

SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA: UMA PROPOSTA *STEAM* DE ENSINO NA GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Phylogenetic Systematics: a STEAM proposal for undergraduate Biological Sciences teaching

Antonio José Creão-Duarte [creaoduarte@yahoo.com.br]

Rogéria Gaudencio do Rêgo [rogeria@mat.ufpb.br]

Alessandre Pereira-Colavite [alepercol@gmail.com]

Universidade Federal da Paraíba

Castelo Branco, s/n, CEP 58.051-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil

Recebido em: 15/06/2021

Aceito em: 28/01/2022

Resumo

Discutimos neste texto uma experiência de ensino na perspectiva *STEAM*, proposta para o componente curricular sobre Evolução Biológica, em Cursos de Graduação de Licenciatura em Ciências Biológicas, para a construção de cladogramas pelo Método de Análise de Congruência e Incongruência de Caracteres, que envolve conteúdos de Biologia e Matemática do Ensino Médio, e o uso de aplicativos. A proposta é desenvolvida com base em caracteres morfológicos hipotéticos das asas de uma borboleta, baseada em metodologia que integra conhecimentos de Ciências da Natureza, uso de ferramentas tecnológicas, conhecimentos matemáticos e, quando possível, elementos do campo da Arte. A proposta integra as ideias defendidas por Japiassú, Fazenda e Santomé, considerando as especificidades e cuidados demandados por uma proposta com viés interdisciplinar. Nossa reflexão passa pela necessidade de promovermos uma formação de qualidade dos futuros professores da Educação Básica, de modo que valorizem uma prática docente baseada na compreensão e na realização de atividades que possibilitem a explicitação da conexão entre diferentes campos de conhecimento, ampliando sua visão sobre os fenômenos da área e, ao mesmo tempo, habilitando-os a desenvolverem projetos de mesma natureza em suas futuras salas de aula.

Palavras-chave: Conjunção Lógica; Diagrama de Venn; Ensino de Biologia; Interdisciplinaridade; Sistemática Filogenética.

Abstract

We discuss in this text a teaching experience from the *STEAM* perspective, proposed for the curricular component on Biological Evolution, in Undergraduate Courses in Biological Sciences, for the construction of cladograms by the Character Congruence and Incongruence Approach Method, which involves contents of High School Biology and Mathematics, and the use of apps. The proposal is developed based on hypothetical morphological characters of the wings of a butterfly, based on a methodology that integrates knowledge of Natural Sciences, use of technological tools, mathematical knowledge and, when possible, elements from the field of Art. The proposal integrates the ideas defended by Japiassú, Fazenda and Santomé, considering the specificities and care required by a proposal with an interdisciplinary bias. Our reflection goes through the need to promote quality training for future Basic Education teachers, to value a teaching practice based on understanding and carrying out activities that make it possible to clarify the connection between different fields of knowledge, expanding their vision of the area and, at the same time, enabling them to develop projects of the same nature in their future classrooms.

Keywords: Biology Teaching. Interdisciplinarity. Logical Conjunction. Phylogenetic Systematics. Venn Diagram.

INTRODUÇÃO

A Câmara da Educação Básica, do Conselho Nacional de Educação do Ministério da Educação estabeleceu, em janeiro de 2012, novas Diretrizes Nacionais para o Ensino Médio, mantendo princípios gerais estabelecidos na resolução que anteriormente estava em vigor, dentre eles o de “[...] integração de conhecimentos gerais e, quando for o caso, técnico-profissionais realizada na perspectiva da interdisciplinaridade e da contextualização” (BRASIL, 2012, Resolução N° 2, de 30 de janeiro de 2012, Art. 5º, Item VI).

No documento, quatro áreas de conhecimento são elencadas (Linguagem, Matemática, Ciências da Natureza e Ciências Humanas), destacando-se, no Art. 8º em seu §1º, que o currículo deve contemplar as quatro áreas por meio de “[...] tratamento metodológico que evidencie a contextualização e a interdisciplinaridade ou outras formas de interação e articulação entre diferentes campos de saberes específicos”.

Documentos posteriores que objetivam reestruturar a organização e funcionamento da Educação Básica, como a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018, p. 16), mantêm a indicação da contextualização e da interdisciplinaridade como vias de ação para o processo de ensino/aprendizagem nesse nível de escolaridade, ao indicarem a necessidade de:

- (i) contextualizar os conteúdos dos componentes curriculares, identificando estratégias para apresentá-los, representá-los, exemplificá-los, conectá-los e torná-los significativos, com base na realidade do lugar e do tempo nos quais as aprendizagens estão situadas; e (ii) decidir sobre formas de organização interdisciplinar dos componentes curriculares e fortalecer a competência pedagógica das equipes escolares para adotar estratégias mais dinâmicas, interativas e colaborativas em relação à gestão do ensino e da aprendizagem.

Dificuldades para pôr em prática as diretrizes de documentos oficiais podem residir particularmente em dois pontos: lacunas na formação inicial e continuada de nossos docentes que é, em geral, frágil no que trata das relações entre teoria e prática (DUTRA, 2010), e compreensão limitada de conceitos, como interdisciplinaridade e contextualização (GIASSI, 2009; AUGUSTO; CALDEIRA, 2007). Quando uma ocorre de modo eficiente, a outra nem sempre é suficientemente contemplada.

Embora não pretendamos aprofundar a reflexão pertinente aos dois aspectos levantados, mas discutir uma proposta de ensino que vem sendo desenvolvida no curso de Licenciatura no qual atuam dois dos autores do presente artigo, é importante destacá-los, para não desconsiderarmos a realidade de nosso sistema de ensino como um todo, pensando em suas especificidades e problemas, sendo nosso objetivo contribuir pela via da possibilidade, por meio da apresentação de uma proposta de ensino dirigida a cursos de formação de futuros docentes e já vivenciada com estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas.

A Metodologia *STEAM*

A proposta aqui apresentada contempla elementos da metodologia *STEAM* (do inglês: *Science; Technology; Engineering; Art and design; Mathematics*), que trata do desenvolvimento de conhecimentos das áreas de Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Design e Matemática, por meio de práticas interdisciplinares, que promovam a participação ativa dos estudantes, ampliando sua capacidade de reflexão, comunicação, de criticidade e criatividade. Para isso,

- [...] a identificação de um problema, localizado e com significado em um contexto, é colocada como elemento motivador da proposta. Ao gerar a necessidade do conhecimento científico para a sua resolução, o motivo passa a mover o planejamento e o desenvolvimento do projeto em todas as suas etapas (BACICH, 2018, p. 205)

Em nossa proposta, a questão de partida é: como ensinar Sistemática Filogenética, contemplando sua contextualização em uma vertente interdisciplinar? Para respondê-la, conhecimentos matemáticos básicos e ferramentas tecnológicas são utilizados em uma prática do campo biológico, dirigida a cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas. Do mesmo modo, a prática aqui discutida pode ser apresentada a graduandos da Licenciatura em Matemática, evidenciando as relações de conteúdo específicos desse campo com conhecimentos de outras áreas. Tais experiências são fundamentais para a melhoria da formação dos futuros docentes da Educação Básica e, conseqüentemente, também de seus futuros estudantes.

