

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO**

LEONARDO AUGUSTO LUVISON ARAÚJO

**DESAFIOS DE UM ENSINO PLURALISTA
E INTEGRADO DE EVOLUÇÃO**

análise de um curso de
formação continuada para
professores e biólogos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação.

Orientador: Luís Henrique Sacchi dos Santos

Linha de pesquisa: Estudos Culturais em Educação

Porto Alegre
2020

CIP - Catalogação na publicação

Araújo, Leonardo Augusto Luvison
Desafios de um ensino pluralista e integrado de
evolução: análise de um curso de formação continuada
para professores e biólogos / Leonardo Augusto Luvison
Araújo. -- 2020.
233 f.
Orientador: Luís Henrique Sacchi dos Santos.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de
Pós-Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Ensino de Evolução. 2. Evolução Biológica. 3.
Formação continuada. I. dos Santos, Luís Henrique
Sacchi, orient. II. Título.

LEONARDO AUGUSTO LUVISON ARAÚJO

**DESAFIOS DE UM ENSINO PLURALISTA E INTEGRADO DE
EVOLUÇÃO: ANÁLISE DE UM CURSO DE FORMAÇÃO
CONTINUADA PARA PROFESSORES E BIÓLOGOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação.

Aprovada em: __/__/____/

Luís Henrique Sacchi dos Santos
Prof. Orientador

Charbel Niño El-Hani
Membro titular

Luiz Caldeira Brant de Tolentino Neto
Membro titular

Maria Lúcia Castagna Wortmann
Membro titular

Dedico esta tese à *minha família* – Clarita, Clélio e Lucas, por
todo o apoio incondicional nesta caminhada.
À *Bethielle*, por todo o amor e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas foram essenciais para o desenvolvimento desta tese: professores, colegas, alunos, pesquisadores, amigos e familiares. Ainda que apenas um nome conste na autoria da pesquisa, inúmeras foram as mãos e mentes que deixaram marcas nestas páginas.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Luís Henrique Sacchi dos Santos, que me aceitou como orientando mesmo sendo um ‘alienígena’ em sua linha de pesquisa. Obrigado por permitir que eu mudasse de projeto e por ter proporcionado plenas condições para que eu conduzisse a investigação com autonomia.

O desenvolvimento da tese foi possível graças aos colegas e alunos do Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS. Por isso, um especial agradecimento a todos os colegas que fizeram parte deste projeto. Obrigado pela camaradagem e aprendizado compartilhado ao longo deste caminho! Agradeço aos alunos que frequentaram o Curso de Biologia Evolutiva. A troca de experiência, o retorno, os questionários preenchidos, a empolgação pelo conhecimento evolutivo... Tudo isso deu sentido àquela máxima de que ‘ser professor é aprender com os alunos’.

Uma palavra de agradecimento às entidades que apoiaram institucionalmente o Curso de Biologia Evolutiva, principalmente o Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular e o Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRGS. Três professores em especial merecem reconhecimento pelo apoio ao longo deste tempo: Aldo Mellender de Araújo, Russel T. Dutra da Rosa e Maria João Pereira.

Aos colegas de orientação no PPGEduc pela parceria nessa etapa difícil que é a pós-graduação. As reuniões do grupo ao longo destes quatro anos foram muito significativas, agradeço pelo convívio e troca de conhecimentos.

A todos os brasileiros que através dos seus impostos proporcionaram uma bolsa de doutorado pelo CNPq, possibilitando que esta investigação seja desenvolvida. Os quatro anos de pesquisa ocorreram em tempos difíceis para cada um de nós, para a Universidade, para o Brasil. A difícil tarefa de promover valores democráticos, de igualdade e desenvolvimento social, é um compromisso necessário que assumo na continuidade da minha vida acadêmica.

RESUMO

Os desafios ao ensino de evolução são amplamente discutidos na literatura acadêmica. Tornar a evolução biológica um eixo central no ensino de biologia, tanto na educação básica quanto superior, é defendido por muitos pesquisadores da área. Esta pesquisa de doutorado compreende que uma abordagem integrada de evolução deve ser acompanhada de uma perspectiva pluralista do conhecimento evolutivo, uma vez que sem o pluralismo a biologia não consegue dar conta das explicações evolutivas complexas. Neste sentido, esta investigação pretende fazer um duplo movimento: apresentar uma análise histórica e filosófica sobre o pluralismo evolutivo e refletir sobre os desafios e as potencialidades de um ensino pluralista e integrado de evolução no contexto de uma atividade de formação continuada. O chamado Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS - projeto de extensão voltado para a formação continuada de professores e biólogos - tem a participação de ministrantes oriundos de diferentes registros disciplinares. A inserção de discussões evolutivas provenientes de distintas disciplinas biológicas e de perspectivas das ciências humanas representa um estudo de caso importante para analisar e refletir sobre uma abordagem pluralista de ensino de evolução. Tal investigação será aprofundada na tese ao longo de três eixos: o primeiro eixo discute a questão do pluralismo no conhecimento evolutivo em suas dimensões históricas, filosóficas e científicas. Tomando o Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS como um estudo de caso, o segundo eixo aborda os desafios e as potencialidades de um ensino pluralista de evolução. O terceiro eixo detalha o desenvolvimento, a validação e a análise de um questionário quali-quantitativo de pesquisa respondido pelos alunos que frequentam o referido curso.

Palavras-chave: formação continuada; evolução biológica; ensino de evolução; história e filosofia da biologia; estudos culturais da ciência.

ABSTRACT

The challenges of teaching evolution are widely discussed in the academic literature. An attempt to establish the centrality of evolution in biology teaching has been argued by many researchers. This research understands that a pluralistic perspective is essential when it comes to establishing the centrality of evolution in biology teaching. In this sense, this research aims to make a double movement: present a historical and philosophical analysis about evolutionary pluralism and to reflect on the challenges and potentialities of a pluralistic and integrated teaching of evolution in the context of a continuous formation. The so-called Evolutionary Biology Course at UFRGS - extension project aimed to teachers and biologists - has the participation of teachers from different academic disciplines. The insertion of evolutionary discussions from biological disciplines and perspectives of the humanities represents an important case study to analyze a pluralistic approach to teaching evolution. Such investigation will be reported in the thesis along three axes: the first axis discusses the question of pluralism in evolutionary knowledge in its historical, philosophical and scientific dimensions. The second axis addresses the challenges and potentialities of a pluralistic teaching of evolution in the Evolutionary Biology Course at UFRGS as a case study. The third axis details the development, validation and analysis of a qualitative and quantitative research questionnaire answered by the students who attend this course.

Keywords: continuing education; biological evolution; evolutionary teaching; history and philosophy of biology; cultural studies of science.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Na esquerda, representação dos *spandrels*, com seus espaços cônicos “acidentais”. Na direita, uma foto interna da basílica de São Marcos, em Veneza 39
- Figura 2. Uma representação da história da vida que reflete os processos de transmissão vertical e horizontal. Essa representação propõe uma substituição da metáfora da árvore por uma teia da vida..... 61
- Figura 3. Gráfico mostrando a porcentagem de inscritos, segundo a área de formação/atuação, na edição 2019/1. Outros Cursos – estudantes de Psicologia, Biomedicina, Farmácia, Medicina, Educação Física, Geografia, Filosofia, Pedagogia, Fisioterapia, Física, entre outros em menor proporção 90
- Figura 4. Gráfico mostrando a porcentagem de inscritos, segundo a área de formação/atuação, na edição 2019/2 90
- Figura 5. Distribuição dos elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva, ao longo das edições em 2018 e 2019. (E1) – conceitos básicos de biologia evolutiva; (E2) - concepções alternativas; (E3) – pluralismo teórico; (E4) - ensino de evolução; (E5) – história e filosofia da ciência; (E6) – temáticas sociocientíficas e o contexto local; (E7) – produção dos cursistas 132-133
- Figura 6. Visão geral do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto..... 140
- Figura 7. Encarte do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto, mostrando uma sequência temporal das eras e períodos geológicos da Terra. Estes desenhos e as informações do encarte também estão expostos no museu, junto com fósseis representativos de cada período 142
- Figura 8. Visita guiada ao Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto. Edição 2018/2 (acima) e 2019/1 (abaixo) 147
- Figura 9. Análise de similitude das respostas para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?”. Acima, a análise pré-curso, 2019/1 (n = 61). Abaixo, a análise pós-curso, 2019/1 (n = 45)..... 150
- Figura 10. Dendrograma obtido pelo método CHD das respostas para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pré-curso 2019/1, n = 61)..... 152
- Figura 11. Dendrograma obtido pelo método CHD das respostas para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pós-curso 2019/1, n = 45) 153
- Figura 12. Fluxograma do processo de desenvolvimento do instrumento de pesquisa e do banco de questões 161

Figura 13. Filogenia simplificada dos vertebrados utilizada para responder aos itens Q, R, S, T e U do questionário validado..... 165

Figura 14. Os estudantes endossam menos concepções alternativas à medida que possuem mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica. O mesmo padrão é observado em relação às interpretações erradas de filogenias, embora de modo menos marcado. Este padrão não é encontrado no eixo sobre conceitos pluralistas de evolução, no qual todos os grupos estão próximos 178

Figura 15. Porcentagem de concordância em relação aos itens do eixo concepções alternativas, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação aos itens C ($\chi^2 = 4.955$ $p = 0.026$) e H ($\chi^2 = 6.215$ $p = 0.013$). Os pós-graduandos diferem de ambos os grupos de ciências biológicas (início e avançado) no item B. *, $p < 0.05$ 180-181

Figura 16. Porcentagem de concordância em relação aos itens do eixo pluralismo evolutivo, por grupo de formação acadêmica 183

Figura 17. Porcentagem de concordância nos itens do eixo interpretação de filogenias, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação ao item R ($\chi^2 = 3.908$ $p = 0.048$) 185

Figura 18. Número médio de concepções alternativas, conceitos pluralistas e interpretações erradas de filogenias antes do curso (verde transparente) e após frequentar o curso (verde sólido), por grupo de formação acadêmica. Há uma diminuição no número médio de concepções alternativas e interpretações erradas de filogenias após o curso em todos os grupos. Todos os grupos também endossam, em média, mais conceitos pluralistas. As diferenças pré e pós-curso são estatisticamente significativas ($p < 0.05$, teste t) 188

Figura 19. Porcentagem de concordância dos itens L, Q e T pré e pós-curso, por grupo de formação acadêmica. Estes itens foram os que mostraram maior diferença entre os alunos antes e após frequentar o curso (acima de 30%) 192

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Distribuição dos participantes da edição 2019/1 em relação à religião, sexo, formação e IES de origem (n = 79) 92-93
- Tabela 2. Distribuição dos participantes da edição 2019/2 em relação à religião, sexo, formação e IES de origem (n = 77) 93
- Tabela 3. Cálculo do CVC dos itens selecionados para o questionário validado, em relação à clareza e representatividade. Valor de erro $Pe = 0,00002$ 165-166
- Tabela 4. Número de estudantes (nas edições 2019/1 e 2019/2) que preencheram todos os itens do questionário, por grupo de formação acadêmica 177
- Tabela 5. Distribuição dos respondentes que preencheram completamente o questionário de pesquisa nas edições 2019/1 e 2019/2, em relação a sexo, religião e IES de origem. Acima, os respondentes pré-curso e, abaixo, os respondentes pós-curso 177-178
- Tabela 6. Porcentagem de concordância, para cada um dos itens do questionário, considerando as respostas totais pré-curso (n = 122) e pós curso (n = 95) obtidas nas edições 2019/1 e 2019/2 189-190

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Uma comparação dos pressupostos centrais da síntese evolutiva e da síntese evolutiva estendida.....	52
Quadro 2. Proposta de classificação e organização das categorias científicas, filosóficas e históricas mobilizadas pelos proponentes da síntese evolutiva e da síntese evolutiva estendida.....	56
Quadro 3. Os processos evolutivos que as atividades do Curso de Biologia Evolutiva e os capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino” priorizam. Estas atividades podem discutir outros mecanismos, mas os processos evolutivos apontados são priorizados nas abordagens sobre mudanças evolutivas. Na última coluna, encontram-se definições e discussões destes processos em atividades do curso e nos capítulos do livro.....	100-101
Quadro 4. As unidades evolutivas e de seleção presentes nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”.....	104-105
Quadro 5. O pluralismo de hereditariedade presente nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”. Algumas atividades/capítulos privilegiam a interação entre duas formas de herança, como as discussões sobre evolução humana e a coevolução gene-cultura.....	107
Quadro 6. O pluralismo de padrão presente nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”.....	108
Quadro 7. Problemas, conceitos, áreas e temas abordados em cada um dos elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva nas edições 2018 e 2019.....	134-135
Quadro 8. Algumas concepções alternativas sobre evolução, segundo o site <i>Understanding Evolution</i> (https://evolution.berkeley.edu).....	137
Quadro 9. Conceitos e concepções contemplados em cada item do questionário.....	160-161
Quadro 10. Questionário final, já validado, com as afirmações que expressam concepções alternativas, pluralismo evolutivo e interpretação de filogenias. Os respondentes pontuam seu grau de concordância/discordância através de uma escala Likert de 4 pontos.....	166-167

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A. Programação das edições 2018/1, 2018/2, 2019/1 e 2019/2.....	217-225
Apêndice B. Questionário quali-quantitativo de pesquisa	226-230
Apêndice C. Análises de similitude e CHD para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pré e pós-curso 2019/2).....	231-233

SUMÁRIO

Introdução	16
O Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS	20
Objetivos	24
Procedimentos metodológicos	24
Uma breve reflexão sobre as observações do curso.....	26

EIXO I

PLURALISMO E INTEGRAÇÃO NA BIOLOGIA EVOLUTIVA

1 A retórica de unificação na biologia evolutiva: aspectos científicos, históricos e filosóficos	32
1.1 A síntese evolutiva e o ideal de unificação da biologia	33
1.2 Os sinais de desunificação da síntese evolutiva.....	38
1.3 A influência da “historiografia da síntese”	43
1.4 As novas propostas de unificação	50
1.5 As propostas de síntese do conhecimento evolutivo mobilizam categorias científicas, históricas e filosóficas.....	53
2 O pluralismo evolutivo	58
2.1 A prática científica como fundamento do pluralismo evolutivo.....	60
2.2 As bases metafísicas do pluralismo evolutivo	65
2.3 Algumas consequências do pluralismo evolutivo	68
3 A centralidade da evolução no ensino de biologia	72
3.1 A proeminência da genética de populações na teoria evolutiva	75
3.2 O monopólio da genética mendeliana	77
3.3 Seleção natural como explicação padrão da evolução	79
3.4 A distinção entre causas próximas e causas últimas	81
3.5 Em direção a uma abordagem mais pluralista no ensino de evolução.....	83

EIXO II

PLURALISMO E INTEGRAÇÃO NO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

4 O contexto do Curso de Biologia Evolutiva e o perfil dos participantes	88
5 O pluralismo do Curso de Biologia Evolutiva	97
5.1 Pluralismo teórico no Curso de Biologia Evolutiva.....	99
5.2 Privilegiando história e filosofia da biologia e o contexto local.....	109
5.3 Temáticas sociocientíficas: raça, gênero, religião e política.....	113
Uma antropóloga no Curso de Biologia Evolutiva: tensionando o conceito biológico de raça.....	113
Evolução, política e pós-verdade	121
6 Currículo do Curso de Biologia Evolutiva	129
6.1 Elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva.....	131
6.2 Visita guiada ao Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto	139
6.3 O Curso de Biologia Evolutiva e a disciplinarização da evolução biológica	148

EIXO III

FORMAÇÃO INICIAL E CONTINUADA EM EVOLUÇÃO BIOLÓGICA: UMA ANÁLISE A PARTIR DO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

7 Desenvolvimento e validade de conteúdo do questionário de pesquisa	156
7.1 Desenvolvimento do questionário de pesquisa	157
7.2 Validação de conteúdo do questionário de pesquisa.....	162
7.3 Os conceitos e as concepções evolutivas contempladas no questionário validado.....	167
Concepções alternativas	167
Pluralismo evolutivo	170
Interpretação de filogenias	172

Ponderações finais.....	174
8 As respostas dos alunos quando chegam ao curso: um estudo comparativo entre graduandos em ciências biológicas e pós-graduandos	175
9 As respostas dos alunos após o Curso de Biologia Evolutiva	187
Considerações finais	196
Referências bibliográficas	202

INTRODUÇÃO

A biologia evolutiva não discorre apenas sobre a biodiversidade contemporânea e os organismos pretéritos, mas também sobre moléculas, genes, mutações, desenvolvimento biológico, saúde e sobre uma dimensão importante da espécie humana: a cultura. É por isso que os métodos de investigação, os conceitos e as perspectivas teóricas da biologia evolutiva não se encontram apenas nas ciências biológicas, mas também em outras ciências básicas e aplicadas. Psicologia, medicina, antropologia e filosofia, apenas para citar algumas áreas, têm muitos pontos de contato com a biologia evolutiva, e determinadas aplicações sociais em áreas como as ciências da saúde, agricultura e ciências ambientais, também inserem o conhecimento evolutivo em suas práticas (FUTUYMA, 2002).

