

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ÁGUAS LINDAS DE GOIÁS
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

CAIO COSTA DOS SANTOS

**REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE SISTEMÁTICA
FILOGENÉTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA**

Águas Lindas de Goiás - GO
2024

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|
| ☐ | Tese | ☐ | Artigo Científico |
| ☐ | Dissertação | ☐ | Capítulo de Livro |
| ☐ | Monografia –
Especialização | ☐ | Livro |
| ☒ | TCC - Graduação | ☐ | Trabalho Apresentado em
Evento |
| ☐ | Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | | |

Nome Completo do Autor: Caio Costa dos Santos

Matrícula: 20211140050253

Título do Trabalho: Reflexões sobre o ensino de sistemática filogenética na educação básica brasileira

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

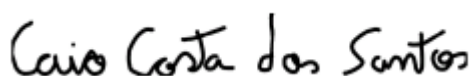
- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- I.o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- II.obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- III.cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Águas Lindas de Goiás, Goiás, 20/12/2024.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

CAIO COSTA DOS SANTOS

**REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE SISTEMÁTICA
FILOGENÉTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Águas Lindas de Goiás, desenvolvido na linha de pesquisa do Ensino de Biologia.

Orientador(a): Prof.(a). Dr. Antônio Cláudio de Araújo Júnior

Águas Lindas de Goiás - GO
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

	Santos, Caio Costa dos.
S237r	Reflexões sobre o ensino de Sistemática Filogenética na educação básica brasileira. [manuscrito] / Caio Costa dos Santos. – 2024. 69 f. : il.
	Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Águas Lindas de Goiás. Orientador: Prof. Dr. Antônio Cláudio de Araújo Júnior.
	1. Ensino de Ciências e Biologia. 2. Sistemática filogenética. 3. Educação Básica. I. Araújo Júnior, Antônio Cláudio de. II. Título.
	CDD: 372.357

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Myriam Martins Lima – CRB-1: 3582, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Águas Lindas de Goiás.

TERMO DE APROVAÇÃO

CAIO COSTA DOS SANTOS

REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Águas Lindas de Goiás como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio Cláudio de Araújo Júnior.

Aprovado em 17 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. Antônio Cláudio de Araújo Júnior

Orientador

(assinado eletronicamente)

Profa. Dra. Alice de Barros Gabriel

Docente do Departamento de Áreas Acadêmicas

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. Herick Soares de Santana

Docente do Departamento de Áreas Acadêmicas

Documento assinado eletronicamente por:

- Alice de Barros Gabriel, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 18/09/2024 11:10:01.
- Herick Soares de Santana, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 18/09/2024 10:24:11.
- Antonio Claudio de Araujo Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 17/09/2024 21:23:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 564942
Código de Autenticação: f83fa2bf37



AGRADECIMENTOS

Sou muito sortudo. Desde pequeno, pessoas muito queridas fizeram parte da minha vida! Pessoas que me construíram enquanto ser humano, que me apoiaram e me ajudaram a chegar a lugares que fantasiei no mais feliz dos meus sonhos. Graças a elas me encontro aqui escrevendo esse agradecimento no meu trabalho de conclusão de curso. Elas fazem minha vida mais leve e feliz. Nada mais justo, fazer aqui neste espaço, uma singela menção a esses indivíduos tão importantes para mim, e que são alvos do meu afeto.

Primeiramente, agradeço ao meu pai, **Hércules**, que apesar das inúmeras adversidades que a vida o proporcionou, momentos complicados e tortuosos, sempre fez o possível e o seu melhor para seus filhos. É o homem que procuro seguir o exemplo, para quem sabe me tornar metade do homem batalhador, honroso, amoroso e honesto que ele é.

Segundamente, agradeço a minha mãe, **Francisca**, por todo o carinho e afeto que ela proporcionou para mim, e para meus outros dois irmãos! Sua vida difícil nunca a impediu de fazer o melhor para seus filhos, e para as pessoas ao seu redor!

Agradeço, ao meu padrasto, **Renan**, que desde a sua união com minha mãe, tratou eu e meu irmão com muito carinho e respeito, e nos acolheu como filhos! É um exemplo de pai, marido e homem!

Agradeço a minha madrinha, **Raquel**, que livrou meu pai de maus bocados, e sempre esteve ao nosso lado, nos momentos bons, e ruins da nossa trajetória!

Agradeço, ao meu **tio Mazinho**, pela paciência que ele teve ao me ajudar a fazer as lições de casa na infância, quando mais ninguém tinha! Pela atenção e amor que você sempre endereçou aos seus sobrinhos!

Agradeço ao meu irmão, **Kauan**, que está do meu lado desde que me entendo por gente, sua companhia é a melhor definição de casa. Foi ele, que deixou esse trabalho bem bonito, graças a produção das belas imagens aqui presentes.

Agradeço às minhas duas irmãzinhas, **Renata e Eliza**, pela alegria e palhaçadas que compartilhamos juntos!

Agradeço, a minha amiga, **Amanda**, pela companhia, e vivências que tivemos nos últimos quinze anos de nossas vidas.

Agradeço, aos meus amigos-irmãos, **Cadu e Mandinha**, pelos momentos de descontração, companhia, e pela irmandade que construímos na nossa caminhada de vida.

Ao entrar no IFG, fui acolhido por pessoas que levarei no meu coração para o resto da vida! A elas também gostaria de dedicar um espaço neste trabalho:

Agradeço, ao Professor **Antônio**, pela mentoria e apoio ao longo do curso, pelas caronas providenciais, e por ser um orientador paciente o suficiente para não se alterar diante minha confusão mental durante a escrita deste trabalho!

Agradeço aos demais professores do curso, **Herick, Alice, Fernando, Sílvia, Danilo, Dirceu, Paulo, Marcos**, e aos outros servidores do IFG - AL, pelas vivências, caronas e aprendizados que eles me proporcionaram.

Agradeço, aos meus irmãos de outra mãe, que encontrei na sala de aula, **Lucas e Isabelle**, a companhia e amizades de vocês foi fundamental! Não sei o que seria de mim, sem as piadas horríveis, mas com muita graça, e sem o carinho de vocês.

Agradeço, também, aos meus colegas de turma, pela convivência pacífica e harmoniosa, pelas trocas de experiências e aprendizados que tivemos ao longo desses quatro anos.

Agradeço a **Natália**, que surgiu do nada, e já é quase da família, os momentos de felicidade, raiva e tristeza que compartilhamos juntos são incríveis.

Durante a pandemia, conheci um cara que foi o principal responsável por eu estar cursando biologia. Devido a isso, no apagar das luzes, gostaria de agradecer ao Paulo Miranda Nascimento, mais conhecido como **Pirula**, por transmitir ao longo de seus vídeos no YouTube seu amor por biologia, fazendo através de seu entusiasmo, outras pessoas amarem as ciências biológicas.

Finalmente, gostaria de terminar os agradecimentos com uma frase de um filme que assisti há algum tempo, mas que fala muito sobre minha vontade de honrar, aqueles e aquelas que fizeram e fazem de tudo para que meu futuro seja alegre: *“Nós somos nossas raízes, mas todo dia escolhemos quem nos tornamos. Minha família não é perfeita, mas me tornou quem sou e me deram chances que eles nunca tiveram. Meu futuro, seja qual for, é o nosso legado compartilhado.”* -Era uma vez um sonho

REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

CAIO COSTA DOS SANTOS

ayanamicaio@gmail.com

Orientador: **Antonio Claudio de Araujo Junior**

antonio.araujo@ifg.edu.br

Resumo

O presente trabalho teórico parte de um breve retrospecto histórico sobre o desenvolvimento da sistemática filogenética como um conjunto de conhecimentos teórico-metodológicos que se utiliza do parentesco evolutivo entre as espécies como critério organizador da diversidade biológica. A relação íntima entre o ensino de evolução e o ensino de sistemática filogenética é discutida à luz da literatura sobre os desafios e os obstáculos para o ensino desse assunto na educação básica brasileira, bem como de trabalhos que refletem sobre o material didático disponível aos docentes. Parte-se dos argumentos social e cultural para o ensino de ciências naturais para se discutir as contribuições do ensino de sistemática filogenética no desenvolvimento de competências e habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular brasileira. Depreende-se do presente trabalho que o ensino de sistemática filogenética pode constituir mais uma via de acesso à compreensão da complexidade e, por consequência, da beleza do mundo biológico. Enquanto caminhos para o ensino desse assunto na educação básica brasileira, o presente trabalho aponta algumas alternativas que se aproveitam do potencial que a sistemática filogenética tem de integrar e articular outros aspectos importantes do estudo de temas biológicos.

Palavras-chave: Ensino de ciências e biologia; Sistemática filogenética; Educação Básica; Ensino de ciências; Livro didático.

Abstract

This theoretical work begins with a brief historical overview of the development of phylogenetic systematics as a set of theoretical-methodological knowledge that uses the evolutionary relationships between species as a criterion for organizing biological diversity. The close relationship between the teaching of evolution and the teaching of phylogenetic systematics is discussed in light of the literature on the challenges and obstacles to teaching this subject in Brazilian basic education, as well as studies that reflect on the teaching materials available to educators. The social and cultural arguments for the teaching of natural sciences are used to discuss the contributions of teaching phylogenetic systematics in the development of competencies and skills outlined in the Brazilian National Common Curriculum. The work suggests that the teaching of phylogenetic systematics can provide an additional pathway to understanding the complexity and, consequently, the beauty of the biological world. As pathways for teaching this subject in Brazilian basic education, this work points out some alternatives that take advantage of the potential that phylogenetic systematics has to integrate and articulate other important aspects of the study of biological topics.

Keywords: Science and biology education; Phylogenetic systematics; Basic education; Science teaching; Textbook.

SUMÁRIO

Apresentação	9
1 - História e desenvolvimento da sistemática filogenética	12
1.1 - O que é sistemática filogenética.....	12
1.2 - As primeiras classificações biológicas	12
1.3 - Enfim, a evolução biológica.....	15
1.4 - Os novos sistemas de classificações	17
1.5 - A sistemática filogenética	19
2 - Desafios no ensino de sistemática filogenética	22
2.1 - Não entender evolução	22
2.2 - Equívocos comuns relacionados a árvores evolutivas	24
3 - A sistemática filogenética nos livros didáticos	32
4 - Por que ensinar sistemática filogenética?	43
4.1 - Possíveis argumentos para a presença da sistemática filogenética no currículo	43
4.2 - Ciências naturais e a sistemática filogenética como uma via de acesso a beleza	52
4.3 - Possíveis caminhos para ensinar sistemática filogenética	57
4.4 - Uso da sistemática como ferramenta para o ensino da teoria evolutiva	61
5 - Considerações finais.....	64
6 - Referências	66

Apresentação

Desde a infância tenho uma admiração pelas entidades vivas, cachorros, gatos, insetos e plantas, elas sempre me despertavam sentimentos de curiosidade e fascínio. Nem todas, é claro, devido a um trauma que minha família suspeita ter sido gerado pela minha avó paterna, os peixes eram, para mim, sinônimo de seres tenebrosos e predadores de criancinhas. Porém, o meu curioso medo por peixes não me impedia de contemplar e admirar a natureza e todos os seus agregados, os seres vivos. Fui crescendo, e minha admiração pela natureza não diminuiu, mas ficou em 10º plano, pois os jogos de computador se tornaram o primeiro.

Finalizando o ensino médio, eu indagava a mim mesmo o que eu queria me tornar após formado, e é claro que isso me fazia pensar qual profissão eu iria seguir em minha carreira profissional, afinal, com todos que conversava sobre o futuro, falar sobre o que queria me tornar, sempre virava uma conversa sobre carreira profissional. Eu tinha certeza que meu desejo seria seguir uma carreira acadêmica, mas eu tinha dúvida de qual, fiquei em dúvida durante muito tempo entre cursar História ou Ciências biológicas. O medo de sofrer por exaustão devido ao excesso de leitura, fez eu optar por cursar Biologia (Como fui tolo).

Não foi tão fácil entrar na faculdade, me formei em 2019, e no ano seguinte a pandemia da COVID-19 assolou o mundo. Durante a quarentena em que o mundo se encontrava, em meio a internet, conheci o Pirula, um produtor de conteúdo que tinha como público-alvo, os apaixonados por biologia. Logo que o conheci, fiquei aficcionado pelo seu canal no YouTube, e vi minha paixão pela biologia reacender a cada vídeo assistido. Depois de um ano acompanhando o trabalho do Pirula, em 2021, consegui ingressar no curso de ciências biológicas pelo IFG - Águas Lindas.

A princípio, entrei no curso convicto que ao me formar, eu seguiria para a área da Paleontologia. Isso, porque o Pirula, é doutor em Paleontologia pela Universidade de São Paulo, e como consequência de sua formação, os vários vídeos do seu canal que abordavam este tema, eram intensos, bem construídos e encantadores. Até que, poucas semanas antes de começar o segundo semestre do curso, me deparei com um vídeo do Pirula, chamado “Cladística - reconstruindo a Evolução (#Pirula 94)”¹. O vídeo de quase uma hora, apresenta as bases da sistemática filogenética, introduz um breve histórico, explica conceitos fundamentais além de fazer qualquer um dar boas risadas. O jeito leve e brincalhão do Pirula, junto aos seus vídeos de durações gigantescas, e sua incrível prolixidade, são suas marcas registradas. Esse vídeo, foi

¹ [Cladística - reconstruindo a Evolução \(#Pirula 94\) \(youtube.com\)\)](https://www.youtube.com/watch?v=...)

uma virada de chave para mim, me entregou um entendimento sobre a biodiversidade, que beira o revolucionário, e me fascinou de forma acachapante. Somado a isso, no segundo semestre do curso, tive uma matéria cujo nome era “Sistemática Geral”, que foi ministrada pelo Professor Antônio Araújo, meu orientador neste trabalho. Apesar da matéria ter acontecido em ensino remoto, devido à pandemia, foi uma matéria muito proveitosa, que me ajudou a elucidar cada vez mais sobre a organização da biodiversidade e a evolução biológica. Me lembro de entrar um pouco adiantado nas chamadas de vídeo, antes do início da aula, para ficar perguntando um monte de coisas para o professor, que sempre me respondia com uma didática, calma e entusiasmo invejáveis. Eu nunca entendi de maneira racional, de onde veio meu extremo fascínio pela sistemática filogenética, não sei dizer ao certo porque gosto tanto dessa área, mas suspeito que seja porque ela coloca todos os indivíduos vivos em páreo, em igualdade. Desde então, não consigo me separar da sistemática, e a escolha do tema deste trabalho não me deixa mentir.

Cursando a Licenciatura em ciências biológicas, fui pegando o gosto pela docência, que outrora era de longe um latente pavor. As discussões em aula, e as experiências de estágio nas escolas, me inspiraram, e me fizeram refletir sobre o ensino de Sistemática. Não me lembro, pontualmente, de nenhuma explicação a respeito da sistemática filogenética enquanto estudante da educação básica. É claro que me deparei com alguns cladogramas sobre a evolução humana e a evolução das plantas, mas o estudo das relações de parentesco entre os seres vivos, não foi uma realidade apresentada para mim e nem para meus colegas de turma. Durante as reflexões, fiquei imaginando como seriam as coisas se a sistemática filogenética tivesse aparecido mais cedo para mim. Existiria a chance de que eu simplesmente não demonstrasse interesse ou não entendesse o conteúdo. Mas o contrário também era uma possibilidade. Afinal, se posteriormente a sistemática filogenética me encantou, poderia ter me encantado enquanto mais jovem. E outra, se apresentado na educação básica, meus amigos assim como eu, poderiam ter a chance de se apaixonar por essa ciência tão bonita. Além de bonita, a sistemática filogenética apresenta um potencial pouco explorado para o ensino de biologia. O estudo da biodiversidade amparada pela sistemática filogenética pode ser um ótimo recurso para introduzir uma abordagem comparativa da vida, fazendo que as distâncias entre os seres vivos diminuam, demonstrando de forma indireta, uma das bases da evolução biológica - a ancestralidade comum entre todos os seres vivos.

Então refletindo sobre o ensino de sistemática filogenética na educação básica, eu, com a ajuda do meu orientador, procurei fazer neste trabalho algumas reflexões sobre o ensino desse

conteúdo, que aparentemente, é só um conjunto de métodos frios, no qual os computadores amparados por dados, criam árvores, que infelizmente precisamos aprender na escola. Mas, no fundo, tem um potencial enorme para o ensino de biologia, podendo servir de eixo estruturador do ensino de evolução, e de instrumento de fascínio para com a biodiversidade. Em um primeiro momento, fizemos uma abordagem histórica do conteúdo, mostrando como e porque surgiu a tal da sistemática filogenética, mostrando seu desenvolvimento ao decorrer da história. Em segundo momento, trazemos alguns trabalhos que apontam as principais dificuldades encontradas pelos alunos ao aprender a sistemática filogenética, dificuldades na interpretação de cladogramas, concepções prévias que atrapalham o entendimento do conteúdo etc. Posteriormente, apoiados em dois trabalhos, fizemos algumas considerações sobre como a sistemática filogenética está presente nos livros didáticos. Neste trabalho, também vamos discutir por que ensinar ciências e conseqüentemente por que ensinar sistemática filogenética na educação básica. Enfim, tentaremos apontar alguns caminhos de como podemos abordar a sistemática filogenética de modo satisfatório, gerando interesse e encanto, e levantando reflexões sobre o assunto.

1 História e desenvolvimento da sistemática filogenética

1.1 O que é a sistemática filogenética?

Quaisquer reflexões sobre o ensino de sistemática devem partir de um entendimento do que ela é, e um resgate histórico é, talvez, a melhor maneira de entender do que ela se trata. Em suma, a sistemática filogenética, como um componente das ciências biológicas, é um ramo da sistemática geral, que consiste em um conjunto de conhecimentos teórico-metodológicos que se ocupa de estudar a biodiversidade a partir de uma perspectiva organizacional evolutiva. Também chamada de Cladística, essa ciência se utiliza do parentesco entre os organismos vivos, na tentativa de reconstruir a história natural evolutiva e real da vida (Filogenia). Essa disciplina também compreende as atividades de taxonomia, como estudar, identificar, nomear, e classificar a diversidade da vida em nosso planeta, pautada no processo evolutivo. A união da taxonomia e dos estudos filogenéticos, constituem as bases práticas e teóricas das classificações biológicas contemporâneas (Oswald et al., 2020).

