

PARADIGMAS PRÉ-EVOLUCIONISTAS, ESPÉCIES ANCESTRAIS E O ENSINO DE ZOOLOGIA E BOTÂNICA

Dalton de Souza Amorim

As grandes mudanças com relação à compreensão da diversidade biológica no âmbito de uma visão evolutiva, proposta no século XIX, por diversos motivos não chegaram ao ensino de Zoologia e Botânica mesmo no início do século XXI. Em sua prática, o ensino dessas matérias não consegue superar a visão aristotélica. Daí decorre uma didática fundamentada na memorização de nomes de grupos e de características, sem integração interna, sem conexão com o conhecimento de outras áreas e sem apelo ao saber pessoal dos alunos – em suma, pouco atrativo para discentes e docentes. Como romper com esse paradigma? A simples apresentação dos filós (ou outros grupos) “na seqüência em que eles aparecem na filogenia” não é suficiente para abandonar a visão essencialista. São necessários desenhos diagramáticos das espécies ancestrais nos vários níveis, bem como a recuperação das características compartilhadas *entre* filós para que haja integração da informação sobre os vários grupos. Por outro lado, é possível trabalhar com o grande repertório de conhecimento que os alunos já dispõem sobre diversidade, morfologia e fisiologia animal para reconstituir as relações entre os grupos e as características que compartilham nos vários níveis da filogenia.

- ¹ KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: Chicago University Press, 2nd Ed., 1970.
- ² KUHN, T. S. On learning physics. *Science & Education* 9(1-2):11-19, 1990.
- ³ DUTRA, L. H. A. Kuhn e a filosofia da educação. <http://www.cfb.ufsc.br/~wfil/kuhnport.htm>, 1999.
- ⁴ PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em ensino de ciências*, 4(3), 1996.
POMBO, O. Unidade das ciências e configuração disciplinar dos saberes. Contributos para uma filosofia do ensino. *Revista de Educação*, VIII(1):170-174, 1999.
ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R. & LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. *Investigações em ensino de ciências*, 6(1), 2001.
- ⁵ DUSCHL, R. A. *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press, 1990.
DUSCHL, R. A., & GITOMER, D. H. Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858, 1991.
DUSCHL, R. A. & HAMILTON, R. J. (eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany, NY: State University of New York Press, 1992.
COLBERN, W. W. Science education as an exercise in foreign affairs. *Science & Education*, 4(3):287-302, 1995.
- ⁶ ALTERS, B. J. & NELSON, C. E. Perspective: teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10): 1891-1901, 2002.
- ⁷ KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. *Op. cit.*

O modelo de dinâmica da ciência, baseado em paradigmas e períodos de acúmulo de dados, proposto por Thomas Kuhn¹, tornou-se ele mesmo um paradigma. Contudo, a dinâmica no ensino da ciência, com a substituição dos velhos por novos paradigmas no conteúdo das várias áreas, ainda é um objeto de investigação relativamente pouco explorado.

O próprio Kuhn² discutiu a relação entre o ensino e a formação de novas gerações de pesquisadores³, mas muitos dos esforços nessa área concentram-se na transposição do modelo de ciência para o ensino⁴. As dificuldades da indução pelo professor de novos paradigmas para os alunos envolvem, além dos aspectos de conteúdo, elementos sociológicos e de psicologia cognitiva.⁵ Em recente análise do ensino particularmente na área de Evolução, Alters & Nelson⁶ chegam a conclusões importantes sobre a influência de paradigmas pré-estabelecidos no aprendizado de novos conteúdos. No entanto, quase nenhum desses estudos aborda diretamente a análise do processo de substituição de paradigmas – ou seja, de evolução dos conteúdos – no ensino de cada área da ciência.

No âmbito de uma comunidade de pesquisadores, é comum que haja convívio entre paradigmas conflitantes, em especial em períodos revolucionários de uma área de investigação.⁷ A demora na substituição de paradigmas na comunidade científica de modo geral não é muito grande. Atualmente, o *turn-over* de paradigmas nos núcleos de produção de ciência costuma ser ágil, ainda que a extensão desse período varie entre áreas e tenha se acelerado nas últimas décadas. Entretanto, à medida que nos afastamos do núcleo da comunidade produtora do conhecimento, em direção ao que às vezes se chama de comunidade reprodutora do conhecimento – o ensino, em seus vários níveis –, paradigmas antigos têm prevalência cada vez maior.

No caso do ensino de Zoologia e Botânica, no entanto, o problema é particularmente atípico. Em uma época em que, na comunidade científica, não se questiona o conceito de evolução, a compreensão de alguns aspectos mais profundos da teoria evolutiva e de suas implicações ainda é consideravelmente limitada. Isso não parece diferente do que acontece com a teoria da relatividade, no que se refere a conceitos que guardam enorme distância em relação ao senso comum. Porém, se no caso da teoria da relatividade a ruptura do paradigma newtoniano ocorreu há menos de um século, no caso da evolução o referencial teórico anterior é formado por uma mistura de aspectos do essencialis-

mo aristotélico, do idealismo platônico e do criacionismo do *Genesis*, cuja idade supera 23 séculos. Mesmo deixando de lado a questão do paradigma criacionista, boa parte do ensino de Zoologia e Botânica (inclusive em nível universitário) ainda se apóia largamente em uma visão essencialista-idealista. Apesar do endosso do paradigma evolucionista, a maior parte dos pesquisadores e professores ainda observa uma conceituação e uma *praxis* essencialista ao lidar, respectivamente, com a natureza da diversidade biológica e com a organização da informação sobre o tema. A conseqüência é que, constando Evolução do conteúdo programático de Biologia no ensino básico, convivem formalmente dois paradigmas antagônicos: um deles, evolutivo quanto ao processo de *origem da diversidade*; o outro, essencialista-idealista quanto à *natureza das espécies e da organização da informação biológica*. As filosofias essencialista e idealista não são ensinadas ou claramente apoiadas, de modo que o ensino tradicional de Zoologia e de Botânica reduz-se a um processo de memorização de características, sem que se componha uma unidade clara do ponto de vista biológico ou filosófico. O resultado é pífio em termos de aprendizado e de motivação de professores e alunos.

Não é propósito deste artigo rever historicamente o desenvolvimento da Zoologia e da Botânica, ou mesmo a história do ensino dessas áreas. A tarefa é extensa e já está sendo realizada.⁸ O objetivo aqui é considerar o conflito paradigmático no ensino tradicional de Zoologia e Botânica e apresentar uma alternativa metodológica, sob uma abordagem estritamente evolutiva. De alguma forma, tal discussão serve como estudo de caso das dificuldades do processo de substituição de um paradigma no ensino de ciências.

⁸ Ver, por exemplo, PAPAVERO, N.; LLORENTE-BOUSQUETS, J.; ESPINOSA ORGANISTA, D. & MASCARENHAS, R. *História da Biologia Comparada*. Desde o Gênesis até o fim do Império Romano do Ocidente. Ribeirão Preto: Holos, 2000.

Zoologia e Botânica: morfologia ou ordem?

É comum em alguns círculos atuais da ciência e do ensino de ciências uma visão relativamente antipática da Zoologia e da Botânica. São tidas como áreas “ultrapassadas” em sua abordagem mais morfológica, face a vertentes que incorporam tecnologia nova, particularmente a molecular. Essa é uma compreensão pobre da área, reflexo de uma concepção deficiente de seus objetivos e de seu escopo. Ainda que a morfologia pudesse ser considerada esgotada – definitivamente não está –, nesse contexto ela é um detalhe, apenas uma ferramenta, não a meta.

Zoologia e Botânica são parte do que se chama de Sistemática, que inclui ainda o conhecimento de bactérias,

fungos, vírus e organismos unicelulares com núcleo. O objetivo da Sistemática é, a partir da investigação dos grupos, *organizar* a informação sobre a diversidade. É curioso que, no momento em que o planeta vive sua crise mais grave de conservação da biodiversidade, a geração de conhecimento sobre a diversidade em si atinge seu nível de menor prestígio.

A diversidade biológica já descrita pela ciência fica pouco abaixo de dois milhões de espécies. Estimativas da diversidade real variam entre cinco e 50 milhões de espécies atuais. Esse volume de informação não pode ser apresentado e trabalhado – cientificamente ou de forma leiga – como listas de nomes de espécies ordenados alfabeticamente. Algumas contas podem mostrar a complexidade envolvida. Na construção de uma hierarquia de espécies, organizada em grupos menores, há três maneiras diferentes de agrupar três espécies duas a duas; há 15 maneiras diferentes de agrupar quatro espécies, número que sobe a 105 quando as espécies são cinco. Para 22 espécies, há mais de 13 setilhões de possibilidades de agrupá-las (ou $1,3 \times 10^{25}$). O número de possibilidades de combinar todas as quase dois milhões de espécies conhecidas é virtualmente incalculável.⁹

⁹ AMORIM, D. S. *Fundamentos de Sistemática Filogenética*. Ribeirão Preto: Holos, 2002. 158 p.