O conhecimento evolutivo tem uma capacidade singular de permear as ciências da vida porque grande parte dos saberes dessa área leva em conta os mecanismos relacionados com o funcionamento dos seres vivos. Muitos destes mecanismos são adaptações e a diversidade das características adaptativas dos organismos é uma consequência da história da vida, só podendo ser plenamente compreendida em uma perspectiva evolutiva. Essa compreensão se amplia mais ainda quando consideramos a vida no *tempo profundo*, ou seja, nos períodos de tempo que abrangem a história da Terra com a sua infinidade de espécies, formas de funcionamentos biológicos e distintos ambientes. Quando as considerações evolutivas se referem à nossa espécie, ainda acrescentamos à complexidade da evolução biológica as questões de ordem cultural e existencial que permeiam a condição humana.

Estes pontos de contato da biologia evolutiva com diferentes áreas das ciências biológicas e humanas requer um olhar cuidadoso e profundo, uma vez que o conhecimento biológico contribuiu para justificar determinados tipos de discriminação social. Ao longo do tempo, o conhecimento evolutivo vem mobilizando saberes e discursos sobre gênero e sexualidade, determinismo genético, diferenças étnico-raciais, entre outras temáticas sociocientíficas (GOULD, 2001). É por isso que um entendimento crítico da evolução biológica exerce um importante papel na educação para o exercício da cidadania. A sua abordagem desarticulada de uma reflexão ética e política pode ter consequências desastrosas, como a história da ciência nos mostrou em numerosos casos.

Apesar desta reconhecida importância do conhecimento evolutivo, inúmeras pesquisas têm mostrado que a compreensão e a aceitação de evolução biológica ainda

enfrentam muitos desafios. Isso não está restrito aos alunos da educação básica ou ao cenário brasileiro. Em outros países, a evolução biológica é uma das principais temáticas em que são detectadas dificuldades de compreensão conceitual quando o assunto é ensino de ciências (GREGORY, 2009; RUTLEDGE; MITCHELL, 2002). Essas dificuldades têm sido apontadas em pesquisas ao menos desde a década de 1980, as quais constataram a presença de concepções que conflitam com a ciência por parte de alunos e mesmo de professores no momento de resolver problemas e interpretar fenômenos biológicos em termos evolutivos (CLOUGH; WOOD-ROBINSON, 1985; BISHOP; ANDERSON, 1990).

No contexto brasileiro, alguns estudos vêm discutindo que os professores e licenciandos se consideram despreparados para trabalhar os conteúdos de biologia evolutiva, bem como em lidar com os seus múltiplos desafios de ensino-aprendizagem (MEGLHIORATTI; BORTOLOZZI; CALDEIRA, 2005; OLEQUES *et al.*, 2011). Além de apontar a falta de domínio conceitual como um problema, os licenciandos e professores demandam também o enfrentamento de questões filosóficas, éticas, ideológicas, religiosas e políticas, as quais não se sentem preparados para tratar com os estudantes de educação básica (SEPULVEDA; EL-HANI, 2009). Tal cenário amplia em muito a necessidade de a biologia evolutiva ser tratada não apenas no contexto das ciências biológicas, mas também em perspectivas das ciências sociais e humanas, sobretudo na formação dos biólogos e professores.

São múltiplos os fatores que contribuem para esse estado de compreensão sobre biologia evolutiva. Os autores mencionados apontam alguns elementos que compõem tal cenário, como a oposição de grupos religiosos, abordagens inadequadas de livros didáticos, formação insuficiente de professores, dificuldades conceituais básicas, entre outros. Uma possível alternativa apontada pelos pesquisadores seria adotar a evolução biológica como um eixo integrador da biologia como um todo.

É neste sentido que as orientações curriculares para o ensino médio recomendam a contextualização dos conteúdos biológicos com explicações evolutivas e ecológicas (BRASIL, 2006)¹. A evolução não deveria ser compreendida como uma teoria específica, mas como um princípio organizador da biologia (ZAMBERLAN; SILVA,

¹ Neste momento, existe a proposta de uma Base Nacional Comum Curricular (BNCC), de modo que as orientações curriculares perderão validade como norteadoras dos currículos e propostas pedagógicas em nosso país. Enquanto nas orientações curriculares nacionais o enfoque ecológico-evolutivo é central, na BNCC a evolução está dispersa em poucos descritores de ensino.

2009). Argumenta-se, dessa forma, que as ideias evolutivas têm um papel central, organizador do pensamento biológico, uma vez que oferece uma visão sobre a vida que vai além da simples descrição das características dos organismos. A biologia sem evolução perde a sua dimensão histórica. É o entendimento das causas históricas da vida que confere à evolução um importante papel para o conhecimento biológico, estendendo-se a todas as disciplinas, como zoologia, botânica, ecologia, genética, entre outras.

Contudo, tanto na análise de livros didáticos de biologia quanto nos currículos efetivamente adotados na educação básica e superior, verifica-se que a utilização da evolução como eixo integrador ainda é incipiente ou mesmo ilusória. A evolução, muitas vezes, é tratada como apenas mais um conteúdo que está usualmente colocado nos últimos capítulos dos livros didáticos destinados aos terceiros anos do ensino médio (SILVA-PORTO; LUZ; WAIZBORT, 2007; ZAMBERLAN; SILVA, 2012). Pesquisas com professores também apontam que a evolução biológica é tratada como um tema da lista de conteúdos biológico e não como um eixo integrador que permeia a biologia (OLEQUES *et al.*, 2011). Essa mesma tendência é encontrada no ensino superior, onde, mesmo no curso de ciências biológicas, a evolução não é tratada como um eixo central. A articulação com a evolução biológica é preponderante com a genética, sendo menos visível ou mesmo inexistente com outras disciplinas da biologia (GOEDERT, 2004).

Isso nos leva à questão central desta tese: a necessidade de desenvolver abordagens pluralistas no ensino de evolução², aproximando os diferentes saberes da biologia e além dela. Sem uma abordagem pluralista, a biologia não consegue dar conta das explicações evolutivas complexas, limitando a plausibilidade e a aceitação da própria teoria evolutiva. Além disso, como referido anteriormente, o conhecimento evolutivo requer o enfrentamento de questões filosóficas, éticas, ideológicas, religiosas e políticas, as quais demandam conhecimentos externos à biologia.

Neste cenário é que esta pesquisa pretende elaborar uma reflexão sobre os desafios de uma abordagem pluralista ao ensino de evolução, tomando como estudo de caso um curso de formação continuada para professores e biólogos. A seguir, apresento esse projeto de extensão, com sua especificidade e proposta.

² Um ponto importante a esclarecer é que a frase “ensino de evolução” refere-se tanto ao ensino básico quanto superior. As discussões aqui empreendidas podem ser relevantes para ambos, apesar de privilegiar a formação continuada no ensino superior.

O Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS

Esta pesquisa é desenvolvida junto aos participantes de um projeto de formação continuada denominado “Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS”. Tal proposta ocorre semestralmente, desde 2014, no Instituto de Biociências da UFRGS. Cada edição possui, em média, 100 participantes, em sua maioria graduandos e graduados em ciências biológicas (licenciatura e bacharelado), professores de biologia e ciências, bem como alunos de mestrado e doutorado oriundos de programas de pós-graduação da área biológica³.

A organização deste curso remonta o ano de 2013, quando um conjunto de amigos (no qual estou incluído) formou um grupo de estudos sobre história e filosofia da ciência. Esse grupo era formado por pós-graduandos da UFRGS vinculados aos programas de pós-graduação da paleontologia, genética, zoologia, ecologia, filosofia e educação. Esses estudantes tinham em comum, além da amizade e a paixão por evolução biológica, o desejo de se dedicar a estudos mais profundos sobre a história da ciência.

O Curso de Biologia Evolutiva foi idealizado nas reuniões deste grupo, ocorridas na chamada sala Fritz Müller⁴ do Departamento de Genética da UFRGS. Esse coletivo passou a se chamar “grupo Balduino Rambo”, em homenagem ao padre e naturalista gaúcho, apaixonado por evolução biológica e fundador da cátedra de antropologia e etnografia da UFRGS, nos anos 1940⁵. O espírito polímata de Rambo inspirou o grupo de estudantes na reflexão do conhecimento para além de suas especialidades, uma forma

³ Este projeto iniciou as suas atividades, em 2014, com registro na Pró-Reitoria de Extensão da UFRGS e sediado no Programa de Pós-Graduação em Genética da Universidade. Em 2019/2 o curso passou a ser oferecido pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRGS, contando com a mesma equipe de proponentes. Eu sou um dos proponentes do projeto desde o início, participando de todas as edições como ministrante e organizador.

⁴ Johann Friedrich Theodor Müller (1821-1897) – naturalista teuto-brasileiro que, em 1852, deixou a Alemanha e firmou residência em Blumenau, Santa Catarina. No Brasil, desenvolveu um intenso trabalho de observação de diversos organismos, com destaque aos crustáceos. Müller é considerado um dos primeiros autores a testar experimentalmente as ideias de Darwin, realizando estudos comparativos de embriologia, ecologia e morfologia. Era amigo de Darwin e chamado pelo naturalista inglês de “Príncipe dos Observadores” (ZILLIG, 1997). Uma contribuição importante de Müller para a biologia evolutiva foi a proposição de um tipo de mimetismo, posteriormente nomeado em sua homenagem de “mimetismo mülleriano”.

⁵ Balduino Rambo (1906-1961) - nascido em Tupandí, no Rio Grande do Sul. Foi um verdadeiro polímata: formado em teologia e filosofia na Alemanha, era botânico, sacerdote, naturalista, poeta, professor de história natural e antropologia. Rambo desenvolveu um conceito de espécie vegetal e esteve atento aos problemas evolutivos de sua época (ARAÚJO, 2007).

de resistência frente à segregação acadêmica e a imposição de produtividade através da especialização extrema.

Foi neste contexto de discussões sobre história e filosofia da ciência, principalmente em relação ao conhecimento evolutivo, que os primeiros passos para a formação do referido curso foram dados. Um aspecto central deste grupo é a diversidade de áreas de estudos dos seus participantes, um contraste em relação à formação em evolução biológica vivenciada na graduação em ciências biológicas da UFRGS, curso de origem da maioria dos membros. Ainda que o conhecimento evolutivo envolva diferentes disciplinas e saberes, historicamente a genética possui certo privilégio tanto na estrutura teórica da biologia evolutiva quanto na formação de ensino básico e superior (SMOCOVITIS, 1996; BIZZO; EL-HANI, 2009a; BIZZO; EL-HANI, 2009b).

Esta centralidade também é evidente na estrutura curricular da graduação em Ciências Biológicas da UFRGS: a disciplina *Evolução Biológica* tem como pré-requisito a aprovação na disciplina *Genética II*, a qual, por seu turno, tem como pré-requisito a disciplina *Genética I*. Apesar da importância da paleontologia, ecologia e zoologia para o conhecimento evolutivo, um estudante de Biologia não necessita ter frequentado tais disciplinas em sua formação sobre evolução biológica. Essa organização curricular não está estrita à UFRGS, mas também se encontra presente em outras Universidades brasileiras, como a UFSC, que privilegia da mesma forma a aproximação da evolução com a genética (GOEDERT, 2004).

Se essa defasagem ocorre em relação às discussões *internas* da biologia, a situação se mostra ainda mais precária nas múltiplas relações e tensionamentos da evolução biológica com áreas fora das ciências biológicas, como nas ciências humanas. A impressão dos membros do grupo Balduino Rambo é de que os biólogos formados pela UFRGS não enfrentam as múltiplas questões da biologia evolutiva durante sua formação. Dessa forma, ficou muito claro que havia um *déficit* que precisava ser enfrentado: ainda que as discussões sobre a evolução da vida envolvam inúmeras disciplinas biológicas e apresentem tensões de diferentes ordens (culturais, existências e sociais), a genética possui privilégio na aproximação com o conhecimento evolutivo.

O Curso de Biologia Evolutiva nasceu dessa necessidade, de uma vontade de ampliar as discussões evolutivas para outros contextos. O grupo que já era composto por mestrados e doutorandos de diferentes programas de pós-graduação da área biológica, buscou complementar o quadro do curso com estudantes de pós-graduação

em sociologia, antropologia, história, educação e filosofia. O entendimento de que a evolução lida com uma série de questões que vão além da biologia levou à necessidade de privilegiar também perspectivas oriundas das ciências humanas.

Paradoxalmente (ou não), foi somente com o apoio institucional do Departamento de Genética e do Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da UFRGS que o curso pôde ser efetivado, em 2014. A estrutura do curso foi mudando ao longo do tempo, levando à formulação de duas edições por ano, uma delas voltada para discussões gerais de evolução e outra voltada especificamente para o ensino de evolução (edição de verão e inverno, respectivamente). Desde a primeira edição do curso, a principal plataforma de divulgação foi a internet, através de um *site*⁶, de uma página do Facebook⁷, assim como da página de notícia da UFRGS e de e-mails enviados para secretarias de educação do Rio Grande do Sul. Aos poucos, um banco de dados com informações de participantes do curso foi constituído, os quais também são informados das novas edições, colaborando na sua divulgação.

Nas últimas edições, o curso contou com a média de 300 inscritos, sendo aproximadamente 100 pessoas selecionadas desse total. Muitos participantes retornam em outras edições, relatando as reverberações das discussões. Estudantes de Ciências Biológicas compõem a maior parte dos inscritos, sendo a maior parte oriundos de instituições de ensino superior do sul do Brasil, como a própria UFRGS, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal de Pelotas (UFpel), a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), a Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), a Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), o Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFsul) e o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS). No entanto, o público não se resume a estudantes de biologia e professores, sendo composto também por alguns estudantes de outros cursos, como psicologia, física, veterinária, biomedicina, farmácia e ciências sociais.

A programação do curso, ao longo desses anos, contemplou discussões em temas como evolução humana, epigenética, história e filosofia do pensamento evolutivo, paleontologia e as múltiplas implicações do conhecimento evolutivo para além da biologia. O grupo Balduino Rambo acredita que essas temáticas normalmente não são privilegiadas na formação inicial dos biólogos e professores, apesar de sua importância

⁶ <http://www.pensamentoevolutivo.com/>.

⁷ <https://www.facebook.com/CursodeBiologiaEvolutivanaUFRGS>

nas discussões sobre o conhecimento evolutivo. Além disso, o curso busca abordar de maneira mais efetiva perspectivas oriundas das ciências humanas na interlocução com a biologia evolutiva - principalmente em questões sobre gênero, relações étnico-raciais e em temas como eugenia, criacionismo e design inteligente. Almeja-se, dessa forma, enfatizar discussões de ordem ética e implicações sociais do conhecimento evolutivo.