Elementos do conteúdo de Sistemática Filogenética seriam contemplados, no Ensino Médio, no desenvolvimento da segunda Competência indicada para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na Base Nacional Comum Curricular (BNCC): “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, 2018, p. 553). Mais especificamente, a habilidade EM13CNT201 aponta para o desenvolvimento dos estudantes desse nível de escolaridade para: “Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente” (BRASIL, 2018, p. 557).

Quanto aos conhecimentos matemáticos explorados na proposta de ensino aqui discutida, eles são trabalhados no Ensino Médio e têm grande importância para a formação do aluno desse nível de escolaridade, aqui aplicados ao conteúdo de Sistemática Filogenética. Este conteúdo biológico abre espaço para a discussão de temas essenciais, como o processo de construção do conhecimento e as mudanças de paradigma científicos, tanto na Graduação quanto no Ensino Médio.

Vale destacar, portanto, a necessidade de os licenciandos realizarem, no processo de formação inicial, práticas que lhes permitam refletir sobre o desenvolvimento de ações indicadas para o trabalho com os diversos componentes curriculares, de modo articulado, na Educação Básica. Melo (2000), ao tratar da necessidade de sintonia entre reformas promovidas nas Licenciaturas e na Educação Básica, tanto em extensão quanto em profundidade, destaca a importância de se

[...] buscar modalidades de organização pedagógica e espaços institucionais que favoreçam a constituição, nos futuros professores, das competências docentes que serão requeridas para ensinar e fazer com que os alunos aprendam de acordo com os objetivos e diretrizes pedagógicas traçados para a educação básica (MELO, 2000, p. 101).

A vivência de experiências em que elementos da perspectiva interdisciplinar e a contextualização façam parte da essência da atividade desenvolvida, constitui fonte de referência para o planejamento de práticas para a sala de aula, pelos futuros professores, evitando que conceitos complexos como os aqui destacados sejam tratados apenas na perspectiva teórica nos cursos de formação inicial. Entendemos que as duas perspectivas podem ser plenamente contempladas em uma proposta de ensino que contemplem o uso de elementos da metodologia *STEAM*.

Existem muitas concepções distintas relativas à essa Metodologia, como afirma Bacich (2018), mas aqui adoramos a perspectiva destacada pela autora, ao atrelar às áreas de conhecimento do *STEAM*, a capacidade de interpretação, de comunicação, de análise e de síntese. Tais habilidades fazem parte da estrutura de pensamento científico e caracterizam a segunda Competência Geral proposta para a Educação Básica, na BNCC (BRASIL, 2018).

A Competência citada trata da exploração de abordagens próprias adotadas nas ciências, que incluem elementos como reflexão e análise crítica na investigação de fenômenos e na resolução de problemas, proporcionando ao estudante “[...] elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas”

(BRASIL, 2018, p. 9). Em nossa proposta as habilidades citadas são contempladas em atividades que vinculam conhecimentos de Ciências da Natureza e Matemática, associados ao uso de tecnologias e de elementos gráficos e artísticos.

Ciências: a Sistemática Filogenética

O método filogenético foi desenvolvido pelo entomólogo alemão Emil Hans Willi Hennig (1913-1976), e foi apresentado à comunidade científica em 1950, no livro *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* (Noções básicas de uma teoria de Sistemática Filogenética, em tradução livre). O livro foi praticamente ignorado, exceto por uns poucos autores, devido ao idioma e a forma de comunicação difícil com períodos virtualmente ininteligíveis, como afirmou Mayr (1998). O resgate da obra e ideias de Hennig só viria com a tradução para língua inglesa em 1965, e posteriormente para o espanhol em 1966.

O ano de lançamento da obra original de Hennig praticamente coincidiu com o surgimento de computadores eletrônicos capazes de operar informações com precisão e alta velocidade. Nessa oportunidade, surgem os primeiros procedimentos para agrupamentos de organismos baseados na similaridade total que culminaram em 1973, com a publicação do livro *Principles of Numerical Taxonomy*, de Robert R. Sokal e Peter H. A. Sneath —revisado posteriormente em uma nova edição denominada *Numerical Taxonomy*, em 1973. Estas publicações estão na origem da escola Fenética Numérica, que propunha utilizar programas de computadores para reunir os táxons em grupos por similaridade total, expressos em um dendrograma, mas sem possibilidade de inferência genealógica, uma vez que os adeptos desta escola não acreditavam na possibilidade de resgatar, no tempo, as relações de parentesco dos grupos.

O método de Hennig, por ocasião da publicação do *Numerical Taxonomy*, já era conhecido e sua prática deu origem a escola Cladística que defendia justamente o oposto, ou seja, a importância da inferência genealógica e a possibilidade de resgatar estas relações entre espécies ou grupos de espécies, através de princípios que possibilitavam o reconhecimento de três tipos de similaridade: a semelhança plesiomórfica, a apomórfica e a homoplástica, afirmando que o compartilhamento de semelhanças apomórficas (ou seja, sinapomorfias) indicariam seguramente os grupos naturais, monofiléticos; grupos formados com base no compartilhamento de plesiomorfias e homoplasias não constituíam grupos monofiléticos, dada a impossibilidade de se estabelecer para eles hipóteses de ancestralidade comum exclusiva. Esses grupos foram denominados parafiléticos e polifiléticos, respectivamente.

Com a Cladística as relações entre os táxons passaram a ser expressas graficamente em cladogramas. A Cladística, assim, sobrepujou a Fenética e se apropriou dos métodos computacionais, hoje largamente empregados para explicar as relações de parentesco entre táxons, que corroboram fortemente a teoria da evolução.

Apesar de todo o avanço que os programas computacionais trouxeram, sobretudo às análises que empregam elevado número de táxons e caracteres, os métodos manuais não perderam a sua utilidade, porque são uma maneira eficiente para apresentar de forma elegante toda a base conceitual da Sistemática Filogenética. No presente trabalho, tratamos do uso de um método manual em uma proposta com vertente interdisciplinar com inserção de elementos matemáticos. Uma discussão mais aprofundada a respeito dos termos filogenéticos citados durante o trabalho, incluindo um glossário, pode ser consultada em Amorim (2012).