O significado desses números é que deixar aos usuários do sistema de classificação o papel de reordenar as centenas de milhares de espécies listadas apenas alfabeticamente seria lançá-los em um labirinto infinito. Ordenar o conhecimento da diversidade biológica é uma das tarefas mais elementares da Biologia e crucial para todo tipo de uso que se quiser fazer da informação biológica.

¹⁰ LINNAEUS, C. *Systema naturae per regna tria naturae*. Stockholm: Holmiae, 1758. v. 1, 824 p.

O sistema tradicional de classificação proposto por Lineu¹⁰, ainda que às vezes tido como uma ferramenta primária, corresponde a uma das mais extraordinárias obras de engenharia do conhecimento já desenvolvidas pelo homem. Lineu construiu um sistema aplicável a toda a diversidade. A proposição de um sistema hierárquico elimina quatrilhões e quatrilhões de relações possíveis entre as espécies, formando grupos que teriam pouca ou nenhuma utilidade para o usuário. Um grupo que incluía as palmeiras e o samambaiçu, por exemplo, apesar de alguma semelhança superficial, corresponderia a apenas uma das trilhões de associações indevidas entre espécies de plantas, imediatamente evitada pelo sistema. Note-se que o trabalho da Sistemática nos últimos dois séculos e meio é tão importante que boa parte dos agrupamentos foi incorporada ao conhecimento comum, passando aos léxicos e glossários de cada língua.

Talvez exatamente por se tornar parte da linguagem, no entanto, o sistema deixa de ser visto como produto de uma área da ciência e fica pouco destacado o enorme impacto que a Sistemática tem na pesquisa e no cotidiano humano.

O uso do sistema de classificação no meio científico é imenso e demanda enorme precisão. Na verdade, a classificação biológica corresponde a um sistema geral de referência para todas as áreas, implicando economia, eficiência e precisão na construção de hipóteses sobre qualquer aspecto biológico. No teste de novos fármacos, por exemplo, é indispensável uma compreensão exata da relação entre os vários grupos de vertebrados, e do nível de surgimento de características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas para que a aplicabilidade dos testes para o homem possa ser devidamente inferida.¹¹

¹¹ AMORIM, Dalton S. & AMORIM, Dalmo S. Phylogenetic approaches on immunological and parasitary studies: some comments on potential research programs. *Bras. J. Medic. Biol. Res.*, 25:967-971, 1992.

Zoologia e Botânica, portanto, são apenas nomes para duas delimitações do imenso ordenamento proposto para a diversidade biológica conhecida. O uso da morfologia não deve ser visto com estranheza: apenas é a fonte mais barata de informação, a de uso mais antigo e a que dispõe de mais dados acumulados, permitindo comparabilidade ampla entre todas as espécies já descritas. A Sistemática, portanto, não se apóia sobre a morfologia em particular, mas sobre uma base de dados – morfológicos, moleculares, fisiológicos, histoquímicos, comportamentais etc. – que cresce apenas gradualmente.

Paradigmas idealistas e essencialistas na Zoologia e na Botânica

Essencialismo e idealismo são assuntos da filosofia. Contudo, é necessário considerar aqui, ainda que brevemente, sua relação com a Zoologia e a Botânica. O idealismo platônico é relevante, nesse contexto, na medida em que estabelece um modelo para a natureza das espécies e para as relações entre elas. No modelo de Platão, a cada espécie existente corresponderia um tipo ideal dessa espécie. Todos os indivíduos de uma mesma espécie seriam cópias imperfeitas desse mesmo *tipo ideal*, que existiria em um mundo ideal ou das idéias. Por causa da natureza atemporal e perfeita desse mundo, os tipos seriam perfeitos e imutáveis. Portanto, se o tipo jamais se modifica, as imperfeições nas inúmeras cópias do tipo ideal ao longo das gerações corresponderiam apenas a “variações sobre o mesmo tema”: nunca haveria qualquer direção nas mudanças ou modificação do que fosse a natureza da espécie. Igualmente

relevante, como os indivíduos das várias espécies são cópias de entidades distintas – os vários tipos ideais –, *não há qualquer conexão histórica ou material entre as espécies.*

Aristóteles opõe-se sob diversos pontos de vista a essa concepção de mundo e à maneira de Platão fazer filosofia, mas não nega o conceito de inalterabilidade das espécies e a ausência de conectividade entre elas. Além de seu domínio filosófico e de outras áreas de ciências empíricas, Aristóteles era detentor de um imenso conhecimento zoológico e botânico, e foi capaz de avançar conceitos extremamente elaborados em Biologia, como os de homologia e analogia, semelhanças compartilhadas, hierarquia de grupos etc. As semelhanças entre as espécies, para Aristóteles, teriam sua origem em essências compartilhadas. As essências seriam atemporais, implicando que tanto essas quanto as espécies que as portam seriam fixas. As diferenças entre indivíduos da mesma espécie seriam devidas a “acidentes da matéria” – portanto alheias ao interesse da ciência, que busca universais e não particulares. As diferenças entre espécies, por sua vez, seriam resultado de diferentes combinações entre essências, além da presença de essências próprias de cada espécie. Na visão de Aristóteles, ainda que as espécies não tivessem nenhum tipo de relação material ou histórica, o *compartilhamento de essências* permitia, pelo método da diérese platônica, a criação de grupos taxonômicos representados em um sistema lógico – uma classificação. As classes ou agrupamentos são definidos, nesse contexto, por listas de características – essências – compartilhadas. Eis as bases do ensino atual de Zoologia e Botânica.

Modelos evolutivos

A questão da evolução das espécies confronta-se antes com a visão fixista do idealismo platônico que com a visão criacionista. Há modelos *criacionistas evolucionistas* viáveis, como a própria proposta de Lamarck¹². De fato, no período entre o final do século XVIII e o início do século XIX, o aspecto do idealismo platônico que confere estabilidade às espécies – o fixismo – parece ter sido o conceito a superar. No ensino, o contexto filosófico compreendendo a discussão da origem da teoria evolutiva é relegado a segundo plano, o que dificulta a compreensão dos modelos propostos e de seus significados. Parece claro que a exclusão da filosofia como matéria na formação básica – em uma época fortemente positivista e de redução de custos na educação – é responsável por inúmeras das deficiências no aprendizado de ciências e na formação de conceitos.

¹² LAMARCK, Jean-Baptiste de. *Zoological Philosophy*. New York: Hafner, 1809. (Transl. H. Elliot, 1963).

Ainda que com um modelo hoje considerado frágil, Lamarck tem o grande mérito de ter questionado o conceito fixista das espécies. A visão evolutiva de Lamarck, no entanto, não ataca a explicação criacionista para a origem das espécies. Questionar o fixismo, mesmo com uma base criacionista, certamente correspondia a questionar o conceito de tipos ideais e, por extensão, o conceito de ideal ou de perfeição. É necessário compreender, portanto, que a ruptura do paradigma fixista das espécies posiciona-se além dos limites de uma discussão biológica, no domínio da filosofia. Isso ajuda a dimensionar a dificuldade de superar os conceitos pré-evolutivos no âmbito do ensino, tanto por parte de alunos quanto de professores.

Darwin e Wallace propuseram um modelo explicativo extremamente poderoso para o processo de modificação das espécies. O modelo darwinista põe em cheque o fixismo clássico com apoio em dois conceitos dificilmente questionáveis: a existência de variabilidade herdável subjacente às espécies (mecanismo pouco compreendido à época, mas demonstrado por Darwin) e a sobrevivência diferencial dos indivíduos de populações. Uma vez que as populações não crescem geometricamente, as mortes a cada geração resultam em um mecanismo natural de seleção das características dos sobreviventes. A associação entre esses dois conceitos resulta no fato de que as espécies se alteram *direcionalmente* ao longo do tempo.

O aspecto da seleção da variabilidade pré-existente é o mais conhecido e discutido do paradigma darwinista. No entanto, o modelo contém um elemento adicional largamente subestimado em estudos de história da Biologia. Fosse apenas pela abordagem selecionista, o modelo de Darwin se reduziria a mais uma visão criacionista-evolucionista. Mais que isso, no entanto, a proposta de Wallace e Darwin adiciona o conceito de que as espécies têm *conexão histórica*, material: a origem das espécies atuais é explicada por um processo de divisão de espécies pré-existentes, as *espécies ancestrais*, gerando novas entidades. Isso inviabiliza o segundo aspecto da visão idealista-essencialista, a ausência de conexão direta entre as espécies. Essa é uma tese efetivamente revolucionária, sem a qual a teoria evolutiva de Darwin não teria sequer um traço de seu impacto científico e social. Ainda assim, sua importância no contexto da teoria evolutiva passa despercebido em sentido histórico, cognitivo, epistemológico e metodológico.

Uma das implicações mais relevantes desse aspecto do modelo darwinista é que se tornou possível representar

a *história da diversidade*, conectando as espécies atuais em diferentes níveis numa grande unidade. Os diagramas que representam essa história são chamados de *filogenia*. Uma filogenia é constituída por nada mais que espécies ancestrais, em diferentes níveis até chegar às espécies atuais. A hierarquia de parentesco entre as espécies é a explicação para a hierarquia de semelhanças entre elas.