O professor Dalton de Souza Amorim, um dos principais autores brasileiros nesse campo, explica que o problema da sistemática é a diversidade biológica, dividida em alguns objetivos, como, descrever a diversidade, procurar sua ordem e compreender os processos que são responsáveis pela geração dessa diversidade (Amorim, 2002) O autor deixa claro que a sistemática está bem longe de alcançar estes objetivos. Além de levantar dados, a sistemática expressa a ordem encontrada em um sistema de nomes, as classificações biológicas. Assim, outro objetivo dessa área é apresentar um sistema geral de referência sobre a diversidade biológica. A sistemática filogenética, como uma ramificação da sistemática, compartilha o mesmo objetivo. No entanto, a cladística parte da evolução como premissa, procurando organizar as classificações biológicas de acordo com a história evolutiva dos seres vivos.

1.2 As primeiras classificações biológicas

Vários tipos de classificações biológicas surgiram ao longo do tempo, com o objetivo de organizar a biodiversidade. Até onde temos informação, as primeiras tentativas de classificar os seres vivos surgiram no século IV a.c, com o grego e filósofo, Aristóteles (384-322 a.C.). O filósofo foi responsável também pela criação da taxonomia. O Grego estudava os seres vivos, na qual tinha acesso, iniciando os primeiros estudos de anatomia, morfologia e fisiologia, de

animais e plantas. Seus estudos estão armazenados em mais de 20 livros sobre aspectos relacionados ao que chamamos atualmente de biologia. Um de seus livros se chama “*Historia Animalium*”, na qual ele apresenta uma classificação dos seres vivos e contribuições para o estudo taxonômico zoológico. O critério utilizado por Aristóteles, para classificar e organizar a diversidade era puramente intuitivo, ele os separava como base nas características observáveis dos espécimes estudados, os segregando de acordo com as semelhanças e diferenças entre eles. O grego classificou os animais a partir de grupos dicotômicos, por exemplo, criou o grupo dos animais com sangue, e dos animais sem sangue, que corresponderia hoje, aos vertebrados e invertebrados respectivamente (Oswald et al.,2020). Sua obra não continha uma classificação única e sistematizada, mas sim, tentativas de organizar a biodiversidade em grupos.

Para Aristóteles, as entidades naturais possuíam diferentes graus de complexidade, então ele as evidenciou criando a “*Scala naturae*” (escada da natureza), que presumia de forma instintiva que as coisas vivas pudessem ser alinhadas numa hierarquia de complexidade a partir da posição mais alta, ocupada pelo ser humano, até o ser vivo mais primitivo. A Ideia, da “*Scala naturae*” está presente em outro de seus livros, “*De generatione animalium*” (Ariza & Martins, 2010). Durante muito tempo a visão aristotélica do mundo natural permeou várias outras sociedades ao longo dos milênios, e só foi começar a perder relevância em meados do século XVIII, se tornando ultrapassada totalmente na academia científica a partir do século XIX.

Séculos à frente de Aristóteles, quase dois milênios depois, o suíço Conrad Gesner (1516-1565) fez contribuições relevantes para o mundo zoológico ao publicar seu livro, também intitulado “*Historia Animalium*”, que reunia um vasto compêndio de informações, abrangendo praticamente todo o conhecimento disponível sobre os animais na época (Pinna, 2001). Os trabalhos zoológicos de Gesner traziam pouco sobre agrupamentos taxonômicos, e os animais eram geralmente organizados em ordem alfabética pelo primeiro nome em latim, que era dado pelo próprio naturalista. Apesar disso, animais claramente relacionados eram posicionados de forma adjacente na lista, evidenciando um entendimento inicial e rudimentar da noção de parentesco (Pinna, 2001). A nomeação em latim que Gesner dava aos animais, é considerada a precursora da nomenclatura binomial de Linnaeus.

Sem demora, no século XVIII, o naturalista sueco Carolus Linnaeus (1707-1778), propôs um sistema de classificação universal baseado na lógica aristotélica. Linnaeus dedicou sua vida à sistematização dos organismos vivos, o naturalista publicou mais de 70 livros e descreveu mais de 4.400 espécies de animais e 7.770 de plantas. O “*Systema naturae*” foi o livro mais relevante de sua carreira, sendo publicado em 1735. Linnaeus revolucionou a

taxonomia criando o Sistema binomial. O naturalista nomeava as espécies com dois nomes, um que indicava o gênero da espécie, e outro denominado de epíteto específico - apenas os dois nomes juntos nomeiam a espécie. O grande mérito do sistema binomial de Linnaeus foi dar a cada espécie um nome que é único, distinto, estável e universal.

Outra contribuição relevante do Linnaeus foi a criação de categorias taxonômicas, que se baseiam em castas onde as espécies descritas por ele eram alocadas, com o fim de agrupar e organizar os seres vivos. Inicialmente, o sueco criou 5 categorias taxonômicas: **Classe, Ordem, Gênero, Espécie e Variedades** (Klepka & Corazza, 2018). Posteriormente houveram muitas mudanças, as categorias **Família**, e as outras que conhecemos nos dias de hoje, foram adicionadas ao longo do tempo, além de que, outras entraram em desuso e desapareceram. Linnaeus nomeava e classificava os seres vivos com base em uma lógica religiosa. Além de descrever todos os seres vivos do planeta, seu objetivo era revelar a lógica divina por trás das espécies de plantas e animais. Para o naturalista, o agrupamento de espécies em gêneros, e de ordens em classes, fazia parte do plano divino. Como ele costumava dizer: 'Deus creavit, Linnaeus disposuit', ou seja, “Deus criou, Lineu classificou” (Oswald et al., 2020).

A classificação de Linnaeus carrega um olhar sobre as entidades vivas, que remonta às ideias de Aristóteles. O sueco enxergava os seres vivos como criações de Deus, e do jeito como ele as criou, permaneceria daquela forma para o restante da eternidade. Essa visão é conhecida como fixismo, que imputa a imutabilidade dos seres vivos. Uma formiga, sempre foi, e sempre será uma formiga. Linnaeus enxergava as espécies como entidades que de nenhuma forma tinham relações com outras espécies. Para ele, cada espécie, seria formada por uma essência única, que a diferenciaria das outras espécies. Cada táxon² possuiria características únicas que as definiria. Esse tipo de visão sobre as criaturas vivas é chamado de pensamento tipológico ou essencialista. As variações encontradas dentro de indivíduos de uma mesma espécie, eram chamados pelo naturalista, de erros ou abstrações de um tipo ideal perfeito.

² **Táxon:** Qualquer conjunto de organismos biológicos que seja definido de acordo com um critério específico. Por exemplo, desde a espécie *Homo sapiens*, o gênero *Homo*, a família Hominidae, a ordem dos Primatas e a classe mammalia, são táxons, mesmo possuindo uma significativa diferença de abrangência de organismos entre os grupos. Cada táxon citado acima são agrupamentos de seres vivos criados com base em alguma definição, seja ela, morfológica, anatômica, fisiológica, comportamental, biogeográfica etc. (ou a soma de várias delas).

1.3 Enfim, a evolução biológica

Desde os tempos de Linnaeus, alguns naturalistas passaram a adotar uma perspectiva diferente sobre o mundo natural, que começou a desafiar a visão fixista por ser completamente oposta a ela. Essa nova abordagem destacava a importância da mudança no mundo natural: o 'evolucionismo' ou 'transformismo' (Meyer & El-Hani, 2005). Os defensores dessa visão sugeriam que as espécies não eram imutáveis; pelo contrário, elas passavam por modificações ao longo do tempo. As formas atuais das espécies nem sempre existiram, nem sempre foram as mesmas e não necessariamente existirão no futuro. As propostas evolucionistas se baseiam no mesmo cerne, mas tinham suas diferenças pontuais. Os naturalistas Georges Louis Leclerc (1707 - 1788), mais conhecido como Conde de Buffon, e Jean-Baptiste Antoine de Monet (1744 - 1829), Cavaleiro de Lamarck, propuseram diferentes teorias sobre a hipótese da mudança das espécies.

Até a primeira metade do século XIX, o mundo acadêmico assistiu a alguns lances nos debates sobre o evolucionismo, mas o lance revolucionário foi dado no final da década de 1850. Durante um encontro da Sociedade Lineana, em Londres, no ano de 1858, dois trabalhos continham uma nova teoria evolutiva, que chacoalhou a academia, de autoria de Charles Darwin (1809 - 1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913). Um ano depois, Darwin lançou ao mundo o livro “*A origem das espécies*”, que expunha sua teoria apresentada outrora, com mais robustez. O livro do britânico Darwin chocou a sociedade da época, devido a seus argumentos que iam de frente aos paradigmas que estavam de pé há quase dois milênios. Surpreendentemente, a proposta de Darwin sobre um mundo moldado pela transformação e modificação por descendência comum foi amplamente aceita pela maioria dos naturalistas e filósofos nos anos seguintes à publicação de seu livro (Mayr, 2005).

Para Mayr (2005), o livro “*A origem das espécies*”, lançou ao mundo cinco teorias independentes, porém relacionadas, que viriam a ser a base do pensamento evolutivo moderno: (1) a evolução propriamente dita, (2) a descendência com modificação, (3) o gradualismo, (4) a especiação (multiplicação das espécies) e (5) a seleção natural.

A evolução propriamente dita, propunha que as espécies se modificavam ao longo do tempo, logo, não eram entidades fixas. A descendência com modificação pautava primeiramente, que todo grupo de organismos descendia de uma espécie ancestral, e em uma escala mais ampla, todos os organismos vivos compartilham um ancestral comum.

Depreende-se também a unicidade dos indivíduos de uma mesma população, que possuem suas características singulares, e essas características únicas podem ser transferidas para os filhos destes indivíduos - com o tempo, ao longo das gerações, essas diferenças podem ser acumuladas gerando indivíduos muito diferentes de seus ancestrais, originando uma nova espécie. O processo cumulativo de características de forma contínua que levam à diferenciação, segundo Darwin, explicariam as diferenças entre as espécies, e essa suposição de que a evolução acontece de maneira gradual, é chamada de gradualismo. Através da descendência com modificação, novas características são passadas para as próximas gerações, e seguindo um processo gradual, vigoroso e contínuo que ocorre ao longo das gerações, novas espécies surgem.

A especiação se trata do processo que dá origem a novas espécies. Esse processo ocorre pela divergência das populações, ou mesmo pelo isolamento entre elas, mas não necessariamente uma barreira física, mas que de alguma maneira, grupos de uma mesma população param de se reproduzir. Com esse efeito, ao longo do tempo, em cada grupo isolado, características novas vão surgir, mas essas características não serão compartilhadas através da reprodução com a outra população. Deste modo, cada grupo irá adquirir novas características exclusivas, às diferenciando ao longo do tempo, até o ponto de conseguirmos distinguir, e conseguir chamar aqueles dois grupos, que outrora eram uma única população, de espécies diferentes.

Por fim, temos a seleção natural, que foi a teoria mais ousada e inovadora. A seleção natural é um mecanismo que propicia a evolução, proposto pelo Alfred Wallace de maneira independente e concomitante com Darwin. Em um mundo de recursos limitados, a vida segue um processo contínuo de evolução, fruto da competição pela sobrevivência, na qual, geração após geração, os menos adaptados são eliminados (Mayr, 2005).

Em suma, a seleção natural, trata o ambiente como um filtro, que seleciona, desprovida de qualquer intenção, os organismos mais bem adaptados ou mais aptos. Por exemplo, aqueles indivíduos de uma população que possuem uma certa vantagem para conseguir alimentos, provavelmente serão mais bem sucedidos do que aqueles que não possuem vantagem alguma. Quando escrevo “bem-sucedido”, refiro-me que esses indivíduos terão uma chance maior de deixar mais descendentes em detrimento ao outro grupo. Se essa vantagem for realmente decisiva, veremos ao longo do tempo, a perpetuação daqueles que têm facilidade de conseguir alimento, e teremos a diminuição dos indivíduos da população que não tem essa facilidade. Até um ponto que teremos na população apenas aquele grupo de organismos com facilidade de conseguir alimento.

Nessa situação, o grupo que fixou sua característica em toda a população, prosperou, pois, foi mais apto que o outro. A vantagem de conseguir alimento que surgiu em um dos grupos criou uma pressão seletiva ao outro grupo de organismos, que pode ocasionar em seu fim. Nesse exemplo, a pressão seletiva causada pela vantagem de adquirir alimento foi o agente principal de mudança das características daquela população ao longo das gerações. Isso é a evolução ocasionada pelo mecanismo de seleção natural.

1.4 Os novos sistemas de classificação

A cada ano que se passou, após a publicação do livro de Darwin, suas ideias iam sendo corroboradas, por vários outros pesquisadores, através dos avanços da biogeografia, zoologia, paleontologia e posteriormente da genética. A evolução biológica estava no caminho para se tornar o eixo integrador e central da biologia, da forma que se estrutura hoje.

Com a evolução biológica em desenvolvimento e amadurecimento, ao longo do final do século XIX e início do século XX, alguns naturalistas propuseram novas maneiras de classificar a biodiversidade. A teoria da evolução e seu crescente estabelecimento no mundo científico, enfraqueceu a taxonomia lineana, que se ancorava em uma visão do mundo natural, agora ultrapassada. Isso propiciou o surgimento de novas escolas de classificação biológica que se digladiavam fervorosamente durante as décadas de 1950, 1960 e 1970.

Uma delas foi a escola gradista, cujas raízes estão em pesquisadores como Julian Huxley, George Gaylord Simpson, P.J. Darlington. Jr. e Ernst Mayr, aquele mesmo que destacou as cinco teorias independentes contidas no pensamento evolutivo de Darwin. Extasiados pelo pensamento evolutivo proposto recentemente, os gradistas criaram um sistema de classificação que a princípio, seguia a luz da evolução biológica. A escola gradista, ou como também era chamada, taxonomia evolutiva, se tornou uma das mais influentes entre 1930 e 1950 (Santos & Klassa, 2012).

Os gradistas separavam os grupos e os organizavam em esquemas ramificados, semelhantes a árvores filogenéticas, que representavam as relações de parentesco entre os grupos e suas taxas de divergência morfológica. O cerne do pensamento gradista era o conceito de grado. A palavra grado, vem do latim *gradus*, que significa passo, ou degrau. Em resumo, para que um táxon seja considerado um grupo natural, é necessário levar em conta as características adaptativas adquiridas ao longo da história evolutiva do grupo, atribuindo a elas valores distintos (Santos & Klassa, 2012). Basicamente, aqueles grupos de organismos que desenvolvem novas características que lhes permitem explorar novos ambientes, sobem um

degrau na história evolutiva, os elevando a um novo grado, a um novo status na evolução deste grupo.

Todo grupo possui um conjunto de características "adaptativas" ligados à interação desses organismos com o ambiente. Existem muitos grupos atuais, que ao longo das gerações continuam mantendo essas características “iniciais” com o habitat, derivado das espécies ancestrais. No entanto, alguns subgrupos dessas linhagens se diferenciam por características relacionadas ao ambiente em que vivem, atingindo um novo patamar evolutivo. Um retrato clássico dessa situação é a evolução dos vertebrados, que começa com o grupo aquático (Pisces) e, no nível dos Tetrapoda, avança para grupos terrestres com certa dependência da água, como os anfíbios (Amphibia) (Amorim, 2002). Um "grado" é composto por um grupo de táxons que compartilham um conjunto de características adaptativas, sem que, necessariamente, formem um grupo monofilético³ (Di Domenico, Aguiar & Garraffoni, 2012).

Dentro dessa perspectiva, a escola evolutiva demonstra algumas arbitrariedades, por exemplo, no momento de definir o que é um grado, pois as definições que sustentam um grado não são claras. Para exemplificar, podemos criar, um mesmo grado que contém galinhas e cachorros, pois ambos têm sangue quente, ou um grado de animais voadores, onde estariam, alguns insetos, morcegos e aves.

Segundo Amorim (2002) há dezenas de outras combinações possíveis, ou centenas, se incluirmos grupos menores dos vertebrados, que podem gerar grados evolutivos; o que se consideram "características adaptativas importantes para permitir uma radiação" parece ser uma questão de opinião. Resumindo, o conceito de grau evolutivo é arbitrário, e pode gerar muitos grupos de organismos que não fazem sentido, quando analisamos a história evolutiva dos grupos.

Outra escola de classificação que buscava espaço, era a escola fenética, também chamada de taxonomia numérica. Ela nasceu após a publicação do trabalho de Michener & Sokal (1957). No início da década de 1960 surge o livro de Sokal & Sneath (1963), com as bases conceituais da escola. O surgimento da taxonomia numérica, se deu junto com os primeiros computadores eletrônicos disponíveis nos Estados Unidos para pesquisa no final da década de 1950. Os feneticistas partem de um ponto completamente distinto da escola gradista.

Na visão dos feneticistas, o sistema de referência deveria ser baseado no levantamento do maior número possível de caracteres, tratados de forma quantitativa (Amorim, 2002). O

³ **Grupo monofilético:** Um grupo de organismos composto por uma única população ancestral, e por todos os descendentes vivos ou extintos desta linhagem precursora.

resultado é um diagrama ramificado em que as ligações de proximidade entre unidades terminais indicam uma maior semelhança média no conjunto dos caracteres. Os diagramas eram resultados de infinitos procedimentos matemáticos, que unia os grupos com o maior número de semelhanças acerca dos caracteres analisados. A escola fenética, em suas classificações, não estava interessada em refletir a história evolutiva dos grupos. Em síntese, a escola fenética tinha como intuito apenas desenvolver um sistema operacional "ágil" para unidades de identificação taxonômica, aproveitando os recursos computacionais disponíveis, sem colocar em voga nos seus procedimentos a evolução biológica.

Para Amorim (2002), as duas outras escolas que rivalizaram com a sistemática filogenética, perderam espaço por problemas de teoria e método. Segundo o autor:

A taxonomia tradicional não tem teoria nem método. A taxonomia numérica não tem teoria biológica: tem uma metodologia, mas é puramente um conjunto de métodos matemáticos aplicados aos organismos. A taxonomia evolutiva tem uma teoria muito confusa e imprecisa que nunca foi capaz de desenvolver qualquer metodologia. A sistemática filogenética é a única taxonomia exclusiva e eminentemente biológica que jamais existiu, isto é, a única que tem uma teoria biológica da diversidade é um método compatível com a teoria.