Matemática: conhecimentos básicos envolvidos na proposta

Os conteúdos matemáticos nos quais se baseiam as atividades de Sistemática Filogenética aqui discutidos, fazem parte do estudo de Teoria dos Conjuntos e Matrizes, em geral explorados no

Ensino Médio. Tais conhecimentos constituem competências específicas de Matemática e suas tecnologias, visando preparar o estudante a, dentre outras capacidades:

Utilizar estratégias, conceitos e procedimentos matemáticos para interpretar situações em diversos contextos, sejam atividades cotidianas, sejam fatos das Ciências da Natureza e Humanas, das questões socioeconômicas ou tecnológicas, divulgados por diferentes meios, de modo a contribuir para uma formação geral. (BRASIL, 2018, p. 531).

Na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), defende-se ainda a necessidade de desenvolvermos no estudante a capacidade de utilizar essas mesmas definições, conceitos e procedimentos na construção de modelos e na resolução de problemas em contextos diversificados, estando ele apto a julgar a adequação e pertinência de resultados, bem como saber argumentar com consistência.

Os conhecimentos matemáticos prévios que são demandados nas atividades práticas do campo das Ciências da Natureza, das quais tratamos no presente texto, são básicos e compreendidos por noções de Teoria dos Conjuntos (conjunto; subconjunto; interseção) associadas a diagramas de Venn (construção, leitura e interpretação de inclusão e interseção de conjuntos), com os dados apresentados por meio de tabelas de dupla entrada denominadas Matriz de Caracteres e Matriz de Congruência e Incongruência de Caracteres.

A aplicação dos conteúdos citados em um contexto das Ciências da Natureza, auxilia o estudante a atribuir significado a ideias que tradicionalmente são abordadas com base na aplicação de regras que nem sempre são compreendidas, ou, ainda, com aplicações apenas no próprio campo da Matemática, como na resolução de sistemas de equações (SANCHES, 2002). A dimensão interdisciplinar potencializa o conteúdo matemático e possibilita que ele seja mais bem compreendido e mais valorizado pelo estudante.

Os elementos relacionados a Tecnologia e Arte, que constituem elementos da metodologia *STEAM*, usada como suporte para a presente proposta de ensino de Sistemática Filogenética, são apresentados e discutidos ao longo da explanação da organização das etapas do trabalho, o que é feito em seguida.

A proposta de ensino: o Método de Congruência e Incongruência de Caracteres

Na construção de cladogramas, são três os métodos manuais mais empregados: o Método Ortodoxo de Hennig; o Método de Ordenamento de Matrizes; e o Método de Congruência e Incongruência de Caracteres (daqui em diante, MCIC), que aqui será destacado. Qualquer que seja o método escolhido, dois passos que antecedem a construção da matriz de caracteres e a análise propriamente dita são comuns a todos eles: (i) é recomendável que o grupo a ser analisado (grupo interno, GI) tenha uma hipótese preliminar de monofiletismo; e (ii) é altamente recomendável que a hipótese de monofiletismo seja testada indicando, por exemplo, táxons próximos do grupo interno que deverão integrar a análise junto com aqueles que são objetos da investigação.

Caso a hipótese de monofiletismo esteja correta, o grupo para o qual se instituiu a hipótese deve constituir um clado no cladograma final, salvo problemas taxonômicos que possam existir entre os táxons terminais como um todo. Essas duas considerações apresentadas não serão aqui observadas, pois as unidades taxonômicas objeto de nosso estudo são entidades fictícias.

METODOLOGIA

A construção da Matriz de Caracteres

A construção da matriz de caracteres é precedida pela listagem dos caracteres e seus respectivos estados observados no GI, cuja codificação (polaridade) será inferida no grupo externo (GE): (i) estado de caráter presente no GI, semelhante ao do GE, será reconhecido como

plesiomórfico e, quando compartilhado, simplesiomórfico —nesta condição recebe codificação zero (0); (ii) estado de caráter presente no GI, diferente do GE, será reconhecido como apomórfico e, quando compartilhado, sinapomórfico —nesta condição recebe codificação um (1).

Depois que todos os estados de caracteres de todos os táxons do GI são codificados, a matriz de caracteres é construída. Os táxons integrarão as linhas e os estados de caracteres codificados, as colunas. Na última linha a generalidade do estado apomórfico de cada caráter será indicada, somando as apomorfias. Os estados apomórficos compartilhados pelos táxons do GI constituem hipóteses de homologias primárias, as quais serão testadas na análise de congruência e incongruência entre os caracteres.

Análise de Congruência e Incongruência de Caracteres

A matriz do MCIC é uma matriz quadrada (número de colunas igual ao de linhas) onde os caracteres, em seus estados apomórficos são analisados, um contra o outro (par a par), quanto à sua congruência e incongruência. A matriz pode ser elaborada em uma planilha eletrônica, o que facilita as operações com linhas e colunas. As regras de congruência a serem observadas são as seguintes: (i) todo caráter é congruente consigo mesmo (diagonal da matriz); (ii) todo caráter autapomórfico (apomorfia não compartilhada) é congruente com todos os demais; (iii) dois caracteres são congruentes entre si, se (a) eles reúnem em um único conjunto, os mesmos táxons portadores do estado apomórfico; (b) um dos caracteres reúne táxons em um subconjunto, de um conjunto maior de táxons reunidos pelo outro caráter; e (c) os caracteres determinam dois conjuntos de táxons que não possuem elementos comuns.

As congruências entre caracteres determinadas pelos itens iii.a e iii.b são designadas congruências por **inclusão total** e pelo item iii.c, **exclusão total**. Quanto à regra de incongruência, dizemos que dois caracteres são incongruentes entre si se, nos conjuntos de táxons reunidos pelos estados apomórficos dos caracteres, **somente parte dos elementos forem comuns**.

Na matriz quadrada, os caracteres que são congruentes entre si recebem a letra C na célula correspondente, e os incongruentes, a letra I. Em seguida, acrescenta-se, à coluna da direita da matriz, pelo menos três outras colunas: as duas primeiras referem-se aos somatórios das congruências e das incongruências e a terceira, à análise para designar quais caracteres são autapomórficos, sinapomórficos ou homoplásticos.

Os caracteres autapomórficos não têm relevância na análise, pois, ocorrendo em um único táxon, são apenas diagnósticos e, portanto, não são indicadores de ancestralidade comum; os homoplásticos são os caracteres com maior número de incongruências na matriz; e os sinapomórficos são aqueles sem incongruências, ou, quando apresentam incongruência com algum caráter, este último já foi designado previamente na análise como homoplástico. Os caracteres homoplásticos são as homologias primárias (da matriz de caracteres) que foram reprovadas no teste de homologias secundárias, ou seja, o teste de congruência e incongruência de caracteres.