O Curso de Biologia Evolutiva também procura problematizar as abordagens do conhecimento evolutivo na mídia e em livros didáticos, enfatizando que, muitas vezes, replicar o conteúdo desses materiais não é adequado no contexto de ensino. O curso possui algumas atividades práticas que buscam apresentar estratégias didáticas diversas, como jogos, mesas-redondas, visitas a museus e discussões de problemas trazidos pelos próprios cursistas.

A diversidade de programas de pós-graduação dos proponentes do curso se mostrou uma importante oportunidade de diálogo (e embates) entre diferentes perspectivas do conhecimento evolutivo, gerando uma série de interações entre os extensionistas e os próprios ministrantes. Esse tipo de aproximação muitas vezes não é visível na academia e, como argumentei anteriormente, a genética tem certo privilégio na sua aproximação com a biologia evolutiva.

Na academia muitas vezes se tem uma leitura monolítica da evolução biológica, privilegiando um conhecimento evolutivo que acaba por esconder a forma como a evolução biológica é um terreno minado de *disputas* entre disciplinas científicas e visões de mundo. Mesmo dentro da biologia, que em uma primeira vista parece um empreendimento unificado, há uma série de tensões e disputas entre as disciplinas biológicas e perspectivas teóricas quando o assunto é evolução biológica. O conhecimento evolutivo, sobretudo no que se refere à espécie humana, também suscita tensões de outras ordens em relação às áreas *externas* da biologia, como na antropologia e nas ciências sociais.

Em suma, o Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS se mostra uma abordagem pluralista do conhecimento evolutivo, sendo, portanto, um estudo de caso interessante a partir do qual se buscará analisar e refletir sobre os tensionamentos, convergências e disputas que a evolução biológica suscita nestes múltiplos lugares. Ao mesmo tempo, esta experiência permite produzir uma atividade concreta de ensino e extensão, bem como de materiais didáticos, que podem ter um impacto positivo no ensino de evolução. Esta pesquisa, portanto, é uma oportunidade de interlocução entre ensino, pesquisa e

extensão. A tese e o percurso para a sua construção não deixam de ser uma materialização disto.

Objetivos

Esta pesquisa possui quatro objetivos gerais. Os objetivos específicos são detalhados ao longo dos capítulos.

(i) Investigar o Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS, tomando-o como um estudo de caso para discutir os desafios e as potencialidades de um ensino pluralista de evolução.

(ii) Explorar aspectos históricos e filosóficos do conhecimento evolutivo, a fim de promover perspectivas pluralistas para o ensino de evolução.

(iii) Investigar a formação inicial sobre evolução biológica dos alunos que frequentam o curso, tanto no que se refere ao conhecimento evolutivo quanto em relação ao pluralismo de disciplinas e conteúdos envolvidos no estudo deste tema. Pretende-se comparar estes elementos após a participação dos alunos no Curso de Biologia Evolutiva, buscando compreender o impacto desta atividade de formação continuada.

(iv) Fornecer elementos que tenham o potencial de transformar as reflexões desta pesquisa em ações concretas, no planejamento, elaboração, desenvolvimento e avaliação dos futuros cursos e no desenvolvimento de materiais didáticos e divulgação científica.

Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa pretende compor diferentes procedimentos metodológicos, abrangendo uma máxima amplitude de descrições, explicações e compreensões que buscam dar conta dos objetivos do estudo. É o cruzamento destes procedimentos que permitem uma maior confiança na pesquisa realizada, para além dos produtos de uma metodologia específica ou de alguma situação particular.

A combinação de metodologias diversas no estudo do mesmo fenômeno é conhecida como *triangulação*, uma metáfora tomada emprestada da navegação, que

utiliza múltiplos pontos de referência para localizar a posição de um objeto (GOLDENBERG, 1997). A triangulação desta pesquisa foi construída através dos seguintes procedimentos metodológicos:

(i) observações ocorridas em *quatro edições* do Curso de Biologia Evolutiva (2018/1, 2018/2, 2019/1 e 2019/2).

(ii) análise das respostas a um questionário de pesquisa aplicado em *duas edições* do curso (2019/1 e 2019/2). Este instrumento foi desenvolvido a partir das respostas obtidas em um questionário piloto aplicado nas edições 2018/1 e 2018/2.

(iii) e, finalmente, uma leitura histórica e filosófica da biologia evolutiva, que orienta a análise dos “dados” obtidos.

As observações iniciaram nas edições do ano 2018, as quais também serviram para embasar o desenvolvimento e a validação do questionário de pesquisa. Desta forma, as análises derivadas do questionário levam em conta apenas as edições 2019/1 e 2019/2, quando este instrumento já estava validado. O processo de desenvolvimento deste instrumento e a sua validação são discutidos em detalhes no capítulo 7 da tese⁸.

Cabe fazer referência aos desafios éticos que foram encarados desde o início da pesquisa, sendo considerados de forma processual. A começar pela confidencialidade e privacidade dos participantes. Os participantes do curso têm a segurança de que não serão identificados e que as informações coletadas possuem um caráter confidencial, mantendo a privacidade e a proteção da sua identidade. A liberdade de acesso aos dados do estudo também está assegurada, com o pesquisador fornecendo seu contato e se colocando à disposição desde o início da pesquisa. Os participantes foram avisados, no começo de cada edição do curso, que esta pesquisa estava ocorrendo. Cada participante teve assegurada a liberdade de não ter o seu relato registrado e utilizado na pesquisa, sem nenhum tipo de penalização ou prejuízo com isso.

Outro aspecto ético importante é que nesta tese faço “uso” de algumas publicações feitas por mim durante o período do doutorado⁹. Determinadas recomendações sobre ética na pesquisa chamam essa prática de “autoplágio”, a qual deveria ser evitada. Em consonância com Veiga-Neto (2017, p. 295), não considero

⁸ No *Apêndice A* da tese consta a programação das edições 2018/1, 2018/2, 2019/1 e 2019/2 do curso. O *Apêndice B* contém o questionário de pesquisa validado.

⁹ São elas: Araújo (2017), Araújo (2020), bem como as ideias discutidas em Reis e Araújo (2020) e Araújo e Araújo (2017).

antiética esta prática, uma vez que plagiar é copiar o trabalho alheio, sendo impossível alguém plagiar a si mesmo. Além disso, o “autoplágio” mostra uma continuidade temática e teórica sobre aquilo que penso e escrevo, revelando a trajetória intelectual e a coesão da pesquisa aqui desenvolvida.

Uma breve reflexão sobre as observações do curso

Procuo investigar as situações, interações e os conhecimentos que circulam no Curso de Biologia Evolutiva a partir de observações, registradas textualmente, em quatro edições: 2018/1, 2018/2, 2019/1, 2019/2. Não se trata propriamente de observações participantes ou de uma pesquisa de cunho etnográfico, uma vez que tais metodologias requerem uma maior “densidade” e detalhamento das situações do que o desenvolvido aqui. De todo modo, as observações e os relatos construídos na tese não deixam de ser inspirados por estes recursos metodológicos.

A observação participante é assim chamada porque parte do princípio de que o pesquisador tem sempre um grau de interação com a pesquisa, afetando-a e sendo afetado por ela (CLIFFORD; MARCUS, 2016). É uma modalidade de observação na qual você “não é apenas um observador passivo. Em vez disso, você pode assumir uma variedade de funções dentro de um estudo de caso e pode, de fato, participar dos eventos que estão sendo estudados” (YIN, 2001, p. 116).

As funções que desempenho no curso, portanto, se aproxima dessa estratégia metodológica: ao mesmo tempo atuo como *ministrante* – participando dos debates, mesas redondas e oficinas, tirando dúvidas, fornecendo materiais de apoio, etc. -, sou um dos *coordenadores* e *organizadores* do curso - responsável pelas inscrições, recepção dos participantes, organização das temáticas, emissão de certificados – e, finalmente, atuo como doutorando vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Educação da UFRGS. Dessa forma, tal abordagem está de acordo com a minha posição nesta pesquisa, uma vez que assumo diferentes papéis.

Pretendo relatar através do convívio com os participantes do curso aquilo que vi, ouvi e experimentei, compondo os diferentes discursos que circulam nesse projeto de formação continuada. Além da observação das atividades e as discussões delas derivadas, pretende-se nessa imersão uma maior interação com os participantes nas

situações que estão envolvidos, produzindo uma descrição reflexiva dos acontecimentos ali colocados (DENZIN; LINCOLN, 2006).

A pesquisa qualitativa privilegia a análise de casos concretos, considerando os contextos locais, bem como sua especificidade, onde a voz e a ação das pessoas constituem o ponto de partida. O Curso de Biologia Evolutiva, dessa forma, é considerado um estudo de caso exaustivo, uma vez que a pesquisa o toma em uma unidade, reconstruindo os processos e as relações que configuram essa experiência. A observação de um estudo de caso possibilita “documentar o não documentado”, descrevendo as ações e representações dos atores envolvidos, as atitudes, crenças, modos de ver o mundo, componentes afetivos, morais, políticos, éticos, cognitivos e sociais colocados (DENZIN; LINCOLN, 2006).

Essa imersão no Curso de Biologia Evolutiva – que já ocorria como organizador e ministrante desde 2014 –, a partir de 2018/1 passou a ter um componente de pesquisa, onde a interação e a observação forneceram subsídios para notas de campo que foram transformadas em um diário de campo. As notas de campo possuem um caráter mais descritivo e imediato, com a preocupação de captar por palavras o local, pessoas, ações e conversas observadas. O diário de campo tem um caráter mais reflexivo, elaborado após a participação no curso, possuindo uma carga ainda maior do ponto de vista do observador, suas próprias reflexões, preocupações e referenciais teóricos. O diário de campo é elaborado após o curso, “em gabinete” (ou melhor, na biblioteca), a partir dos registros e anotações dos aspectos relevantes das observações.

É por isso que não pode ser negligenciada a textualização, a qual está no coração da observação, tanto nas notas de campo - que buscam uma transcrição imediata da oralidade e das situações vivenciadas para a escrita -, quanto no “gabinete”, onde as anotações passam a ter uma carga interpretativa maior e adquirem sentido comum. Esse processo primário de textualização e as suas rearticulações posteriores são tarefas que demandam um processo de reflexão contínuo e onde a interpretação do pesquisador é posta em evidência (CLIFFORD; MARCUS, 2016).

Além de procurar um entendimento do dia a dia do Curso de Biologia Evolutiva, este trabalho também se colocou a tarefa de avaliar o próprio curso e propor modificações. A pesquisa permite tomar um posicionamento sobre a organização do curso e as práticas nele envolvidas. Isso possibilita transformar as reflexões desta pesquisa em realidade, no planejamento, elaboração, desenvolvimento e avaliação dos

futuros cursos e no desenvolvimento de materiais didáticos. A pesquisa, dessa forma, não deixa de embasar as atividades de ensino e extensão, efetivando o conhecimento e viabilizando soluções para os problemas detectados, potencializando o espírito crítico e a atuação coletiva deste tripé universitário. A recusa em considerar os resultados desta pesquisa para a própria reflexão e organização do curso levaria a assumir uma postura neutra que não condiz com a pesquisa qualitativa.

Uma problemática profunda de tal abordagem, na presente investigação, é a questão de que o objeto de estudo e o investigador se confundem, de modo que a natureza da pesquisa científica, o pesquisador e a metodologia se encontram atrelados de forma visceral. Por isso, a observação não pode ser compreendida como simples técnica de “coleta de dados”, já que a tal coleta não existe. Os dados são construídos ao longo do percurso, no processo interativo com os sujeitos, a partir das impressões subjetivas, referenciais teóricos e experiências vividas do pesquisador (VELHO, 2003). Em suma, não posso ser considerado um “mero espectador” e relator das atividades e das práticas presentes neste estudo de caso.

Dessa forma, subjetividade e identidade deixam de ser um elemento indesejável da observação, passando a integrar a construção do objeto e as próprias condições de possibilidade da realização da pesquisa. O pertencimento do pesquisador passa a ser um dos elementos centrais da pesquisa em campo. Apesar desse não ser um problema para a pesquisa qualitativa, sendo mesmo desejável assumir esta postura, é preciso sempre ter em mente os possíveis pontos de vista tendenciosos que possam vir a ser produzidos. Como organizador e ministrante do curso é preciso uma “vigilância epistemológica” constante, para não perseguir fenômenos comumente conhecidos ou então replicar o apoio às práticas do grupo que está sendo estudado e que, em última instância, faço parte (OLIVEIRA, 2013). Pressupor uma aproximação entre “observador/observado” e, paradoxalmente, visar transcendê-la, é uma desafio particularmente difícil de alcançar neste empreendimento.

É preciso, dessa forma, sempre estar atento ao meu pertencimento, o qual permite falar sobre o outro de determinado modo. Falar deste lugar é uma condição de possibilidade importante da pesquisa, estabelecendo os limites do distanciamento. É por isso que se levanta a necessidade de um exercício contínuo de *estranhamento* da realidade do curso, uma vez que me deparo com um projeto que sou muito próximo,

pretendendo ao mesmo tempo ser um proponente do curso, elaborar uma investigação crítica e propor possíveis mudanças.

O desafio é imprimir uma distância necessária, estando longe o suficiente para impedir uma identificação fácil, ao mesmo tempo em que se procura olhar o desenvolvimento da prática do curso como alguém “de dentro” (VELHO, 2003). Deve-se levar a sério aquela máxima de que "as realidades mais óbvias, onipresentes e importantes são muitas vezes as mais difíceis de compreender e de discutir" (David Foster Wallace)¹⁰. Esse ponto é particularmente difícil, uma vez que participei de toda a história de construção deste curso e os ministrantes são amigos próximos.

Ainda que as qualidades descritivas e exploratórias sejam as mais destacadas na observação participante, essa metodologia também não deixa de apresentar oportunidades de levantar elementos explicativos (YIN, 2001). É claro que uma pesquisa sobre o Curso de Biologia Evolutiva, que ocorre na UFRGS, com seus participantes em sua maioria de Instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, traz muito a tona as especificidades desta Universidade, região, grupo de organização, participantes e pesquisador. Mas ela também diz algo sobre outras instâncias de ensino, de compreensão e ressignificação do conhecimento evolutivo. Esta análise “microscópica” tem como desafio uma interligação com um universo mais amplo, levando o específico para dentro de uma cultura pública sobre os desafios de um ensino pluralista de evolução biológica. Por isso, ainda que essa pesquisa envolva um estudo de caso, assumo que os seus resultados possam ser produtivos para outros contextos.

Como o leitor irá reparar, os relatos das observações estão dispersos nos capítulos desta tese, entremeadas com a literatura sobre evolução, nas discussões históricas e filosóficas, bem como em relação aos outros instrumentos de pesquisa, como o questionário quali-quantitativo. Da mesma forma, optei por não inserir na discussão metodológica o “referencial de pesquisa”. Os posicionamentos e opções teóricas tomadas nesta investigação são explicitados ao longo dos capítulos.



¹⁰ Anedota do escritor proferida aos formandos do Kenyon College, em 2005 (ORDINE, 2016).

Após essa breve introdução, o leitor encontrará esta tese dividida em três eixos. O primeiro eixo discute a questão do pluralismo no conhecimento evolutivo em suas dimensões históricas, filosóficas e científicas. Tomando o Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS como um estudo de caso, o segundo eixo aborda os desafios e as potencialidades de um ensino pluralista de evolução. O terceiro eixo detalha o desenvolvimento e a validação do questionário de pesquisa quali-quantitativo, assim como a análise das respostas dos alunos que frequentaram as edições 2019/1 e 2019/2 do curso.