De fato, é surpreendente que a maioria dos historiadores do evolucionismo tenha dado ênfase tão grande ao *processo* que explica a mudança e conferido menor importância à contribuição mais original do darwinismo: a *percepção da existência de uma filogenia*. Essa ênfase limitada talvez se justifique pelo fato de que a filogenia define-se como um dos conceitos evolutivos mais abstratos. A mudança nas características das espécies é algo relativamente palpável, que se pode observar e medir. Mas a conexão entre as espécies pertence ao tempo passado e jamais pode ser observada diretamente. Espécies ancestrais não são um “processo” que possa ser repetido experimentalmente, mas indivíduos históricos, entidades transtemporais. Certamente, um modelo em que as espécies se fragmentam é universal, mas as espécies ancestrais dos grupos existentes são “fatos” e não podem ser observadas diretamente.

Considerando que o conceito de filogenia ocupa uma posição central no modelo de Darwin e de Wallace, seria mais razoável que tivesse sido chamado de filogenético-evolutivo, para diferir da visão lamarckista, apenas evolutiva. A idéia de que os humanos pudessem ter um ancestral símio causou mais resistência no entorno social do darwinismo emergente que o conceito de que as espécies se modificam. O conceito de filogenia – ou seja, a idéia de parentesco entre as espécies, inclusive a humana – parece ter sido uma fonte de controvérsias mais grave na metade do século XIX do que os aspectos puramente não-fixistas do modelo.

As dificuldades na compreensão das implicações do conceito de uma filogenia podem ser observadas em outros aspectos da história do evolucionismo. De um lado, Darwin propôs a *existência* de uma filogenia que interliga todas as espécies. A filogenia, portanto, é algo que se descobre. No entanto, ele não propôs um *método* que permitisse descobrir ou recuperar essa filogenia. Haeckel¹³, com apoio em seu enorme conhecimento de Zoologia e Botânica, começou muito cedo a propor “árvores filogenéticas” para os vários grupos de animais e plantas. Contudo, tampouco Haeckel tratou de um método de inferência filogenética. Esse método

¹³ HAECKEL, E. *Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen*. Berlin: Reimer, 1886.

- ¹⁴ HENNIG, W. *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*. Deutsche Zentral Verlag, 1950.
HENNIG, W. *Phylogenetic Systematics*. *Ann. Rev. Entomol.*, 10:97-116, 1965.
HENNIG, W. *Phylogenetic systematics*. Urbana: University of Illinois Press, 1966.
AMORIM, D. S. *Fundamentos de Sistemática Filogenética*. *Op. cit.*
- ¹⁵ HENNIG, W. *Phylogenetic systematics*. *Op. cit.* p. 20.
- ¹⁶ HENNIG, W. *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*. *Op. cit.*

precisou esperar quase cem anos para ser lançado, com os trabalhos do entomólogo alemão Willi Hennig.¹⁴

Além da ausência de um método de reconstrução filogenética, Darwin, Wallace e boa parte dos evolucionistas e neodarwinistas que os seguiram não viram a necessidade de rever o sistema classificatório proposto por Lineu. Darwin percebeu a relação entre a hierarquia filogenética e a hierarquia sistemática¹⁵, mas não avançou além disso para propor um novo sistema de classificação, o que veio apenas com Willi Hennig¹⁶.

Assim, a despeito da revolução a que o surgimento do conceito de uma filogenia corresponde, a compreensão limitada de suas implicações provavelmente minou as possibilidades de estender rapidamente a outras áreas as mudanças que ele gera. A ausência de um método filogenético (e, por conseqüência, a ausência de uma filogenia reconstruída de forma rigorosa), bem como a ausência de uma conexão entre a filogenia reconstruída e a classificação proposta fabricaram o convívio pacífico desses dois paradigmas antagônicos: o modelo filogenético-evolutivo de Darwin e de Wallace e o sistema idealista-essencialista das classificações tradicionais. O resultado colhe-se inclusive no ensino.

Fim do conflito? Alternativas

A compreensão deficiente do conceito de filogenia tem implicações tanto na pesquisa quanto no ensino. Quando um agrupamento que não corresponde a uma unidade histórica – tecnicamente, um grupo que não seja monofilético – é equivocadamente tomado como tal, muitas das inferências feitas com base nesse tipo de “grupo” são equivocadas. Não apenas as conclusões a que se chega são errôneas, mas também se perde o poder preditivo que a filogenia como ferramenta gera.¹⁷

- ¹⁷ AMORIM, Dalton S. & AMORIM, Dalmo S. *Op. cit.*

Alguns docentes de diferentes níveis de ensino, incluindo universitário, dizem que ministram Zoologia “na seqüência evolutiva”, o que é insuficiente. Nas aulas, às vezes se afirma que as relações de proximidade entre os filós animais se devem à evolução, mas mesmo quando isso ocorre não se explicita o conceito de filogenia ou se consideram suas implicações. De fato, o ensino de Zoologia e Botânica continua constituído apenas pela apresentação de grupos taxonômicos e pelos conjuntos de características de cada grupo. Memorizar “na seqüência evolutiva” não corresponde a uma visão darwinista. Ainda que sob roupagem evolucionista, a *praxis* subjacente é exclusivamente essencialista.

As mesmas dificuldades do período inicial do paradigma evolucionista na pesquisa existem no ensino: falta de percepção da importância dos conceitos de ancestralidade e de filogenia, ausência de um método filogenético, ausência de filogenias reconstruídas de modo preciso e falta de percepção das relações entre filogenia e classificação. Com essas condições de entorno, é perfeitamente natural que o ensino de Zoologia (e o mesmo se aplica à Botânica) se reduza à memorização de características pouco claras de agrupamentos taxonômicos com nomes em latim.

Não se deve levantar queixa contra os professores que ensinam Zoologia e Botânica sob essa abordagem tradicional. De um lado, os paradigmas essencialistas permeiam a formação que receberam, de conceitos, de conteúdo e de método de ensino. De outro, alguns professores têm tal habilidade didática que são capazes de tornar interessante para os alunos mesmo uma matéria em que convivem dois paradigmas incompatíveis.

É possível, no entanto, escapar desse conflito. O desenvolvimento da Sistemática Filogenética¹⁸ e de um conjunto de ferramentas conceituais geraram as bases para transpor a visão filogenética para o Ensino Básico. Esse modelo foi desenvolvido e colocado em prática em diferentes circunstâncias nos últimos anos, revelando capacidade de gerar motivação e compreensão de conceitos.¹⁹ Essa opinião a respeito do método foi emitida tanto por alunos quanto por professores que o têm aplicado no Ensino Fundamental e no Ensino Médio.

No Anexo deste artigo, encontra-se a descrição do desenvolvimento de uma aula estruturada para alunos de 6ª Série, a ser ministrada no início do semestre em que está programada Zoologia. A aula também pode ser dada em séries mais adiantadas, como na 2ª Série do Ensino Médio ou na Universidade, fazendo-se as devidas adaptações de objetivos, extensão e conteúdo. Ministradas no ensino universitário desde 1987, aulas com esse perfil começaram a ser aplicadas para a 6ª Série e para o Ensino Médio, conforme o programa mantido pelo Laboratório de Ensino de Ciências da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (Universidade de São Paulo) a partir de 1997.²⁰

Recomenda-se que o Anexo seja lido antes de seguir adiante. Alguns elementos conceituais que sustentam essa estrutura e algumas implicações importantes em termos de aprendizado são apresentados a seguir. O *modus faciendi*

¹⁸ HENNIG, W. *Phylogenetic systematics*. *Op. cit.*

¹⁹ AMORIM, D. S.; SISTO, A. S.; LOPES, D. R. N.; BRAGA, J. A. & ALMEIDA, V. L. F. O. Diversidade biológica e evolução: Uma nova concepção para o ensino. p. 9-17. In: BARBIERI, M. (org.). *Aulas de Ciências*. Projeto LEC-PEC de Ensino de Ciências. Ribeirão Preto: Holos, 1999.
AMORIM, D. S.; D. L. MONTAGNINI; CORREA, R. J.; NOLL, M. S. M. C. & NOLL, F. B. Diversidade biológica e evolução: uma nova concepção para o ensino de zoologia e botânica no 2º grau. p. 38-45. In: BARBIERI, M. (org.). *A construção do conhecimento do professor*. Uma experiência de integração de professores do ensino fundamental e médio da Rede Pública à universidade. Ribeirão Preto: Holos, 2002.

²⁰ BARBIERI, M. (org.). *Aulas de Ciências*. *Op. cit.*

dessa aula pode ser considerado como um ovo de Colombo, mas é necessária atenção para a quantidade de pressupostos e elementos subjacentes que condicionam sua estrutura e seus resultados. Se não houver grande cuidado na formação complementar de professores e no estabelecimento de novos programas, corre-se o risco de teorização desnecessária e domínio incompleto de conceitos e práticas, de modo que sua aplicação em escala mais ampla resultará apenas em mudança do conteúdo a ser memorizado sem compreensão, e não em mudança direcionada a uma formação de qualidade.