Diagrama de Venn e Construção do Cladograma

Depois de determinado o tipo de semelhança de cada caráter (sinapomórfico ou homoplástico) no MCIC, inicia-se a construção do diagrama de Venn, associando esses resultados à generalidade dos caracteres, determinada na matriz de caracteres. Os caracteres sinapomórficos são utilizados para formação dos conjuntos, seguindo a ordem de generalidade dos caracteres, do menor para o maior. Os caracteres autapomórficos e os homoplásticos são plotados apenas no cladograma.

A construção do cladograma é uma expressão fiel dos conjuntos de táxons do diagrama de Venn, determinados pelos caracteres sinapomórficos. Os diagramas de Venn constituem uma representação gráfica que, junto às demais formas de representação abordadas no presente texto,

como os cladogramas, podem potencializar a aprendizagem. Direne *et al.* (2009, p. 1694) afirmam que

[A] intuição de que a representação da informação em um formato gráfico pode, em alguns casos, ter um efeito positivo na aprendizagem já foi abordada tangencialmente, por exemplo, no ensino da teoria clássica de conjuntos, que usa diagramas do famoso matemático britânico John Venn, para expressar relações de união, interseção e disjunção.

Tal intuição, de acordo com os mesmos autores, nas últimas décadas passou a constituir um campo de estudo denominado de Múltiplas Representações Externas, que congrega estudiosos da Pedagogia, Ciências Cognitivas e Informática, que se debruçam sobre questões de ordem prática suscitadas em torno das especificidades de cada campo de conhecimento, apesar do apelo intuitivo de tais representações.

Representação dos Táxons (o material de estudo)

Os desenhos representando os espécimes da proposta de ensino são borboletas fictícias e customizadas (GE e GI, Figuras 1 e 2), produzidas no programa Adobe Illustrator CC. É importante que os estudantes posteriormente criem seus próprios espécimes, tomando como base a referência da Figura 1, fazendo uso de programas como o citado ou outro gerador de imagens que seja acessível, como o próprio Paintbrush, o que compreenderá uma prática que oportuniza a evidência da criatividade e de elementos do campo da Arte, em particular, o desenho, em seus constituintes de forma e cor. Elementos como a simetria presente na natureza, enriquecem a discussão e ampliam a compreensão dos conteúdos envolvidos na proposta e a visão dos estudantes sobre o mundo à sua volta.

A complexidade dos caracteres envolvidos em espécimes reais deve ser incorporada na discussão, para que os estudantes percebam a complexidade da tarefa feita pelos cientistas e a necessidade de simplificação quando um conhecimento dessa natureza precisa ser transposto para a sala de aula, pensando-se no nível de escolaridade dos estudantes aos quais a proposta de ensino é dirigida.

Não sendo reais, as espécies representadas pelos desenhos (Figuras 1 e 2) têm seus nomes indicados pelas seguintes letras: GE, para o grupo externo; A, B, C, D e E, para os grupos internos. Neste trabalho, todos os caracteres utilizados são binários, ou seja, possuem apenas dois estados diferentes, tendo em vista a simplificação da abordagem. Além disso, os dois estados dos caracteres estão resumidos apenas à questão da coloração, sendo brancos ou cinzas.

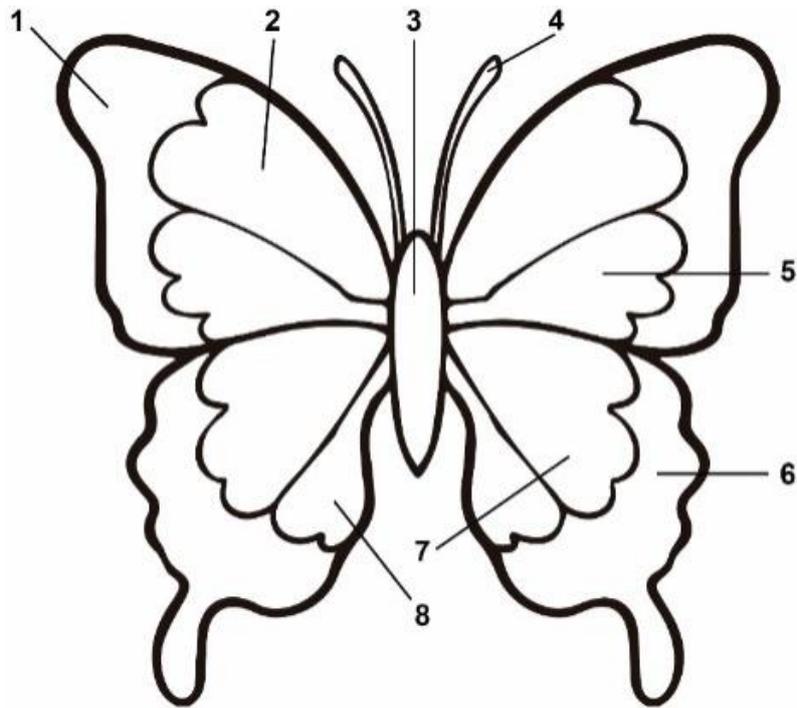


Figura 1 – Espécime fictício de borboleta e caracteres a serem considerados na análise: 1) Célula marginal da asa anterior; 2) Célula anterior da asa anterior; 3) Corpo; 4) Antena; 5) Célula posterior da asa anterior; 6) Célula marginal da asa posterior; 7) Célula anterior da asa posterior; 8) Célula posterior da asa posterior. Fonte: autores, adaptado de Freepik.com.