EIXO I

PLURALISMO E INTEGRAÇÃO NA BIOLOGIA EVOLUTIVA

1 A RETÓRICA DE UNIFICAÇÃO NA BIOLOGIA EVOLUTIVA: ASPECTOS CIENTÍFICOS, HISTÓRICOS E FILOSÓFICOS

Diferentes pontos de virada já foram identificados como cruciais para a constituição da biologia enquanto área do conhecimento. Hipócrates (460-377 a.C), Aristóteles (384-322 a.C), Cuvier (1769-1832), Darwin (1809-1882), entre outros autores, têm sido apontados como “fundadores” da biologia. Em uma perspectiva nominalista, alguns afirmam que a biologia “surgiu” em 1802, quando Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) e Gottfried Treviranus (1776-1837) cunharam de forma independente este termo (CARON, 1988).

Embora estes autores estudassem seres vivos e processos vitais, a biologia (ou história natural) ainda era um campo fragmentado de conhecimento. Foi somente no início do século XX que algo parecido com um campo unificado de conhecimento passou a compor o que conhecemos como biologia. As mudanças que contribuíram para o fortalecimento do ideal de unificação da biologia resultaram de uma série de movimentos históricos, filosóficos e conceituais que ocorreram neste período. Entre eles, a constituição da chamada síntese evolutiva, ambientada no movimento filosófico do positivismo lógico (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009).

Neste capítulo, pretendo explorar os movimentos de unificação/desunificação que a biologia vem sofrendo desde então. Aspectos científicos, históricos e filosóficos da teoria evolutiva nos ajudam a entender essas tendências unificadoras e desunificadoras da biologia, as quais são essenciais para a problematização do ensino de evolução.

1.1 A síntese evolutiva e o ideal de unificação da biologia

A historiografia tradicional da biologia evolutiva apresenta dois episódios históricos fundamentais: a revolução darwiniana – que seguiu o trabalho de Darwin após a publicação da *Origem das Espécies*, em 1859 – e a síntese evolutiva, ocorrida entre 1920-1950 (LARGENT, 2009). Esses pilares históricos são preenchidos pelo “eclipse do darwinismo”, entre o final do século XIX e início do século XX.

Apesar de a síntese evolutiva ser um movimento científico complexo, a historiografia da biologia tem apontado uma série de elementos fundadores. Provine (2001) sustenta uma visão que tem prevalência entre os historiadores da biologia, interpretando os primórdios da síntese evolutiva a partir da articulação da escola biométrica com o trabalho dos geneticistas que ampliaram os princípios mendelianos.

Três figuras foram centrais para este movimento inicial: Ronald Fisher (1890-1962), J.B.S. Haldane (1892-1964) e Sewall Wright (1889-1988). O surgimento da genética de populações, baseada nos princípios mendelianos e na escola biométrica, proporcionou práticas experimentais e modelos matemáticos para o desenvolvimento da pesquisa evolutiva no início do século XX.

Outro componente fundamental da síntese evolutiva é a noção de uma unificação de conhecimentos da genética, sistemática, botânica, citologia, entre outras disciplinas biológicas (DELISLE, 2009). Apesar dos autodenominados “arquitetos da síntese evolutiva” discordarem em temas evolutivos mais circunstanciais, como em relação às interações gênicas, à eficiência da seleção natural em grandes e pequenas populações e ao papel do acaso na evolução, os autores concordavam que a biologia evolutiva estava baseada na estrutura matemática da genética de população, a qual criou um quadro geral capaz de unificar diversos fenômenos biológicos em uma síntese teórica relativamente simples. Desse modo, distintas disciplinas, fenômenos e organismos passaram a ser abordados a partir deste arcabouço teórico (STOLTZFUS, 2017).

De modo não casual, esse movimento pela unificação da biologia ocorreu concomitantemente às intensas atividades do “círculo de Viena”, movimento intelectual que visava, entre outros aspectos, uma ciência formalizada e unificada (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986). Além dos ideais de unificação e formalização - matemática, no caso da síntese evolutiva, e lógica no caso do círculo de Viena -, outro elemento comum aos dois movimentos foi a tendência de expurgar elementos metafísicos que não possuem lastro na experiência humana.

Segundo Hahn, Neurath e Carnap (1986), a biologia era uma ciência especialmente “contaminada” com alegações metafísicas:

Os metafísicos sempre distinguiram com predileção a biologia como um domínio especial. Isto se expressou na doutrina de uma força vital especial, no vitalismo. Os modernos defensores desta doutrina esforçam-se em conduzi-la da forma obscura e vaga do passado a uma versão clara, do ponto de vista conceitual. No lugar da força vital, aparecem as “dominantes” (Reinke, 1899) ou “enteléquias” (Driesch, 1905). Tais conceitos são rejeitados como metafísicos pela concepção científica do mundo, uma vez que não satisfazem a exigência de redutibilidade ao dado (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p. 16).

No final do século XIX, biólogos de diferentes disciplinas lançavam mão de mecanismos intencionais de evolução, a ponto de serem considerados ancorados em

especulações metafísicas pelos autores do círculo de Viena. As “enteléquias” de Hans Driesch (1867-1941), exemplo citado acima, foi um elemento central da teoria ontogenética do cientista alemão, considerado um dos principais embriologistas experimentais da virada do século XX.

Ernst Mayr (1904-2005) argumenta que a embriologia do início do século XX adotava interpretações tingidas de vitalismo e esta foi uma das razões para sua pouca participação na síntese evolutiva (MAYR, 1982). Dessa forma, em consonância com os positivistas do círculo de Viena, os arquitetos da síntese se lançaram ao trabalho de limpar o pensamento biológico do “entulho metafísico”.

A síntese evolutiva foi um esforço de unificação concentrado em tornar a evolução uma “ciência positiva” e, para tal intento, buscou empregar métodos experimentais baseados em evidências empíricas e com resultados generalizáveis em termos matemáticos. Expurgada de elementos metafísicos inaceitáveis, a síntese evolutiva buscou ser não apenas a abordagem científica para a biologia evolutiva, mas para a biologia como um todo, unindo e alicerçando as práticas heterogêneas desta ciência (SMOCOVITIS, 1996; MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009).

Esse movimento logo chegou à formação universitária, influenciando gerações de estudantes em todo mundo. O geneticista Theodosius Dobzhansky (1900-1975), por exemplo, atuou ativamente na produção de materiais didáticos para a formação acadêmica de biólogos e evolucionistas (SMOCOVITIS, 1996). Uma característica tanto das suas conhecidas obras teóricas, quanto dos seus livros didáticos, é a firme posição de que os processos evolutivos estão baseados na genética. Para Dobzhansky (1937, p. 307), a evolução pode ser definida como mudanças na composição genética das populações ao longo do tempo.

Tal projeto de unificação proporcionou um avanço no diálogo entre diferentes áreas da biologia – apesar da ausência de algumas disciplinas biológicas. Os arquitetos da síntese contribuíram para a institucionalização da biologia, organizando conferências, revistas e ambientes institucionais em que especialistas de diferentes áreas puderam entrar em contato e formar uma comunidade científica relativamente coesa. Um exemplo emblemático foi a Conferência sobre Genética, Paleontologia e Evolução, em Princeton, realizada em 1947. Essa conferência inaugurou a *Society for the Study of Evolution*, reunindo alguns dos principais evolucionistas da época. Ao criar essas

condições institucionais, evolucionistas de diferentes áreas da biologia puderam discutir e compartilhar suas investigações.

Delisle (2011) caracteriza tais condições institucionais para a unificação da biologia como uma genuína *síntese sociológica*. Mas ainda que a dimensão sociológica da síntese evolutiva tenha sido bem sucedida, o que podemos dizer dos seus aspectos epistemológicos e compromissos metafísicos fundamentais? Para Sahotra Sarkar (2004; 2017), a referência ao conceito de síntese implicaria na união de duas ou mais estruturas científicas independentes – como explicações, modelos, teorias e disciplinas -, reunidas de forma a fortalecerem-se mutuamente em uma estrutura integrada. Para o autor, em uma *síntese* também seria desejável paridade epistêmica, de modo a distingui-la de outras mudanças científicas, como a redução.

Muitos filósofos e historiadores da biologia, no entanto, discutem as limitações de considerar as relações estabelecidas entre as estruturas científicas da síntese evolutiva em termos de uma autêntica *síntese* de conhecimento (GOULD, 1983; PROVIN, 1992; SMOCOVITIS, 1996; SARKAR, 2004; 2017; DELISLE, 2011). Se pensarmos em aspectos disciplinares, por exemplo, torna-se difícil considerar uma relação paritária entre as diferentes disciplinas biológicas na síntese evolutiva, uma vez que as explicações para os fenômenos evolutivos passaram a ser dadas em termos de processos microevolutivos que, em última instância, estão baseados na genética de população (SARKAR, 2004). Nesse sentido, a genética de população teria prioridade explicativa sobre outras disciplinas.

Essa primazia da genética, ao mesmo tempo em que permitiria “ligar” as disciplinas biológicas fragmentadas, também explicaria fenômenos de nível superior, incluindo não apenas a evolução dos seres vivos, mas também os aspectos da vida social e cognitiva do ser humano. Essa preocupação esteve presente em diferentes arquitetos da síntese evolutiva, como Dobzhansky, G.G. Simpson (1902-1984), J.B.S. Haldane e Ronald Fisher, os quais possuíam versões sobre o futuro da humanidade (ESPOSITO, 2016).

É bem verdade que estes autores apresentaram diferentes posicionamentos sobre a relação entre o social e o biológico, os quais são assunto da história da ciência. É inegável, contudo, que esses trabalhos expõem o alinhamento da evolução no *continuum* gene ao ser humano. Com esse alinhamento, a genética não apenas se tornou central na biologia, mas também passou a ocupar um ponto médio em relação ao mundo físico e

social, uma suposição de fundo nas discussões que consideram a evolução uma chave no entendimento do futuro da humanidade.

Nos anos 1950 e 60 estas discussões de certa forma arrefeceram, sobretudo devido à oposição aos horrores do nazismo, quando o reducionismo e o determinismo biológico passaram a ser vistos com suspeita (YUDELL; DESALLE, 2000). A partir dos anos 1970, com a publicação de *Sociobiology: The New Synthesis* (WILSON, 1975), esse alinhamento foi retomado com vigor. Wilson (1975) ofereceu uma ampla discussão sobre a evolução do comportamento social animal, incluindo explicitamente a nossa própria espécie, sendo o capítulo final de seu livro voltado exclusivamente para o ser humano. Neste capítulo, Wilson sugere que diferenças sexuais, agressividade, preocupações morais, crenças religiosas, e muitos outros aspectos humanos, são explicados pela nossa herança evolutiva a partir de disposições genéticas subjacentes.

A busca por uma “sociobiologização” não era uma iniciativa nova, mas a sociobiologia talvez tenha sido o empreendimento tardio que mais claramente procurou um fundamento biológico para as ciências humanas. Uma das proposições de Wilson era justamente que a sociobiologia informasse (como um tipo de base comum) o trabalho das ciências sociais e humanas. O título do livro de Wilson expõe este projeto - *Sociobiology: The New Synthesis*. Essa “nova síntese” pode ser entendida como uma extensão do ideal de unificação da síntese evolutiva. Se a partir da síntese evolutiva a evolução passou a ser um eixo central e unificador da biologia, com a sociobiologia ela também poderia ser das ciências sociais e humanas (YUDELL; DESALLE, 2000).

Obviamente, a sociobiologia levantou polêmicas, sobretudo em relação aos seus potenciais efeitos danosos. A partir de uma concepção de natureza vista como imutável, ela potencialmente poderia legitimar relações de poder em manifestações de machismo, racismo, fatalismo, determinismo, entre outros (SAHLINS, 1976). Além disso, também foi acusada de ser “má ciência”, por ser uma simplificação excessiva da seleção natural e do darwinismo (YUDELL; DESALLE, 2000).

De forma paralela ao avanço das críticas à sociobiologia, algumas novidades empíricas e teóricas da própria biologia evolutiva desafiaram elementos centrais da síntese evolutiva. Dessa forma, esta proposta de ampla unificação da biologia já começava a dar sinais de limitações desde a sua emergência.

1.2 Os sinais de desunificação da síntese evolutiva

A síntese evolutiva estabeleceu alguns pressupostos comuns que permitiram aos biólogos de diferentes áreas trabalharem juntos, particularmente em relação aos problemas evolutivos. Alguns destes pressupostos científicos são o genocentrismo, o gradualismo estrito, a extrapolação de explicações microevolutivas para padrões macroevolutivos e a primazia da seleção natural (LALAND *et al.*, 2015). Isso significa que, a partir da síntese evolutiva, a herança genética constitui o único sistema de herança evolutivamente relevante; as mudanças evolutivas ocorrem somente através de pequenos passos, levando ao gradualismo evolutivo; os padrões macroevolutivos são explicados pelo acúmulo de eventos microevolutivos, através de processos populacionais; e há uma primazia da seleção natural na explicação das mudanças evolutivas.

Contudo, entre os anos 1960 e 1980, diferentes avanços empíricos e teóricos da própria biologia evolutiva desafiaram estes elementos centrais. Segundo Stoltzfus (2017), a emergência da evolução molecular foi o primeiro sinal visível de desunificação na estrutura da síntese evolutiva. As pesquisas com evolução molecular nos anos 1960 retomaram a força da deriva genética e lançaram uma série de desafios para a primazia da seleção natural¹¹.

A teoria neutra da evolução molecular de Motoo Kimura (1924-1994), um dos estudos mais influentes da década de 1960, estabeleceu que grande parte das mutações não têm um efeito fenotípico perceptível e, dessa forma, persistem nas populações por deriva e não por ação da seleção natural (KIMURA, 1968). As pesquisas moleculares apontaram certo “paradoxo” molecular-morfológico: o que era verificado em nível morfológico, e priorizado pela síntese evolutiva, não parecia se adequar ao nível molecular.

Pouco tempo depois das pesquisas do geneticista japonês, S.J. Gould e Niles Eldredge (1972) apresentaram a teoria do equilíbrio pontuado, desafiando outro pressuposto da síntese evolutiva: o gradualismo estrito. Os autores inseriram a interpretação de um padrão diferente para algumas linhagens, em vista do registro fóssil.

¹¹ Este tema era controverso mesmo para os arquitetos da síntese, uma vez que até os anos de 1930 a deriva genética recebeu frequentemente um papel predominante como causa da mudança fenotípica (GOULD, 1983). A partir dos anos 1940, no entanto, a seleção natural passa a ser considerada mais enfaticamente o principal mecanismo de mudança evolutiva.

Gould e Eldredge (1972) argumentaram que determinadas espécies apresentam certa estabilidade no tempo (“inalteradas” morfológicamente), seguidas por um período de rápida divergência. Esse padrão não seria decorrente de uma falha no registo fóssil, como pressupunha o gradualismo estrito, mas decorrência de um processo genuinamente evolutivo de estase que é seguido, “subitamente”, na próxima formação de rocha sedimentar, de uma mudança pontuada na morfologia, com a origem de nova espécie proximamente aparentada.

No final dos anos 1970, Gould ainda elabora críticas ferrenhas aos outros pressupostos centrais da síntese evolutiva. Em parceria com o geneticista Richard Lewontin, publica um artigo intitulado *The Spandrels of San Marcos and the Panglossian Paradigm: a Critique* (1979). O artigo contém duas metáforas interessantes, que nos ajudam a entender suas críticas – os *spandrels* da basílica de São Marcos e o “paradigma” panglossiano.

Spandrels são espaços cônicos entre os arcos que sustentam um telhado em forma de cúpula, como o encontrado na basílica de São Marcos, na Itália. Estes espaços estão maravilhosamente pintados, embora não tenham sido projetados para esta finalidade artística. A simetria e a coerência dos *spandrels* pode levar a inferir que eles são a razão de todo o sistema de arcos e cúpulas que os cercam. No entanto, eles são um subproduto arquitetônico no emprego de arcos para apoiar uma sala em forma de cúpula. Por isso, os *spandrels* são explicados como um subproduto da construção, não sendo um elemento projetado para qualquer finalidade, seja ela arquitetônica ou artística (Figura 1).