Simplicidade

A aula é intencionalmente simples em relação à adição de conhecimento técnico novo e à dependência de tecnologia. Isso permite sua implementação em situações escolares mesmo precárias. De fato, a dinâmica da aula baseia-se principalmente na indução da compreensão a partir do questionamento dos próprios alunos e numa visão estrutural dos organismos.

É necessário deixar claro que, na abordagem aqui proposta, *essas aulas não pretendem transmitir especificamente conteúdos de evolução, de filogenia, de método filogenético, de sinapomorfias ou de grupos monofiléticos*; devem basicamente consolidar a noção de *ordem subjacente à diversidade* para que, em outro momento, esses conceitos possam aparecer naturalmente. Tal ordem está e sempre esteve sob nosso nariz e pode ser visualizada inclusive com o universo de conhecimento dominado por crianças e adolescentes. A descoberta da ordem é um processo empírico (na aula, induzido), o que repete a história da ciência, em que a percepção de que existe *ordem taxonômica* na natureza biológica (além da ordem energética ou ecológica) precedeu a *explicação* evolutiva e o conceito de filogenia. A compreensão da existência dessa ordem tem várias decorrências no ensino, criando para os alunos as condições cognitivas necessárias para perceber e compreender (1) a conectividade entre os planos de organização dos grupos, que mais à frente pode levar aos conceitos de (2) evolução, (3) ancestralidade, (4) filogenia, (5) características derivadas compartilhadas (sinapomorfias), (6) homologia e (7) grupos com origem única (monofiléticos).

Ao menos na 6ª Série, não é necessário colocar esses conceitos em pauta, a não ser que os alunos perguntem. Isso significa que o modelo explicativo deveria surgir como resposta a uma pergunta levantada – pelo aluno na aula ou,

mais adiante, pelo próprio professor aos alunos: “Como é possível que os grupos sejam tão parecidos em sua estrutura, apesar das diferenças externas?”.

Praticamente todo o conhecimento de Biologia (e não apenas de Zoologia e Botânica) ministrado no restante dos Ensinos Fundamental e Médio colaboram para reforçar a percepção de ordem biológica e para responder a essa pergunta sobre causalidade. O fato de, nesse primeiro momento, não serem apresentados em aula elementos teóricos adicionais – hipóteses, conceitos, modelos, explicações – permite uma sinalização mais clara sobre a ordem existente.

Construção da aula com os alunos

Desse ponto de vista, a aula é construída a partir do conhecimento dos alunos. É preciso considerar as críticas ao construtivismo²¹, evitando que a discussão em sala se reduza à capacidade de associação contida no senso comum. Os principais conceitos evolutivos a serem formados são exatamente os que faltam no senso comum. Feito esse óbice, vale observar que os alunos, mesmo em áreas altamente urbanizadas, detêm uma quantidade relevante de conhecimento descritivo de Zoologia. Ainda que ignorado ou visto pelos professores na estrutura tradicional de ensino como se não fosse técnico ou legítimo, esse conhecimento é mais que suficiente para entabular uma discussão extensa sobre ordem dos grupos de animais.

Ancestralidade

O conceito de ancestralidade, como afirmado acima, é a decorrência natural mais importante subjacente à aula. É uma decorrência, não uma premissa que os alunos devem ter para que possam compreender o assunto. Apesar de não ser colocado explicitamente aos alunos, o *professor* deve ter o conceito de ancestralidade em mente quando desenvolve o plano de aula, uma vez que a representação dos ancestrais aparece repetidamente. Eles são desenhados em cada nível do diagrama – que corresponde à própria filogenia – e são modificados para gerar outros ancestrais.

Em termos de mudança de paradigma, como foi comentado acima, é a inserção do conceito de ancestralidade que supera o essencialismo e o idealismo, embutidos na abordagem tradicional. Assim, se o desenho que corresponde aos ancestrais não estiver presente, os demais elementos de simplificação gráfica, homologia e ordenamento contidos

²¹ SUCTHING, W. *Constructivism deconstructed. Science and Education*, 1(3):223, 1992.

MATTHEWS, M. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York and London: Routledge, 1994.

na aula não terão o efeito pretendido, mantendo-se a ótica essencialista. A apresentação de grupo após grupo sem indicar a condição do ancestral conserva a noção de que os filós são entidades estanques e as características compartilhadas não são homólogas em sentido estritamente evolutivo.

Uma das fontes da força cognitiva da imagem do ancestral advém de sua própria natureza evolutiva: ele não detém nenhuma das características próprias de seus descendentes; ou seja, ele é livre das “idiossincrasias” dos descendentes (ou, tecnicamente, das autapomorfias). Além disso, os ancestrais em cada nível acumulam todas as características surgidas antes de sua origem. Assim, o ancestral tem o poder de síntese, de conexão entre o passado e o futuro em cada grupo. Ele é o elemento central de agregação dos grupos – ou seja, dos organismos e de suas características. Como ocorre com o próprio modelo filogenético-evolutivo de Darwin e de Wallace, é a ancestralidade que confere o sentido de unidade à diversidade.

Homologia

É necessário dizer para uma criança que a cabeça de uma ema é homóloga à cabeça de um tiranossauro, de uma anta, de um peixe ou de um inseto? Evidentemente que não. Ainda que a base teórica subjacente ao conceito de homologia seja muito profunda, ele nasce empiricamente: homologia é a explicação mais simples ou parcimoniosa para uma enorme quantidade de observações empíricas. O conceito de homologia surgiu antes da teoria evolutiva, tendo estado presente em Aristóteles, Lancaster e Owen. Dentro do paradigma evolutivo, ele reaparece em Darwin e Haeckel com um sentido evolutivo para as semelhanças compartilhadas. No caso da homologia, também vale a recomendação de dar aos alunos a explicação apenas depois da pergunta. As cores iguais para os vários grupos chamam a atenção dos alunos subliminarmente para as relações de homologia. Levantar a difícil discussão conceitual de homologia na 6ª Série não parece útil ou desejável.

Sinapomorfias ou características derivadas compartilhadas

Mesmo em ambientes acadêmicos na Biologia, o conceito de sinapomorfia ainda é ignorado ou pouco compreendido. Os alunos, no entanto, respondem naturalmente à pergunta “O que é que os cnidários têm, que os

coanoflagelados e poríferos não têm, e que o restante dos animais também têm?”. Ainda que tecnicamente esse não seja exatamente o método de inferência, as respostas a perguntas como essa são as sinapomorfias de um grupo. Novamente, compreender a pergunta e saber respondê-la a partir do próprio conhecimento dos grupos é mais importante do que decorar listas de características ou a própria definição de sinapomorfia. Questionados, os alunos fornecem “sinapomorfias” para virtualmente todos os níveis, da base ao alto do diagrama, sem maiores dificuldades. Certamente, é necessário um guia das características mais importantes para ajudar o professor a conduzir essa discussão. Há características que valem a pena não esquecer e outras que são completamente dispensáveis, dependendo do nível de ensino.

Representações diagramáticas

Quanto mais artísticos e elaborados forem os desenhos no quadro, maior parece ser a quantidade de alunos que, talvez por não dispor de habilidade técnica para o desenho, deixam de copiá-los em seus cadernos e envolver-se na aula. A simplicidade do desenho aproxima o aluno do conteúdo da aula. Além disso, a representação diagramática retira da discussão tudo o que não é do interesse específico da aula. Incluir fotografias dos animais de cada filo (sempre de espécies atuais) é útil ou indispensável em outro momento, mas no contexto dessa aula faz com que se perca a visão estrutural – o *bauplan* – dos grupos.

De modo geral, as características de qualquer espécie atual acumularam-se durante dezenas ou centenas de milhões de anos, entre a origem do ancestral de um filo e a origem dessa espécie particular (com inúmeras ancestrais intermediárias). Isso significa que uma espécie atual tem um grande número de características que não existiam na ancestral. Assim, a representação diagramática – ao invés de uma reprodução fiel – na construção de um modelo de cada filo evita a confusão que resulta da inclusão de características que não existiam na espécie ancestral.

Finalmente, o excesso de informação faz com que se perca o foco. Em aulas sobre cada filo em particular, é possível acrescentar outras características a seu plano-básico dos filis, como coloração externa, textura, tamanho absoluto, forma de locomoção e detalhes de *habitat*, alimentação, sistema respiratório, sistema reprodutor etc. Portanto, na aula proposta, nada do que não está sendo

discutido é incluído nos desenhos diagramáticos. Mantém-se, à medida que vão surgindo, apenas forma geral, tubo digestivo, sistema nervoso, sistema circulatório e talvez pouco mais.