1.5 A Sistemática filogenética

A sistemática filogenética, foi criada pelo alemão, Willi Hennig, que publicou em 1950, o livro "*Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*" ("Princípios básicos de uma teoria da sistemática filogenética") em que o autor descreveu suas ideias e métodos de como organizar os seres vivos, numa lógica evolutiva. Todavia, o livro publicado por Hennig, não obteve relevância imediata, isso porque foi publicado em alemão, idioma natural do autor, e língua não muito comum entre os naturalistas e acadêmicos da época. Suas ideias só foram compartilhadas após o relançamento de seu livro em inglês, com o título "*Phylogenetic Systematics*", no ano de 1966.

Uma das grandes pautas jogadas à luz pela teoria da evolução, foi ancestralidade comum entre os seres vivos, então, para o alemão, uma classificação biológica deveria ser feita na tentativa de refletir a história evolutiva dos organismos. A proposta de Hennig foi desenvolver um método capaz de identificar as relações genealógicas entre os organismos, resultantes da descendência com modificação a partir de um ancestral comum (Santos & Klassa, 2012).

Para Hennig, as únicas relações que podem ser conhecidas entre os organismos são as colaterais de parentesco, ou de grupos-irmãos, onde "A" e "B" compartilham um ancestral

comum exclusivo, que não está presente em um terceiro grupo, "C", ou seja, as relações de ancestral-descendente, como "A" ter dado origem a "B", não podem ser estabelecidas. (Santos & Calor, 2007). Independentemente da quantidade de informações que se tem, é impossível inferir que este, ou aquele é o ancestral de qualquer linhagem.

Por isso, o método de Hennig consiste na reconstrução da filogenia, a partir das espécies de ramos laterais (Grupos irmãos). A reconstrução das relações de parentesco, para a sistemática filogenética, depende do levantamento e análise de características dos organismos consideradas similaridades especiais, os chamados caracteres derivados (modificados) ou apomorfias (Santos & Calor, 2007). Quando esses caracteres derivados, são compartilhados por mais de um grupo, chamamos de Sinapomorfia (*sin*, deriva do prefixo grego “*syn*”, que significa “junto” ou “compartilhado”). As sinapomorfias, sempre serão caracteres homólogos, ou seja, estruturas semelhantes ou diferentes, de dois grupos, que surgiram de um ancestral comum compartilhado por eles, e que se modificaram ou não, com o passar das gerações. Um exemplo simples de estrutura homóloga: o osso rádio presente nos membros anteriores de um equino, na asa de uma ave e no braço de um *Homo sapiens*. A partir do reconhecimento das relações de grupos-irmãos, expressas nos cladogramas, pode-se depreender a história evolutiva. (Santos & Calor, 2007).

Na sistemática filogenética, após reconhecer as relações das espécies, as classificações são montadas, sempre com a intenção de montar grupos monofiléticos. Um grupo monofilético, ou grupo natural, é um agrupamento montado que deve compreender um táxon ancestral, e todas as espécies que descendem desse táxon ancestral. Os *Hymenoptera*⁴ são um exemplo de grupo monofilético, pois todas as espécies dessa ordem de insetos possuem uma história evolutiva que remonta a um único ancestral, ou seja, uma única população ancestral originou todas as espécies presentes no grupo (Rafael et al., 2024).

Mas existem também, grupos que possuem um ancestral, mas que não incorpora todos os seus descendentes, esses são chamados de grupos parafiléticos. Os répteis, são um ótimo exemplo de grupo parafilético. Há algum tempo sabe-se que as aves atuais possuem um ancestral comum com os répteis, mais especificamente com um grupo de dinossauros. Porém, o grupo dos répteis como tradicionalmente o concebemos costuma excluir as aves, mesmo que elas sejam descendentes do mesmo ancestral compartilhado por serpentes, lagartos, quelônios, crocodilianos e dinossauros. Os grupos parafiléticos são um problema, pois não convergem com a real história evolutiva do grupo. Mesmo assim, alguns grupos parafiléticos, como os répteis e

⁴ **Hymenoptera:** Uma Ordem de insetos, que compreendem as formigas, vespas, marimbondos e abelhas.

peixes ainda são considerados relevantes, e ainda são utilizados, pois quando não são ambíguos, a utilização desses grupos pode facilitar a comunicação clara, entre os cientistas, entre a comunidade científica e a sociedade (Brusca, Moore & Shuster, 2018).

Desde o lançamento da segunda edição do livro de Hennig, suas ideias foram difundidas pela academia científica, cada vez ganhando mais apoiadores e colaboradores. A cladística teve um grande crescimento a partir da década de 80, enquanto as outras escolas de classificação foram perdendo relevância. Atualmente, quando algum especialista usa o termo "Sistemática", pode-se concluir com alguma segurança que esteja se referindo à "Sistemática Filogenética" proposta por Hennig, de maneira que os dois termos são usados como sinônimos.

É evidente que Hennig não lançou a teoria da evolução. Contudo, antes dele, a reconstrução de relações de parentesco entre espécies e grupos de espécies era feito como um método muito pouco elaborado, mais baseado em reunião por semelhança, que por critérios deduzidos do conhecimento sobre o processo evolutivo. A partir de Hennig, as classificações biológicas têm como critério, a evolução biológica, ele traduziu a evolução em um método analítico.

Embora não haja dúvidas que a Sistemática filogenética possua uma teoria consistente, podemos citar dois problemas práticos na sua aplicação em casos reais. Como argumenta Ridley (2007), o primeiro desafio é a ignorância, pois, infelizmente, não conhecemos as relações filogenéticas de todos os seres vivos, o que impede sua classificação completa de acordo com a história evolutiva dos organismos. O outro problema é a instabilidade: o conhecimento científico, incluindo o filogenético, é volátil, e novas evidências podem modificar drasticamente as classificações (Ridley, 2007). Mas, a priori, a sistemática filogenética é o conjunto de métodos práticos e teóricos mais confiável utilizado atualmente para gerir o conhecimento da biodiversidade. Muito disso se deve ao fato de que a sistemática filogenética leva em seu cerne um raciocínio evolutivo da vida, que a faz conversar de modo coeso como o pensamento biológico atual. Além dos problemas práticos do uso da sistemática filogenética em contextos de pesquisa, existem também os desafios para a compreensão da sistemática filogenética nos ambientes escolares, que serão comentados a seguir.

2 Desafios no ensino de sistemática filogenética

Todo conteúdo escolar, independentemente de sua natureza, tem a capacidade de gerar dificuldade nos alunos. Inclusive, existem algumas dificuldades dentro de uma mesma disciplina que são corriqueiras, as tornando mais notáveis e alvo de atenção. Na sistemática filogenética não é diferente, pois ela possui suas especificidades, englobando sua própria linha de raciocínio. Até os discentes entenderem os mais diversos aspectos dessa área, eles podem sofrer com algumas dificuldades, que podem ser conceituais, linguísticas ou até mesmo práticas. Tal como vimos no capítulo anterior, a sistemática filogenética é um ramo da biologia que visa organizar a biodiversidade por meio de uma lente evolutiva, dependendo então de uma compreensão satisfatória desse processo, para se ter um bom entendimento dessa área. Nessa interface entre sistemática filogenética e a evolução, moram algumas das principais barreiras da compreensão dessa ciência pelo público em geral, que consequentemente são obstáculos no ensino deste conteúdo nas escolas de educação básica.

2.1 Não entender evolução

A evolução biológica há algum tempo é considerada por pesquisadores e professores da área, como um eixo centralizador do ensino de biologia (Meyer & El - Hani, 2005). A teoria evolutiva norteia a biologia em um sentido comum, possibilitando de maneira plausível a comunicação e corroboração de ideias de distintas áreas das ciências biológicas, que consolida um pensamento biológico integral.

No século XVIII e início do século XIX respectivamente, Buffon e Lamarck postularam hipóteses sobre a mudança dos organismos ao longo do tempo e de que maneiras essa transformação acontecia. Posteriormente, Darwin e Wallace com a apresentação de dois trabalhos em um encontro da Sociedade Lineana em Londres, no ano de 1858 (Meyer & El - Hani, 2005), exibem suas ideias evolucionistas e revolucionárias à academia. Ao longo dos anos a teoria evolutiva e seu mecanismo de mudança, expostos pelos britânicos, foram evidenciados e corroborados por diversas pesquisas e trabalhos das mais distintas áreas da biologia, chegando ao ponto de que a evolução, entendida como a alteração na composição genética de uma população que ocorre de uma geração para outra, “é uma verdade científica”, assim como os mecanismos que propiciam esse processo, a deriva genética, fluxo gênico, mutação e seleção natural.

Apesar da evolução biológica ser uma teoria sólida e popular, sustentada pelo alto número de evidências produzidas e descobertas pela ciência, e de ser ratificada e validada enfaticamente a cada nova publicação científica, entre o público geral ainda há pouca aceitação dessa teoria como uma lei natural comprovada (Medeiros & Maia, 2013; Araújo, 2017).

Santos e Klassa (2012), comentam que alguns fatores corroboram para a pouca aceitação da teoria evolutiva, incluindo conceitos prévios trazidos pelos alunos para a sala de aula, como suas visões de mundo e crenças religiosas. Ainda reiteram que grande parte das más interpretações são obtidas fora do ambiente escolar, causadas pela falta de conhecimento sobre evolução por parte do público não especializado e da mídia de massa

Ademais, o ensino de evolução nas escolas tem se mostrado incipiente. Para Santos e Klassa (2017) o ensino de biologia, deveria contemplar os conceitos das diversas áreas (botânica, zoologia, microbiologia etc.) seguindo uma estrutura evolutiva que é primordial para a compreensão de fundamentos gerais. Entretanto, segundo os autores, o que observamos na realidade, é a fragmentação do conhecimento biológico em diversas áreas que não se intercomunicam. A ausência de um eixo que integra e explique de maneira plausível a comunicação intrínseca de todas as áreas das ciências biológicas, contribui para o aprendizado a base de memorização e tradicional no ensino de biologia, e impede o desenvolvimento pleno do raciocínio biológico. O ensino de evolução biológica, deveria acontecer de modo que fosse possível notar sua presença em todos os conteúdos, como biologia celular, ecologia e assim por diante. Outro ponto relevante é que o ensino de evolução nas escolas brasileiras geralmente se limita à contraposição das ideias de Darwin e Lamarck, com simplificação de suas principais teorias e dos exemplos usados para ilustrá-las (Roque, 2003). Abordagem, essa, que pode atrapalhar os alunos compreenderem evolução como um processo, que abrange mecanismos que permeiam todas as ciências biológicas, passando a impressão geral, que é apenas mais um conteúdo, em que decorar é o suficiente.

Pensando na perspectiva da evolução como eixo integrador do ensino de biologia, todos os imbróglis a respeito do aprendizado e entendimento deste conteúdo podem afetar de alguma forma o ensino das demais áreas de conhecimento da biologia, incluindo o ensino de sistemática. Ainda mais, no caso da cladística, quando a base de seu conhecimento para construir as relações evolutivas, dependem do processo de evolução biológica. A sistemática filogenética parte da evolução biológica como premissa.

Para Santos e Calor (2007) quando nos referimos as principais dificuldades de professores e alunos no entendimento do processo de evolução biológica, são elas: (1)

assimilação da dimensão temporal das mudanças evolutivas; (2) reconhecimento da importância do pensamento populacional; (3) impossibilidade de se descobrir os verdadeiros grupos ancestrais dos organismos; (4) ideia de progresso na evolução e (5) relações genealógicas entre o homem e os demais animais.

Como um eixo integrador das ciências biológicas, a baixa compreensão do processo evolutivo irá impactar negativamente no aprendizado de qualquer conteúdo de biologia. Mas olhando para a cladística, a situação pode ser mais grave. Desde a microbiologia, zoologia de vertebrados, passando por ecologia, embriologia, biologia molecular e as mais diversas áreas da biologia são permeadas pela evolução, algumas em menor ou maior grau, no quesito importância para a compreensão da matéria. A teoria evolutiva é o que torna a comunicação viável de todas as áreas, dando à biologia um sentido. Ok, mas então por que a sistemática se prejudica mais com a defasagem no entendimento da evolução? Porque a cladística parte desta como premissa. Diferente de algumas áreas que citei acima, a sistemática filogenética existe para organizar e traçar a história natural e evolutiva dos seres vivos ao longo do tempo, partindo do pressuposto que a evolução enquanto processo ocorre desde a existência dos primeiros seres vivos da terra. Em síntese, não existe sistemática filogenética sem evolução. Então quando partimos para o ensino de sistemática, e um aluno não compreende bem a evolução biológica, pode-se dar como certo que ele terá dificuldades em entender o conteúdo. Refrescando a memória, a sistemática filogenética organiza o mundo vivo, e investiga e procura reconstruir a história evolutiva dos organismos, pautado primeiramente na evolução biológica.

2.2 Equívocos comuns relacionados às árvores evolutivas

O cladograma é uma representação visual das relações de parentesco entre os seres vivos, produzidos pelos sistematas. Conhecido também como árvores evolutivas, esse modelo é fundamental para o ensino de sistemática filogenética, pois é ele que expõe visualmente a história evolutiva dos organismos em questão. Os cladogramas são representações que estão bastante presentes no ensino de sistemática filogenética e evolução durante a educação básica, sejam em livros didáticos expondo a relação entre Briófitas, Pteridófitas, Gimnospermas e Angiospermas, ou até mesmo, com os professores trazendo árvores evolutivas a respeito da história evolutiva do ser humano, entre outros. A presença dessa representação, pode gerar obstáculos no ensino de evolução e sistemática, para alunos que não foram apresentados as árvores filogenéticas. Assim como, alunos que já conhecem o cladograma e algumas de suas propriedades podem carregar interpretações equivocadas sobre como se “lê” uma árvore

evolutiva. Araújo e Vieira (2021), em “Ensino de Biologia: uma perspectiva evolutiva/ Volume II: Biodiversidade e Evolução”, dissertam sobre equívocos e más interpretações que alguns alunos carregam, e que afetam estes durante o aprendizado de cladística. Neste tópico vamos apresentar os equívocos postos no trabalho de Araújo e Vieira (2021):

1) Interpretar relações de parentesco pela proximidade espacial nas “pontas”

O primeiro dos equívocos apresentado pelos autores é inferir parentesco dos grupos em questão, a partir da proximidade espacial no cladograma. Por exemplo, na figura 1, observamos um cladograma que representa a história evolutiva de alguns grupos de primatas. Ao observar essa árvore, entre orangotangos e chimpanzés, qual desses táxons você consideraria parente mais próximo dos gorilas?

Figura 1 - Cladograma



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira, (2021, p. 31), feita por Kauan Santos, 2024.

Segundo, Araújo e Vieira, uma quantidade considerável de alunos responderiam equivocadamente que são os Orangotangos. Mas, por quê? Devido à proximidade espacial dos orangotangos em relação aos gorilas ser maior na árvore evolutiva apresentada. No cladograma, orangotangos e gorilas estão espacialmente um do lado do outro, já os chimpanzés estão no extremo contrário. Mas a resposta certa para a pergunta, seria, Chimpanzés.

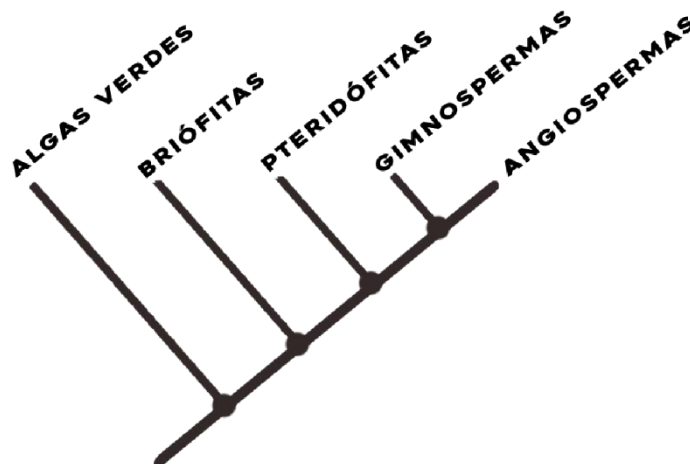
Na interpretação de um cladograma, a proximidade espacial dos nomes ou figuras, não significa nada, o que vai determinar o grau de parentesco dos táxons terminais vai ser o padrão

de bifurcação relacionado com a ancestralidade de cada grupo. Nesse caso, percebe-se que gorilas, humanos, chimpanzés e bonobos possuem um ancestral comum entre si mais recente do que o ancestral que compartilham com os orangotangos. A localização espacial dos táxons terminais, não vai influenciar em nada, e uma propriedade peculiar dos cladogramas pode demonstrar isso. Os grupos mais proximamente relacionados do cladograma da figura 1, são os bonobos e chimpanzés, e devido a essa proximidade, são chamados de grupo-irmão. Girando a bifurcação, que termina neste grupo irmão, a localização espacial dos grupos do cladograma mudariam, nessa situação os chimpanzés estariam mais próximos espacialmente dos humanos, diferente de outrora. Essa mudança, não traria nenhuma alteração nos resultados de interpretação dessa árvore evolutiva. Os chimpanzés e bonobos, continuariam sendo grupo irmão dos humanos, esses três continuariam sendo grupo irmão dos gorilas, e esses quatro continuariam sendo um grupo irmão dos orangotangos. Nos cladogramas podemos girar as bifurcações, como fios de um mobile, sem mudar as relações de parentesco. Resumindo, as relações de parentesco devem ser interpretadas de acordo com o padrão de ramificação dos nós internos, que representam os ancestrais compartilhados por determinados grupos.

2) Considerar organismos fósseis ou mais à esquerda do cladograma como ancestrais

O segundo ponto apresentado por Araújo e Vieira (2021) também decorre de uma má interpretação do cladograma baseada apenas na ordem dos nomes. Na nossa cultura, normalmente, lemos livros, revistas, textos entre outros, da esquerda para a direita. Assim, um aluno ao ler o cladograma, pode querer interpretá-lo também da esquerda para direita, incumbindo o táxon mais à esquerda, sempre como ancestral em relação ao da direita. Por exemplo, observamos na figura 2, um cladograma da história evolutiva das plantas. É correto dizer que as algas verdes e as briófitas compartilham um mesmo ancestral, porém seria incorreto dizer que as algas verdes, são ancestrais das briófitas.