Figura 1. Na esquerda, representação dos *spandrels*, com seus espaços cônicos “acidentais”. Na direita, uma foto interna da basílica de São Marcos, em Veneza



FONTE: retirado de www.yourdictionary.com/spandrel. Acesso em: 07 Maio 2019

Gould e Lewontin (1979) usam esse exemplo para se referir a determinado modo de interpretar os seres vivos que eles consideram problemático. Muitos biólogos dividem os organismos em partes e atribuem a cada uma delas determinada função. Os autores argumentam, por outro lado, que é preciso procurar as explicações evolutivas para o organismo integrado, complexo e indivisível. Da mesma forma, para entender os *spandrels* é preciso considerar toda a estrutura arquitetônica que o circunda, caso contrário, podemos erroneamente atribuir uma função original para esta estrutura. Quando os biólogos dividem os organismos em partes e atribuem função a cada uma delas, eles podem incorrer no mesmo erro de um observador que encara os *spandrels* como um projeto original da basílica.

Algumas pesquisas debitárias da síntese evolutiva incorreriam neste erro ao procurar uma origem adaptativa para praticamente todas as características dos organismos. Com isso, essa abordagem não visualiza a possibilidade de que muitas características podem ser subprodutos do desenvolvimento, mesmo que adquiram uma determinada função ao longo do processo evolutivo. Assim como os *spandrels* são subprodutos arquitetônicos e acabaram recebendo uma função artística na basílica, os seres vivos também possuem subprodutos fenotípicos da sua história evolutiva, que não foram “projetados” (selecionados) para uma característica funcional em sua origem.

A abordagem selecionista e atomista da síntese evolutiva é ainda apelidada de “panglossiana” por Gould e Lewontin, em referência a um personagem da obra *Cândido, ou o Otimismo* de Voltaire (1759), conhecido por doutor Pangloss. Este personagem tem a crença de que as coisas estão no mundo para o melhor dos fins. Dizia doutor Pangloss que “(...) as coisas não podem ser de outra forma: pois tendo tudo sido feito para um fim determinado, tudo se dirige para o melhor dos fins. Notai como os narizes foram feitos para levar óculos; e, com efeito, temos óculos. As pernas foram manifestamente instituídas para serem calçadas; e, com efeito, temos calças” (VOLTAIRE, 2006, p. 10).

A metáfora biológica do “paradigma panglossiano” remete ao ideal de que a seleção natural deve ter restrições mínimas, de modo que a adaptação seria a causa primária de toda forma, função e comportamento exibido pelos seres vivos. Deste modo, ao crer na onipotência da seleção natural como uma idealização de um “design ótimo” dos seres vivos, este paradigma se aproxima de uma visão panglossiana ingênua e funcional do mundo.

Tais críticas eram endereçadas aos evolucionistas que se apressam em assumir funcionalidade para qualquer característica encontrada nos seres vivos, criando hipóteses adaptativas e explicando a sua existência em um modelo seletivo. Esta seria uma prática de propor meramente histórias adaptativas para explicar a existência de características funcionais, sem necessariamente testar empiricamente esta hipótese ou considerar outros cenários. Tais explicações, ditas adaptacionistas, seriam consideradas meras estorietas (*just-so-stories*). Como afirma Abrantes (2011, p. 20), “a tese adaptacionista a respeito do poder explicativo da seleção natural (à exclusão de outros mecanismos) não seria testável; e as estorietas geradas com base nessa tese tampouco poderiam ser submetidas à prova empírica”.

É importante deixar claro que as críticas de Gould e Lewontin não visavam minar as explicações por seleção natural. O que eles visavam era explicitar pontos cegos da teoria evolutiva, que sobrevalorizam explicações por seleção natural e excluem explicações alternativas. No artigo de 1979, os autores apontam que os biólogos devem ao menos considerar mais seriamente a deriva genética, as restrições relacionadas aos processos de desenvolvimento, as restrições estruturais e relacionadas à história filogenética dos seres vivos.

As restrições relacionadas aos processos de desenvolvimento e as restrições estruturais e relacionadas à história filogenética não são consideradas no programa adaptacionista porque esta abordagem é baseada em partes e genes, não sendo uma biologia de organismos. Os organismos são entidades integradas, de modo que muitas das características neles observadas são resultantes de restrições estruturais que afetam as interações dos elementos que formam o todo. O adaptacionismo é considerado uma posição funcionalista e foi, por isso, criticada por Gould e Lewontin, que apontaram para a necessidade de privilegiar outras explicações evolutivas plausíveis, sobretudo aquelas com caráter estruturalista.

Funcionalismo e estruturalismo podem ser encarados como balizamentos filosóficos que distinguem diferentes propostas de investigação (ABRANTES, 2011). De um lado, os estruturalistas sustentam que as mudanças evolutivas são modificações da forma e, como a morfologia é produto do desenvolvimento, o estudo da evolução biológica deveria passar necessariamente pelo estudo dos processos de modificações ontogenéticas. De outro lado, os funcionalistas sustentam que as mudanças evolutivas são modificações essencialmente funcionais e que os organismos podem ser

particionados de modo a associar cada parte a uma função distinta. Na medida em que a embriologia teve um papel limitado na síntese evolutiva, entende-se por que as abordagens estruturalistas tiveram um impacto menor no pensamento evolutivo (AMUNDSON, 2005). A separação teórica entre os estudos da forma e função levou muitos autores a postularem uma dicotomia entre estruturalismo e funcionalismo na história do pensamento biológico.

É interessante notar como estas discussões estavam acopladas a agendas maiores, que envolvem aspectos sociais, políticos e éticos. O exemplo da sociobiologia e as críticas de Gould e Lewontin nos mostram que esse debate não tem a ver “somente” com o conhecimento evolutivo, mas expõe concepções sobre a natureza da ciência e o papel social do cientista. Gould e Lewontin reiteradamente expõem essa relação em suas obras, como em *A Falsa Medida do Homem* (1996a), *Not in Our Genes* (1984) e *Tripla hélice: gene, organismo e ambiente* (2003).

Em *A Falsa Medida do Homem* (1996a), Gould discute de que forma algumas metodologias foram usadas de maneira tendenciosa na história da biologia, como a craniometria do século XIX e os estudos sobre quociente de inteligência no século XX. Ambas foram usadas para corroborar a ideia de hierarquização das raças humanas, a partir de certas teorias racistas relacionadas à superioridade do homem branco ocidental.

Um ponto central da obra *Tripla hélice: gene, organismo e ambiente* (2003) de Richard Lewontin é mostrar como uma biologia de “má qualidade” (termo do próprio autor) levou a concepções problemáticas sobre a relação entre o organismo e seu meio, incidindo também na relação da biologia com a sociedade. Lewontin (2003) acredita que uma das origens desta biologia de má qualidade é a metáfora do mundo como máquina, que baseia boa parte das ciências naturais. Seguindo essa metáfora, os biólogos decompõem o mundo dos objetos e processos biológicos em partes e peças que podem ser claramente diferenciadas, como organismo e ambiente, natureza e cultura. Apesar de seu sucesso explicativo na biologia, esse modelo pode levar a uma concepção simplificada das relações parte/todo e causa/efeito.

Gould e Lewontin usam a própria biologia evolutiva para criticar as direções racistas e eugenistas da biologia, em uma franca tentativa de acoplar questões científicas e metacientíficas envolvidas com agendas éticas e políticas. Encontramos nos trabalhos destes autores um esforço de crítica social a partir de argumentos *internos* da biologia, estabelecendo a “boa” e a “má” ciência não apenas em termos éticos, sociais e políticos,

mas também epistêmicos. No caso das críticas à sociobiologia, há uma crítica metacientífica à tendência de redução das ciências humanas às ciências biológicas na figura do pensamento evolutivo, um ponto explicitamente endossado nesta abordagem.

Lewontin (2003) ainda explicita um compromisso metafísico construcionista e dialético de encarar o mundo da vida e os processos que nele ocorrem. O autor é conhecido por encontrar no marxismo um balizamento político-filosófico para suas aspirações científicas. Esse compromisso está possivelmente vinculado ao seu interesse de desenvolver uma abordagem dialética marxista mais complexa para a ciência, que seria capaz de capturar aspectos que a metodologia reducionista é incapaz de enfrentar (YUDELL; DESALLE, 2000).

Dessa forma, não podemos tomar as críticas à síntese evolutiva de Gould e Lewontin de forma desarticulada das críticas sociais dos autores e das suas reivindicações metacientíficas, metafísicas e políticas. A breve discussão apresentada aqui não pretende esgotar esses pontos, mas procura mostrar que tomar a síntese evolutiva como um eixo central e unificador da biologia é muito mais complexo do que imaginamos e não pode simplesmente ser um pressuposto tomado a bordo no ensino de evolução.

Uma reflexão histórica e filosófica da biologia nos ensina que a teoria evolutiva envolve tentativas de unificação, visões de mundo, controvérsias científicas, metacientíficas e metafísicas que não podem ser simplesmente adotadas sem uma análise crítica e profunda.

1.3 A influência da “historiografia da síntese”

Os historiadores que se dedicam ao estudo da síntese evolutiva têm apontado a complexidade deste movimento. Burian (1988, p. 3) argumenta que a síntese evolutiva é “um alvo móvel”, sendo um movimento histórico complexo para ser caracterizado em linhas gerais.

Por isso mesmo, o objetivo deste capítulo não é uma caracterização geral deste empreendimento, mas uma breve discussão, baseada em determinados referenciais históricos, com o intuito de demonstrar as dificuldades e os desafios de adotar a evolução como um eixo central e unificador da biologia a partir da síntese evolutiva.

Essa vigilância histórica é importante para não cairmos no mesmo problema do extremo oposto – ou seja, a historiografia que busca estabelecer a síntese evolutiva como uma vitória da racionalidade sobre a ignorância. Alguns historiadores chamam essa narrativa de uma "historiografia de síntese", baseada em uma interpretação histórica em que os oponentes da síntese evolutiva se comportam irracionalmente e mantêm visões com falhas óbvias (STOLTZFUS, 2017).

Este tipo de historiografia foi produzida por arquitetos da síntese evolutiva, como Julian Huxley e Ernst Mayr, sendo perpetuada por alguns historiadores da biologia (ARAÚJO; ARAÚJO, 2017). O famoso livro de Julian Huxley (1942), *Evolution: the Modern Synthesis*, não deu apenas nome ao movimento de síntese do conhecimento evolutivo. Neste livro, o autor também popularizou a ideia de que entre a morte de Darwin e o advento da síntese evolutiva a teoria da evolução viveu um período obscuro (LARGENT, 2009).

Em um capítulo de sua obra intitulado *Eclipse of Darwinism*, Huxley apresenta algumas rupturas acentuadas no pensamento evolutivo. Segundo o autor, a seleção natural foi relegada a um pano de fundo do processo evolutivo, sendo o darwinismo “eclipsado” por um conjunto de teorias antidarwinistas. Mais do que isso, os estudos evolutivos deste período são referidos por Huxley como precários e atrasados:

Estudos evolutivos tornaram-se cada vez mais uma mera coleção de casos reais ou hipotéticos de adaptações. O Darwinismo do final do século XIX assemelhava-se à escola de Teologia Natural do início do século XIX (...) Havia pouco contato das especulações evolutivas com os fatos concretos de citologia e hereditariedade ou com qualquer experimentação real (HUXLEY, 1942, p. 23).

O autor também faz uma leitura do eclipse do darwinismo como um período em que a biologia evolutiva estava fragmentada e repleta de problemas, os quais foram solucionados pelos arquitetos da síntese que unificaram o darwinismo. A síntese evolutiva, para Huxley, surge como uma união de áreas como genética, zoologia, paleontologia, citologia, biometria e sistemática, que passaram a adquirir sentido comum:

A biologia no presente momento está entrando em uma fase de síntese depois de um período em que novas disciplinas foram retomadas e trabalharam em um relativo isolamento (...) já estamos vendo os primeiros frutos desta reanimação do darwinismo (HUXLEY, 1942, p. 26).

É interessante notar o uso de duas metáforas por Huxley, as quais dizem muito sobre a sua leitura da história do pensamento evolutivo. A primeira delas é a própria

metáfora astronômica de um eclipse: a luz brilhante do darwinismo foi obscurecida por teorias concorrentes de natureza especulativa – uma verdadeira idade das trevas da biologia evolutiva. Assim como o sol inevitavelmente emerge por trás da lua ao final de um eclipse solar, a teoria da evolução pela seleção natural acabaria por surgir novamente após o eclipse feito pelas dezenas de teorias concorrentes oferecidas pelos antidarwinistas do início do século XX (LARGENT, 2009). Ao se referir aos autores antecessores da síntese evolutiva, Huxley argumenta que eles trabalharam em uma época ignorante e sem desenvolvimento científico. A metáfora do eclipse, portanto, tem valor retórico específico: aponta a síntese evolutiva como um desenvolvimento natural, uma solução previsível para os problemas evolutivos.

Outra metáfora utilizada por Huxley é a da síntese evolutiva como uma fênix. Nas palavras do próprio Huxley (1942, p. 22): “[A síntese evolutiva] é este renascer do Darwinismo, esta fênix mutada, ressuscitada das cinzas da pira e acesa por homens tão distintos como Bateson e Bergson”. A imagem de uma fênix denota o caráter de infalibilidade do darwinismo no pensamento evolutivo, renascido na figura da síntese evolutiva, a qual congrega os ideais de uma ciência unificada e confiável. O eclipse do darwinismo, por oposição, representa uma sucessão de enganos no pensamento evolutivo, ao relegar a seleção natural a um segundo plano e apresentar teorias meramente especulativas (ARAÚJO; ARAÚJO, 2017).

Os argumentos históricos de Huxley são aceitos por muitos historiadores da biologia, que caracterizam o eclipse do darwinismo como uma época de pouco desenvolvimento para o pensamento evolutivo (JUNKER, 2008). Se tal interpretação histórica não encara o eclipse do darwinismo como um período de “engano” na teoria evolutiva, ela perpetua a ideia de que os estudos evolutivos deste período foram secundários ou desnecessários para o pensamento evolutivo (ARAÚJO; ARAÚJO, 2017).

Ernst Mayr, outro importante arquiteto da síntese, endossa a interpretação histórica de Huxley. O autor ainda legitima historicamente a exclusão da embriologia, uma importante ausência da síntese evolutiva. Em *What Makes Biology Unique?* (2004), Mayr se refere ao eclipse do darwinismo como um período repleto de paradigmas sem credibilidade, que foram suplantados pela síntese evolutiva:

Depois que Darwin propôs a seleção natural como o mecanismo da evolução, o saltacionismo, a ortogênese e o lamarckismo competiram com o selecionismo durante oitenta anos (Bowler, 1983). Somente com a síntese

evolutiva da década de 1940 que estes paradigmas concorrentes perderam sua credibilidade (MAYR, 2004, p. 165).

Mayr faz uma breve reconstrução do pensamento evolutivo nessa obra, explorando os aspectos históricos que serviram à síntese evolutiva, os quais ele chama de “estágios de maturação do darwinismo”. Os eventos que o autor ressalta nessa reconstrução são aqueles diretamente relacionados ao núcleo duro da síntese: a refutação da herança dos caracteres adquiridos, feita por August Weismann (1834-1914); a “redescoberta” do mendelismo, no início do século XX; e o desenvolvimento da genética de populações (MAYR, 2004, p. 118-121).

Essa maturação do darwinismo não serviu apenas para o desenvolvimento teórico da síntese evolutiva, mas para efetivamente eliminar certas teorias que, para Ernst Mayr (1982; 2004), não tinham credibilidade, como a ortogênese, o neolamarckismo e o saltacionismo. Dessa forma, assim como Huxley, o autor faz uma história seletiva da biologia evolutiva, procurando mostrar exclusivamente o surgimento dos aspectos deste período que fizeram parte da síntese evolutiva.

