagem baseada em problemas como estratégia pedagógica para abordagem integrada da evolução biológica.

A metodologia adotada para a proposição das atividades é baseada na resolução de problemas. A partir dos exercícios propostos, objetivamos explorar as habilidades de formulação de hipóteses, investigação, análise de resultados e elaboração e/ou estruturação de sugestões de soluções (POZO; ANGON, 1998). A partir dessa proposta metodológica, pretende-se subsidiar o desenvolvimento de habilidades e da aprendizagem por meio da reflexão sobre os conteúdos e a natureza das Ciências Biológicas.

Para Krasilchik (2005), o Ensino de Biologia ainda é realizado de forma descritiva, a partir de um excesso de terminologia, sem articulações entre as diferentes áreas constituintes do conhecimento biológico. Assim, os problemas elaborados referenciam situações biológicas cujo entendimento passa por uma integração e relação de conceitos, interpretação do texto e questionamento e problematização sobre um tema vinculado ao cotidiano dos alunos: a diversidade biológica.

Dessa forma, o processo de ensino e aprendizagem pode alicerçar-se não apenas na memorização de conceitos, mas em uma organização e estratégia didática que esteja próxima a construção da atividade científica e das ciências experimentais (POZO, 1998; BOLOGNA, 2007). A partir de um tema bastante relevante em diferentes contextos- a diversidade biológica- os alunos terão a possibilidade de articular o conhecimento prévio- seja o científico, dado pelo darwinismo e pela Teoria Sintética, seja em contextos em que a diversidade e preservação orgânica são discutidas em outros termos ou instâncias- com a ideia de uma percepção integrada dos níveis biológicos.

Consideramos como habilidades gerais de resolução de problemas: a interpretação e compreensão do texto do problema; a observação, a elaboração de hipóteses por meio dos

conhecimentos prévios; a pesquisa; a articulação entre os conhecimentos prévios e os novos conteúdos e a elaboração de uma solução para o problema (POZO; ÁNGON, 1998, p.146).

Esses problemas foram elaborados com o objetivo de que o aluno entenda a natureza integrada do conhecimento biológico e o contexto de produção de conhecimento. Para que as questões sejam resolvidas, os alunos precisam refletir sobre o conhecimento já adquirido - pressupostos Darwinistas e Teoria Sintética - e articular com perspectivas teóricas mais contemporâneas.

Problema 1

A coluna vertebral de alguns animais difere quanto ao número de cada tipo de vértebra. Essa diferença resulta em pescoços longos (gansos), em pescoços curtos (camundongo), ou na ausência de pescoço (cobras). Estudos revelam que um gene (Hoxc6), expresso na coluna vertebral, sinaliza qual será o limite entre vértebras cervicais e torácicas. Assim, a morfologia do pescoço depende do local de expressão do gene (mais próxima ou distante da cabeça). Nas cobras, o gene Hoxc6 é expresso tão perto da cabeça que não se formam vértebras cervicais e, portanto, elas não apresentam pescoço. Em gansos, o mesmo gene é expresso longe da cabeça, e o pescoço compreende a extensão das primeiras 22 vértebras (EL-HANI; MEYER, 2009).

A partir desse trecho, podemos refletir sobre o fato de que a natureza da Biologia opera de forma tão sincronizada que viabilizou a existência de percursos “econômicos”, a partir dos quais, uma infinidade de formas pôde ser criada, sem a necessidade de um caminho-sequências de nucleotídeos- completamente inédito. François Jacob propôs uma analogia pertinente para referir-se a esses “reaproveitamentos” ou cooptações, afirmando que a evolução pode operar, também, graças ao mecanismo de bricolagem.

A bricolagem é a atividade de construção de algo, usando como matéria-prima peças preexistentes. Como você justificaria essa analogia atribuída ao processo evolutivo, pensando nos mecanismos de expressão gênica e na diversidade de formas orgânicas?

Objetivo/Justificativa: levantamento de hipóteses sobre possíveis mecanismos de origem de diversidade orgânica; discussões e reflexões de que fenótipos diferentes podem ser gerados por sequências nucleotídicas similares ou idênticas, de acordo com a sincronização espaço-temporal da expressão genética; conclusão de que a expressão gênica está associada a outros fatores que não sejam, exclusivamente, a sequência específica dos nucleotídeos.

Problema 2

A partir do exercício anterior, identificamos que as diversas maneiras por meio das quais um gene pode ter sua utilização alterada, possibilitam uma variedade nas arquiteturas corporais e, portanto, podem explicar a variedade de formas orgânicas existentes.

Por exemplo, um único genótipo pode produzir muitos fenótipos, dependendo das muitas contingências encontradas durante o desenvolvimento. Por isso, o fenótipo é o resultado de complexos eventos do processo de desenvolvimento que são influenciados tanto pelos fatores ambientais quanto pelos genes (NIJHOUT, 1999).

Imagine um jovem organismo aquático desenvolvido em uma lagoa específica. Estes organismos são capazes de sentir os bioquímicos solúveis na água- os produtos liberados pela saliva ou urina dos seus principais predadores. Na presença desses sinais, o padrão de desenvolvimento do organismo é alterado e resulta em um fenótipo que minimiza a probabilidade de predação. Quando as lavras de libélula estão presentes, os girinos *Hyla*

chrysoyelis e *H. versicolor* – suas presas- desenvolvem caudas vermelhas brilhantes, as quais desviam a atenção dos predadores e um conjunto de músculos do tronco que possibilita a eles uma locomoção mais ágil para escapar dos predadores (GILBERT; EPEL, 2009).