Figura 2⁵ - Cladograma representando a história evolutiva das plantas



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 33.) feita por Kauan Santos, 2024.

Alguns alunos fazem uma interpretação equivocada desse cladograma, interpretando uma visão linear da esquerda para direita, como é demonstrado na figura 3.

Figura 3



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 34), feita por Kauan Santos, 2024.

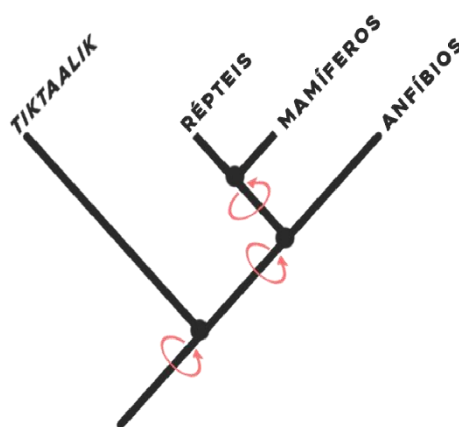
“Leitura equivocada que pode aparecer a partir da interpretação do cladograma mostrando a história evolutiva das plantas.”

Para esses alunos a interpretação do cladograma seria de que as algas verdes são ancestrais das briófitas, as briófitas ancestrais das Pteridófitas e assim por diante. Reforçando o que foi falado, no tópico acima, as relações de parentescos são dadas pelos padrões de bifurcação, jamais pela distribuição espacial dos grupos terminais, afinal como vimos, os nós podem girar livremente mudando a localização dos táxons, sem alterar a relação de parentescos do grupo. Outro ponto relevante a se destacar, é que em uma interpretação correta de uma árvore filogenética, nenhum dos grupos terminais podem ser ancestrais de outro grupo terminal do mesmo cladograma. Mesmo se tratando do exemplo da figura 4, na qual o *Tiktaalik* está presente, não podemos indicar que ele é ancestral desses grupos. O *Tiktaalik* é uma espécie

⁵ A história evolutiva mais aceita para as plantas não está representada na figura 10. Entretanto, esse cladograma aparece frequentemente em livros de biologia, e estamos utilizando aqui por motivos didáticos.

fóssil muito importante para os estudos a respeito da história evolutiva dos tetrápodes, muitas vezes considerada uma espécie ancestral de todas as linhagens de tetrápodes que já povoaram a terra. Apesar disso, não tem como ter certeza de que o *Tiktaalik* é ancestral de qualquer grupo, podemos sim dizer, que ele possui características transicionais, que o torna muito relevante no estudo da evolução dos tetrápodes. Isso acontece, devido a limitação da sistemática filogenética de não poder inferir a qualquer espécie fóssil, a ancestralidade de espécies viventes. Independentemente desses fatos anteriores, se o *Tiktaalik* está posto como um grupo terminal nesse cladograma, ele por definição, não será ancestral de nenhum dos outros grupos terminais

Figura 4 - Representação da história evolutiva dos tetrápodes



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 35), feita por Kauan Santos, 2024.

“O Tiktaalik, uma espécie fóssil não é necessariamente ancestral direta dos tetrápodes atuais.”

3) Considerar alguns grupos apresentados como “inferiores” ou “superiores”.

O terceiro equívoco, explanado por Araújo e Vieira (2021), é o fato de certos alunos considerarem alguns dos táxons terminais como “superiores” ou “inferiores”. As ideias de “progresso e superioridade” no ensino de evolução, infelizmente ainda são comuns. Não é de se admirar, portanto, que isso também apareça em interpretações equivocadas sobre as árvores evolutivas. Esse equívoco que colocaremos em pauta, é a prova prática de que um entendimento errado sobre o processo evolutivo pode impactar no ensino de cladística. Um aluno pode interpretar um grupo terminal mais à direita, ou na parte superior, como mais evoluído que os grupos mais à esquerda. Essa interpretação pode sim estar associada ao equívoco citado anteriormente, em que o raciocínio do estudante ao ver o cladograma, o interpreta de acordo

com a figura 3. Isso decorre principalmente da visão de que os organismos que aparecem na parte superior, ou mais à direita, são mais avançados em algum sentido quando comparados com os mais próximos da base ou à esquerda. Já os mais basais ou à esquerda seriam mais primitivos. Na interpretação de um cladograma, é difícil inferir “superioridade” ou “inferioridade” nos grupos presentes nele. Veja, o exemplo apresentado pelos autores, na figura 5.



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 36), feita por Kauan Santos, 2024.

“Exemplo de características plesiomórficas (em cinza) e apomórficas ou derivadas (coloridas).”

Esse cladograma demonstra uma história evolutiva hipotética, na qual a linhagem ancestral possui cauda e pelo marrom. Posteriormente essa linhagem sofre cladogênese originando as espécies A e B. A espécie A, possui cauda, apesar disso, sua pelagem se modificou para cinza. Já a espécie B, possui a pelagem de coloração marrom, entretanto, perdeu a cauda.

Qual das espécies nós podemos chamar de superior ou inferior? Por quê? Veja que no organismo A, a cauda permanece, mas a coloração dos pelos mudou para cinza. Por outro lado, o organismo B perdeu a cauda, ao passo que seu pelo permaneceu marrom. Assim, podemos dizer que o organismo A é mais primitivo que o B se olharmos para a presença de cauda, porque era assim no ancestral. Mas também podemos dizer que o B é mais primitivo do que A se focamos na coloração da pelagem.

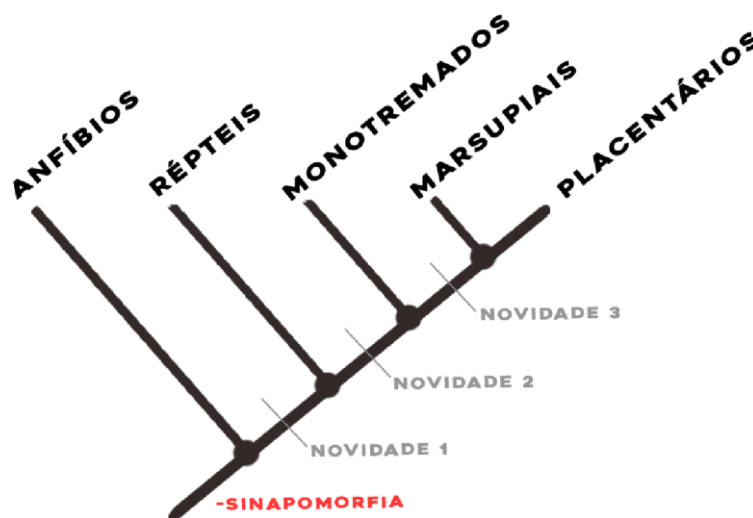
Não conseguimos dizer, qual espécie é superior ou inferior nesse cladograma, assim como não conseguimos fazer isso na natureza. Não existem seres superiores, nem inferiores, o

que existe são organismos diferentes, e que vivem em ambientes e possuem características e estratégias diferentes para realizar suas mais diversas atividades. Se a espécie consegue sobreviver ao ambiente, ela está bem o suficiente para viver. Se não, estaria extinta.

4) Considerar que organismos representados à esquerda ou mais próximos da base surgiram antes ou apresentam menos mudanças evolutivas.

Os cladogramas no geral possuem dados brutos apresentados, como os grupos terminais, as dicotomias, às vezes podem ter uma escala de tempo representado na lateral etc. O que às vezes causa uma confusão no entendimento dos alunos são os dados não ditos. Como apresentam Araújo e Vieira (2021) alguns alunos ao lerem um cladograma, entendem os táxons à esquerda ou aqueles táxons que possuem menos ramificações (Cladogênese) como grupos mais antigos e que apresentam uma menor quantidade de mudanças evolutivas, que as demais. Vejamos os exemplos apresentados pelos autores (Figura 6)

Figura 6

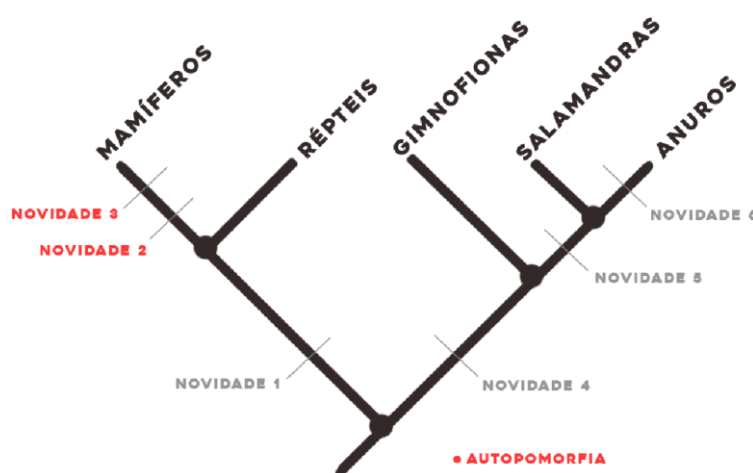


Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 38.), feita por Kauan Santos, 2024.

Nesse cladograma vemos uma representação da história evolutiva dos tetrápodes. Podemos observar que o grupo dos Anfíbios além de ser o táxon mais à esquerda, é o grupo que passou pela menor quantidade de dicotomias. Esses fatos podem passar a impressão de que os anfíbios surgiram antes que os outros grupos terminais, por sua linhagem partir da cladogênese mais próxima da base da árvore. A falta de “desvios de caminhos, ou processos de cladogênese

nessa linhagem, pode passar também a impressão, que este grupo possui poucas ou nenhuma novidade evolutiva, afinal, até a linhagem desembocar no grupo terminal, não é mostrado nenhuma novidade adquirida pelo grupo ao decorrer da sua história, ao contrário, os grupos do outro lado da primeira cladogênese, vem com apontamentos sugerindo novidades evolutiva “Novidade 1”, “Novidade 2” e assim por diante. Isso pode transparecer aos alunos, que além de um grupo antigo, os anfíbios passaram milhares de gerações da mesma forma, sem modificações, o que não é verdade. Observamos agora esse outro cladograma abaixo:

Figura 7



Fonte: Imagem adaptada de Araújo e Vieira (2021, p. 39.), feita por Kauan Santos, 2024.

Na figura 7, observamos a mesma história evolutiva da figura 6, porém com outro enfoque. Nesse cladograma acima, podemos observar, que diferente da figura 6, esse cladograma detalha e expõem as linhagens dos anfíbios e simplifica a linhagem dos mamíferos. Isso acontece mediante a aplicação que se quer de um cladograma, se você está ministrando uma aula sobre mamíferos, não há necessidade de apresentar um cladograma dos tetrápodes com os detalhes de todas as linhagens, basta apresentar um cladograma que exponha com enfoque a história evolutiva do grupo estudado. Mas fica o alerta, que essas simplificações das outras linhagens podem passar essa impressão de que são mais antigas e mais simples. E talvez, uma solução, seja retificar aos alunos, que os outros grupos, com exceção dos que não estão sendo estudados, estão representados de maneira simplificada, com o objetivo de evitar confusão. Resumindo, se estivermos tratando de organismos vivos, uma espécie isolada em um ramo ‘mais à esquerda’ não significa que ela não mudou, ou que ela é mais antiga.

5) Linhagem com menor diversidade é mais primitiva ou ancestral

O determinante para a alta diversidade de uma linhagem é extremamente variável. O mais importante a se entender é que uma linhagem não tem a necessidade de ser diversa. O que vai importar no final é a sobrevivência da linhagem. Não existe um objetivo para que uma linhagem se torne diversa, a evolução é cega, não existe algo consciente à guiando, variáveis como fatores abióticos e bióticos, aleatoriamente, determinam se uma linhagem é diversa ou não. Logo àquelas linhagens menos diversas não são primitivas, podem até parecer com seus ancestrais, ou serem até menos complexas que seus grupos-irmãos, mas se estão vivas, e conseguem se reproduzir gerando prole fértil, a linhagem estará apta a continuar sua história evolutiva. Quando nos referimos a evolução biológica a complexidade não é necessariamente sinônimo de sucesso evolutivo. Concluir que uma linhagem menos diversa é mais ancestral também é um erro.

3 A sistemática filogenética nos livros didáticos

O livro didático é uma ferramenta muito útil para o ensino de ciências quando bem utilizado, pois de maneira esquemática um livro pode ilustrar e exemplificar os conteúdos aprendidos em sala, de modo que os alunos entendam melhor o conteúdo. O livro didático ainda é o principal recurso disponível para apoiar a atividade dos professores e dos alunos no cotidiano escolar, portanto, a qualidade desses materiais é de extrema importância para a melhoria do ensino de todo o país (Vasconcelos & Souto, 2003). Mas a realidade que encontramos nos livros didáticos de ciências das escolas brasileiras na educação básica, é muitas vezes livros com defasagem conceitual, com excesso de textos, ou com uma superficialidade do conteúdo apresentado.

Por exemplo, ao analisar a disposição do conteúdo de evolução em algumas coleções de livros didático aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PLND), Dallapicola, Silva e Garcia em um trabalho de 2015, concluíram que a abordagem da evolução se mostrou ainda superficial e fragmentada nos livros didáticos, não caracterizando a evolução como eixo integrador do ensino de biologia, como seria o ideal.

Neste capítulo, serão apresentados dois trabalhos que explanam como a sistemática filogenética está posta em alguns livros didáticos, para o fim de entender quais são as fragilidades e potências que esses materiais possuem para o ensino deste conteúdo.

O primeiro trabalho que será exposto, foi feito por Rodrigues, Justina e Meglhioratti em 2011, intitulado “O CONTEÚDO DE SISTEMÁTICA E FILOGENÉTICA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO”, com o intuito de realizar uma análise qualitativa sobre o conteúdo Sistemática e Filogenética em cinco livros didáticos recomendados pelo PNLD para o Ensino Médio. Os livros analisados neste trabalho constituíam-se em volume único, portanto, utilizados para as três séries do Ensino Médio. Segue o Quadro 1, com os livros didáticos avaliados:

Quadro 1 - Livros analisados por Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011)

Título	Fundamentos da Biologia Moderna	Biologia - volume único	Biologia - volume único	Biologia - volume único	Biologia - volume único
Autores	José Mariano Amabis & Gilberto Rodrigues Martho	J. Laurence	Sônia Lopes & Sergio Rosso	Sérgio Linhares & Fernando Gewandsznajder	José Arnaldo Favaretto & Clarinda Mercadante
Ano	2006	2005	2005	2005	2005
Edição	4ª edição	1ª edição	1ª edição	1ª edição	1ª edição
Representação	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E

Fonte: Quadro adaptado de Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011).

A análise dos conteúdos relacionados à sistemática e filogenética presentes nos livros didáticos foi realizada mediante uma ficha de avaliação de livros didáticos (Quadro 2) adaptada dos trabalhos de Lima (1984) e Silva, Alves e Gianotti (2006) e da avaliação utilizada no PNLEM do ano de 2009. Para a análise dos resultados os autores apresentaram cinco tópicos relevantes que subdividem aspectos da disposição da sistemática filogenética nos livros didáticos, são eles: **Conteúdo teórico; Abordagem do conteúdo; Atividades propostas; Uso de imagens; e Abordagem da história da ciência.** Aqui vamos comentar um pouco sobre os resultados obtidos pelos autores da pesquisa. Como parâmetro para análise de conteúdo dos livros didáticos, eles utilizaram o livro-texto Fundamentos de Sistemática Filogenética, de Dalton S. Amorim, um dos principais expoentes da sistemática filogenética no Brasil.

Quadro 2 - Ficha de avaliação com os critérios utilizados para elaboração do trabalho.

1 - Conteúdo teórico	Presença de informações; Definições apresentadas no texto.
2 - Abordagem do conteúdo	Presença de contextualização; Presença de problematização.
3 - Atividades propostas	Disposição das atividades propostas ao longo do capítulo e/ou unidade; Quais habilidades cognitivas as atividades possibilitam que o aluno desenvolva.
4 - Uso de imagens	Disposição das imagens ao longo do capítulo e/ou unidade; Presença de legenda nas imagens; Relação da imagem com o conteúdo abordado no texto; Possibilidade de distorções conceituais pelo uso de imagem;
5 - Abordagem da história da ciência	Presença da História e Filosofia da Ciência.

Fonte: Quadro adaptado de Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011)

● **Resultados da análise de Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011):**

De modo geral, os autores da análise mostram que os livros A e C, contêm o conteúdo de modo satisfatório, demonstrando empenho em apresentar ao seu público as bases da sistemática geral e filogenética. Segundo Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2001), é perceptível que os autores dos dois livros didáticos são minuciosos na apresentação de definições e explicações de cada assunto abordado, utilizando imagens e contextualizando historicamente, com o intuito de passar o conteúdo para os alunos da melhor forma possível.

Foi notado ainda, pelos autores da análise, que os conceitos e suas explicações, abordadas nos dois livros, estavam corretos de acordo com o livro-texto base utilizado. Ainda, as atividades presentes nos livros A e C, tornam possível aos alunos a contextualização de seus conhecimentos, assim como textos complementares e algumas inferências sobre filogenias em alguns conteúdos, também essenciais para o melhor desenvolvimento desse tema para o ensino. Das poucas ressalvas feitas a respeito dos dois livros, os autores da análise, constataram que os grupos de seres vivos são tratados ainda de forma tipológica, no sentido que pouco é comentado nos livros A e C, que os diferentes grupos de seres vivos são relacionados historicamente, ou seja, compartilham um mesmo ancestral.

Como mencionam, os Filos, são apresentados como grupos separados, como se não compartilhassem nenhum tipo de relação, “esquecendo” de apresentar que eles se conectam na

história evolutiva dos seres vivos. Mas os desenvolvedores da análise ressaltaram que todos os livros analisados se referem aos Filos de modo tradicional (sem explicitar as relações de parentesco entre elas), no que se refere à filogenia, ela é tratada brevemente no meio do capítulo sem muito contexto, o que foge dos indicativos propostos por Amorim (1997) e Guimarães (2005).