Essa leitura não seria problemática se Mayr estivesse apenas retomando a constituição da tradição científica da qual faz parte, mas o seu intuito é reconstituir a história do pensamento evolutivo como um todo. Em diferentes trechos de sua análise histórica, o autor faz uma defesa enfática das exclusões que a síntese evolutiva operou. O papel dos arquitetos da síntese, segundo Mayr, não foi apenas o de construir o conhecimento evolutivo, mas também o de silenciar as teorias concorrentes. Ele reivindica a importância de muitos evolucionistas que ajudaram a “limpar o terreno para que as pontes pudessem ser construídas, fornecendo importantes materiais de construção” (MAYR, 1982, p. 568). Cito Mayr:

A síntese evolutiva resolveu inúmeros argumentos antigos de uma vez por todas e, assim, abriu o caminho para a discussão de problemas inteiramente novos (...). Foi talvez a refutação de uma série de equívocos que tiveram o maior impacto na biologia evolutiva. Isso inclui a herança branda, o saltacionismo, o essencialismo e as teorias autogenéticas. A síntese enfaticamente confirmou a esmagadora importância da seleção natural, do gradualismo, da natureza dual da evolução (adaptação e diversificação), da estrutura populacional das espécies, do papel evolutivo das espécies e da herança dura (MAYR, 1982, p. 569-570).

Na interpretação de Mayr, a exclusão da herança branda, da embriologia, entre outras teorias e disciplinas biológicas, foi necessária para a “limpeza do terreno” no caminho da síntese evolutiva. É interessante notar o caso da embriologia: apesar de alguns arquitetos da síntese evolutiva possuírem interesse em aspectos do

desenvolvimento ontogenético, Mayr considerava que a geração de embriologistas do início do século XX não estava pronta para ajudar a construir a síntese evolutiva. Segundo o autor, a embriologia era antidarwinista, adotava interpretações tingidas de vitalismo e apenas lidava com causas próximas¹² (MAYR, 1982, p. 118).

A ausência da embriologia na construção da síntese evolutiva, contudo, parece um evento histórico muito mais complexo do que a mera postura antidarwinista dos embriologistas, envolvendo uma disputa direta pela autoridade científica nas questões sobre hereditariedade e evolução. Isso é visível pelo papel escasso que embriologistas interessados na biologia evolutiva adquiriram no meio científico, mesmo que alguns autores tenham trabalhado em diálogo com os conceitos da síntese evolutiva (ARAÚJO; ARAÚJO, 2015).

Mayr também acreditava que a ontogenia confundia as pesquisas sobre hereditariedade, sendo um dos principais ganhos conceituais da genética clássica a drástica separação estabelecida entre os fenômenos ontogenéticos e genéticos:

Foi o gênio de Morgan que pôs de lado todas as questões fisiológicas do desenvolvimento (apesar de ele próprio ter vindo da Embriologia) e se concentrou estritamente nos problemas de transmissão [genética]. Suas descobertas pioneiras de 1910-1915 foram inteiramente devidas a essa sábia restrição (MAYR, 1982, p. 832).

De modo interessante, Mayr tem uma leitura da teoria evolutiva que coloca os fenômenos do desenvolvimento biológico em um segundo plano. Isso é visível no trabalho do autor em pelo menos três aspectos diferentes: (i) ao defender que o estudo da hereditariedade não iria progredir até que o desenvolvimento ontogenético fosse colocado como um problema totalmente diferente; (ii) ao afirmar que os embriologistas do início do século XX não teriam contribuições substanciais para a síntese evolutiva; e (iii) ao estabelecer que a embriologia lida com causas próximas, enquanto a evolução biológica estuda as causas últimas (MAYR, 1961). Essa leitura teve um papel ativo, pois o desmerecimento das abordagens ontogenéticas fez o desenvolvimento parecer

¹² Mayr propõe que a fisiologia e o desenvolvimento fornecem apenas explicações para as “causas próximas” da biologia. Assim, a embriologia tem relação apenas com elementos estruturais, respondendo a perguntas do tipo “como?” (*How?*). A biologia evolutiva, por outro lado, responde a perguntas do tipo “por que?” (*Why?*), isto é: “encontrar as causas [históricas] das características existentes e as adaptações particulares é a principal preocupação do biólogo evolutivo” (MAYR, 1961, p. 1502). Segundo Amundson (2005), Mayr não introduziu essa dicotomia para refutar a relevância do desenvolvimento para o entendimento evolutivo. Após os debates da década de 1970 em torno do adaptacionismo, no entanto, a dicotomia causas próximas/últimas foi integrada como uma defesa da síntese evolutiva contra os críticos estruturalistas.

irrelevante no processo evolutivo, sendo praticamente ausente na teoria evolutiva até meados dos anos 1970 (AMUNDSON, 2005).

A interpretação dos arquitetos da síntese evolutiva sobre o eclipse do darwinismo não deixa de ser uma narrativa histórica dos vencedores em relação às teorias antidarwinistas concorrentes. O problema de permitir que os atores históricos escrevam a própria história de sua tradição científica é que eles acabam perpetuando as suas reivindicações sobre o trabalho realizado pela geração anterior de pesquisadores (LARGENT, 2009).

Essa tendência pode ser encontrada em qualquer atividade intelectual, mas está especialmente presente na reconstrução histórica da ciência quando feita pelos próprios cientistas. Thomas Kuhn (2013) já havia apontado a tendência dos cientistas de ver o passado de sua disciplina como um desenvolvimento linear em direção ao ponto de vista privilegiado do presente:

Em parte por seleção e em parte por distorção, os cientistas de épocas anteriores são implicitamente representados como se tivessem trabalhado sobre o mesmo conjunto de problemas fixos e utilizado o mesmo conjunto de cânones estáveis que a revolução mais recente em teoria e metodologia científica fez parecer científicos (...) não é de admirar que, ao ser reescrita, a ciência pareça, mais uma vez, como sendo basicamente cumulativa (KUHN, 2013, p. 235).

Huxley e Mayr fizeram uma história da ciência linear e cumulativa ao interpretar que a síntese evolutiva é uma continuação do darwinismo¹³. Essa interpretação subentende que os cientistas trabalharam em um mesmo conjunto de problemas e utilizaram os mesmos cânones em diferentes épocas. Essa reconstrução histórica encara o passado como um desenvolvimento linear em direção ao ponto de vista privilegiado dos autores.

Tal interpretação também elabora uma leitura negativa daqueles que não fizeram parte desse desenvolvimento linear. Autores considerados antidarwinistas ou que não fizeram parte da síntese evolutiva foram desconsiderados pelos arquitetos. Além disso, para os arquitetos da síntese, essas exclusões tiveram um papel “positivo” na construção do conhecimento científico: elas atrapalhavam o desenvolvimento da biologia e o seu descarte de certa forma permitiu a retomada do darwinismo na síntese evolutiva. Mayr argumenta neste sentido quando se refere sobre as abordagens neolamarckistas e

¹³ E nesta reconstrução histórica são esquecidos aspectos que foram importantes para Darwin, mas posteriormente negados pela síntese evolutiva, como a herança de caracteres adquiridos.

saltacionistas na evolução, ou então quando defende a separação entre os fenômenos ontogenéticos e da hereditariedade na genética clássica (ARAÚJO; ARAÚJO, 2017).

O espírito de uma teoria unificada e madura na biologia evolutiva teve como componente essencial essa leitura ativa da história do pensamento evolutivo. Huxley e Mayr não foram apenas atores centrais dos componentes conceituais e institucionais da síntese evolutiva, mas também de uma leitura histórica da biologia que acabou sendo perpetuada, moldando as narrativas de muitos historiadores (JUNKER, 2008).

A despeito da narrativa unificadora desses autores, a síntese evolutiva apresentou diversas deficiências, como discutimos ao longo deste capítulo. Embora as evidências experimentais e observacionais no nível populacional fossem abundantes, não estava muito claro se o arcabouço teórico da síntese explicaria a evolução como um todo. Também havia pouca conexão com áreas como morfologia, paleontologia e embriologia. Autores desses campos procuraram explicações macroevolutivas, muitas vezes conflitantes com as microevolutivas propostas pelos arquitetos da síntese (AMUNDSON, 2005).

Forçados a adequar diferentes fenômenos e ideias evolutivas em um corpo teórico estreito, os arquitetos da síntese tiveram que operar exclusões e marginalizações para a formação e manutenção deste quadro teórico. Desse modo, a narrativa histórica apresentada por Mayr e Huxley não procurava apenas endossar os alegados avanços conceituais da teoria evolutiva, mas também justificar as suas exclusões – a “limpeza do terreno” para o caminho da síntese evolutiva, como Mayr argumenta.

Os historiadores da biologia começaram a chamar a atenção para esta “historiografia da síntese” somente nos anos 80, produzindo importantes reflexões sobre as exclusões e desunificação da síntese evolutiva. Foi neste período que historiadores também começaram a argumentar que a síntese evolutiva não foi um movimento de *síntese*, mas um *acordo* em relação ao conjunto de variáveis consideradas importantes para a evolução biológica, excluindo explicações e disciplinas deste corpo teórico (ex. DEPEW; WEBER, 1988; PROVINE, 1992). Segundo Depew e Weber (1988), a síntese evolutiva:

foi construída mais como um *acordo* do que como uma teoria, porque estabeleceu termos que permitiram aos evolucionistas e praticantes da nova ciência da genética (e, mais geralmente, da biologia molecular) trabalharem juntos sob pressupostos comuns (DEPEW; WEBER, 1988, p. 317, grifo meu).

1.4 As novas propostas de unificação

Desde os anos de 1980, alguns autores buscam propor novas formas de unificação que pudessem solucionar as alegadas ausências da síntese evolutiva e, assim, levar a uma síntese mais ampla da biologia. Alguns exemplos são os trabalhos de Gould (1980), Robert Reid (1985) e Niles Eldredge (1985). Tais iniciativas arrefeceram nos anos 1990, mas a partir da primeira década dos anos 2000 elas retomaram força com a recente proposta chamada de síntese evolutiva estendida (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010).

Os artigos de Massimo Pigliucci (2007) e Gerd Müller (2007) introduzem a construção dessa proposta. Em julho de 2008, Pigliucci e Müller (2010) organizaram um encontro no Instituto Konrad Lorenz, em Viena, que resultou na obra seminal *Evolution: The Extended Synthesis*. A partir daí, tomou corpo uma profusão de publicações referentes à necessidade de uma “síntese evolutiva estendida”.

Em 2014, a revista *Nature* publicou um artigo em que dois grupos de pesquisadores, apresentando posições opostas, respondem se “A teoria evolutiva precisa ser repensada?” (LALAND *et al.*, 2014). No ano seguinte, o mesmo grupo de pesquisadores que se posicionou pela necessidade de repensarmos a teoria evolutiva, publica uma proposta mais detalhada de rearticulação do quadro geral da biologia evolutiva (LALAND *et al.*, 2015).

Um novo encontro foi realizado em novembro de 2016, em Londres, com organização conjunta entre a Academia Britânica e a Sociedade Real. Esse encontro foi intitulado *New trends in evolutionary biology: biological, philosophical and social science perspectives*. A revista *Interface focus* publicou uma edição especial com artigos baseados em apresentações feitas neste encontro (BATESON *et al.*, 2017).

Em maio de 2017, o Instituto Konrad Lorenz recebeu mais um evento relacionado a esse tema. Dessa vez, o evento foi organizado por Kevin Laland e Tobias Uller, sob o título *Cause and Process in Evolution*, tornando manifesto que, cada vez mais, a síntese evolutiva estendida vem recebendo o aporte de investigações filosóficas.

Esses eventos e publicações mostram que a proposta de uma síntese evolutiva estendida, apesar de recente, possui considerável articulação teórica e institucional. De fato, trata-se de um consórcio internacional de 51 cientistas pertencentes a oito

importantes centros de pesquisa. Atualmente, compreende 22 projetos de pesquisa divididos em quatro temas interconectados¹⁴.

Os proponentes da síntese evolutiva estendida se apresentam como defensores de uma expansão da síntese evolutiva. Suas justificativas baseiam-se em resultados empíricos e teóricos de abordagens presentes em estudos evolutivos recentes. Eles mencionam investigações em biologia evolutiva do desenvolvimento (a chamada Evo-Devo), em especial o processo de viés de desenvolvimento, e investigações em outras áreas, que enfocam processos tais como construção de nicho, plasticidade fenotípica e herança extragenética.

Esses autores ainda destacam que muitos biólogos evolutivos alinhados à síntese evolutiva estudam os processos que eles afirmam serem negligenciados, “mas eles os *compreendem* de maneira muito diferente” (LALAND *et al.*, 2014, p. 162, grifo meu), constituindo peças faltantes no quadro da síntese evolutiva:

(...) as peças faltantes incluem como o desenvolvimento físico influencia a geração de variação (viés de desenvolvimento); como o ambiente molda diretamente os traços dos organismos (plasticidade); como os organismos modificam os ambientes (construção de nicho); e como os organismos transmitem mais do que genes através das gerações (herança extragenética). Para a SET [teoria evolutiva padrão], esses fenômenos são apenas resultados da evolução. Para a SEE [síntese evolutiva estendida], eles também são causas (LALAND *et al.*, 2014, p. 162).

É interessante frisar que estes autores não endereçam as suas críticas apenas à síntese evolutiva original, desenvolvida entre os anos 1920 e 1950, mas também à teoria evolutiva *atual*. Eles concordam que a teoria evolutiva atual seja distinta da síntese evolutiva original. No entanto, afirmam que “a teoria evolutiva padrão mantém em grande parte os mesmos pressupostos da síntese original, que continua a moldar a forma como as pessoas pensam sobre a evolução” (LALAND *et al.*, 2014, p. 162).

Apesar de os autores alinhados à síntese evolutiva estendida interpretarem sua proposta como uma *continuação* dos avanços empíricos e conceituais da teoria evolutiva padrão, caracterizando-a como uma *extensão*, eles argumentam, quase que de modo contraditório, a favor de *modificações substanciais* de sua proposta em relação aos pressupostos centrais da síntese evolutiva (Quadro 1).

¹⁴ Informações obtida no site do projeto: <http://extendedevolutionarysynthesis.com>. Acesso em: 22 Março 2019.

Quadro 1. Uma comparação dos pressupostos centrais da síntese evolutiva e da síntese evolutiva estendida

Pressupostos centrais da Síntese Evolutiva	Pressupostos centrais da Síntese Evolutiva Estendida
i. Preeminência da seleção natural	i. Causação recíproca
ii. Herança genética	ii. Herança inclusiva
iii. Variação genética aleatória	iii. Variação fenotípica não aleatória
iv. Gradualismo	iv. Taxas variáveis de mudança
v. Perspectiva centrada no gene	v. Perspectiva centrada no organismo
vi. Padrões macroevolutivos são explicados por processos microevolutivos de seleção, deriva, mutação e fluxo gênico	vi. Processos evolutivos adicionais, incluindo viés de desenvolvimento e herança ecológica, ajudam a explicar padrões macroevolutivos e contribuem para a evolucionabilidade

FONTE: traduzido de LALAND *et al.* (2015, p. 2)

Como pode ser verificado no Quadro 1, a comparação é realizada por meio de seis pressupostos considerados centrais a cada um dos quadros interpretativos. No artigo original, os autores descrevem como esses pressupostos são distintos na síntese evolutiva e síntese evolutiva estendida (LALAND *et al.*, 2015).

Apesar de defender uma mera extensão da síntese evolutiva, a argumentação dos autores revela que a incorporação desses processos não implica uma expansão teórica, mas em uma *transformação* do quadro interpretativo anterior. Considerar a diferença entre a síntese evolutiva e a síntese evolutiva estendida simplesmente como uma questão de inclusão de processos, de extensão de teorias, é negligenciar o que há de mais fundamental: a síntese estendida é uma nova forma de encarar e compreender a evolução, que envolve um novo olhar para conceitos centrais da biologia evolutiva, como *ambiente, adaptação, variação e hereditariedade* (REIS; ARAÚJO, 2020).