Figura 1- Diferença fenotípica da *Hyla chrysoyelis* em polifenismo induzido pela presença de predador. À direita um girino na presença de predador, e à esquerda, um girino na ausência de predador.

A partir desses exemplos, faça uma pesquisa e descreva três exemplos que caracterizam a possibilidade de geração de diversidade fenotípica por mecanismos distintos da mutação, da recombinação gênica e da seleção natural.

Discuta os exemplos trazidos com os colegas e aponte os mecanismos pesquisados por cada grupo.

Objetivo/Justificativa: levantamento de hipóteses sobre possíveis mecanismos de origem de diversidade orgânica atrelados, principalmente às diversas condições ambientais; discussões e reflexões de que fenótipos diferentes podem ser gerados pela mudança de temperatura, presença de predadores, sazonalidade, densidade demográfica da espécie; conclusão de que a expressão gênica é subjacente a circunstâncias ambientais e que o ambiente tem um efeito profundo no fenótipo do animal, ou seja, tudo que é necessário para um fenótipo não está empacotado no ovo fertilizado.

Problema 3

Sean Carrol é um dos mais célebres autores que escreveu sobre a biologia evolutiva do desenvolvimento. O título do seu livro “Infinitas formas de grande beleza: Como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam nosso planeta?” faz menção a tamanha ubiquidade de formas orgânicas, decorrentes do processo evolutivo e dos mecanismos envolvidos nesse processo.

O âmago das objeções contemporâneas ao corpo teórico-conceitual da Teoria Sintética é o DNA-centrismo que caracteriza essa teoria, já que os mecanismos de mutação, deriva genética e seleção natural, não são responsáveis, sozinhos, pela origem de toda diversidade.

Com base nas questões anteriores e nessa crítica direcionada à Teoria Sintética, como você explicaria o sentido da palavra “forjar” apresentada no título do livro?

Objetivo/Justificativa: levantamento de hipóteses sobre possíveis relações entre a crítica ao DNA-centrismo e os diversos mecanismos que possibilitam a origem de diversidade orgânica; discutir sobre o sentido do emprego da palavra “forjar” no contexto evolutivo (que pode ter por base os 2 problemas anteriores); conclusão sobre diversos mecanismos existentes e participantes do processo evolutivo que possibilitam a geração de diversidade orgânica.

Conclusões

O conjunto de problemas propostos está baseando em dois pontos principais: o entendimento e a reflexão sobre a natureza integrada das ciências biológicas e a pesquisa e interpretação de texto por parte dos alunos.

A dimensão conceitual e memorística do conhecimento biológico é reiteradamente abordada nos currículos, nos livros didáticos e na própria concepção de ensino e aprendizagem dos professores. No entanto, na maioria das vezes, essa ênfase na dimensão conceitual, distancia-se da natureza da ciência, da forma como o conhecimento é produzido, organizado.

A evolução biológica é o eixo integrador do conhecimento biológico e traduz as intrincadas relações estabelecidas entre os diferentes níveis biológicos. No entanto, essas relações entre gene-organismo e ambiente e a sua relação com a origem e diversidade das formas orgânicas é reduzida apenas aos engendramentos genéticos.

Os exercícios propostos são baseados em fenômenos biológicos cujo entendimento requer uma abordagem integradora dos conceitos biológicos.

A partir dos mesmos, o professor pode desenvolver discussões sobre a integração do fenômeno biológico no contexto dos processos evolutivos.

Referências

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

ANDRADE, M. A. S. **Possibilidades e limites da aprendizagem baseada em problemas no ensino médio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência), Unesp-Bauru, 2007, 182f.

CARROLL, S. B. **Infinitas formas de grande beleza, Como a evolução forjou a quantidade de criaturas que habitam o planeta**, Rio de Janeiro, Editora Jorge Zahar Ed., 2006.

EL-HANI,C.N.; MEYER, D. A. evolução da Teoria Darwiniana. **ComCiência**, n.107, 2009.

FUTUYMA, D. J. **Biologia Evolutiva**, 3 ed., Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 2009.

GILBERT, S. F.; EPEL, D. **Ecological Developmental Biology**, Massachusetts, USA, 2009.

KRASILCHIK, M. Prática de Ensino de Biologia. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

NIJHOUT, H. F. The Developmental and Evolution of Butterfly Wing Patterns. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 1991.

PIGLIUCCI, M. Do we need an extended evolutionary synthesis? **Journal compilation. The Society for the Study of Evolution**. 61-12: 2743-2749, 2007.

POZO, J. I.; ANGÓN, Y.P. A solução de problemas como conteúdo procedimental da educação básica. In: POZO, J.I. (Org). **A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre, Artes Médicas Sul, 1998.

POZO, J. I.; CRESPO, M.A.G. A solução de problemas nas Ciências da natureza. In: POZO, J.I. (Org). **A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre, Artes Médicas Sul, 1998.

RIDLEY, M. **Evolução**, 3. ed., Porto Alegre, Artmed, 2006.

SANTOS, J. V. A. **Concepções de progresso biológico em livros didáticos de Biologia aprovados pelo PNLD 2012**. 2013. 168p. Dissertação. (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis, SC, 2013.

SANTOS, W. B. Análise de livros didáticos e validação de sequência didática sobre pluralismo de processos e evo-devo no contexto do ensino de zoologia de vertebrados. 2011. 506f. Dissertação. (Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento). Universidade Federal da Bahia, campus Salvador, Bahia, 2011.