Já nos demais livros, B, D e E, os pesquisadores descrevem que os assuntos de sistemática e filogenética, não estão dispostos de maneira organizada, sendo que não são tratados em um capítulo introdutório, fazendo com que o professor precise contextualizar a temática, para permitir uma perspectiva evolutiva dos conteúdos biológicos. No tópico em que os autores da análise, explanam a abordagem dos conteúdos dos livros em questão, eles expõem que nos livros B e E, apenas a sistemática tradicional é posta em questão, no qual, não contém um tratamento filogenético do conteúdo. Prontamente, no livro D, existe uma abordagem filogenética e evolutiva dos conteúdos, com uma abordagem dos assuntos que chamam atenção para a biodiversidade e do porquê dessa diversidade.

Analisando as atividades presentes nos livros, Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011), identificaram que os livros A e C, estão repletos de atividades que contemplam o conteúdo de sistemática filogenética, que auxiliam no desenvolvimento do discente acerca dos assuntos tratados. Mas o livro E, que não contém nenhuma abordagem filogenética em suas explicações, possui atividades com temas relacionados, apresentando um cladograma da evolução das plantas, por exemplo. O livro B, segue o mesmo rumo do livro E, não apresentando explicações em filogenética ao longo do material. Ao contrário, o livro D, que possui uma abordagem evolutiva e filogenética dos seus conteúdos, não apresenta nenhuma atividade relacionada à filogenia.

Por fim, averiguando a abordagem da história da ciência, os autores explicitam que os livros A e C, apresentam uma boa contextualização histórica do conteúdo, tanto como curiosidade, quanto para auxiliar no entendimento, fazendo isso de forma dinâmica relacionando figuras e textos. Nos livros B e D, a contextualização histórica é feita de forma breve, mencionando alguns nomes importantes, como o de Linnaeus que aparece nos dois livros, e Darwin é mencionado no livro D. O livro E não faz menção, em qualquer dos capítulos, a fatos históricos (Rodrigues, Justina & Meglhioratti, 2011).

Finalizando, Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011) comentam que uma coesa abordagem de sistemática e filogenética, pode permitir ao aluno estudar os grupos de seres vivos

como entidades relacionadas, na qual compartilham ancestralidade em algum nível, permitindo-lhes um melhor entendimento dos processos evolutivos e da diversidade da vida.

No segundo trabalho, de autoria da Barbosa (2021), foram analisados conteúdos referentes aos temas de sistemática filogenética e Taxonomia empregados nos livros didáticos selecionados pelo PNLD no ano de 2018. Foram analisados cinco livros utilizados pelo 2º ano do ensino médio, pois geralmente é onde o conteúdo de sistemática filogenética e taxonomia na maioria das vezes, são apresentados.

Quadro 3 - Livros Didáticos analisados

Título	Bio	Biologia	Biologia - Unidade e Diversidade	Contato biologia	Ser protagonista
Autores	Sônia Lopes & Sergio Rosso	Vivian L. Mendonça	José Arnaldo Favaretto	Leandro Pereira de Godoy & Marcela Yaemi Ogo	André Catani, Fernando Santiago dos Santos, João Batista Aguilar, Juliano Viñas Salles, Maria Martha Argel de Oliveira, Sílvia Helena de Arruda Campos & Virginia Chacon
Ano	2016	2016	2016	2016	2016
Edição	3ª edição	3ª edição	1ª edição	1ª edição	3ª edição
Editora	Saraiva	AJS	FTD	Quinteto	SM
Volume	2	2	2	2	2
Representação	Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5

Fonte: Quadro adaptado de Barbosa, 2021.

Para análise do conteúdo, Barbosa (2021) elaborou dois quadros de análises, com enfoques distintos. No primeiro quadro (Quadro 4) ela analisa a contextualização histórica no que tange ao estudo de taxonomia e sistemática filogenética, contemplando distintos períodos e concepções que constituem as diferentes ideias do objeto de estudo. O segundo quadro de

análise (Quadro 5) visa examinar o aspecto conceitual dos livros, em que se quer analisar a abordagem dos princípios e conceitos básicos em taxonomia e sistemática filogenética. Também foram avaliados os fundamentos conceituais, as imagens e seu relacionamento com o conteúdo textual. Em ambos os quadros, os critérios selecionados foram avaliados em Presente (P), Parcialmente Presente (PP) e Ausente (A).

Barbosa (2021), fez uma análise minuciosa de cada livro, discutindo e levantando pontos sobre os livros em debate. Para fins de síntese, Barbosa (2021) elaborou os seguintes quadros, que resumem os resultados das análises feitas por ela.

Quadro 4 - Aspectos históricos sobre Taxonomia e Sistemática Filogenética analisados no trabalho de Barbosa, 2021.

Indicadores da concepção histórica	Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Abordagem da história da taxonomia e sistemática	PP	A	PP	P	P
Apresentação da ideia da divisão de reinos	P	P	P	P	P
Menção da classificação de domínios	P	PP	P	P	P
Apresentação dos princípios da classificação biológica por meio do sistema de regras de nomenclatura	P	P	PP	P	PP

Fonte: Quadro adaptado de Barbosa, 2021.

● **Resultados da análise de Barbosa (2021):**

Após a análise do conteúdo de taxonomia e sistemática filogenética das obras analisadas, Barbosa (2021), descreve que é possível observar pontos de fragilidades e integridades de cada obra, baseados nos critérios estabelecidos em seu estudo. Destaca ainda, que cada livro possui suas diferenças de dinâmica e estrutura, contando com seus pontos fortes e fracos ao abordar o conteúdo de sistemática filogenética e taxonomia.

Quadro 5 - Aspectos conceituais prevalentes referentes a Taxonomia e Sistemática filogenética nas obras analisados no trabalho de Barbosa (2021)

Indicadores da concepção conceitual	Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Apresentação dos conceitos de Espécie.	P	A	PP	PP	PP
Introdução dos conceitos de Cladogênese e Anagênese.	P	A	A	P	A
Apresentação de imagens relevantes para o entendimento de cladogramas e relações filogenéticas	P	PP	PP	P	PP
Introdução ao conceito de sinapomorfia	A	PP	A	A	A
Introdução ao conceito de homoplasia	A	A	A	A	A
Introdução aos conceitos de homologia e analogia	P	A	A	A	PP
Apresentação das classificações dos grupos em monofilético, parafilético e polifilético.	PP	PP	PP	PP	PP
Introdução ao conceito de grupo irmão.	P	P	A	A	A
Uso correto e atualizado dos conceitos.	P	P	P	P	P

Fonte: Quadro adaptado de Barbosa, 2021.

Ambos os trabalhos que apresentamos brevemente acima, analisam livros didáticos, cada um à sua forma, explanando como estão dispostos os conteúdos de sistemática filogenética no material analisado. Ainda assim conseguimos apontar alguns pontos interessantes em relação aos dois trabalhos.

Primeiramente, o trabalho de Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011), analisa livros lançados majoritariamente no ano de 2005, com exceção do livro A, que é de 2006. Os livros analisados por Barbosa (2021), são cerca de 11 anos mais recentes que os livros analisados pelos três pesquisadores, e foram lançados todos em 2016.

Apesar da diferença relevante de tempo dos dois grupos de livros analisados, conseguimos ver que o conteúdo de sistemática geral e taxonomia, são os conteúdos mais presentes nos dois grupos de livros analisados. Os conteúdos de sistemática filogenética ou filogenia são insuficientes ou inexistentes nos livros B e E, e nos livros analisados por Barbosa (2021), é perceptível que existe carência na introdução de conceitos da sistemática filogenética. Os livros 2, 3, 4 e 5, nos aspectos conceituais levantados por Barbosa (2021), a maioria ou se encontram parcialmente presentes (PP), ou ausentes (A). Os conceitos de homologia, por exemplo, um dos mais importantes da sistemática filogenética, tratado por Santos e Calor (2007), como um ótimo instrumento para estruturar o ensino de evolução, não são citados, nos livros 2, 3, e 4, da mesma forma que nem tiveram a chance de ser citados nos livros B e E devido sua abordagem tradicional da sistemática. Não é notável de forma significativa, que existiu uma melhora na disposição nos conteúdos de sistemática, filogenia, e principalmente nos conceitos filogenéticos, no tempo de mais uma década decorrido entre a publicação dos grupos de livros analisados pelos dois trabalhos.

Esses pontos levantados podem não significar muito, devido à pequena quantidade amostral que está em pauta, além de que, de 2016 até 2024, são oito anos de diferença, existe a possibilidade que a disposição dos conteúdos esteja pior ou melhor. Mas de qualquer forma, é evidente, que não houve uma mudança significativa na disposição dos conteúdos entre os grupos de livros aqui abordados. Tanto os livros abordados por Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011) e por Barbosa (2021), é perceptível a falta de abordagem dos conceitos dos conteúdos de sistemática filogenética em grande parte dos exemplares analisados.

Essa constatação, causa preocupações a respeito do ensino de sistemática filogenética, pois os livros didáticos, possuem uma presença muito importante, devido ao potencial auxílio que estes materiais têm, em ajudar o professor a ensinar tal conteúdo. Quando se tem um

material com poucas ferramentas para o ensino de tal conteúdo, torna o papel do professor ainda mais importante e desafiador.

Algo relevante de comentar, é que desde a publicação dos livros analisados por Barbosa (2021), até os dias atuais, ocorreu uma mudança curricular radical no ensino básico brasileiro, que foi a formulação e a consolidação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). De acordo com a própria BNCC:

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE). Este documento normativo aplica-se exclusivamente à educação escolar, tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) (BNCC, 2017, P. 7).

A BNCC é o documento de referência nacional para a formulação dos currículos dos sistemas e das redes escolares dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e das propostas pedagógicas das instituições escolares (BNCC, 2017).

Embora não cite explicitamente o conteúdo de sistemática filogenética, é possível perceber que em algumas competências e habilidades da BNCC do ensino médio e fundamental, apresentada nos quadros 6, 7, 8 e 9, é possível utilizar a sistemática filogenética para inserir o contexto evolutivo, que este sim, está presente nominalmente nas competências do documento.

Quadro 6 - Competências específicas de Ciências da Natureza e suas tecnologias do Ensino médio

Competência 2	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
Competência 3	Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Fonte: BNCC, 2017

Quadro 7 - Habilidades de Ciências da Natureza e suas tecnologias do Ensino médio

Ano/ Faixa	Cód. Habilidade	Habilidades de Ciências da Natureza e suas tecnologias
1º, 2º, 3º	EM13CNT206	Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta
1º, 2º, 3º	EM13CNT208	Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.
1º, 2º, 3º	EM13CNT301	Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica

Fonte: BNCC, 2017

Quadro 8 - Uma das competências específicas de Ciências da Natureza no Ensino fundamental

Compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano, e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico.

Fonte: BNCC, 2017

Quadro 9 - Algumas Habilidades específicas de Ciências da Natureza no Ensino fundamental

Componente	Ano/Faixa	Unidades temáticas	Objetos de conhecimento	Habilidades
Ciências	3º	Vida e Evolução	Mecanismos reprodutivos	(EF08CI07) Comparar diferentes processos reprodutivos em plantas e animais em relação aos mecanismos adaptativos e evolutivos.
Ciências	3º	Vida e Evolução	Características e desenvolvimento dos animais	(EF03CI06) Comparar alguns animais e organizar grupos com base em características externas comuns (presença de penas, pelos, escamas, bico, garras, antenas, patas etc.).
Ciências	8º	Vida e Evolução	Sexualidade	(EF08CI07) Comparar diferentes processos reprodutivos em plantas e animais em relação aos mecanismos adaptativos e evolutivos.
Ciências	9º	Vida e Evolução	Hereditariedade	(EF03CI05) Descrever e comunicar as alterações que ocorrem desde o nascimento em animais de diferentes meios terrestres ou aquáticos, inclusive o homem.

Fonte: BNCC, 2017

Em conclusão, é importante evidenciar, que assim como observado por Barbosa (2021), após a análise das competências e habilidades de Ciências Naturais tanto no ensino fundamental, e no Ensino médio, reiteramos que não existem tópicos relacionados à discussão da temática de espécies, classificação dos seres vivos e de suas relações evolutivas, nem menções sobre sistemática filogenética. Mas como já mencionamos, a sistemática filogenética pode ser um aliado poderoso no cumprimento das diretrizes, sobretudo na ideia de que a compreensão da biodiversidade parte da comparação minuciosa e possui uma dimensão cultural, além da sistemática filogenética ter a capacidade de ser um ótimo aliado no ensino de evolução biológica.

Vimos que nessas competências e habilidades da BNCC existem elementos culturais que podemos trabalhar com sistemática filogenética, tratando o ensino dessa área, considerando o que todo mundo precisa saber, como uma cultura científica comum. No próximo capítulo, abordaremos sobre essa temática.

4 Por que ensinar sistemática filogenética?

4.1 Possíveis argumentos para a presença da sistemática filogenética no currículo

No capítulo dois deste trabalho, vimos algumas dificuldades que dizem respeito ao aprendizado de sistemática filogenética, como a interpretação de cladogramas e o entendimento superficial do processo evolutivo. Em seguida, vimos a disposição deste conteúdo em alguns livros selecionados e recomendados pelo PLND, assim como levantamos alguns pontos sobre o material discutido. Quais conclusões podemos tirar a respeito do conteúdo exposto nesses dois capítulos - ou melhor, o que podemos fazer para “tentar” solucionar os obstáculos apresentados ao longo das secções anteriores? Qual a melhor maneira de se ensinar sistemática filogenética? Uma das possíveis soluções, pode ser repensar o porquê de se ensinar filogenética.

Para isso, falaremos um pouco da trama exposta em um trabalho do Robin Millar, professor britânico, que em 2003 escreveu o artigo intitulado “UM CURRÍCULO DE CIÊNCIAS VOLTADO PARA A COMPREENSÃO POR TODOS”, em que o autor discute por que ensinar ciências naturais na educação básica e por que essa disciplina deve ser exposta a todos. Ao passo, vamos nos apoiar nos argumentos que o autor fornece em seu trabalho sobre ensino de disciplinas científicas em geral na educação básica, para refletir sobre o ensino da sistemática filogenética. Apesar de partir de uma realidade europeia, mais especificamente

britânica, o trabalho de Millar, contém argumentos pertinentes que suscitam reflexões importantes sobre o ensino de conhecimentos básicos das ciências da natureza também na realidade brasileira.

Atualmente é inimaginável pensar em alunos de 5 a 18 anos, que não aprendem ciências naturais durante o período escolar. Segundo Millar, parece consenso, tanto dentro quanto fora do sistema educacional, que todas as crianças ao longo do período de escolaridade compulsória, devem aprender ciências. Mas o que faz as “ciências naturais” tão importantes a ponto de seu ensino tornar-se um consenso? E podemos fazer aqui, um paralelo, e nos perguntar por que ensinar sistemática filogenética?

Para tentar responder à pergunta sobre por que ensinar ciências naturais, Millar utiliza os argumentos de Milner (1986), no qual declara que as ciências, ou qualquer outro assunto só deve ser posto no currículo escolar, se ele conseguir cumprir três requisitos. O primeiro, diz respeito à capacidade da disciplina se mostrar única em algum aspecto, ser incomum, apresentar e oferecer valores e habilidades não oferecidas por outras disciplinas. Para Millar, o primeiro requisito é facilmente atendido pelas “ciências”, a busca pelo entendimento do mundo natural e seu estudo, assim como o de suas entidades agregadas, é uma capacidade atribuída às ciências naturais. Como argumenta Millar, as ciências dependem de um aprendizado específico, se utilizam de conceitos e ideias específicas para sua prática. Conseguimos constatar tal singularidade também na Cladística, o estudo específico das relações de parentesco, somado aos métodos de reconstrução da filogenia, reunindo os grupos de seres vivos a partir das novidades evolutivas (apomorfias), e os classificando em grupos naturais reais que derivam de um único ancestral comum, compreendendo todos os descendentes, são aspectos exclusivos, da sistemática filogenética.

O segundo requisito apresentado por Milner, se trata da impossibilidade de adquirir informalmente o conhecimento da área em questão, sendo capaz de ser ensinada apenas sob instrução formal. É compreensível que as “Ciências naturais” também suprem o segundo critério, devida a natureza não intuitiva presente nos seus mais diversos fenômenos. Os saberes científicos não são aprendidos apenas com as experiências de vida, em quase todos os casos é necessário algum tipo de instrução. Millar acrescenta, que algumas capacidades essenciais para o aprendizado em ciências são adquiridas informalmente, como classificar, observar e prever entre outras habilidades. Ele denomina estas capacidades como “habilidades processuais”, e argumenta que o objetivo das ciências não é desenvolver tais capacidades, mas encorajar os estudantes a usarem capacidades que eles já possuem na exploração de questões científicas. De

qualquer forma, apesar de subsidiar algumas capacidades que são aprendidas de modo informal, se essas capacidades não tiverem o incremento e a instrução das peculiaridades das áreas científicas, o ensino de ciências nesses casos será deficiente. A sistemática filogenética, enquanto ramo de uma das ciências da natureza (Biologia), também atende a esse segundo requisito". O conhecimento sobre sistemática filogenética, assim como Millar argumenta para as ciências no geral, não são saberes adquiridos apenas com as experiências da vida, é necessário formação para entender os pilares dessa disciplina, que bate de frente com o senso comum, presente na nossa sociedade. Os métodos filogenéticos, são específicos, e baseados em uma teoria muitas vezes não intuitiva, fazendo-se necessário uma apresentação formal da sua teoria, normas e regras, evitando com que estudantes incorram, por exemplo, aos equívocos de interpretação tratados no capítulo 2.

Anteriormente, foi posto que as ciências naturais, além de se mostrar uma disciplina única, também necessita de um aprendizado formal para desenvolver sua prática. Entretanto, qual a motivação para seu ensino? Essa pergunta adentra no terceiro requisito de Milner, que diz que uma disciplina ou qualquer outro assunto só deve ser ensinada se sua “aquisição possuir valor e importância”. Millar (2003), mostra em seu trabalho que Milner esboçava uma resposta para sua própria pergunta, argumentando que a ciência é:

Quadro 10 - Justificativa instrumental e Intrínseca de Milner

Justificativa instrumental	Justificativa intrínseca
O conhecimento científico é necessário para: • Tomar decisões práticas sobre questões do cotidiano de modo informado. • Participar da tomada de decisões em questões que tenham um componente científico/tecnológico. • Trabalhar em empregos que envolvam ciência e tecnologia (em vários níveis)”	O conhecimento científico é um produto cultural de grande poder intelectual e beleza. Os seres humanos têm uma curiosidade sobre o mundo natural que o conhecimento científico pode satisfazer. Muitas pessoas consideram possuí-lo recompensante e realizador do ponto de vista pessoal.