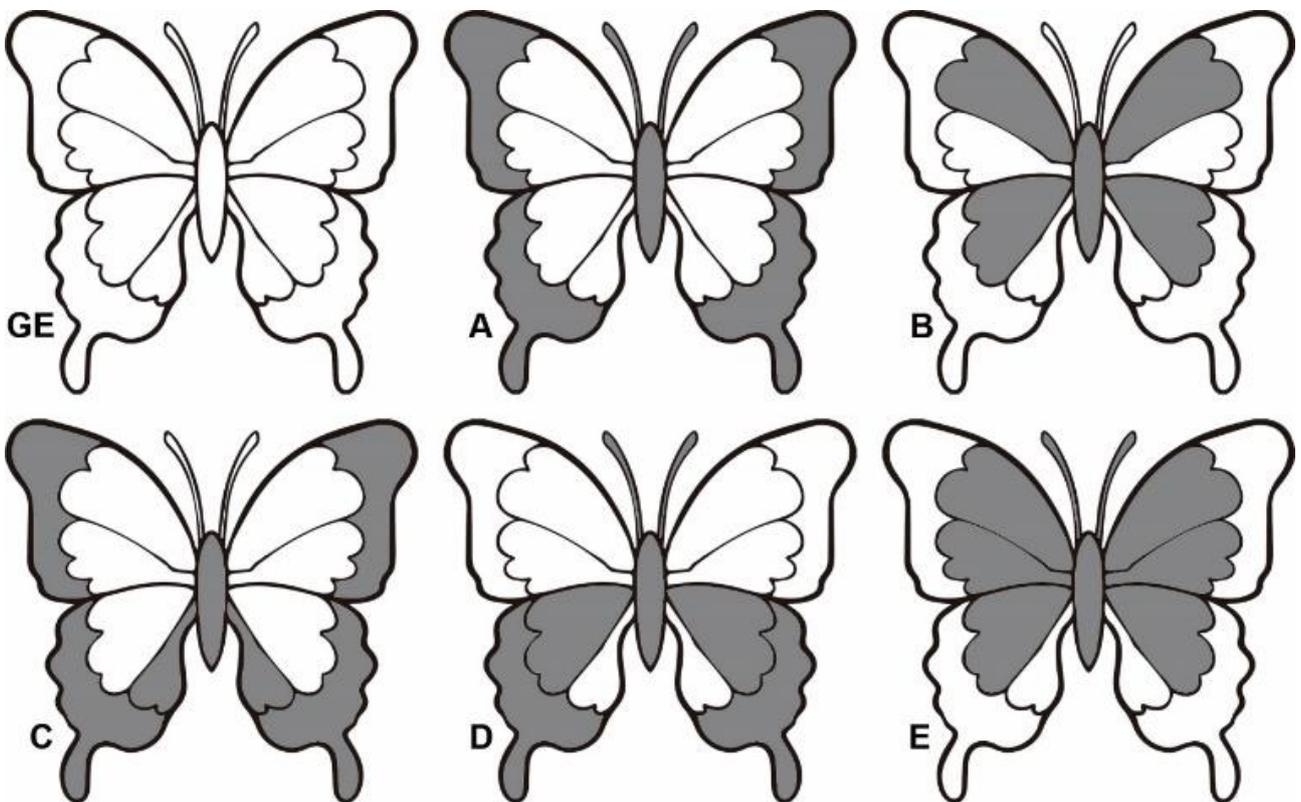


Figura 2 – Representantes de espécies fictícias de borboleta. GE, espécime do grupo externo; A, B, C, D e E, espécimes do grupo interno. Estão representadas as variações nos estados de caracteres. Fonte: autores, adaptado de Freepik.com.

Desenvolvimento

A lista dos caracteres e seus respectivos estados polarizados no GE (estado plesiomórfico, 0; estado apomórfico, 1) é a seguinte:

- 1) Célula marginal da asa anterior: branca (0); cinza (1).
- 2) Célula anterior da asa anterior: branca (0); cinza (1).
- 3) Corpo: branco (0); cinza (1).
- 4) Antena: branca (0); cinza (1).
- 5) Célula posterior da asa anterior: branca (0); cinza (1).
- 6) Célula marginal da asa posterior: branca (0); cinza (1).
- 7) Célula anterior da asa posterior: branca (0); cinza (1).
- 8) Célula posterior da asa posterior: branca (0); cinza (1).

A partir da lista de caracteres e seus respectivos estados codificados é construída a Matriz de Caracteres, conforme indicação da Tabela 1, sendo os táxons dispostos nas linhas e estados de caracteres codificados nas colunas. Na última linha consta a generalidade dos caracteres, com base no estado apomórfico, dada pela soma dos números de cada linha. Sempre que possível sugere-se que a Matriz de Caracteres seja elaborada em uma planilha eletrônica, como a Excel, o que facilita sua manipulação e adaptação a mudanças efetuadas nas atividades, quando outras espécies são consideradas.

Tabela 1 – Matriz de caracteres polarizados e codificados para seus respectivos táxons conforme lista de caracteres e seus estados. Legenda: GE, grupo externo; Tt, totalidade.

	Caracteres							
Táxons	1	2	3	4	5	6	7	8
GE	0	0	0	0	0	0	0	0
A	1	0	1	0	0	1	0	0
B	0	1	1	1	0	0	1	0
C	1	0	1	0	0	1	0	1
D	0	0	1	1	0	1	1	0
E	0	1	1	1	1	0	1	0
Tt	2	2	5	3	1	3	3	1

A matriz do MCIC (Tabela 2), foi construída a partir da matriz de caracteres, considerando o estado apomórfico de cada caráter e o emprego das seguintes regras: Regra de congruência 1, todo caráter é congruente consigo mesmo (diagonal da matriz); Regra de congruência 2, caracteres autapomórficos são congruentes com todos os demais caracteres; os caracteres 5 e 8 são autapomórficos.

Quadro 2 – Matriz de congruência e incongruência de caracteres.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	C				C			C
2		C			C			C
3			C		C			C
4				C	C			C
5	C	C	C	C	C	C	C	C
6					C	C		C
7					C		C	C
8	C	C	C	C	C	C	C	C

A análise de congruência ou incongruência dos caracteres é verificada par a par: caráter 1 contra o 2; 1 contra o 3; 1 contra o 4; 1 contra o 6; e 1 contra o 7; não é necessária análise do caráter 1 com 5 e o 8, pois estes já foram definidos como autapomórficos, conforme Tabela 2. O mesmo procedimento é feito para os demais caracteres, ou seja, 2 contra o 3; contra o 4; contra o 6 e o 7, e assim sucessivamente.

Os caracteres são sempre plotados, uns contra os outros, em seus estados apomórficos. Assim, o Caráter 1 reúne em um conjunto os táxons A e C, enquanto o Caráter 2 reúne em um conjunto os táxons B e E. Logo, os dois conjuntos não têm elementos comuns, sendo congruentes pela regra iii.c, congruência por exclusão total (Figura 3.1); o Caráter 1 é, ainda, congruente por inclusão total com o Caráter 3 (Figura 3.2), congruente por exclusão total com os Caracteres 4 e 7 (Figura 3.3) e congruente por inclusão total com o Caráter 6 (Figura 3.4). O Caráter 2 é congruente por inclusão total com os Caracteres 3, 4 e 7 (Figura 3.5 e 3.6), e congruente por exclusão total com o Caráter 6 (Figura 3.7). O Caráter 3 é congruente por inclusão total com os Caracteres 4, 6 e 7 (Figura 3.8 e 3.9).