Conhecimento prévio

A maior parte de todo o conteúdo dado em uma aula como essa sobre os animais ou suas características é do domínio de alunos da 6ª Série. De modo geral, os grupos acrescentados são apenas coanoflagelados, poliquetos e lírios-do-mar (sem ênfase para a memorização dos nomes). Quase todas as características compartilhadas pelos filos também estão presentes na espécie humana. Isso é extremamente importante, pois faz com que o conteúdo das aulas de Zoologia seja auto-referenciado (uma diferença em relação à Botânica). De modo geral, os alunos de cidades pequenas ou que moram mais próximos de áreas rurais têm muito mais domínio do assunto que os alunos em condições estritamente urbanas. Isso permite, adicionalmente aos ganhos acadêmicos da aula, um processo de valorização dos alunos por atributos pouco usuais, que não são os de classe social, oportunidade de acesso à informação, intelectualização etc. Na experiência acumulada até agora com a prática dessa aula esse fato provoca uma mudança na dinâmica de atribuição de valor entre os alunos por excelência no domínio de conteúdos. Isso está de acordo com preceitos e práticas amplamente utilizados na pedagogia de Paulo Freire²², em que se parte do conhecimento disponível pelos alunos para a construção de novos conceitos. De fato, dificilmente conceitos abstratos e novas formas de ver o mundo, a que os novos paradigmas correspondem, conseguem-se implantar se não é feita uma ponte com os referenciais disponíveis no universo cognitivo disponível.

²² FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. 19ª ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1989. 150 p. (1ª ed. 1967).

Latim

É comum a confusão entre domínio de conhecimento em Zoologia e Botânica com conhecimento de nomes. Zoologia não é conhecimento de nomes em Latim ou de nomes técnicos de morfologia. Zoologia é o conhecimento descritivo dos animais – que os alunos têm em alguma extensão – e das deduções de ordem ecológica, funcional e evolutiva que possam ser feitas a partir desse conhecimento.

A maior parte do conhecimento estrutural dos grupos de animais nessa aula já é de domínio dos alunos na 6ª Série.

²³ FOUCAULT, M. *Vigiar e Punir*. Petrópolis: Vozes, 1995.

FURLANI, L. M. T. *Autovidade do professor: meta, mito ou nada disso?* 3. ed. São Paulo: Cortez & Autores Associados, 1991.

²⁴ CHRISTOFFERSEN, M. L. & ARAÚJO-DE-ALMEIDA, E. A phylogenetic framework of the Enterocoela (Metameria: Coelomata). *Rev. Nordestina Biol.*, 9(2): 173-208, 1994.

CHRISTOFFERSEN, M. L.; AMORIM, D. S. & MARQUES, A. C. Further evidence for the monophyly of the Ecdysozoa: support from morphology. *16th Meeting of the Willi Hennig Society*. Washington, 1997.

CHRISTOFFERSEN, M. L.; AMORIM, D. S.; ALMEIDA, W. O.; SILVA, G. S. & GARRAFFONI, A. R. S. What if "Polychaeta", "Annelida" and "Articulata" are not monophyletic? Articulating the Metameria, p. 31. *VIth International Polychaete Conference*. Curitiba, 1998.

ALMEIDA, W. O. & CHRISTOFFERSEN, M. L. *Análise cladística dos grupos basais de Metameria*. Uma nova proposta para o posicionamento dos Arthropoda e grupos afins entre os poliquetos errantes. Série Teses, Dissertações e Monografias – 1, 2ª Edição. Ribeirão Preto: Holos, 2002.

ALMEIDA, W. O.; CHRISTOFFERSEN, M. L.; AMORIM, D. S.; GARRAFFONI, A. R. & SILVA, G. S. Polychaeta, Annelida, and Articulata are not monophyletic: articulating the Metameria (Metazoa: Coelomata). *Revta. Bras. Zool.*, 20(1):23-57, 2003.

Alguns poucos nomes novos precisam ser usados, como “coanócitos” ou “protonefrídeos”. Os nomes latinos dos filos, como Porifera, Cnidaria, Platyhelminthes etc., podem ser colocados, mediante a observação de que eles não são o objetivo da aula ou a parte mais importante e que a memorização vem aos poucos. No início, os coletivos esponjas, medusas, anêmonas e planárias são suficientes. Isso soluciona a ansiedade que a presença de novos nomes pode causar.

Há uma questão adicional aqui. O recurso a uma abordagem técnica e hermética é referido na teoria da educação como recurso a um *mecanismo de poder* por parte de professores.²³ A isso está associado o conceito do que é ser um bom professor. Deter conhecimento – ao invés de deter os meios de despertar a compreensão – é visto com alguma frequência como indicador de qualidade do professor. No caso de Zoologia e Botânica, é possível que algum hermetismo por parte da maioria dos professores seja devido à simples confusão entre o que é conhecimento zoológico de fato e o que é apenas nomenclatura técnica. A experiência com esse modelo de aula mostra uma grande motivação dos alunos pela simples descoberta de que eles não são tão ignorantes assim, que a Zoologia não é tão difícil, que o objetivo não é ficar decorando nomes e que eles podem chegar às principais conclusões a partir de seu conhecimento – respondendo às perguntas apropriadas. Com esse clima, o aprendizado de nomes dos grupos e de suas estruturas ocorre como pano de fundo.

Filogenia dos animais

A ordem particular utilizada na aula constante no Anexo – isto é, a filogenia particular utilizada – não é casual. Apóia-se em vários anos de estudo de filogenia dos grandes grupos animais²⁴ e representa uma, dentre várias hipóteses conflitantes na literatura. Na opinião desses autores, essa é a filogenia mais provável e mais econômica para a evolução dos animais, se considerada uma grande quantidade de informação freqüentemente descartada nos estudos tradicionais. Isso significa que, apesar de não colocadas em discussão, determinadas decisões por trás da cena modelam os resultados.

Essa filogenia diferencia-se da maior parte das alternativas por posicionar os deuterostômios entre os poliquetos tubícolas, e os artrópodes, entre os poliquetos errantes. No entanto, a simplificação devido à retirada da maior parte dos

filos faz com que o impacto da topologia particular usada seja relativamente baixo. A compreensão nesse momento restringe-se aos conceitos de ordem, de homologia e de conectividade entre os diversos planos corporais e não da filogenia particular apresentada entre os grupos. Ainda assim, essa mesma estrutura de aula pode ser dada a partir de qualquer filogenia, sendo apenas necessário fazer surgir independentemente algumas características. No caso de manutenção da monofilia dos Protostomia, como é proposto pela maior parte dos livros atuais, o tubo digestivo completo, o peristaltismo, os protonefrídeos, os metanefrídeos, os pacotes celomáticos, o sistema circulatório, o coração, o pedúnculo, a metamerização, as larvas com formato trocoforóides, entre outras características, precisariam surgir duas ou mais vezes na evolução dos animais.

Fragmentação do conhecimento

A fragmentação no ensino é alvo fácil de críticas na teoria do ensino.²⁵ Contudo, não é fácil encontrar alternativas que permitam conexões múltiplas entre as matérias. Romper a fragmentação em uma área de ensino demanda novos paradigmas de ensino na área. Isso implica mudanças de cultura escolar, de cultura do professor e de estruturação didática e cognitiva dos conteúdos; mudanças mais amplas, para evitar essa fragmentação da educação, escapam a uma disciplina específica. A própria fragmentação burocrática das disciplinas dificulta a comunicação entre professores e a integração de conteúdos.

Na Biologia, parte dessa mudança está no uso de filogenias para correlacionar grupos diferentes, características diferentes, tempo e processos evolutivos. Mas a disponibilidade dos conceitos é insuficiente, no sentido de que eles estão na literatura há décadas sem que tenha sido possível romper o ensino fragmentário. São necessários modos de articulá-los, linguagem adequada e estratégias de formação de conceitos por parte dos alunos, ainda por ser desenvolvidos. A proposta feita aqui pretende servir como elemento integrador, se os demais conteúdos puderem ser referenciados nessa aula.

Noções de saúde humana

A apresentação de conteúdos de biologia humana é indispensável na formação escolar básica. Em várias séries, no entanto, os conceitos de saúde costumam preceder uma compreensão mais ampla dos problemas biológicos envolvi-

²⁵ LÜCK, H. *Pedagogia interdisciplinar: fundamentos teórico-metodológicos*. Petrópolis: Vozes, 1994.

BALL, D. L. Bridging practices: Intertwining content and pedagogy in teaching and learning to teach. *Journal of Teacher Education*, 51(3): 241-247, 2000.

dos. Pelo menos para as séries mais adiantadas, é possível utilizar esse conceito de ordenamento dos grupos (ou a própria filogenia) na apresentação de outros grupos, como bactérias, vírus e organismos eucariotos unicelulares. Isso integraria a compreensão dos grupos, seus ciclos de vida e suas características biológicas.

Muito da parte aplicada do conhecimento biológico está ligado a doenças humanas. A compreensão da natureza das bactérias e dos vírus faz com que seja fácil compreender a biologia das doenças parasitárias e infecciosas e das ações de prevenção. Animais e plantas também adoecem por viroses e infecções bacterianas! A eficiência de ações públicas de saúde está diretamente relacionada à compreensão da biologia dos agentes patogênicos, dos organismos afetados e, quando é o caso, dos agentes transmissores. É bem sabido que há uma enorme confusão entre o mosquito transmissor da dengue e a virose que ele transmite. Para que campanhas educativas tenham sentido cognitivo, é necessário algum conhecimento biológico subjacente. O mesmo se aplica a grupos de animais parasitas, como em Platyhelminthes, Nematoda ou Arthropoda. A origem da vida, as modificações de bactérias autotróficas em vários tipos de bactérias heterotróficas e a origem dos vírus, dos organismos eucariotos e da condição multicelular em plantas e animais podem ajudar a compreender a origem e a natureza das muitas doenças infecciosas humanas.