Os processos evolutivos mencionados pelos proponentes da síntese evolutiva estendida não são por eles encarados como meros mecanismos a serem adicionados à teoria evolutiva, mas como processos que modificam o pensamento evolutivo de forma substancial (REIS; ARAÚJO, 2020). E eles reconhecem que essas modificações alcançam inclusive os pressupostos centrais da síntese evolutiva (LALAND *et al.*, 2015).

1.5 As propostas de síntese do conhecimento evolutivo mobilizam categorias científicas, históricas e filosóficas

Em suas propostas ambiciosas de revisão e unificação da teoria evolutiva, os biólogos evolutivos não estão apenas mobilizando categorias científicas, mas também lidando com alegações históricas e filosóficas. Por categorias científicas refiro-me principalmente aos processos centrais de mudança evolutiva, que são considerados primordiais para a teoria evolutiva. Categorias filosóficas, por outro lado, consistem nas proposições normativas que especificam sob que condições as crenças evolutivas são ou não são justificadas; e, finalmente, as reconstruções históricas elaboradas pelos próprios cientistas em relação ao pensamento evolutivo são definidas como categorias históricas.

Ao longo deste capítulo, procurei mostrar a articulação entre estes elementos, principalmente no discurso dos arquitetos da síntese evolutiva. Abordei especificamente a forma como Mayr e Huxley asseveraram a centralidade da seleção natural e a refutação de uma série de conceitos que “confundiam” a pesquisa evolutiva e impediam a sua unificação.

Os proponentes da síntese evolutiva estendida, por outro lado, não buscam refutar os processos clássicos da síntese evolutiva, mas alegam que alguns processos evolutivos são *negligenciados* pela tradição científica anterior. Eles citam com frequência quatro processos: viés de desenvolvimento, construção de nicho, plasticidade fenotípica e herança extragenética.

As propostas de unificação da teoria evolutiva são ainda diretamente dependentes de uma interpretação histórica da tradição científica anterior – que no caso da síntese evolutiva é o eclipse do darwinismo e da síntese evolutiva estendida é a própria síntese evolutiva. Dessa forma, os autores envolvidos com as propostas de síntese possuem concepções sobre mudança científica que são parte constitutiva de suas proposições.

Julian Huxley (1942, p. 23), por exemplo, argumenta que a pesquisa evolutiva na época do eclipse do darwinismo era uma mera coleção de casos singulares, sem experimentação real. Segundo o autor, as disciplinas biológicas desse período estariam em isolamento. Como um esforço de unificação, a síntese evolutiva possuiria virtudes

epistêmicas valorizadas por Huxley, como métodos experimentais baseados em evidências empíricas e resultados generalizáveis em termos matemáticos¹⁵.

Outro elemento salientado por alguns arquitetos da síntese, como Ernst Mayr, é a tendência a expurgar elementos metafísicos inaceitáveis, que não estão calcados no solo da experiência humana. Estes aspectos demonstram como esses autores vislumbram uma epistemologia baseada nas virtudes do positivismo lógico, em pressupostos filosóficos do que era considerada uma boa ciência para a época (SMOCOVITIS, 1996).

É interessante notar que tanto a interpretação histórica de Mayr quanto aquela elaborada por Huxley apresentam a síntese evolutiva como uma *ruptura* em relação ao eclipse do darwinismo, mas, ao mesmo tempo, como uma *continuação* do darwinismo. Huxley inclusive se vale de duas metáforas para esta reconstrução histórica: a metáfora astronômica de um eclipse e a da síntese evolutiva como uma fênix (LARGENT, 2009). Estas metáforas apontam que a luz do darwinismo foi obscurecida pelas tradições científicas durante o eclipse do darwinismo, surgindo novamente na figura da síntese evolutiva, a qual congrega os ideais de uma ciência unificada e confiável.

Os proponentes da síntese evolutiva estendida, por outro lado, reconstroem quase uma história linear entre a sua proposta e a síntese evolutiva. Contudo, em algumas passagens dos trabalhos aqui discutidos (LALAND, 2014; 2015; PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010), os autores defendem modificações substanciais de sua proposta em relação aos pressupostos centrais da síntese evolutiva. Isso acaba gerando um tensionamento na argumentação dos autores da síntese evolutiva estendida: a sua narrativa histórica continuísta e linear conflita diretamente com as suas aspirações científicas e filosóficas, que estabelecem mudanças substanciais na estrutura teórica da biologia evolutiva (REIS; ARAÚJO, 2020).

Os proponentes da síntese evolutiva estendida não argumentam apenas que os processos evolutivos são negligenciados pela síntese evolutiva, mas que eles geram efetivamente *compreensões distintas*. Esses autores destacam que muitos biólogos evolutivos estudam os processos que eles afirmam serem negligenciados, “mas eles os

¹⁵ É claro que se olharmos detalhadamente o trabalho de cada um dos evolucionistas, encontraremos epistemologias e metafísicas distintas que orientam seu trabalho. Delisle (2009), por exemplo, ao analisar detalhadamente o trabalho de Theodosius Dobzhansky, Bernhard Rensch e Ernst Mayr, constatou genuínas oposições nas escolhas epistemológicas e metafísicas feitas por estes arquitetos. A minha análise incide sob os aspectos gerais compartilhados na síntese evolutiva.

compreendem de maneira muito diferente” (LALAND *et al.*, 2014, p. 162, grifo meu), constituindo *peças faltantes* da teoria evolutiva. Portanto, a incorporação desses processos não implica mera expansão da teoria, mas em uma *transformação* do quadro interpretativo anterior.

Os autores argumentam também que algumas disciplinas novas não são contempladas pelo quadro teórico anterior. Destaca-se a chamada biologia evolutiva do desenvolvimento, que está preocupada, entre outras coisas, com a compreensão dos mecanismos de desenvolvimento nas mudanças fenotípicas. Considera-se que esta disciplina “abre a caixa preta” entre genótipo e fenótipo, incluindo uma nova forma de encarar e compreender a evolução, com a rearticulação de conceitos importantes, como *ambiente, adaptação, variação e hereditariedade*. Estes autores ainda desafiam uma suposta *noção de causalidade* muito simplificada da síntese evolutiva, a qual remonta à distinção de Mayr (1961) entre causas próximas e causas últimas (LALAND *et al.*, 2011). No lugar desta, eles propõem uma noção de *causação recíproca*.

A narrativa histórica dos proponentes da síntese evolutiva estendida apresenta uma concepção linear, em que tais modificações e novidades seriam incorporadas por uma extensão no quadro teórico da biologia evolutiva. No entanto, alterar a concepção a respeito das entidades relevantes para a evolução parece demandar muito mais que uma simples adição, levando a modificações na rede teórica e a transformação da biologia evolutiva como um todo.

Alguns indícios dessas transformações estão na própria argumentação dos proponentes da síntese evolutiva estendida, os quais reiteradamente argumentam que as pesquisas sobre Evo-Devo não apenas consideram a relevância do desenvolvimento biológico no processo evolutivo, mas também *enxergam* de modo distinto a evolução adaptativa e o papel do ambiente na evolução (LALAND *et al.*, 2014, p. 164). Essa metáfora da experiência visual-conceitual denota uma alteração na percepção científica que acompanha uma mudança científica mais substancial do que uma mera adição ao conhecimento em voga.

Conhecidos epistemólogos da ciência, como Thomas Kuhn (1962), abordam essa metáfora como evidência de que mudanças substanciais estão em curso na ciência. A partir de exemplos da física e da química, Kuhn mostra como alterações científicas substanciais levam os cientistas a usar “lentes inversoras” para a mesma constelação de objetos de sua disciplina, que estão muito transformados em seus detalhes.

Dessa forma, os defensores da síntese evolutiva estendida não conseguem compatibilizar a interpretação histórica linear e continuísta de “extensão” com as suas alegações científicas e filosóficas. O Quadro 2 procura classificar e organizar as categorias científicas, filosóficas e históricas mobilizadas pelos proponentes da síntese evolutiva e da síntese evolutiva estendida, discutidas ao longo deste capítulo. Essa classificação nos ajuda a entender as diferentes dimensões envolvidas nas propostas de unificação do conhecimento evolutivo.

Quadro 2. Proposta de classificação e organização das categorias científicas, filosóficas e históricas mobilizadas pelos proponentes da síntese evolutiva e da síntese evolutiva estendida

<i>Categorias</i>	Síntese Evolutiva	Síntese Evolutiva Estendida
Científicas	<ul style="list-style-type: none"> • Exclusão de teorias antidarwinistas; • Centralidade da genética de população; • Primazia da seleção natural; • Gradualismo estrito; • Extrapolação entre processos microevolutivos e padrões macroevolutivos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos evolutivos negligenciados: <ul style="list-style-type: none"> ○ Viés de desenvolvimento; ○ Construção de nicho; ○ Plasticidade fenotípica; ○ Herança extragenética; • Importância da Evo-Devo; • Distinção entre processos microevolutivos e padrões macroevolutivos;
Filosóficas	<ul style="list-style-type: none"> • Unificação de disciplinas biológicas isoladas; • Métodos experimentais com resultados generalizáveis em termos matemáticos; • Elementos metafísicos “expurgados” da biologia; • Distinção entre causas próximas e causas últimas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformação do quadro interpretativo anterior; • Maior pluralismo, com inserção de disciplinas e processos evolutivos; • Compreensão distinta de conceitos centrais, como ambiente, adaptação, variação e hereditariedade; • Modelo de causação recíproca;
Históricas	<ul style="list-style-type: none"> • Ruptura com o eclipse do darwinismo; • Continuidade com o darwinismo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidade linear com a síntese evolutiva;

FONTE: Elaboração própria

Apesar de se declarar como uma nova *síntese*, a chamada síntese evolutiva estendida leva (ao menos em curto prazo) a um pluralismo de abordagens na biologia

evolutiva. Neste momento, ela pode ser tomada como uma tentativa de acomodação das novidades empíricas e teóricas da biologia evolutiva contemporânea no quadro geral da síntese evolutiva. Esta proposta inevitavelmente acaba se mostrando mais plural e ampla que a síntese evolutiva original. Desse modo, a biologia evolutiva contemporânea pode ser caracterizada como um “pluralismo evolutivo”. As dimensões deste pluralismo constituem a temática do próximo capítulo.

2 O PLURALISMO EVOLUTIVO

A biologia evolutiva contemporânea compreende quadros conceituais coexistentes (ELDREDGE, 1985; FÁBREGAS-TEJEDA; VERGARA-SILVA, 2018). A evolução dos seres vivos é abordada pelos cientistas a partir dos genes, da regulação gênica, plasticidade fenotípica, epigenética, morfologia, embriologia, comportamento animal, estrutura populacional, macroevolução, etc... Uma miríade considerável de disciplinas da biologia elaboram estudos que contribuem para o conhecimento evolutivo. Variando da ecologia à biologia molecular, esse pluralismo amplia a biologia evolutiva para diferentes níveis de análise, dos ecossistemas à bioquímica da vida.

A complexidade dos sistemas estudados pela biologia evolutiva leva a uma pluralidade de hipóteses causais que não são necessariamente concorrentes com as adotadas pela síntese evolutiva. As evidências empíricas e os avanços teóricos recentes expuseram que, a despeito da grande importância da seleção natural, da extrapolação entre micro/macroevolução, do gradualismo estrito e do genocentrismo, é preciso combinar outras conjecturas evolutivas.

Como vou argumentar neste capítulo, a biologia evolutiva contemporânea é caracterizada por um *pluralismo evolutivo*. O pensamento evolutivo tem vivenciado um momento de reformulações, que passa pela proliferação de conceitos, sendo caracterizado por um pluralismo de processos, padrões e hereditariedade (PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000; DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007; DANCHIN *et al.*, 2011). Esse posicionamento tem sido defendido não apenas entre cientistas, mas também entre historiadores e filósofos que se dedicam à evolução biológica (BRIGANDT, 2010).

Obviamente, há muitas nuances sobre o tipo de pluralismo adotado e os seus limites, os quais são dependentes das discussões específicas levadas a cabo. De modo geral, o pluralismo evolutivo tem sido defendido na literatura com base em duas dimensões: a partir da descrição da prática científica dos evolucionistas – os quais participam de diferentes disciplinas, adotam distintos conceitos, métodos, explicações, etc... -, e com referência à complexidade e hierarquia dos fenômenos biológicos (PIEVANI, 2002; MITCHELL, 2003; DIECKMANN; DOEBELI, 2005; BRIGANDT, 2010). De acordo com essa visão, tanto as tradições de pesquisa dos biólogos quanto os heterogêneos e complexos fenômenos da evolução atuam como justificativas para o pluralismo evolutivo. No primeiro caso, o pluralismo é defendido a partir da descrição da prática científica, assumindo esta prática como legítima. No segundo caso, o pluralismo é defendido sob uma base metafísica, a partir de teses sobre o conteúdo do

mundo biológico como um todo (DUPRÉ, 1993). Portanto, o pluralismo evolutivo é fundado tanto no plano da prática e do discurso científico quanto no plano metafísico. A seguir apresento cada um destes fundamentos.

2.1 A prática científica como fundamento do pluralismo evolutivo

O primeiro grande eixo que baseia o pluralismo evolutivo é a descrição da atividade científica: ou seja, formamos inevitavelmente uma imagem pluralista da biologia evolutiva quando procuramos caracterizá-la nos dias de hoje. Quando olhamos para a própria ciência, vemos um pluralismo de teorias, métodos, programas de pesquisa, tradições de pesquisa, temas científicos e conceitos que são abordados pelos evolucionistas. E esta constatação é endossada tanto pelos cientistas que buscam caracterizar seu campo, quanto por historiadores da biologia (PIEVANI, 2002; MITCHELL, 2003; DIECKMANN; DOEBELI, 2005; BRIGANDT, 2010; STOLTZFUS, 2017).

Dessa forma, quando comparamos a síntese evolutiva original e a biologia evolutiva contemporânea, com seus resultados empíricos e teóricos de novas abordagens, chegamos a uma perspectiva pluralista. É neste sentido que Pievani (2002) descreve o pluralismo evolutivo de um modo tridimensional: sobre ritmos evolutivos; sobre unidades e níveis evolutivos; e sobre fatores e causas envolvidos na evolução biológica.

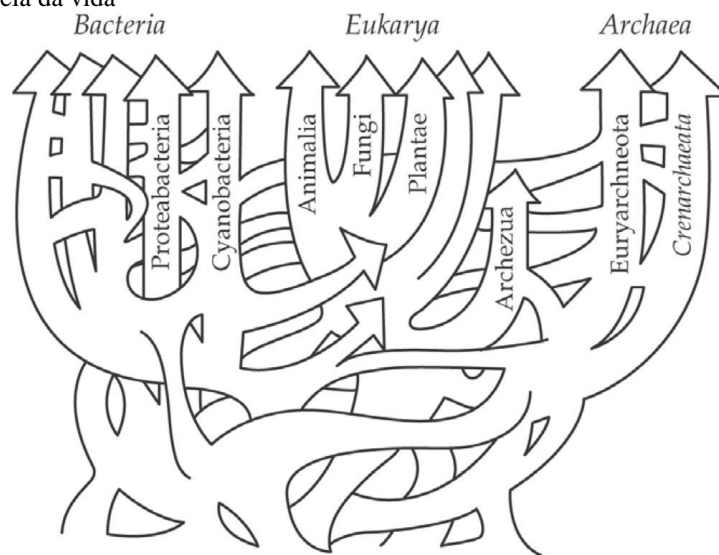
Se o gradualismo é geralmente considerado um elemento essencial da síntese evolutiva e do próprio darwinismo, os ritmos evolutivos foram ampliados desde a discussão sobre a teoria do equilíbrio pontuado (GOULD; ELDREDGE, 1972). O equilíbrio pontuado é respaldado em exemplos de fósseis, como de moluscos e artrópodes, segundo Gould e Eldredge (1972). Na explicação do equilíbrio pontuado, a especiação é central, uma vez que virtualmente toda a evolução morfológica acontece nos períodos de rápida especiação, com longas fases de estase entre elas.