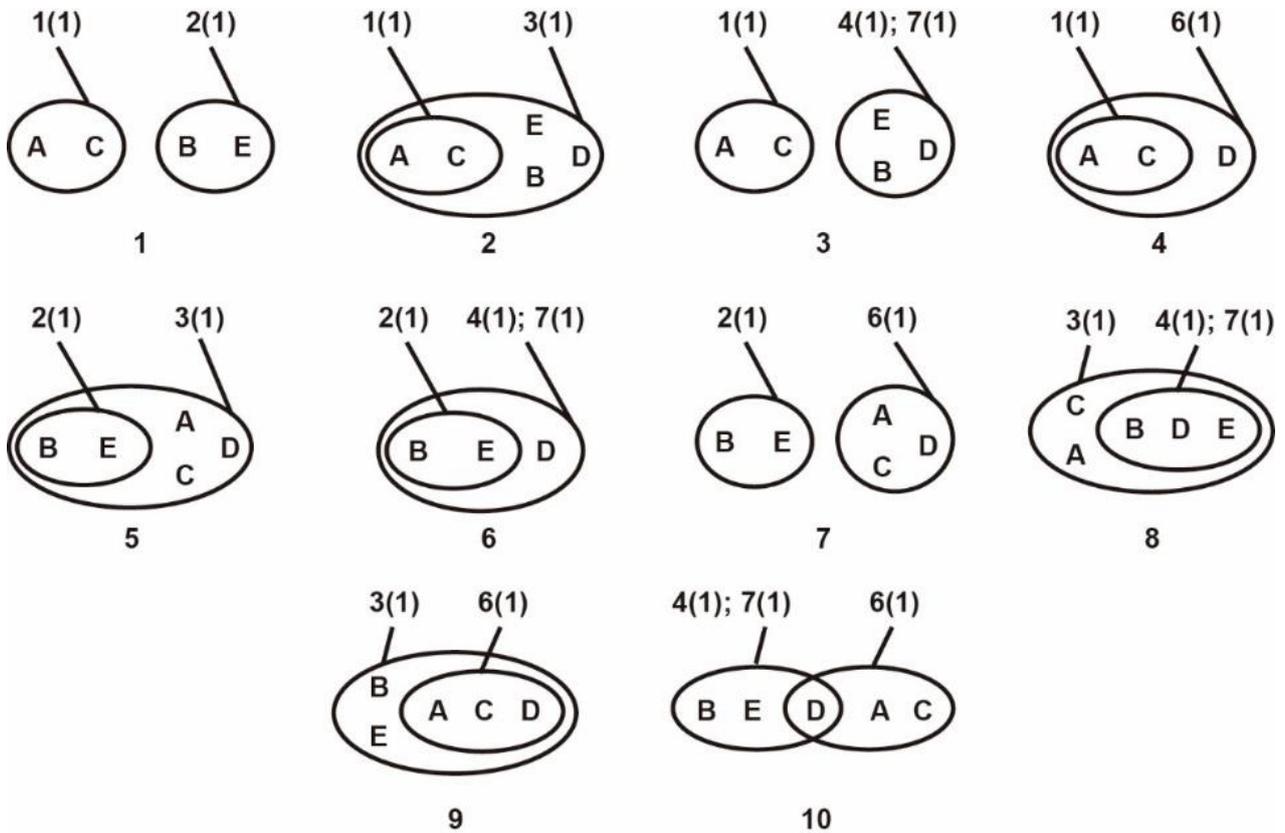


Figura 3. Congruência e incongruência de caracteres em seus estados apomórficos. Legenda: A, B, C, D e E, táxons do grupo interno. Fonte: autores.

Como podemos observar, os Caracteres 4 e 7 reúnem, em um mesmo conjunto, os táxons B, D e E, enquanto o Caráter 6 reúne os táxons A, C e D. Nesta condição apenas parte dos táxons são comuns aos dois conjuntos, no caso, o táxon D (Figura 3.10). Assim os caracteres são incongruentes pela regra dada. A incongruência se caracteriza por admitir duas histórias evolutivas: pelos Caracteres 4 e 7 o táxon D tem uma história em comum com B e E, mas, pelo Caráter 6, sua história comum seria com A e C.

A Tabela 3 representa os resultados da análise pelo MCIC, par a par, para a matriz quadrada, agora acrescida de três colunas à direita, com os respectivos somatórios de congruência e incongruência e análise das semelhanças (sinapomorfias e homoplasias).

Quadro 3 – Matriz de congruência e incongruência de caracteres. Legendas: A, análise; AUT, autapomorfia; C, congruente; HOM, homoplasia; I, incongruente; SIN, sinapomorfia.

	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣC	ΣI	A
1	C	C	C	C	C	C	C	C	8	0	SIN
2	C	C	C	C	C	C	C	C	8	0	SIN
3	C	C	C	C	C	C	C	C	8	0	SIN
4	C	C	C	C	C	I	C	C	7	1	SIN
5	C	C	C	C	C	C	C	C	8	0	AUT
6	C	C	C	I	C	C	I	C	6	2	HOM

7	C	C	C	C	C	I	C	C	7	1	SIN
8	C	C	C	C	C	C	C	C	8	0	AUT

A análise considera os somatórios de congruência e incongruência para determinar quais semelhanças são sinapomórficas e quais são homoplásticas. Os caracteres 5 e 8, não sendo compartilhados, pois ocorrem em um único táxon, são autapomórficos (AUT); os demais caracteres que têm 100% de congruência (1, 2 e 3) são sinapomórficos (SIN). Os caracteres restantes (4, 6 e 7) têm pelo menos uma incongruência, mas o caráter 6 tem duas, logo, será designado homoplástico (HOM).

Os caracteres 4 e 7 têm uma incongruência, ambas com o caráter 6, mas como este caráter já foi designado homoplástico, 4 e 7 são sinapomórficos. Sabendo que os caracteres 1, 2, 3, 4 e 7 são sinapomórficos, verificamos a generalidade de cada um deles na matriz de caracteres e iniciamos a construção do Diagrama de Venn pelos caracteres de menor para maior generalidade: 1 e 2; 4 e 7; e 3, conforme Figura 4.

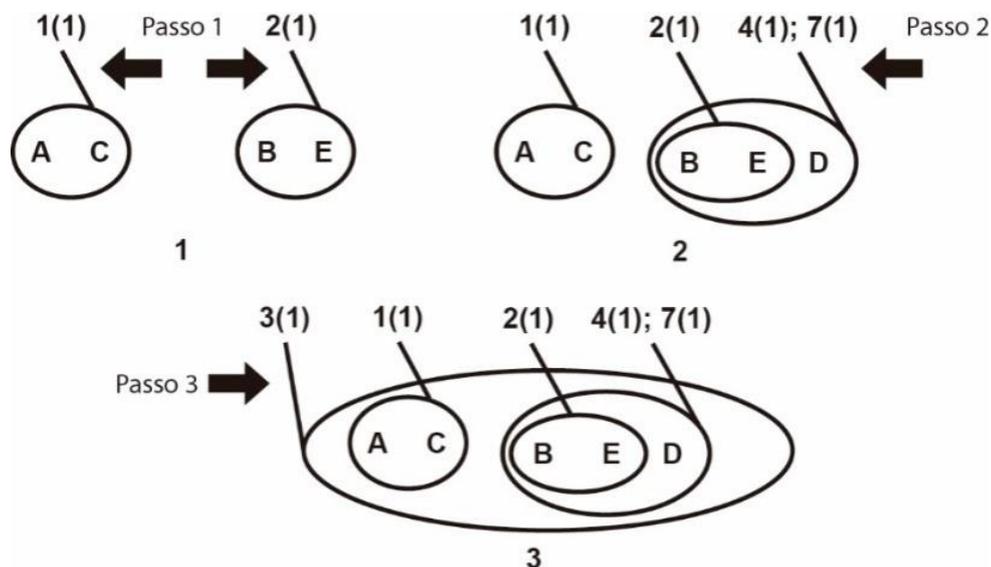


Figura 4 – Construção do Diagrama de Venn (as setas indicam a sequência de passos). Fonte: autores.