Fonte: Millar, 2003.

A terceira condição, que ciências naturais sejam de importância e valor, gerou em Millar um questionamento, importante “para quê” e “para quem”? Ele então, nos apresenta cinco categorias de argumentos para justificar a importância de se ensinar ciências na educação básica, coletados por Thomas e Durant (1987) na literatura sobre a compreensão de ciências

pelo público. E antes de passar pelos cinco argumentos, é importante deixar algumas considerações explanadas por Millar. Ele comenta que o currículo de ciências funciona como um primeiro estágio de uma formação em ciências, para uma minoria de alunos que seguirá carreira científica, e como acesso à cultura científica básica para uma maioria de alunos que seguirão outras carreiras. É importante destacar que o currículo funciona dessas duas formas ao mesmo tempo, os dois públicos possuem a mesma instrução, fazendo com que isso gere alguns problemas nos currículos de ciências. Afinal, é difícil esperar de um currículo que precise cumprir as duas tarefas, faça ambas de forma perfeita, até porque, para fazer um currículo que atenda os dois públicos, é necessário que seja feito uma média dos conteúdos, nem profundo demais, nem superficial demais, gerando um problema, na qual para a minoria, a superficialidade do conteúdo é adotada, e para uma maioria o conteúdo pode parecer específico demais.

Argumento econômico:

Thomas e Durant argumentam que há uma conexão entre o nível de compreensão de ciências naturais pelo público e o nível de saúde econômica da nação. Inferindo ainda que o sucesso científico e tecnológico de uma nação é uma forte propaganda para o mundo, se tornando um importante fator na reputação internacional.

Esse argumento sugere que o ensino de ciências é uma engrenagem poderosa para fazer uma nação economicamente bem-sucedida funcionar, afinal, a manutenção do seu ensino na educação básica formará e fornecerá o apoio pessoal técnico e cientificamente qualificado. Analisando friamente, esse argumento é pertinente e faz sentido, mas Millar destaca um ponto importante.

A formação continuada de ciências na educação básica para o sucesso tecnológico de uma nação, é uma generalização. Parafraseando o Chapman (1991), Millar afirma que o suprimento de cientistas altamente gabaritados necessários para um bem-estar econômico, é bem menor do que esse argumento faz parecer, não sustentando a necessidade de ensinar ciências para todos os estudantes até o final do ensino obrigatório. É importante ensinar ciências, e sua prática tem de ser defendida, mas principalmente pelos argumentos da utilidade, o democrático, o social e o cultural.

O argumento econômico também não sustenta a prática do ensino de sistemática filogenética. O Brasil, um país tropical com uma biodiversidade excepcionalmente numerosa, possui ainda milhões de espécies que ainda não foram descritas nem estudadas, e há

pouquíssimos taxonomistas e sistematas para estudarem a diversidade do nosso país. Mesmo nessa conjuntura, ensinar sistemática filogenética para todos os alunos, segundo a justificativa econômica, é infundável, pois nem todos os alunos se tornarão sistematas no futuro.

Argumento da utilidade:

Outro dos argumentos trazidos por Thomas e Durant, é o argumento da utilidade. Esse argumento se baseia no princípio de que o ensino de ciências naturais é relevante para munir uma sociedade que vive em um ambiente científico e tecnológico, ou seja, saber ciências ajudará as pessoas a tomarem decisões práticas no seu cotidiano, seja, da eficácia de uma dieta, sua própria segurança ao utilizar equipamentos eletrônicos, ou até mesmo ler um rótulo de produtos industrializados. Resumidamente, o ensino de ciências seria eficiente para uma boa tomada de decisões dos indivíduos, para lidarem com situações problemas de seu dia a dia. Millar novamente traz alguns pontos relevantes, o primeiro, traz à tona o fato de que não precisamos de um conhecimento muito especializado para usufruir de alguns aparelhos, no qual a maioria dos aparatos técnicos podem ser utilizados sem maiores instruções. Complementa ainda, que os avanços tecnológicos tendem a favorecer mais ainda esse cenário em que a compreensão é gradualmente menos (ao invés de mais) necessária. Segundo Millar poucas decisões práticas são tomadas com base em conhecimento científico, e quando ele é usado, é suprimido a uma generalização e simplificação, na forma de uma regra simples do senso comum, sem precisão científica, como: “metais conduzem” ou “se um aparelho elétrico para de funcionar, provavelmente é uma conexão quebrada”.

Para embasar suas afirmativas, Millar cita Layton et al. (1993), em que mostra um estudo de pensionistas em Leeds, que revelou que, não surpreendentemente, suas decisões sobre aquecimento de suas casas eram baseadas em múltiplos fatores, a maioria deles sociais, e não somente na sua compreensão da perda de calor e do isolamento térmico, que era frequentemente superada por considerações de aspecto estético ou prático.

Millar sustenta que todos os argumentos citados acima não significam que o ensino de ciências é supérfluo, e que não tem utilidade nenhuma na tomada de decisões, mas sim evidenciam que esse argumento é supervalorizado. Para Millar, pode argumentar-se que alguma compreensão de como os artefatos, e mesmo fenômenos naturais funcionam, faz a pessoa sentir-se mais conhecedora e, portanto, mais confortável na vida em seu dia a dia. Entretanto, é difícil argumentar que um interesse nesses assuntos é de maior valor tanto individual quanto socialmente, dentre tantos outros interesses que as pessoas possam ter.

Tal interpretação da utilidade mal poderia justificar o ensino compulsório de ciências para todos, assim como também não sustenta o ensino de sistemática filogenética. A cladística é um conjunto de teoria e métodos específicos demais para ter um uso significativo e peremptório no dia a dia do cidadão. A teoria que abarca a sistemática filogenética é sim importante para uma melhor compreensão do mundo natural, mas não será imprescindível para solucionar os problemas corriqueiros do dia a dia de um cidadão.

Argumento democrático:

O argumento democrático se baseia na necessidade inerente aos indivíduos de uma sociedade democrática de tomar decisões ou de pelo menos participar delas. O ponto que Thomas e Durant trazem nesse argumento, se trata da importância do ensino de ciências para que os cidadãos consigam opinar, e de certa forma assumir as rédeas das decisões que podem envolver temáticas científicas.

Para os autores, é relevante que um indivíduo consiga tomar parte de uma discussão, debate ou decisão, por exemplo, sobre transporte, política energética, teste de drogas e tratamentos, destino de resíduos. Novamente parece um ótimo argumento para ensinar ciências, porém Millar expõe um contraponto plausível. Primeiro o autor se pergunta que nível de compreensão é necessário se não quisermos trivializar as questões? Cientistas em exercício não necessariamente possuem um conhecimento supremo, capaz de contribuir de maneira relevante em todo tipo de debate.

Os próprios cientistas reconhecem que frequentemente não estão suficientemente informados sobre um assunto no qual não são especialistas de modo a serem capazes de formular uma opinião firme. Imagina agora, formar um indivíduo que não exercerá a função de cientista ou algo relacionado, precisando debater e discutir questões das mais diversas áreas, apenas com o preparo científico do ensino básico. Qual será a relevância da opinião desse indivíduo para um debate ou discussão? Segundo Millar (2003, p. 81):

O argumento democrático indica, eu penso, não propósitos vagos e mal definidos sobre “habilidades de tomar decisões” ou “aumento do conhecimento de ciências na sociedade”, mas antes a necessidade de dar prioridade curricular a conhecimentos fundamentais a partir dos quais o conhecimento mais detalhado necessário para fundamentar questões particulares pode ser construído, se e quando for necessário” (Millar, 2003, p. 81).

Analisando com cautela, o conhecimento de sistemática filogenética pode sim ajudar um indivíduo a tomar decisões em votações e comissões a respeito de unidades de conservação biológica ou história evolutiva de doenças, mas isso não é suficiente para defender o ensino de sistemática para todos, como Millar argumentou anteriormente.

Argumento Social e Cultural:

O argumento social assume que é importante existir uma boa relação entre a ciências e a cultura em geral, uma vez que o afastamento entre os dois é visto como um problema. A especialização e o crescimento da natureza técnica da ciência quando distantes do público, resulta em alienação da maior parte do público a respeito da ciência e tecnologia (Thomas & Durant, 1987 apud Millar, 2003, p. 77). Uma das consequências de uma boa comunicação entre os dois meios, vai levar a uma maior simpatia por ela e consequentemente, ao financiamento para ciência e tecnologia.

Já o argumento cultural é encabeçado pelo pensamento de que a ciência foi uma aquisição fundamental para a humanidade e a construção de sua história, logo, o ensino de ciências deve ocorrer pois o público jovem deve ser capaz de entender e apreciar; devemos prezar e celebrar a ciência como um produto cultural (Thomas & Durant, 1987 apud Millar, 2003, p. 77). Para Millar, a justificativa cultural encaixa a ciência em um mesmo patamar da literatura, arte e música, pois são aquisições adquiridas ao longo do tempo, que possuem um papel fundamental para a humanidade, permeando nossa história, e moldando nossa identidade. Mas para Millar, a ciência é a principal das aquisições, “ciências, não é só a principal aquisição cultural - é o produto definidor de nossa cultura, aquilo que podemos esperar mais confiantemente que será identificado pelos historiadores e arqueólogos do futuro como característico de nossos tempos” (2003, p. 81). Millar cita ainda um trecho de Midgley:

Qualquer sistema de pensamento que desempenhe a enorme parte que a ciência desempenha no momento em nossas vidas também molda nossos mitos orientadores e colore nossa imaginação profundamente. Não é apenas uma ferramenta (Midgley, 1992 apud Millar, 2003 p. 81).

É plausível afirmar que a ciência desempenhou um papel fundamental para que a humanidade alcançasse o estágio em que se encontra, e que ela moldou e construiu uma reputação quase intocável. Quando a humanidade enfrenta um problema, é na ciência que geralmente depositamos nossa confiança para encontrar soluções. Embora uma minoria a rejeite, a ciência continua sendo um pilar confiável. Basta lembrar de eventos recentes, como a

pandemia de 2020: onde estaríamos hoje sem os testes, vacinas e protocolos de biossegurança? Em síntese, o argumento cultural talvez seja o mais significativo, pois ele explana como a ciência é mais do que uma ferramenta, a ciência é um pilar central da nossa construção, a cultura humana.

O argumento social anda de mãos dadas com o cultural. Millar infere que é importante para a coesão social manter os elos entre a ciência e a cultura geral. Para o autor, a ciência tem se tornado ao longo dos anos mais técnica e incompreensível para o público leigo, criando um abismo de conhecimento entre a ciência e a cultura geral, que é com certeza perigosa para os dois lados.

Acima falamos um pouco sobre os argumentos de Thomas e Durant, e dos comentários tecidos por Millar a respeito deles. Entendo que agora conseguimos tirar algumas conclusões sobre o porquê ensinar ciências. Como vimos, os argumentos de utilidade, o democrático e o econômico, são os menos valorosos para inferimos o valor do ensino de ciências, assim como para o ensino de sistemática filogenética.

Vimos que eles possuem pontos que à primeira vista parecem relevantes o suficiente para executar o ensino de ciências na educação básica, mas Millar em seus argumentos expõem algumas falácias ou pelo menos generalizações da realidade, que fazem esses argumentos perderem força, argumentos que conseguimos transpor para o ensino de cladística. Existe verdade nos outros argumentos, porém não é suficiente ensinar ciência e sistemática filogenética à luz do argumento econômico, democrático e de utilidade. Já os argumentos social e cultural juntos, são os melhores argumentos para se dar à pergunta, “Por que ensinar ciências para todos?”. O argumento cultural traz uma perspectiva muito interessante sobre as ciências. Mais do que uma ferramenta, ela foi um pilar para a construção da sociedade como conhecemos, e ocupa nos dias de hoje a posição mais confiável por toda a humanidade, para a resolução de problemas.

Para Araújo Júnior (2019), o conhecimento científico e as teorias científicas como produções humanas de caráter cultural, se lhes fosse dada a atenção que eles merecem, poderiam nos ajudar a construir um currículo de ciências mais adequado a pensá-la como um empreendimento humano que merece o mesmo apreço das grandes obras artísticas e literárias.

Para a sistemática filogenética, o argumento cultural e social oferece ótimos subsídios para justificar seu ensino para todos. Os argumentos de Millar justificam o ensino de ciências, o que também inclui a cladística.

Dentro de uma perspectiva cultural, é relevante que o aluno entenda as nuances da biodiversidade, pois ele como ser humano, faz parte dela. Entender a ancestralidade comum, por exemplo, pode ser crucial para a noção de pertencimento, assimilar que todos os seres vivos compartilham um único ancestral comum pode situar o aluno em um mundo natural, que é extremamente biodiverso, mas os organismos vivos não aparentam não compartilhar nenhum tipo de relação. Mas no final das contas, somos todos, “galhos de uma mesma árvore”, descendentes de um ancestral comum que viveu há alguns bilhões de anos. Ter essa noção não deveria ser apenas papel da sistemática filogenética, pois essa noção tem relação direta com a humanidade e sua história na Terra.

Porém, como a cladística e a evolução são as únicas duas matérias nas quais essa dimensão é tratada, elas devem ser as responsáveis por passar essa noção, e não porque essa noção é cacife de ambas, mas sim pois a ancestralidade comum é uma condição humana. Além disso, existe beleza neste fato, compartilhar relações filogenéticas com outros indivíduos nos aproxima mais da biodiversidade, nos afasta da perspectiva especista, aquela que considera que o ser humano algo distintamente especial e acima das outras espécies em grau de importância. Tirar o ser humano desta noção, tirá-la do centro das evidências, e colocá-la a pé de igualdade com os outros seres vivos, em uma concepção filosófica, é ainda mais bonito, e encantador do que enxergar o ser humano como o ápice da evolução.

A ancestralidade comum, pode ainda, ter efeitos contra qualquer tipo de segregação, ato que ainda vemos com certa frequência na sociedade humana, os conhecimentos das relações de Parentesco de toda a humanidade, e que de certa forma, somos todos primos, mais em graus distantes, pode ajudar o discente a compreender, que as diferenças, são meras diferenças, e nada além disso.

Outro aspecto da cladística e evolução, que também deveria ser como uma dimensão cultural, são as populações e a descendência com modificação. Na sistemática, os caracteres derivados, ou as apomorfias, só são consideradas novidades evolutivas, pois aquele caráter já está fixado (presente) em uma determinada população.

A evolução biológica, não tem como unidade os indivíduos, mas sim as populações, são elas que se modificam ao longo do tempo. Um único indivíduo, que nasce com uma característica com grandes potenciais evolutivos, não tem relevância no processo de evolução, se este não se reproduzir e passar suas características para a sua prole. São os grandes conjuntos de indivíduos, as populações, que fazem os organismos de uma mesma espécie prosperarem, se modificarem, e quem sabe virar outra espécie no futuro (Especiação).

Analisando com cautela, a história da evolução humana parte do mesmo ponto, a humanidade como conhecemos hoje não existiria sem as primeiras populações dos homens das cavernas. Eles sobreviveram às adversidades, e sabemos que a fagulha que originou a cultura humana começou com eles, já é sabido que aquelas populações utilizavam ferramentas em seu cotidiano, assim como, realizavam rituais para os membros falecidos dos grupos.

Essas primeiras tradições foram passadas da velha geração para a nova geração, assim como as novas gerações, quando aprenderam algo útil, passaram esse conhecimento para frente. Não é muito difícil perceber, que o processo de descendência com modificação, proposto por Darwin, e o processo histórico do desenvolvimento cultural da humanidade ocorrem praticamente da mesma maneira. Genes e informações, não funcionam da mesma maneira, porém o mecanismo de transmissão das características e tradições são bem semelhantes.

No fim as populações e a descendência com modificação, não fazem parte da história humana apenas porque, o ser humano é uma entidade na qual a evolução biológica afeta, mas também, pois sua cultura foi criada por motivos semelhantes. Um aspecto cultural, que acontece a partir de mecanismos parecidos, é a linguagem. Não existe o primeiro falante de uma língua, com exceção daquelas criadas intencionalmente, as diferentes línguas que vemos hoje, da separação de populações, isolamento e do resultado do acúmulo de diferenças ao longo do tempo.

Outro aspecto cultural que é intrínseco a sistemática filogenética e evolução é a questão temporal, que inclusive faz parte das outras duas dimensões citadas acima. O tempo geológico da terra é inerente ao processo evolutivo e a cultura humana, os seres humanos, para chegarem aos dias de hoje, passaram por glaciações, erupções vulcânicas catastróficas, descoberta do fogo, descoberta da agricultura, epidemias, e milhares de acontecimentos ao longo do tempo que marcam para sempre a cultura humana. Por fim, a sistemática filogenética e a evolução biológica têm uma base de conhecimentos e teorias que devem ser conhecidas por todos, pois são parte da cultura humana, e devem fazer parte de uma cultura científica comum para todos.

4.2 Ciências naturais e a sistemática filogenética como uma via de acesso a beleza

Podemos argumentar também sobre como a ciências naturais e, dentro dela, a sistemática filogenética, podem ser uma via de acesso à beleza. A cultura humana, englobando a religião, a arte, a culinária, a música, a dança, e as lendas entre outras atividades, são praticadas em sua maioria ou porque são úteis, ou porque são belas, ou os dois na mesma medida. As danças podem nos cativar com seus movimentos rítmicos extremamente agradáveis aos olhos,

as músicas e cantigas se apossam do ambiente nos levando ao êxtase. E o estudo de ciências, existe beleza em sua prática?