De outra parte, temas que portam grande tabu, como a sexualidade, permitem uma abordagem indireta. A compreensão de que a união entre gametas em qualquer grupo de animais (e outros eucariotos, como as plantas) resulta em reprodução permite apresentar a questão da reprodução humana apenas como um caso particular, sob uma ótica completamente diferente. O ponto de abordagem será a indicação das diferenças nas condições em que gametas são liberados no homem e na mulher, nas condições em que a união dos gametas pode ocorrer e no quanto o ato de transmissão de gametas pode transferir também organismos patogênicos. Doenças sexualmente transmissíveis (DSTs) não são apenas problemas humanos. Da mesma forma, outros assuntos, como alimentação adequada, o funcionamento de órgãos e as mitocôndrias como bactérias intracelulares simbióticas, podem ser abordados sob uma perspectiva comparativa, a partir das relações de proximidade da espécie humana com outros organismos.

Novos desenvolvimentos

A aula apresentada no Anexo inclui apenas a exposição inicial da ordenação dos grupos de animais, indicando características compartilhadas em vários níveis. Um programa que usa esse sistema, no entanto, não se esgota aqui. Como foi comentado acima, o mesmo sistema pode ser aplicado a plantas e aos demais grupos de organismos – bactérias, fungos, vírus, protozoários etc. Além disso, mesmo ao longo do semestre em que se ministra Zoologia na 6ª Série do Ensino Fundamental ou na 2ª Série do Ensino Médio, outras aulas podem remeter a essa. Aulas práticas extremamente simples, por exemplo, podem ter implicações importantes. Não é necessário microscópio ou lupa para comparar os segmentos do abdômen de um besouro, dos segmentos do corpo de um camarão e de uma minhoca chamando a atenção para características compartilhadas. Conexões dessa aula com os demais conteúdos de genética, ecologia, fisiologia, saúde etc. podem ser feitas. Esse é um universo a ser explorado e depende da criação de material específico.

Formação de professores

Não é possível esperar que professores dos vários níveis do ensino passem a uma prática diferente, se concordarem com o que está colocado aqui, apenas pela leitura deste texto. O material disponível na literatura em português²⁶ fornece alguma informação, mas também não é suficiente. Ainda que as aulas sejam simplificadas, os professores precisam dominar conceitos e informações que não estão na formação usual dos cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas. Como foi dito, Zoologia “na seqüência evolutiva” não basta. Infelizmente, o material didático ou paradidático atualmente disponível não contém os elementos que permitem ir além do essencialismo.

Em 1994 e 1997, foram realizados projetos de interface entre pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e professores da Rede Pública de Ensino, num projeto do Laboratório de Ensino de Ciências, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP de Ribeirão Preto. Em ambos os projetos foi dado a professores de 6ª Série do Ensino Fundamental e de 2ª Série do Ensino Médio embasamento teórico dessa área. Especialmente em 1997, foi possível encontrar um protocolo para um curso de formação complementar que habilitasse o professor a assumir essas aulas nas escolas. É necessário compreender o aspecto

²⁶ AMORIM, D. S. *et. al.*. Diversidade biológica e evolução: uma nova concepção para o ensino... *Op. cit.*
AMORIM, D. S. *et. al.*. Diversidade biológica e evolução: uma nova concepção para o ensino... *Op. cit.*
AMORIM, D. S. *Fundamentos de Sistemática Filogenética. Op. cit.*

filogenético da evolução biológica, os conceitos e fundamentos do método filogenético, em alguma extensão as reconstruções filogenéticas entre os grupos de animais, além da discussão dos aspectos pedagógicos envolvidos. Várias palestras e cursos em congresso foram dados até agora com a abordagem proposta, mas ainda será necessário um grande esforço para modificar o paradigma predominante no ensino dessa área.

Conclusões

A hipótese pedagógica envolvida neste projeto é que o ordenamento da diversidade biológica, presente na estrutura de aula proposta aqui, permitiria romper o paradigma idealista-essencialista vigente no ensino tradicional de Zoologia e de Botânica, conferindo as bases para o desenvolvimento de uma visão filogenética e evolutiva sólida. Além disso, supõe-se que tal abordagem seria capaz de mudar a motivação de alunos e professores da matéria.

Ainda que sem a realização de pré-testes e pós-testes, há indicação muito clara de resultados positivos. Aulas como essa foram dadas em escolas públicas e privadas, em cidades pequenas e médias, em bairros de classes sociais diferentes, em classes de 6ª Série do Ensino Fundamental, 2ª Série do Ensino Médio, cursos preparatórios gratuitos para o vestibular e, durante muitos anos, em disciplinas de Zoologia de cursos de Ciências Biológicas. A realização de pós-testes no Ensino Básico ainda é necessária para confirmar a transposição dos conceitos da situação em sala de aula para o domínio efetivo dos alunos (e, portanto, aplicáveis em outros contextos). No ensino superior, está bastante claro que não é necessário conhecimento prévio aprofundado de Zoologia para compreender a linha de argumentação embutida na aula e que há uma grande mudança de motivação e envolvimento dos alunos.

Ainda que se tenha feito referências a determinados conceitos de teorias da educação, não é intenção deste texto avançar em uma análise mais extensa dos elementos pedagógicos conforme o modelo de aula apresentado. É evidente que elementos do construtivismo, que o raciocínio científico aplicado ao ensino de ciências, políticas de inclusão etc. fundamentam boa parte da estrutura pedagógica subjacente, mas essa é uma questão técnica que deve ser deixada a especialistas. De qualquer maneira, ao menos para os limites do conteúdo apresentado, esse modelo didático tem mostrado resultados muito promissores para uma mudança de paradigma.

Agradeço à Prof^a. Marisa Ramos Barbieri que durante anos foi uma fonte de reflexão sobre o ensino de Ciência. À Adolfo Calor e Charles Morphy dos Santos que leram e discutiram comigo a estrutura e o desenvolvimento do texto.

Dalton de Souza Amorim é graduado em Ciências Biológicas, doutor em Zoologia e professor do Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

dsamorim@usp.br

Anexo

Minuta de aula dada em 6^{as} Séries do Ensino Fundamental de Escolas públicas e particulares de Ribeirão Preto e Barrinha, São Paulo. Aulas para 2^{as} Séries do Ensino Médio seguem a mesma estrutura, mas podem ser mais detalhadas no número de grupos e nas características incluídas.

A aula tem duas fases distintas. A primeira delas corresponde a um levantamento do conhecimento de Zoologia dos alunos em termos de espécies conhecidas. A segunda corresponde à apresentação dos grupos, em uma ordem determinada, chamando a atenção para o que une os grupos e fazendo esquemas do que seria o plano-básico dos filos e dos ancestrais em cada nível.

Fase 1

O conhecimento das espécies

Pergunta aos alunos: “Vocês conhecem muito de Zoologia?”.

A resposta normalmente é que não. A réplica é que eles realmente conhecem muito de Zoologia, não sabem disso e que lhes será mostrado ao longo da aula o quanto sabem.

Pergunta: “Que espécies de animais vocês conhecem?”.

Costuma demorar um pouco para que os alunos entendam exatamente o que está sendo perguntado, mas aos poucos começam a levantar nomes como gato, cachorro, papagaio, cavalo, leão etc. Os nomes são escritos no quadro. Quando se dão conta de que são capazes de responder à pergunta e que suas respos-

tas se aproveitam no contexto da aula, começa uma *enorme* participação, às vezes demandando um trabalho mais de contenção que necessidade de estímulo à participação. Com freqüência, quinze a vinte minutos são suficientes para levantar de cinquenta a cem nomes de espécies. Nas cidades longe das praias, é necessário pedir pelos grupos marinhos. E uma condução para os animais de água doce ou para ambientes especiais acaba por contemplar espécies de uma série de filos que às vezes são deixados de lado. Isso enche um quadro-negro e permite a demonstração da afirmação inicial: que eles conhecem bastante Zoologia. Dependendo de como for feita a programação do semestre, isso pode tomar toda uma aula.

Fase 2

O conhecimento de como são as espécies

Pergunta: “As espécies são muito diferentes entre si?”

A resposta quase sempre é que sim. A provocação é dizer que será mostrado que as espécies são muito semelhantes entre si. Começa, então, um processo de exposição de representantes dos vários grupos de animais em uma ordem que corresponde a uma filogenia aceita. Ao primeiro grupo correspondem os coanoflagelados, representados por uma espécie esférica (há espécies ramificadas). Depois, vêm os poríferos, cnidários, platielminthes, moluscos, anelídeos, artrópodes (trilobitos, aracnídeos, camarões, miriápodes e insetos), crinóideos, peixes, anfíbios, répteis, mamíferos, tiranossauro e aves.