O Diagrama de Venn é constituído a partir de quatro conjuntos de táxons determinados pelos caracteres sinapomórficos (Figura 4). Os táxons que compõem esses conjuntos determinam grupos monofiléticos na filogenia, cujo reconhecimento se dá pelo compartilhamento de um ou mais caracteres apomórficos (sinapomorfias), que constituem hipóteses de ancestralidade comum exclusiva, ou seja, os grupos monofiléticos reúnem a espécie ancestral e todas as suas descendentes.

No cladograma da Figura 5 as espécies ancestrais estão representadas pelos ramos internos. Para construirmos graficamente o cladograma, devemos entender que existe um elemento a mais nos conjuntos de táxons que não está representado no Diagrama de Venn, que é a espécie ancestral. Devemos, então, expandir graficamente os conjuntos, incorporando neles as espécies ancestrais. Em seguida plotamos os caracteres autapomórficos e homoplásticos, concluindo o processo. O cladograma final, representando a relação de parentesco entre os grupos de borboletas fictícias abordadas, está representado na Figura 6.

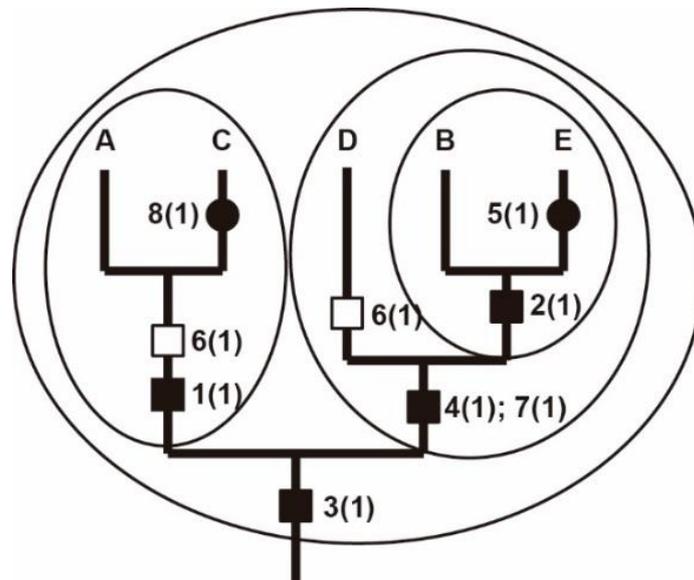


Figura 5 – Cladograma extraído do Diagrama de Venn. Legendas: quadrado preto, caráter sinapomórfico; quadrado branco, caráter homoplástico; círculo preto, caráter autapomórfico. Fonte: autores.

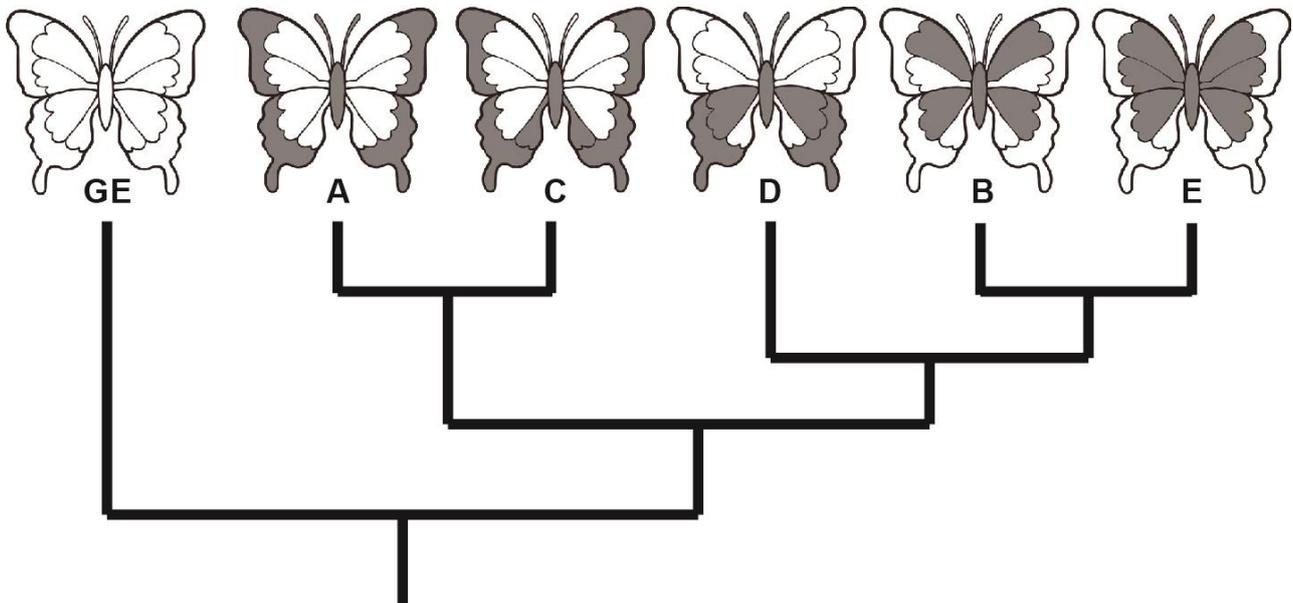


Figura 6 – Cladograma final representando as relações de parentesco entre os grupos abordados. Legendas: GE, grupo externo; A, B, C, D e E, táxons do grupo interno.

Recomenda-se que a elaboração gráfica do cladograma seja feita, sempre que possível, utilizando-se aplicativos próprios para isso ou adaptados para esse fim, como o LucidChart, o que não apenas facilita o processo, como também melhora a qualidade das representações, além de possibilitar que elas sejam copiadas em textos a serem utilizados pelo professor e estudantes. Plataformas online, como a Creately, possibilitam a adaptação fácil de um cladograma dado para a criação de novos cladogramas; e para análises filogenéticas mais robustas, podem ser utilizados os softwares Mesquite ou Mr Bayes.