Infelizmente, a ciência, como uma atividade humana, ainda é muitas vezes vista como algo rigoroso, metódico e distante para o público em geral. Couto (2006), em uma Conferência no Ciclo Biologia na noite, na Universidade de Aveiro, declarou que:

A culpa não é evidentemente nossa. Mas nós herdámos uma ideia de ciência que vive de costas para a necessidade de trazer leveza e construir beleza. Alguma coisa que se pretenda científica deve-se apresentar de trajes cinzentos, solenes. Para merecer credenciais científicas as nossas ações precisam de ter uma seriedade quase ascética. As cerimónias de graduação das universidades em Portugal e Moçambique parecem rituais medievais, com professores e estudantes envergando assustadoras túnicas escuras que quase sugerem um culto satânico (Couto, 2006)

Em tom cômico, Couto, que é biólogo e escritor, nesse trecho, reflete sobre como a ciência é vista pela sociedade, e até como aparentemente ela quer ser vista, de modo erudito, impecável e formal, mas que acaba refletindo em uma visão das ciências sem encanto e beleza. Talvez seja válido tirar essa carga polida e séria a qual a ciência carrega de forma culposa, para possibilitar que a ciência e o conhecimento que provém dela, tornem os fenômenos e as entidades da natureza ainda mais belos.

Não é difícil se fascinar pelo mundo natural, admirar uma linda flor, mirar um pássaro cortar o céu de ponta a ponta, notar as formigas em seu trabalho árduo de levar alimento ao formigueiro, contemplar um alaranjado pôr-do-sol, ou até mesmo perceber a potência de furacões, são ações que nos fazem vislumbrar pelo mundo natural, todavia, nessas situações estamos nos atentando apenas ao aspecto visual desses fenômenos ou seres vivos observados. Mas existe a possibilidade de se fascinar com outros pontos de vista, além do aspecto visual? Quero argumentar aqui, que entender os desdobramentos por trás, ou seja, entender os processos pelo qual algo acontece, ou como acontece, pode te fornecer ainda mais elementos para se encantar com o evento ou objeto observado.

O professor Antônio Araújo Júnior, orientador deste trabalho, em sua tese de doutorado sobre a formação de professores de biologia para a Educação de Jovens e Adultos (Araújo Júnior, 2019), dedicou um de seus capítulos a discutir os motivos de se ensinar biologia a estudantes adultos e idosos. Uma de suas reflexões é que a supervalorização do argumento da utilidade, aquele que defende que o conhecimento formal sobre algo é necessário para se viver bem, incorre no risco de soar arrogante e desrespeitoso com estudantes que já viveram boa parte

de suas vidas sem acesso a esse conhecimento formal e, mesmo assim, desenvolveram um repertório amplo e rico de resolução de problemas da vida prática.

Em uma seção que chamou de “O conhecimento como uma via de acesso à beleza”, Araújo Júnior (2019) parte de um trecho do romance “A Elegância do Ouriço”, de Muriel Barbery para defender que o universo vivencial pode, sim, receber contribuições do conhecimento formal, mas é injusto dizer que o primeiro depende do segundo. O trecho do romance traz os pensamentos de uma adolescente em uma sala de aula que vê um de seus colegas perguntar à professora “para que serve a gramática?”. Araújo Júnior mostra que a própria pergunta está orientada nos moldes do argumento da utilidade porque pressupõe que cada assunto deve servir como uma ferramenta para alguma demanda da vida prática. E é nessa mesma linha que vem a resposta da professora: “Serve para falar bem e escrever bem”.

A adolescente se vê indignada com uma resposta que desconsidera o fato de as pessoas já falarem e escreverem com a eficiência necessária para a comunicação antes mesmo de terem acesso ao conhecimento sobre as regras gramaticais:

“Aí então, achei que ia ter um ataque cardíaco. Nunca ouvi nada tão inepto. E com isso não quero dizer que é errado, quero dizer que é realmente inepto. Dizer a adolescentes que já sabem falar e escrever que a gramática serve para isso é como dizer a alguém que é preciso ler uma história dos banheiros através dos tempos para fazer xixi e cocô”. (Barbery, 2006. p. 190)

A estudante formula então sua própria resposta para a pergunta de seu colega. Uma que considera que aprender gramática nos dá a possibilidade compreender, ao mesmo tempo, a simplicidade das bases da língua, por um lado, e a engenhosidade dos enunciados complexos, por outro:

Mas acho que a gramática é uma via de acesso à beleza. Quando a gente fala, lê ou escreve, sente se fez ou leu uma frase bonita. Somos capazes de reconhecer uma bela construção ou um belo estilo. Mas, quando sabemos gramática, temos acesso a outra dimensão da beleza da língua. Saber gramática é descascá-la, olhar como ela é feita, vê-la toda nua, de certa forma. E aí é que é maravilhoso. Porque pensamos: “Como isto é bem-feito, como é bem elaborado!”, “Como é sólido, engenhoso, rico, sutil!”. Eu, só de saber que há várias naturezas de palavras e que devemos conhecê-las para concluir sobre seu uso e suas possíveis compatibilidades, isso já me transporta. Acho que não há nada mais bonito, por exemplo, do que a ideia de base da língua, de que há substantivos e verbos. Quando vemos isso, já chegamos ao próprio cerne de qualquer enunciado (Barbery, 2006. p. 190).

Araújo Júnior (2019) nos mostra que essa resposta formulada pela estudante narradora do trecho do romance está muito mais próxima ao argumento cultural de Thomas e Durant,

rediscutido por Millar, o de que aprendemos o conhecimento formal para que possamos ter elementos para apreciar o mundo. Assim como a estudante fictícia do romance faz com o ensino da gramática, Araújo Júnior defende que o ensino de biologia também deve se justificar, menos em uma lógica utilitarista e mais na vocação da escola de produzir e democratizar as maravilhas. Dessa forma, o principal argumento para se colocar um conhecimento no currículo não seria pela utilidade ou por demandas econômicas, mas por uma questão de democratização do acesso à beleza, sobretudo no contexto dos estudantes adultos e idosos, discutido por Araújo Júnior, um público a quem foi negado esse acesso à beleza em algum momento de suas vidas.

Da mesma maneira que a gramática permite o entendimento tanto da simplicidade das bases da língua, quanto da complexidade dos enunciados que decorrem dessas bases, a sistemática filogenética e o pensamento evolutivo também nos fornecem elementos para entender e apreciar, ao mesmo tempo, a unidade que está na base dos processos que se assemelham em todos os seres vivos, por um lado, e a complexidade da diversidade biológica, por outro.

Recentemente, em 2022, uma aluna do Instituto federal de Goiás do câmpus Senador Canedo, viralizou na internet, após a publicação de um vídeo em que a discente se emociona durante uma aula de biologia. Ela se chama Sandra Lima, trabalha como empregada doméstica, ao mesmo tempo que cursava o técnico de Refrigeração e Climatização da modalidade EJA da instituição.

Em uma aula de biologia, a professora Rúbia Cristina Pinheiro, filmou a Sandra se emocionando aos prantos depois de observar uma formiga com o microscópio. “Fiquei maravilhada. Achei linda a formiguinha se mexendo. Fiquei parada, a olhando. Fiquei louca. Ela parecia estar do meu tamanho”, comentou Sandra, posteriormente em uma reportagem do G1⁶. Na reportagem, também comentam que Sandra passou mais de 25 anos sem estudar, tendo parado em 1993, quando se mudou para Goiânia. Incentivada pelos filhos, ela decidiu voltar para a sala de aula em 2019.

O Caso de Sandra é uma evidência contundente de como as ciências naturais e a biologia podem gerar maravilhamento nas pessoas que estudam esses conteúdos. Sandra, uma mulher brasileira, trabalhadora, e que precisou parar de estudar em 1993, e retornou em 2019, ao observar uma formiga pela primeira vez no microscópio, se maravilhou por um animal, que encontramos facilmente em qualquer pedaço de grama. Ela com certeza já tinha visto uma

⁶ [Empregada doméstica de 48 anos se emociona ao olhar formiga em microscópio pela 1ª vez em escola; vídeo | Goiás | G1 \(globo.com\)](#)

formiga anteriormente, esse pequeno inseto faz parte das nossas vidas, mesmo sem querer. Mas qual foi o motivo que fez Sandra chorar ao ver mais uma formiga? Ter um olhar minucioso, ou investigar algo mais afundo, nos mostra amplitudes que nossa visão e intuição não são capazes de alcançar. O microscópio, aparato técnico científico utilizado para suprir a visão limitada da natureza humana, permitiu que Sandra examinasse a formiga de uma forma em que ela ainda não tinha feito antes, olhar o inseto, observando-o andar admirando sua estrutura de perto, é algo que no cotidiano não temos capacidade de fazer, pelo menos não com detalhes. A emoção que ela sentiu, provavelmente não decorreu do fato de que aquela experiência poderia ajudá-la a resolver problemas práticos do dia a dia, ou tomar decisões, ou aumentar o potencial econômico do país, aconteceu simplesmente pelo fato de ser bonito ver a imensidão de uma formiga no microscópio. Isso ampliou sua leitura de mundo. O que importa aqui, e o que faz o caso ter virado notícia, decorre do fato de alguém que não tinha acesso a experiências desse tipo teve acesso nesse dia e se emocionou com isso.

E a sistemática filogenética? Ela pode ser uma via de acesso à beleza? A sistemática não é uma área da biologia que se destaca pela beleza empírica, afinal um cientista da área vai se ater a dados para traçar as relações de parentesco dos seres vivos.

Ela, talvez cumpra todos os requisitos que o Couto consideraria adjetivos que tirariam aparentemente a beleza da cladística, pois ela, metódica, rigorosa, criteriosa etc. Mas a beleza da sistemática não é inexistente, só não é visual, e sim teórica, outro tipo de beleza que apetece o ser humano desde tempos antigos.

Como mencionamos no primeiro capítulo, Amorim (2002) define a biodiversidade como o problema a ser solucionado. É muito fácil, se encantar com a diversidade de seres vivos e suas milhões de formas, cores, tamanhos, especificidades.

Porém, entender o que está por trás dessa diversidade, entender como ela surgiu, quais processos permitiram sua grande riqueza, é um elemento a mais, quanto mais minuciosamente sabemos de algo, mais bonito aquilo se torna. Observar, a diversidade de aves que existem hoje em dia, é algo que seduz, as araras, papagaios, emas, avestruzes, periquitos, carcará, corujas, e pinguins são animais dignos de admiração por sua beleza observável. Agora observar as aves, e entender que aquela diversidade de espécies é causada pelo processo evolutivo, que partiu de um ancestral Therapoda (dinossauro), que acabou originando aqueles animais dignos de admiração, é ainda mais encantador. Os elementos teóricos da cladística e evolução permitem o acesso a uma beleza provinda do conhecimento, o que torna o que já é muito bonito, em algo maravilhoso.

Para finalizar o argumento, é constatável que os seres vivos são exuberantes, suas formas, variações e especificidades são dignas de encanto. Nossa admiração visual, somadas ao conhecimento minucioso da diversidade biológica, envolvendo seus processos e desdobramentos, podem ser uma via de acesso a uma beleza que não seria alcançada sem a adição da complexidade. Entender que as espécies vivas são separadas devido ao tempo e pelas mudanças dos organismos durante esse intervalo, amplificam a beleza já presente no estudo da biodiversidade. Compreender que somos todos galhos de uma mesma árvore, além de nos situar em meio a desordem aparente do mundo natural, nos traz entendimento, e o encantamento proveniente dele.

4.3 Possíveis caminhos para ensinar sistemática filogenética

Como um potencial via de acesso à beleza, é importante que esse conteúdo quando exposto pelo docente em sala de aula, faça-se de forma clara e objetiva, para que os discentes compreendam suficientemente os conteúdos de sistemática filogenética. Porém, no capítulo 2 deste trabalho, apresentamos alguns fatores que podem complicar o ensino de cladística, como a interpretação errônea das árvores evolutivas e a pouca compreensão do processo de evolução biológica.

As más interpretações das árvores evolutivas são, na maioria das vezes factuais, ou seja, o aluno por não entender muito bem as regras de interpretação dos cladogramas, interpreta as árvores evolutivas e até mesmo o processo evolutivo de forma equivocada. Para atenuar esses equívocos é importante que a apresentação das regras dos cladogramas sejam passadas de forma clara, e exercitadas ao longo do aprendizado, com o professor podendo tornar o livro didático seu aliado nesse processo, nos casos em que o material possibilita essa parceria.

Mas as noções de grupos inferiores e superiores, que vemos no 3º tópico, e a noção de grupos primitivos observado no 5º tópico dos equívocos comuns em relação às árvores evolutivas apresentados por Araújo e Vieira (2021), que vimos no capítulo dois são ideias caracterizadas pela confusão em relação a compreensão do processo evolutivo.

Como já mencionado algumas vezes nesse trabalho, a evolução é o pilar estruturador do conhecimento biológico. A evolução da vida não versa apenas sobre a biodiversidade contemporânea e os organismos pretéritos, mas também sobre moléculas, genes, mutações, desenvolvimento biológico, sexo, saúde e na cultura humana (Araújo, 2017). Logo, a evolução biológica deve guiar o ensino de biologia nas escolas, mas como mencionamos anteriormente neste trabalho, infelizmente isso não ocorre na prática. O ensino de evolução como norteador

do ensino de biologia, ajudaria no rompimento das áreas de conhecimento biológico como ramos separados, além de explicitar ao longo da exposição de conteúdo das diversas áreas a noção desse processo tão central no paradigma biológico atual.

Os livros de Araújo e Vieira (2021), Araújo (2017) usados como referência deste trabalho, e o primeiro volume do livro de Araújo e Vieira, “Ensino de Biologia: uma perspectiva evolutiva/ Volume I: Interdisciplinaridade e evolução”, podem ser aliados poderoso para um ensino de biologia permeada pela evolução biológica. Nos três livros, os autores mostram maneiras de abordar diferentes conteúdos da biologia, como citologia, imunologia, embriologia, microbiologia, ecologia, micologia, tratando de maneira simultânea e relacionando essas áreas com a evolução biológica.

Avistando então, que a compreensão evolutiva interfere na interpretação de cladogramas, ou às vezes a interpretação equivocada de um cladograma pode passar a visão errada da evolução biológica, é importante que o professor se atente a esse fator, a modo de evitar possíveis confusões. Algumas das principais confusões a respeito da evolução apontadas por Santos e Calor (2007), que mostramos no capítulo dois, podem também gerar confusões na hora de interpretar as árvores filogenéticas.

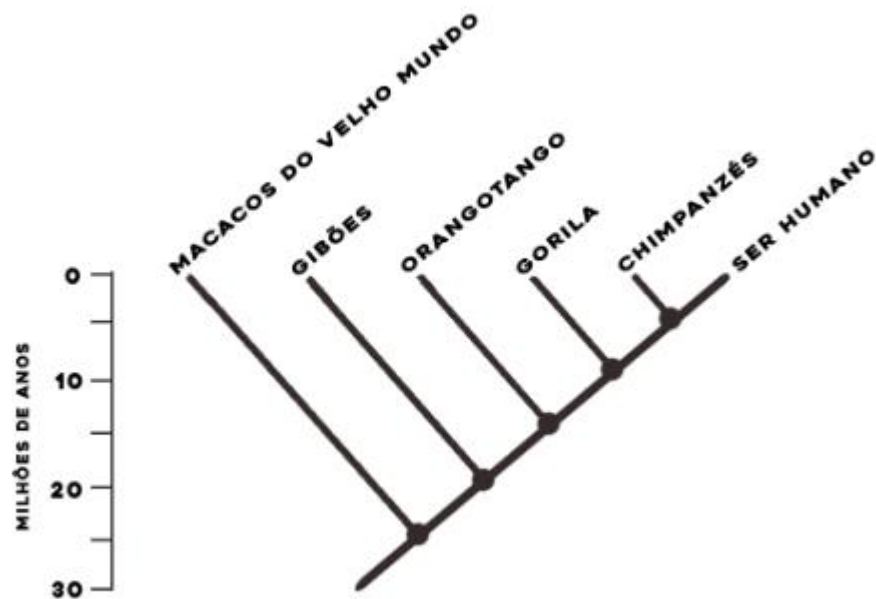
Não assimilar a dimensão temporal do processo evolutivo, pode distorcer a interpretação de um cladograma por parte de um aluno, fazendo-o perder a noção desse fator abiótico tão importante para a evolução, que conhecemos como “tempo”. Muitas vezes as árvores evolutivas são apresentadas de maneira que não apresentem claramente a dimensão temporal dos processos evolutivos.

A duração da vida humana, é desprezível quando comparada com a quantidade de tempo em que as formas de vida já habitam a terra. E partindo de uma visão intuitiva da sua própria vida, o aluno quando apresentado a um cladograma que não apresente a escala de tempo, pode achar que a evolução acontece de maneira rápida e abrupta. Justamente por ser uma dimensão muitas vezes incompreensível para as noções humanas, a dimensão temporal do processo evolutivo, pelo menos enquanto está apresentando o conteúdo de evolução e sistemática filogenética, devem ser reforçadas sempre que possível, até tornar-se para os discentes, a grande escala dessa dimensão inerente ao processo evolutivo.

Você pode estar se questionando, “mas a dimensão temporal está presente nos cladogramas”, sim realmente está, mas está ocultada e presente de forma não aparente. Da base do cladograma, aos ramos terminais, é intrínseco que houve um intervalo de tempo para que a evolução dos grupos acontecesse. Para atenuar esse problema, uma alternativa é que os

cladogramas, em um primeiro momento estabeleça um quantitativo temporal claro, para que os alunos tomem conhecimento e assimilem a dimensão temporal, como exemplificado na figura 8:

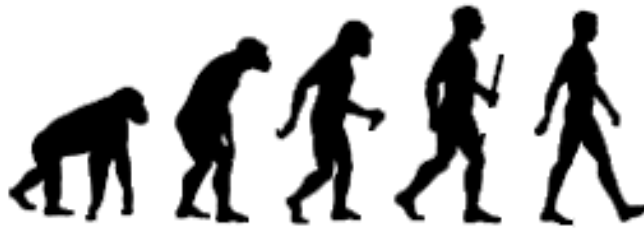
Figura 8



Fonte: Imagem adaptada de uma representação comum da história evolutiva dos primatas, feita por Kauan Santos, 2024.