A seqüência apresentada não é casual. De fato, ela precisa refletir estritamente a ordem da filogenia aceita dos animais. Além disso, são usados apenas desenhos muito diagramáticos de cada espécie. Eles incluem apenas parte das características em discussão, mas especialmente *forma geral do corpo* (nos vertebrados, ossatura), *tubo* ou *cavidade digestiva* e, dependendo do andamento da aula, *sistema nervoso* e *circulatório*. Cores diferentes são usadas para os vários sistemas, cores iguais para sistemas homólogos. São acrescentados, em alguns poucos casos, grupos que os alunos não conhecem. Para cada grupo, são dadas características suficientes para uma visão estrutural. Não é objetivo da aula uma compreensão detalhada da morfologia interna nem tampouco uma compreensão de toda a diversidade de formas dos grupos. Isso poderá ser tratado em outras aulas específicas ao longo do semestre.

Nas figuras 1 a 3, são mostrados diagramas dos vários grupos e como são sucessivamente acrescentados. Na base

estão os coanoflagelados. Durante a aula, é necessário acrescentar que: (1) eles têm apenas um tipo de célula, os coanócitos; (2) eles têm uma forma esférica, como uma bola de futebol; (3) cada célula provoca uma pequena corrente d'água com o batimento do flagelo; (4) cada célula é capaz de capturar partículas ou microorganismos, digeridos dentro da célula; (5) eles são de vida livre. Ainda que, em alguns dos casos, os alunos não tenham o conceito de célula consolidado, isso não impede o andamento da aula.

O comentário que se segue diz respeito à disponibilidade desse tipo de alimento no fundo dos oceanos e à formação de uma cavidade na parte inferior do corpo, conferindo ao animal o formato de uma bola murcha. As células da parede da cavidade digestiva continuam sendo os coanócitos, mas a parede externa passa a ser de células achatadas com os cílios. A inversão da forma do corpo e o aparecimento de aberturas na parede, permitindo o fluxo de água, cria a condição básica de uma esponja.

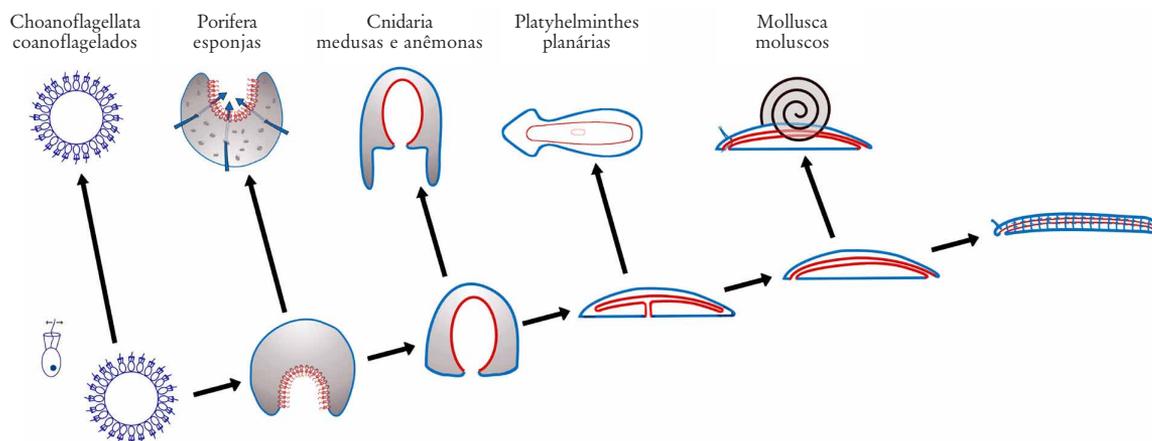


Figura 1: Esquema final das relações entre os grupos basais de animais, indicando o plano-básico dos vários filões e o plano-básico dos grupos que reúnem os filões em vários níveis da filogenia dos animais. Na aula, esse quadro é construído com a adição um a um dos grupos, a partir da base de Metameria (o ancestral indicado no alto à direita da filogenia, o quadro continua nas figuras 2 e 3).

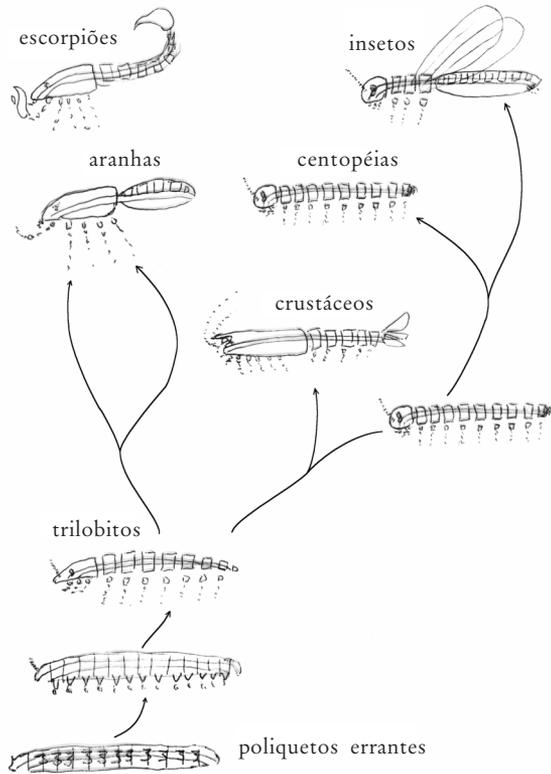


Figura 2: Esquema final das relações entre os grupos principais de artrópodes, partindo de um ancestral semelhante a um poliqueto errante generalizado. Na aula, o quadro é construído com a adição um a um dos grupos.

Antes de dar cada passo, é sempre interessante perguntar qual é o grupo mais simples, dentre animais que ainda permanecem na lista das espécies levantadas. Nem sempre “simples” é compreendido em termos de estrutura (às vezes, as repostas são de animais “comuns”). Tudo isso traz um enorme debate na sala. Com alguma condução, os alunos respondem que a forma mais simples a seguir são as medusas.

De fato, o aspecto básico da forma modificada na figura 4 é semelhante ao de uma medusa rudimentar. Um novo desenho em que desapareçam os coanócitos e apareçam tentáculos transforma a condição ante-

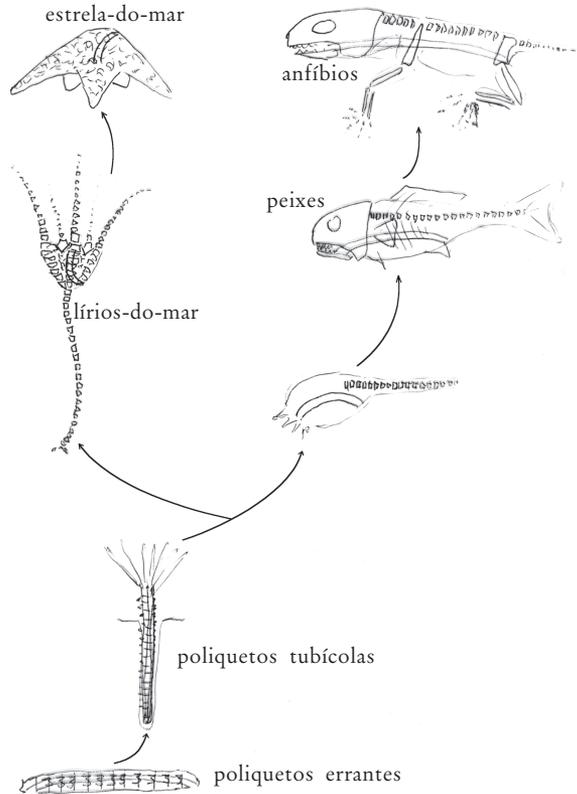


Figura 3: Esquema final das relações entre vertebrados e equinodermos, partindo de um ancestral semelhante a um poliqueto errante generalizado. Na aula, o quadro é construído com a adição um a um dos grupos.

rior em uma medusa simplificada (figura 5). Aqui, chega-se a uma situação em que os alunos já têm maior domínio de conteúdos e é possível extrair as informações desejadas. Por exemplo, pergunta-se o que as medusas comem. Que elas comem peixes não é uma resposta incomum. No entanto, pode-se mostrar que, na alimentação das medusas, os peixes não são “colocados dentro das células da parede da cavidade digestiva”, pedindo-se então aos alunos que resolvam o problema. Um pouco de discussão leva à conclusão de que as medusas soltam “ácido” ou “enzimas”. “Como nós!” é a exclamação a ser repetida em reação à

maior parte das conclusões apresentadas pelos alunos a partir de agora. Começa o aprendizado da Zoologia por um processo autoreferenciado.

À pergunta sobre locomoção das medusas, costuma-se obter a resposta de que elas fazem um jato d'água. Em resposta à pergunta sobre *como* elas fazem esse jato, costuma haver um debate, às vezes intenso,

até que se conclua que é por causa do uso de músculos (o que não é uma conclusão imediata). “Como nós!”, segue o bordão. O que permite que um conjunto de músculos se contraia ao mesmo tempo ou relaxe conjuntamente? A conclusão é a existência de um *sistema nervoso*, como o nosso. Dependendo do caso, pode-se discutir a questão da presença de gônadas.