O uso de ferramentas tecnológicas é altamente recomendado, em razão das transformações velozes que têm ocorrido na maioria das atividades exercidas pelo homem, com tendência de ampliação desse uso em espaços diversos. A familiarização com esses recursos precisa ocorrer nos cursos de formação inicial de professores, uma vez que há demandas para essa prática em suas futuras

salas de aula, conforme indicação de documentos oficiais, como a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018). Como orienta o texto da Base,

[D]iante da diversidade dos usos e da divulgação do conhecimento científico e tecnológico na sociedade contemporânea, torna-se fundamental a apropriação, por parte dos estudantes, de linguagens específicas da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Aprender tais linguagens, por meio de seus códigos, símbolos, nomenclaturas e gêneros textuais, é parte do processo de letramento científico necessário a todo cidadão (BRASIL, 2018, p. 551).

Nesse movimento, a formação inicial de professores que atuam na área de Ciências da Natureza na Educação Básica deve contemplar não apenas a compreensão profunda dos conteúdos que o professor ensina, mas, também, o domínio de metodologias que o auxiliem na formação de seus estudantes, com qualidade, e de ferramentas tecnológicas que ampliem a capacidade de lidar com as transformações cada vez maiores e mais rápidas por que passa a nossa sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conhecimentos escolares têm sido tradicionalmente organizados em uma estrutura multidisciplinar e uma forma de contornar os problemas advindos dessa compartimentalização, que fragmenta a visão de nossos estudantes em relação aos fenômenos do mundo, têm sido a apresentação de orientações por pesquisadores e em documentos oficiais, para que sejam propostas abordagens interdisciplinares e em contextos diversificados, de modo a ampliar a forma como vemos e atuamos no mundo.

Projetos com viés interdisciplinar têm potencial para, agregando conhecimentos de diversas áreas, transformar a forma como olhamos para os problemas e demandas que nos rodeiam, os quais se tornam cada vez mais complexos, na medida em que a humanidade acumula dados, informações, e evolui seus recursos tecnológicos. Esse direcionamento, no entanto, esbarra na forma como os cursos de Licenciatura se organizam, igualmente separados, proporcionando poucas experiências na direção de tornar explícitas as conexões entre conteúdos de diferentes campos, o que potencializaria a compreensão da diversidade de conhecimentos.

A proposta de ensino de Sistemática Filogenética que apresentamos neste artigo já foi vivenciada em aulas dirigidas a estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas, apresentando boa receptividade por parte dos futuros professores. Na ocasião foram evidenciados problemas relativos à pouca compreensão dos conhecimentos matemáticos abordados nas aulas, ainda que elementares, que foram reelaborados a partir da possibilidade de atribuição de novos significados para eles, uma vez evidenciados contextos nos quais podem ser aplicados.

Existe uma correspondência entre os conceitos matemáticos destacados e os conceitos da Sistemática Filogenética que, ao ser explorada pelo professor, ressalta a apropriação de conhecimentos da Matemática para explicar padrões e processos, pelas Ciências da Natureza, promovendo a melhoria do processo de ensino-aprendizagem com base em um diálogo em uma direção interdisciplinar e contextualizado. Este tipo de abordagem é importante, pois fornece melhores subsídios para a compreensão da diversidade biológica.

A ligação entre conhecimentos das diversas disciplinas da matriz curricular da Educação Básica pode auxiliar na ampliação da formação do estudante e de sua visão acerca do conhecimento científico, na medida em que ajuda a romper com a prática do ensino compartimentalizado e evidencia a necessidade cada vez maior de abordar fenômenos com o auxílio de conceitos, ferramentas e procedimentos de diferentes naturezas.

Além disso, vale destacar a importância de facilitarmos procedimentos inseridos na proposta, com o uso de ferramentas tecnológicas, como planilhas eletrônicas, aplicativos e softwares, o que

possibilita focarmos em elementos de natureza conceitual, promovendo a ampliação e profundidade da compreensão daquilo que se estuda, seja em um curso de Graduação ou na Educação Básica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as valorosas sugestões do revisor anônimo, as quais contribuíram significativamente para a melhoria do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Amorim, D. S. (2002). *Fundamentos de Sistemática Filogenética*. Ribeirão Preto: Holos Editora.
- Augusto, T. G. S, & Caldeira, A. M. A. (2007). Dificuldades para a implantação de práticas interdisciplinares em escolas estaduais, apontadas por professores da área de Ciências da Natureza. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(1), 139-154. Acesso em 25 fev., 2020 <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/481>
- Bacich, L. (2018). *Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico-Prática*. São Paulo: Penso.
- Brasil. (2012). Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Básica. *Resolução nº 2, 30 de janeiro de 2012. Define Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: Diário Oficial da União. Acesso em 10 fev., 2021 http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=9917-rceb002-12-1&Itemid=30192
- Brasil. (2018). Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base*. Brasília: MEC. Acesso em 12 fev., 2021 http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf
- Direne, A.; Pimentel, A.; Ramos, G.; Marczal, D.; Carvalho, E.; Castilho, M.; García, L.; Silva, F.; Bona, L., & Sunye, M. (2009). Objetos de aprendizagem generalizáveis para o currículo de Matemática do ensino médio. *Anais do Workshop de Informática na Escola, 1*, 1693-1702. Acesso em 11 fev., 2021 <http://br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/2154/1920>
- Dutra, E. F. (2010). *Possibilidades para a articulação entre teoria e prática em cursos de Licenciatura*. Dissertação (Mestrado em Educação). Santa Maria: UFSM. Acesso em 2 mar., 2021 <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/6925>
- Fazenda, I. C. A. (1993). *Integração e Interdisciplinaridade no Ensino Brasileiro: efetividade ou ideologia?* Coleção Realidade Educacional. São Paulo: Loyola.
- Giassi, M. G. (2009). *A contextualização no ensino de biologia: um estudo com professores de escolas da rede pública estadual do município de Criciúma-SC*. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Florianópolis: UFSC. Acesso em 25 fev., 2021 <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92695>
- Japiassu, H. (1976). *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago.
- Mayr, E. O. (1998). *Desenvolvimento do Pensamento Biológico*. Brasília: Editora UnB.
- Melo, G. N. (2000). Formação Inicial de professores para a Educação Básica: uma (re)visão radical. *São Paulo em Perspectiva*, 14(1), 98-110. Acesso em 18 fev., 2021 <https://www.scielo.br/j/spp/a/d6PXJjNMc3qJBMxQBQcVknQ/?lang=pt&format=pdf>

- Sanches, M. H. F. (2002). *Efeitos de uma estratégia diferenciada dos conceitos de matrizes*. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática). Campinas: UNICAMP. Acesso em 30 jan., 2021 <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/253429>
- Santomé, J. T. (1998). *Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado*. Porto Alegre: Artes Médicas.