Geralmente, em um cladograma, as linhagens são representadas como linhas, e isso também pode gerar confusão na interpretação de um cladograma por um aluno. Quando pensamos em linhas em um cladograma, um discente pode estabelecer inconscientemente que estamos nos referindo que o processo de modificação das linhagens se dá por relações diretas e lineares, que se parece com o raciocínio errôneo que a fila de primatas, representação tão famosa no mundo da biologia, transparece, representado na figura 9:

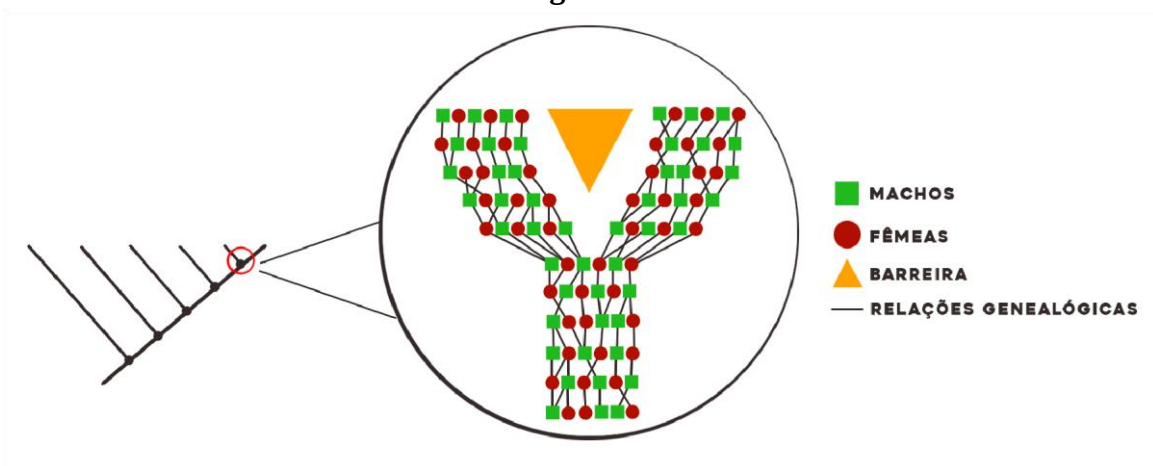
Figura 9 - Fila de primatas



Fonte: Imagem adaptada da errônea e famosa “fila de primatas”.

Uma possível alternativa para esse problema, é apresentar para os alunos que as linhas que formam os cladogramas, na verdade representam populações, e não uma fila única de indivíduos. A figura 10, demonstra a ideia que deve ser passada.

Figura 10



Fonte: Imagem criada por Kauan Santos e Caio Santos.

As linhas de um cladograma vistas de perto seriam um grande heredograma, que é uma representação gráfica das relações de parentescos entre os indivíduos. Essa associação entre cladograma e heredograma pode ser benéfico também no ensino de genética, sobretudo a genética de populações que é uma das bases para a boa compreensão plena do pensamento ecológico e evolutivo.

Outro fator, importantíssimo para o ensino de sistemática, e que Santos e Calor (2007) indicam que é uma dificuldade também encontrada no ensino de evolução, é a relação entre o ser humano e os outros animais, resumindo a ancestralidade comum entre os seres vivos. Um possível caminho para a resolução deste problema, seria fazer uma analogia com as famílias

reais, ou famílias famosas ou até famílias fictícias de seriados, filmes e desenhos. Nessas famílias geralmente as genealogias são bem documentadas, o que dá pra fazer um paralelo com a evolução dos seres vivos. Vamos dizer, que iremos apresentar uma família real que tenha documentado sua genealogia nos últimos 400 anos.

O ponto fundamental para essa analogia é demonstrar que, assim como essa família real tem a relação de ancestrais descendentes, a evolução dos seres vivos também tem, só que numa escala de tempo muito maior, estipulando no mínimo milhares de anos. Assim como nessa família real, nenhum indivíduo é igual, possuindo cada um sua singularidade, os indivíduos de uma população de animais também não são, e essa singularidade através da descendência com modificação ao longo do tempo gera diferenciação nos organismos. Basicamente, assim funciona o mecanismo de evolução, as analogias com famílias reais, famosas ou fictícias, tem o princípio básico de demonstrar que vemos seres vivos muito diferentes, pois o processo de evolução ao longo dos 4,3 bilhões de anos deu conta disso.

Se pegarmos a família real do nosso exemplo, e fosse possível simular como essa linhagem seria daqui 100.000 milhões de anos, não é possível saber exatamente com o que iríamos nos deparar, mas como certeza veríamos indivíduos muito diferentes, do que observamos naquela primeira genealogia que abrange 200 anos. Essa comparação, se feita na forma de heredogramas, pode servir para ajudar também a evitar erros de interpretação de cladogramas. Ele pode mostrar, por exemplo, que dois irmãos possuem os pais em comum, que primos de primeiro grau possuem avós em comum. E que, assim, a proximidade se dá por quão recente é o último ancestral comum. Outro benefício é o de mostrar que, entre dois irmãos, não há um deles que seja mais aparentado a um primo, só pela proximidade espacial no heredograma.

4.4 Uso da sistemática como ferramenta para o ensino da teoria evolutiva

Foi citada à exaustão neste trabalho, que a evolução biológica é o eixo central e integrador da biologia. Com isso, não é difícil considerar o ensino de evolução primordial para o entendimento de qualquer área das ciências biológicas. Devido a essa importância da Evolução biológica, Santos e Calor no artigo ENSINO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA UTILIZANDO A ESTRUTURA CONCEITUAL DA SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA – I, publicado em 2007, apresentam um ensino da evolução biológica pautado em conceitos fundamentais da Sistemática filogenética. A ideia dos autores com essa metodologia é passar para os alunos noções do processo evolutivo utilizando a sistemática filogenética como eixo

estruturador do ensino de evolução. Santos e Calor (2007) argumentam que o primeiro passo para o ensino de evolução com uma abordagem filogenética é concentrar o estudo no conceito de homologia. Se repararmos, a linguagem biológica ainda é pautada por analogias e não por homologias. Asa de borboletas, Asa de morcego, Asa de aves, Asa de avião são exemplos disso, mesmo possuindo história evolutivas diferentes, e no caso da asa de avião, nem ser uma estrutura biológica, todas essas estruturas levam o mesmo nome. Visto isso é necessária uma reviravolta conceitual no ensino de biologia. Para Santos e Calor (2007):

O conceito moderno de homologia enraíza-se em uma visão da natureza fundamentada na ideia de que mudanças na função de estruturas orgânicas são anteriores às alterações morfológicas dessa estrutura durante a evolução. A partir dessa perspectiva, professores serão capazes de apresentar a evolução como um conjunto de modificações contínuas de funções ao longo do tempo, eventualmente seguidas de modificações da morfologia. Isso nos previne de uma terminologia finalista (“esta estrutura serve para...”) uma vez que estruturas podem permanecer inalteradas por muitas gerações e ainda assim apresentar mudanças de natureza fisiológica e/ou comportamental ao longo do tempo (Santos & Calor, 2007, p. 4)

Eles citam o exemplo das pernas dos artrópodes. Em algumas linhagens fósseis como as das trilobitas, esses animais tinham numerosos pares de pernas, com pouquíssimo grau de especialização observável. Já em outros grupos, esses apêndices se modificaram consideravelmente ao longo da evolução do grupo, se tornando às vezes apêndices ultra especializados. É fato de que os apêndices de todos os artrópodes são homólogos; apresentam diversas variações de morfologia, mas se trata de uma mesma estrutura derivada do ancestral comum do grupo, que se diferenciou ao longo do tempo.

Como reiteram Santos e Calor, jogar à luz o conceito de homologia no ensino de evolução, torna a ideia de ancestralidade comum de todos os seres vivos mais palpável aos alunos. E são vários os exemplos de homologias que os professores podem usar a seu favor: A epiderme de uma medusa tem a mesma origem evolutiva da epiderme de uma planária, de um peixe ou da nossa própria, uma vez que ela se originou no ancestral comum dos eumetazoários; alguns grupos de animais têm vértebras, que são modificações de uma estrutura esquelética presente no ancestral comum de todos os vertebrados (isso significa que as vértebras, nos diferentes grupos, são estruturas homólogas). Assim, todos os animais vertebrados estão conectados pelo processo evolutivo, e descendem de um único ancestral no qual apareceram, pela primeira vez, estruturas homólogas às vértebras das espécies recentes.

Depois de um bom entendimento do conceito de homologia, para uma boa compreensão do ensino de evolução, os autores, destacam a importância de explicitar como novas espécies

são geradas. Exibir uma árvore evolutiva com os animais (e outros organismos) distribuídos em seus ramos terminais parece ser insuficiente, pois é necessário que isso esteja sustentado por um arcabouço conceitual prévio (Santos & Calor, 2007). O principal ponto é explicitar que o surgimento de novas espécies ocorre a partir de um processo de cladogênese (Separação de uma linhagem) e acúmulo de diferenças ao longo da história evolutiva da linhagem. Ótimo, mas como consigo explicar esse processo na prática?

Santos e Calor, sugerem a utilização da árvore genealógica da família do aluno, e que isso pode auxiliar na assimilação do aluno com esse processo. Utilizando uma genealogia (um esquema simples que represente os avós, seus filhos e os descendentes destes), é possível abordar e explorar conceitos como ancestralidade comum, grupo-irmão e variação intrínseca (Santos & Calor, 2007). Não é difícil perceber que dentro de uma população existe variação entre os indivíduos, e apesar de ser bem parecido, você não é igual ao seu pai, nem sua mãe. Explicitar isso para o aluno pode ajudá-lo a entender que a criação de uma nova espécie nada mais é que o extremo acúmulo de diferenças que uma linhagem pode adquirir. É importante fazer o aluno conjecturar que, daqui 20 gerações, sua linhagem familiar vai ser diferente do que é hoje, imagina quando extrapolam esse tempo para o processo evolutivo, milhões e milhões de anos de separação e acúmulo de diferenças. Esse é o mecanismo que gerou a grande biodiversidade que encontramos hoje no mundo natural.

Abrindo um parêntese nos argumentos de Santos e Calor, acho necessário deixar uma ressalva. Tocar em genealogia familiar em uma sala de aula de escolas do ensino básico, principalmente em escolas públicas, pode ser um ponto bem sensível para diversos discentes. Um professor lida com diversas realidades no ambiente escolar, alunos com pai ausente, pelos mais diversos motivos, alunos adotados, pais separados, alunos sem pais e por aí vai. Ao pedir que os alunos reflitam sobre sua genealogia familiar, traumas, lembranças ruins e vários outros sentimentos adversos podem ser despertados, tornando o clima de sala de aula desagradável. Se tratando de crianças e adolescentes, existe o risco de os alunos afetados serem alvos de piadas e ofensas, devido à instabilidade estrutural de sua família. A ideia de Santos e Calor, não é abominável, pelo contrário, usar essas analogias com alunos as quais possuem famílias bem estruturadas, pode funcionar excelentemente, mas uma sala de aula é um ambiente diverso, infinitas realidades estão contempladas nela. No lugar disso, deixar aberto para que os estudantes investiguem famílias de pessoas públicas pode gerar os mesmos benefícios, sem desvantagens.

5 Considerações finais

Neste trabalho vimos que a sistemática filogenética surgiu para organizar e classificar os seres vivos a partir de um paradigma evolutivo, mencionamos brevemente como foi seu desenvolvimento e por que a sistemática nos dias de hoje, é filogenética. Partindo da evolução como premissa, observamos que a sistemática filogenética sem um bom aporte do conhecimento teórico da evolução biológica, pode ter seu processo de ensino e aprendizagem deficiente, podendo influenciar na errônea interpretação dos alunos ao observarem um cladograma.

Posteriormente, analisamos os conteúdos de sistemática filogenética em alguns livros didáticos aprovados pelo PNLD nas últimas décadas, a partir dos trabalhos de Barbosa (2021) e Rodrigues, Justina e Meglhioratti (2011). Ponderamos sobre a disponibilidade do conteúdo de cladística na BNCC, e argumentamos que mesmo não sendo mencionada no documento, a sistemática filogenética pode ser um ótimo condutor para o ensino de ciências, focando na ideia de que a compreensão da biodiversidade parte da comparação minuciosa e possui uma dimensão cultural. Por fim, apoiados no trabalho de Robin Millar (2003), justificamos o ensino de sistemática filogenética com base no argumento cultural, pois os elementos desta área dizem respeito à biodiversidade, incluindo involuntariamente o ser humano. Ademais, a cladística é constituída de elementos que são importantes para o autoconhecimento e pertencimento da humanidade a diversidade da vida. Exaltamos, ainda, o potencial desta área do conhecimento como uma via de acesso a beleza e maravilhamento do mundo natural, defendemos que a beleza natural iminente das formas de vida que habitam a terra, se tornam ainda mais belas carregadas do aporte teórico intrínseco desta ciência.

Este trabalho abre algumas portas, que ele mesmo não foi capaz de fechar, mas que podem ser exploradas futuramente podendo gerar resultados exuberantes. Explorar o conteúdo de sistemática filogenética em livros didáticos mais atuais, tecer maneiras contundentes de trabalhar a cladística ancorados nas competências e habilidades postas pela BNCC, assim como, explorar mais a fundo as minúcias do processo de ensino-aprendizagem, são alguns pontos que seriam muito interessantes para esquadrihar com mais detalhe em trabalhos posteriores. Seria muito interessante também ter a possibilidade de elaborar, executar e avaliar propostas de ensino e levar às escolas as alternativas para o ensino de sistemática filogenética produzidas neste trabalho.

Em suma, apesar de rigorosa e metódica, a sistemática filogenética é bonita, nos lembrando que apesar de aparentemente distantes, todos os seres vivos, são filhos de uma mesma mãe, separados pelo processo evolutivo. Trazendo de Couto (2007), para concluir esta jornada, a Biologia poderia se assumir como autora de uma espantosa narração que é o relato da Evolução da Vida na Terra: "Podem ter a certeza de que a História da Evolução é tão extraordinária que só pode ser escrita juntando o rigor da ciência ao fulgor da arte".

Referências

- AMORIM, D. S. **Fundamentos de sistemática filogenética**. Ribeirão Preto: Holos, 2002.
- ARAÚJO JUNIOR, A.C. **Meu amanhecer vai ser de noite**: Uma reflexão sobre formação de professores de biologia para a Educação de Jovens e Adultos. 2019. p. 261. Tese de Doutorado em Educação em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- ARAÚJO, L. A. L. *Evolução Biológica*. **Porto Alegre, RS: Editora Fi**, 2017.
- ARAÚJO, L. A. L.; VIEIRA, G. C. **Ensino de Biologia: uma perspectiva evolutiva/ Volume II: Biodiversidade & Evolução**. Porto Alegre: Instituto de Biociências da UFRGS, 2021. 407p.
- ARIZA, F.; MARTINS, L. A. P. A *Scala naturae* de Aristóteles na obra *De generatione animalium*. **Filosofia e História da Biologia**, v. 5, n. 1, p. 21-34, 2010.
- BARBOSA, H. G. L. **Análise dos conteúdos de sistemática filogenética e taxonomia nos Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio aprovados pelo PNLD 2018**. p. 48. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Humanas e Biológicas (CCHB), Universidade de São Carlos, Sorocaba, 2021.
- BRUSCA, R. G.; MOORE, W.; SHUSTER S. M. **Invertebrados**. 3. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2018.
- COUTO, M. Mitos e Pecados de uma disciplina científica: Rios, cobras e camisas de dormir. In: SOARES, A. (Coord.) *Biologias na noite*. Aveiro: Edições Afrontamento. 2007.
- DALAPICOLLA, J.; SILVA, V. A.; GARCIA, J. F. M. Evolução biológica como eixo integrador da biologia em livros didáticos do ensino médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, n. 1, p. 150-173, 2015.
- DI DOMENICO, M.; AGUIAR, L.; GARRAFFONI, A. Desafios da taxonomia: uma análise crítica. **Revista Orbis Latina**-ISSN: 2237-6976, v. 2, n. 1, 2012.
- KLASSA, B.; SANTOS, C. M. D. 50 ANOS DE SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA: ANÁLISE DO LIVRO FILOGENÉTICA, PRIMEIROS PASSOS E PROSPECÇÕES PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 6, p. 22-34, 2017.
- KLEPKA, V.; CORAZZA, M. J. O essencialismo na classificação de Lineu e a repercussão dessa controvérsia na Biologia. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 18, p. 73-110, 2018.
- MACÊDO, G. **Empregada doméstica de 48 anos se emociona ao olhar formiga em microscópio pela 1ª vez em escola**. Goiás, g1, 2022. Disponível em: endereço: [Empregada doméstica de 48 anos se emociona ao olhar formiga em microscópio pela 1ª vez em escola: vídeo | Goiás | G1 \(globo.com\)](https://g1.globo.com/goias/noticia/empregada-domestica-de-48-anos-se-emociona-ao-olhar-formiga-em-microscopio-pela-1a-vez-em-escola-video-1.2022-08-28.html) Acesso em: 28 ago. 2024.
- MAYR, E. **Biologia, ciência única**. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2005.

MEDEIROS, T. D. A.; MAIA, E. D. A teoria da evolução: as dificuldades encontradas na relação ensino-aprendizagem. **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2013.

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

MILLAR, R. Um currículo de ciências voltado para a compreensão por todos. **Ensaio**, vol 5 , nº 2 , p. 73-91, 2003.

OSWALD, C. B.; DIAS, C. A. R.; GARBINO, G. S. T.; OLIVEIRA, J. C. P. (Orgs.). Princípios de sistemática zoológica: material de apoio para o I CVSZ. Belo Horizonte: **PGZoo UFMG**, 2020., 2020.

PINNA, M. C. C. D. (2001). Conrad Gesner e a sistemática biológica. **Ciência hoje**, 30(178), 81-84.

SANTOS, C. M. D.; KLASSA, B. Sistemática filogenética hennigiana: revolução ou mudança no interior de um paradigma? **Scientiae Studia**, v. 10, p. 593-612, 2012.

SANTOS, C. M. D.; KLASSA, B. Despersonalizando o ensino de evolução: ênfase nos conceitos através da sistemática filogenética. **Educação: teoria e prática**, v. 22, n. 40, p. 62-80, 2012.

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

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R. D.; CARVALHO, C. J. B. D.; CASARI, S. A.; & CONSTANTINO, R. (2024). **Insetos do Brasil**: diversidade e taxonomia.

RIDLEY, M. **Evolução**. Porto Alegre: Artmed Editora. 2009.

RODRIGUES, M. E.; JUSTINA, L. A. D.; MEGLHIORATTI, F. A. O conteúdo de sistemática e filogenética em livros didáticos do ensino médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 65-84, 2011.

ROQUE, I.R. Girafas, mariposas e anacronismos didáticos. **Ciência Hoje**, 34, 64-67, 2003.