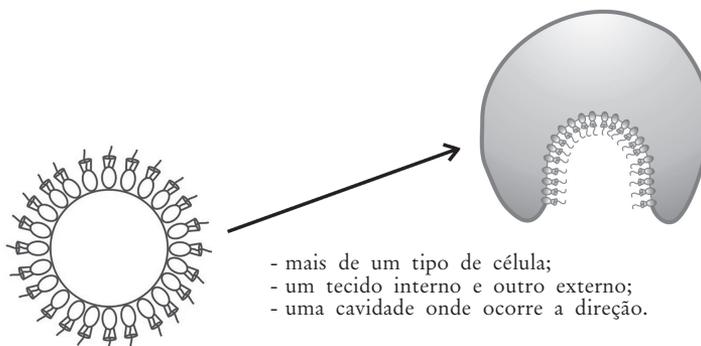


Figura 4: Algumas das características derivadas (sinapomorfias) mais relevantes para discussão na 6ª Série na base dos metazoários.

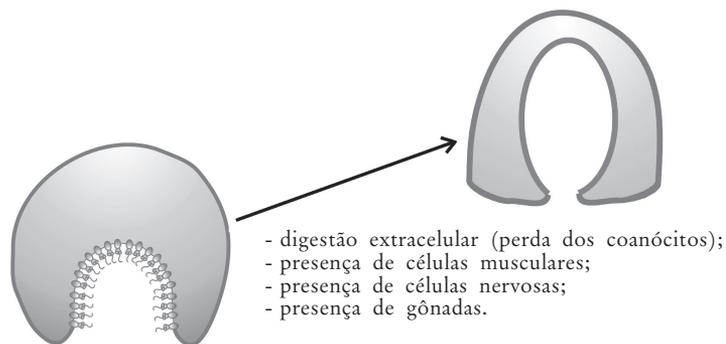


Figura 5: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos metazoários para a base dos eumetazoários.

Antes de passar ao próximo grupo, pergunta-se: “O que as esponjas têm, que os demais animais também têm, mas que os coanoflagelados não têm?”. A resposta inclui ao menos dois tipos de células e uma cavidade onde ocorre a digestão. Essas informações podem ser colocadas em um traço que seguirá conectando todos os grupos, ao nível dos metazoários. A

pergunta seguinte é “O que as medusas têm, que os demais animais também têm, mas que os coanoflagelados e as esponjas não têm?”. Os alunos levam alguns minutos para entender a lógica da pergunta e como respondê-la, mas a partir da segunda pergunta como essa passam a ser muito rápidos na busca e obtenção de respostas. Nesse caso: perda dos coanócitos; di-

gestão fora das células, na cavidade digestiva; células musculares (mais precisamente, células epitélio-musculares); células nervosas e gônadas. A partir de uma

medusa, é possível produzir uma anêmona simplesmente invertendo o corpo. As características mais gerais de cada nível estão colocadas nas figuras 4 a 11.

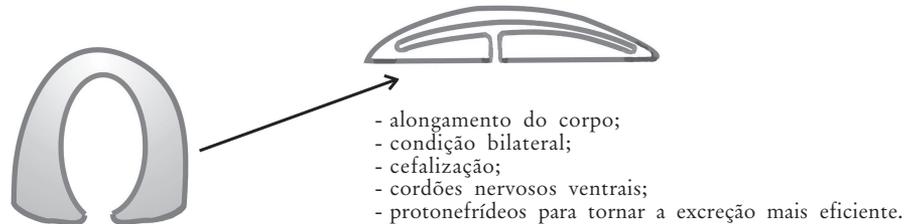


Figura 6: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos eumetazoários para a base dos animais bilaterais.

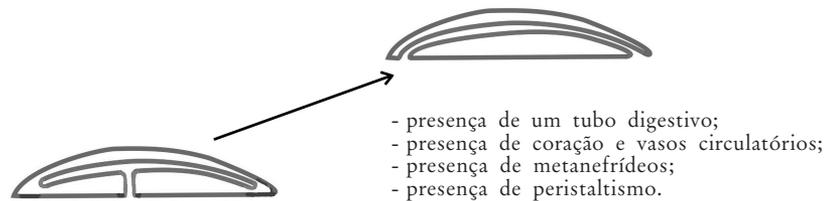


Figura 7: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos animais bilaterais para a base dos celomados.

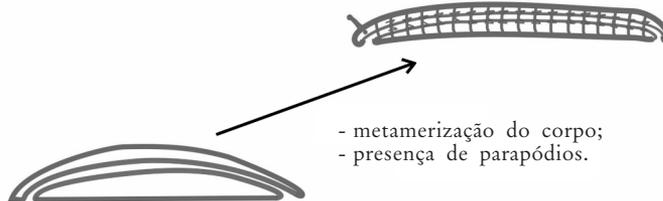


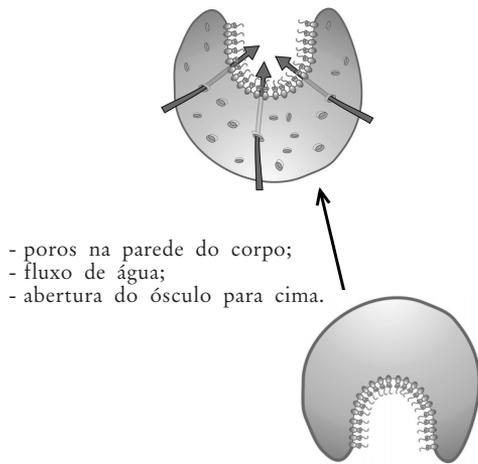
Figura 8: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos celomados para a base dos animais metaméricos.

Para passar para o nível dos animais bilaterais, é possível utilizar um artifício gráfico, associado a uma imagem verbal: que a forma do corpo de uma planária corresponde genericamente ao “esticamento” do corpo de uma medusa. O corpo da planária reproduz com bastante fidelidade o plano de construção com uma cavidade digestiva (e não um tubo), dentro do contexto de um animal alongado, bilateral.

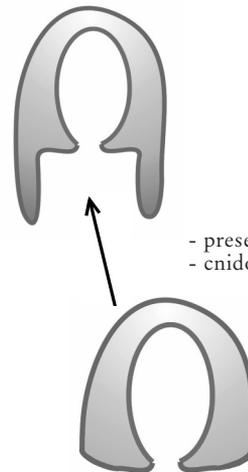
A partir da condição genérica de uma planária, origina-se o ancestral dos celomados, com a adição de um sistema circulatório. Desse ancestral, derivam-se, por um lado, os moluscos, com a adição de uma concha, e dos animais metamerizados, com adição de segmentação. Do ancestral segmentado, surgem dois grandes ramos: de um deles derivam todos os artrópodes e do outro, os animais deuterostômios. Do ances-

tral segmentado, deriva diretamente um ancestral de artrópodes, semelhante a um trilobito. A formação de tagmas forma os ancestrais dos aracnídeos, dos malacóstracos, dos miriápodes e dos hexápodes. Por outro lado, do mesmo ancestral segmenta-

do, deriva-se primeiro um poliqueto tubícola, de onde parte um ancestral que resulta em um crinóideo e um ancestral de todos os vertebrados. O número de ramos diferentes de artrópodes ou de vertebrados que são derivados depende da extensão da aula.



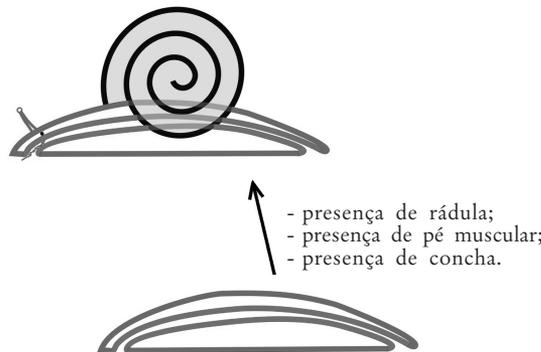
- poros na parede do corpo;
- fluxo de água;
- abertura do ósculo para cima.



- presença de tentáculos;
- cnidócitos.

Figura 9: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos metazoários para a base dos Porifera.

Figura 10: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos eumetazoários para a base dos Cnidaria.



- presença de rádula;
- presença de pé muscular;
- presença de concha.

Figura 11: Algumas das características derivadas mais relevantes na passagem da base dos celomados para a base dos Mollusca.

Ao final, coloca-se novamente a discussão: *os animais são tão diferentes assim entre si?* Essa pergunta agora é respondida pelos alunos com muito mais cautela do que da primeira vez. Nesse momento, é possível trabalhar o conceito de *unidade na diversidade*. A diversidade existe e não

precisa ser negada. Mesmo assim, apesar das diferenças, os vários grupos de animais apresentam grande semelhanças entre si, não apenas na forma geral, mas especialmente na constituição básica, com os mesmos órgãos arranjados de diferentes formas.