A visão gradualista expõe um padrão de evolução gradual (anagênese), com a especiação como um processo subsidiário. Esses padrões não são mutuamente excludentes, uma vez que podem explicar a evolução de distintas linhagens. Os registros fósseis nos mostram diferentes ritmos evolutivos, os quais podem ser explicados por distintos tempos e modos de evolução.

Essa é uma das razões que nos leva a outro tipo de pluralismo – o chamado pluralismo de padrões evolutivos (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007). Para Doolittle e Bapteste (2007, p. 2048), a crença de que a natureza deve exibir um padrão único de relações entre os táxons expõe um monismo de padrão, em oposição ao pluralismo de padrão – o reconhecimento de que variados modelos e representações de relações evolutivas são apropriados e verdadeiros a depender do táxon em questão. A síntese evolutiva assume um monismo de padrão, representando a história da vida como uma grande árvore com relações hierárquicas bem estabelecidas entre ancestrais e descendentes.

Alguns processos de transmissão horizontal descritos pelos biólogos nos últimos anos nos levam a padrões diferentes do que o representado pela metáfora da árvore. A simbiose, a transferência genética horizontal (preponderante em bactérias), bem como a hibridização entre espécies distintas, resultam em padrões que não são expressos em relações hierárquicas bem estabelecidas entre ancestrais e descendentes (Figura 2). Desse modo, não se trata de negar o padrão em árvore, mas reconhecer que há um pluralismo de padrões que representam a história da vida quando consideramos os mais variados táxons e os processos de transmissão horizontal e vertical (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007).

Figura 2. Uma representação da história da vida que reflete os processos de transmissão vertical e horizontal. Essa representação propõe uma substituição da metáfora da árvore por uma teia da vida



FONTE: retirado de Arnold e Fogarty (2009)

A síntese evolutiva também é menos pluralista em relação às unidades de evolução, privilegiando algumas entidades biológicas envolvidas causalmente no

processo evolutivo. Nos últimos anos, uma série de biólogos e filósofos tem proposto que genes, organismos e espécies podem ser considerados “indivíduos” biológicos e, portanto, sujeitos à seleção (p. ex., HULL, 1976).

A seleção natural pode ser formulada de forma totalmente abstrata - não envolvendo referência a organismos ou quaisquer outras unidades biológicas. Entidades em muitos níveis da hierarquia biológica podem satisfazer as suas condições, incluindo genes, cromossomos, organelas, células, organismos multicelulares, colônias, grupos e espécies. A natureza hierárquica do mundo biológico, combinada com a abstração do princípio da seleção natural, leva a uma gama de unidades nas quais a seleção pode, em princípio, atuar (FOLGUERA, 2011).

Para que se constitua como uma unidade evolutiva, as mudanças que um nível biológico sofre com o tempo devem se acumular, gerando um duplo jogo de identidade e diferença (GOULD; LLOYD, 1999). Dessa forma, um requisito das unidades evolutivas é que elas sejam entidades do tipo reprodutivo, permitindo uma continuidade espaço-temporal (HULL, 1976, p. 182). Em relação às mudanças populacionais, essa persistência necessária é garantida pela hereditariedade. E assim como os outros aspectos discutidos até aqui, os biólogos estão cada vez mais apontando para a necessidade de uma concepção mais “inclusiva” de herança, propondo modelos pluralistas de hereditariedade biológica (DANCHIN *et al.*, 2011; WALSH, 2015).

Como discutido anteriormente, a síntese evolutiva possui uma visão denominada genocêntrica, por privilegiar o gene como unidade básica de hereditariedade. A teoria do gene na genética clássica, e adotada na genética de população, nada diz em relação ao modo pelo qual os genes estão ligados causalmente com o produto final, os caracteres. Dessa forma, o estudo da hereditariedade na síntese evolutiva tem como ênfase as causas da transmissão genética entre as gerações (AMUNDSON, 2005).

Este modelo de hereditariedade tem sido imensamente útil e bem sucedido na biologia evolutiva. Não obstante o seu sucesso explicativo, acumulam-se críticas à descrição da hereditariedade biológica em termos puramente genéticos. Com os estudos sobre biologia molecular, genômica, biologia do desenvolvimento e as pesquisas sobre evolução comportamental e cultural, acumularam-se evidências para a insuficiência explicativa da genética da transmissão como modelo único da hereditariedade biológica (ULLER; HELANTERÄ, 2017).

Argumenta-se que mecanismos de herança genética e não-genética, assim como as interações entre elas, têm efeitos evolutivos relevantes, podendo ser um importante gatilho para a divergência e especiação, além de desempenhar um importante papel na evolução adaptativa (LALAND *et al.*, 2015). Dependendo do autor, a ênfase e a discussão teórica sobre hereditariedade pode ser diferente. Por exemplo, Eva Jablonka e Marion Lamb (2005) tratam hereditariedade como transferência de informações entre gerações, estabelecendo os sistemas genético, epigenético, comportamental e simbólico. Oyama, Griffiths e Gray (2001), na perspectiva da teoria dos sistemas em desenvolvimento, não encaram a hereditariedade como transmissão de informação através de canais discretos (como Jablonka, Lamb e outros), mas enfatizam o processo de reconstrução de ciclos de vida no qual a geração parental contribui. Estas perspectivas sobre a hereditariedade parecem diferentes e não é óbvio como estão relacionadas. Uma análise detalhada deste tema está além do escopo desta tese.

Por fim, em relação aos mecanismos e fatores evolutivos, percebemos que a síntese evolutiva adere a uma visão funcional e adaptacionista. O chamado pluralismo de processos é geralmente pensado em oposição às perspectivas adaptacionistas, centradas na seleção natural (ORZACK; FORBER, 2017). Dessa forma, em consonância com o pluralismo evolutivo está a profusão de processos evolutivos na literatura nos últimos anos, que se somam àqueles fatores privilegiados pela síntese evolutiva (seleção natural, mutação, deriva genética e fluxo gênico).

Mecanismos genômicos, ecológicos, ontogenéticos e geológicos precisam ser considerados nas explicações sobre mudanças evolutivas. Somam-se aos mecanismos evolutivos clássicos a plasticidade fenotípica, vieses de desenvolvimento, mecanismos de regulação gênica, construção de nicho, extinção em massa, seleção em múltiplos níveis, simbiose, auto-organização, entre outros (ALMEIDA; EL-HANI, 2010; LALAND *et al.*, 2015). É importante ressaltar que com isso não se rechaça as explicações seletivas, mas passa a considerá-las em conjunto ou sinergisticamente com estes outros processos evolutivos.

É interessante notar como estes processos consideram, além de fatores genéticos, também fatores ecológicos, ontogenéticos e geológicos. O desenvolvimento é responsável pela produção da forma orgânica, influenciando o curso da evolução tanto por produzir inovações morfológicas quanto por restringir as possibilidades de origem e modificação da mesma. Desse modo, tanto a plasticidade do desenvolvimento tem

importância como causa evolutiva – por permitir a origem de novidades evolutivas –, quanto a variação fenotípica pode ser restringida pelos programas do desenvolvimento. O viés de desenvolvimento e a restrição de desenvolvimento ajudam a compreender como algumas formas são mais prováveis de evoluir do que outras, clarificando exemplos de convergência evolutiva (LALAND *et al.*, 2015). Além disso, um entendimento dos processos do desenvolvimento ajuda a explicar mudanças evolutivas complexas, como a evolução dos planos corporais dos animais.

Em relação à dinâmica ecológica, destaca-se que os seres vivos não evoluem para se encaixar em ambientes pré-existentes, mas co-constroem e coevoluem com seus ambientes, mudando a estrutura dos ecossistemas. Alguns autores fazem uma crítica de que a síntese evolutiva encara o ambiente como uma “peneira” que determina passivamente aquelas formas que conseguem sobreviver nas populações ao longo do tempo (REIS, 2017). Para autores como Odling-Smee, Laland e Feldman (2003), a construção de nicho – processo pelo qual os organismos modificam ativamente seus próprios nichos e de outros organismos – deve ser reconhecida como um processo evolutivo de direito próprio. Esse processo direciona a evolução pela modificação não aleatória de ambientes seletivos pelos próprios organismos.

Finalmente, os eventos geológicos são importantes no entendimento dos processos macroevolutivos, que ocorrem em grande escala de tempo. Eventos de glaciação e deriva continental estão envolvidos na diversificação e extinção de clados. As extinções em massa e extinções de fundo são importantes na macroevolução porque elas eliminam grupos de determinadas regiões geográficas, permitindo irradiações evolutivas de outros táxons. Estes eventos estocásticos permeiam a história evolutiva das linhagens, alterando-as de tal forma que as taxas de especiação, o aumento de disparidade e as taxas de extinção se alteram. Um exemplo é o soergimento do Istmo do Panamá, que fez com que a América do Norte e a América do Sul se conectassem, possibilitando que muitas linhagens antes endêmicas se dispersassem entre os continentes. Neste evento, muitas espécies surgiram e outras pereceram (PAES-NETO; SANTOS; MELO, 2017). Um processo evolutivo relacionado com os eventos geológicos é a seleção de espécie, um tipo de seleção em que as espécies funcionam como indivíduos e apresentam taxas de especiação e extinção de forma análoga à reprodução e sobrevivência da seleção natural clássica. Dessa forma, alguns paleontólogos defendem que componentes geológicos que alteram as taxas de extinção

e especiação são processos evolutivos de direito próprio (LIEBERMAN; MILLER; ELDREDGE, 2007).

Não há consenso para muitas das questões que envolvem o pluralismo evolutivo, uma vez que determinados autores consideram que alguns processos podem ser subordinados a outros. Para Caponi (2016), por exemplo, há uma subordinação explicativa da construção de nicho pela seleção natural. A construção de nicho, segundo o autor, não deve ter o estatuto de mecanismo evolutivo, pois não atua “em paralelo” à seleção natural como um agente evolutivo.

Outra crítica se refere à quantidade de evidência disponível para algumas das novidades empíricas e teóricas da biologia evolutiva (FUTUYMA, 2017). Algumas delas estão mais estabelecidas – como as pesquisas na Evo-Devo e sobre endossimbiose -, ao passo que outras ainda são conflitantes e controversas entre os evolucionistas, como determinadas formas de herança não-genética e o seu efeito evolutivo (p. ex. epigenética).

De qualquer forma, ao olharmos para os avanços empíricos e conceituais da biologia evolutiva nos dias de hoje, inevitavelmente temos um quadro pluralista da evolução em relação aos seus principais aspectos. Na próxima seção, vamos discutir como o pluralismo evolutivo também está enraizado em concepções metafísicas.

2.2 As bases metafísicas do pluralismo evolutivo

Os cientistas geralmente têm suposições fortes sobre o mundo que estão investigando, formando uma metafísica anterior (DUPRÉ, 1993). Um exemplo clássico é o de considerar que o mundo material se apresenta como uma espécie de sistema mecânico, tal qual a engrenagem de um mecanismo de relógio. No caso da biologia, uma suposição metafísica que apoia o pluralismo evolutivo concebe o mundo biológico como complexo, multinível e contingente (MITCHELL, 2003).

Segundo Sandra Mitchell (2003), os organismos e ecossistemas exibem complexidade constitutiva e processual. A complexidade constitutiva se refere ao todo ser formado de inúmeras partes. A complexidade processual está vinculada a propriedades dinâmicas da vida, como a sensibilidade extrema às condições iniciais, auto-organização e *feedbacks* negativos e positivos. Uma vez que é impossível abordar todos estes elementos complexos simultaneamente, as abordagens de pesquisa devem

inevitavelmente selecionar aspectos da complexidade biológica a serem abordados. Cada seleção constitui uma análise diferente do universo causal, criando diferentes conjuntos efetivos de causas. As explicações que são levantadas na exploração científica dessa diversidade do mundo biológico acabam gerando parte do pluralismo evolutivo (MITCHELL, 2003).

Se este é o caso, isto é, se a natureza do mundo biológico é tal que fenômenos importantes não podem ser completa e exaustivamente explicados com base em um único conjunto de princípios fundamentais, então os objetivos, métodos e resultados da biologia não devem ser entendidos ou avaliados em referência a uma busca monista. Diferentes abordagens são apropriadas para os objetivos pragmáticos e conceituais da biologia. Dessa forma, os tipos de conhecimentos e os próprios métodos que usamos para estudar os sistemas biológicos acabam refletindo essa complexidade (KELLERT; LONGINO; WATERS, 2006).

Outra base metafísica do pluralismo evolutivo assume que a evolução envolve processos que ocorrem em múltiplos níveis de organização (MAYR, 1961; SHERMAN, 1988). As pesquisas evolutivas têm como foco processos em diferentes níveis, que estão sujeitos a distintos fatores evolutivos e não podem ser colapsados em um só (KELLERT; LONGINO; WATERS, 2006). Uma imagem simples e unificada da biologia evolutiva seria inadequada para tratar os sistemas complexos, multicomponentes e de múltiplos níveis que povoam o domínio dos seres vivos. As pesquisas com múltiplos processos causais e tipos de explicações oferecidas para os fenômenos evolutivos nos níveis molecular, morfológico, comportamental, ecológico e geológico acabam gerando as formas de pluralismo explicativo e metodológico na biologia contemporânea (MITCHELL, 2003).

Finalmente, a chamada tese da contingência evolutiva também é uma base metafísica do pluralismo evolutivo. Como Stephen Jay Gould disse certa vez, a evolução é como um “videotape” que, se repetido várias vezes, teria um final diferente a cada vez. Beatty (1995) amplia a tese de Gould para defender que a contingência evolutiva não apenas cria regularidades na natureza, mas também “quebra as regras” do mundo vivo. Por exemplo, a chamada lei de Hardy-Weinberg, um dos princípios centrais da biologia evolutiva, é uma consequência dedutiva da primeira lei de Mendel. Esta lei estabelece que as características dos indivíduos são condicionadas por pares de

fatores (genes) que se separam durante a formação dos gametas, indo apenas um fator do par para cada gameta.

A primeira lei de Mendel e, por consequência, a lei de Hardy-Weinberg, são consequências do mecanismo meiótico de segregação de gametas na reprodução sexual. A meiose, como qualquer outro processo biológico, não deixa de ser um produto evolutivo (BEATTY, 1995). Isso significa que as generalizações biológicas obtidas a partir deste mecanismo – a primeira lei de Mendel e a lei de Hardy-Weinberg – são evolutivamente contingentes e, portanto, não são leis da natureza, nem uma necessidade natural. Explorando o exemplo de Gould, se voltássemos a história da vida, não haveria uma *necessidade* de a evolução ter resultado no mecanismo de meiose e na segregação de gametas na proporção esperada pela lei de Mendel em organismos sexuados.

Para Beatty (1995), o fato de as contingências da história evolutiva impedirem a existência de leis na biologia força os biólogos a serem pluralistas teóricos. O pluralismo teórico contrasta com o ideal de explicar um domínio de fenômenos em termos de um número pequeno de mecanismos gerais. Este ideal foi particularmente adotado pela física Newtoniana, um exemplar de ciência para muitos arquitetos da síntese evolutiva (SMOCOVITIS, 1996). Os modelos de mudança evolutiva foram construídos com base nos modelos da física, de modo a demonstrar que a evolução possui regularidades semelhantes às leis físicas. Na síntese evolutiva, essa inspiração foi fundamentada na genética e, em última análise, no princípio matemático do equilíbrio de Hardy-Weinberg, que teria uma abrangência explicativa para diferentes níveis biológicos.

A recusa de explicar a evolução em termos de um número pequeno de mecanismos também é baseada na compreensão de que a vida é essencialmente heterogênea. Dependendo do grupo de organismos, a evolução pode ter criado regularidades que levaram a diferentes processos evolutivos, mecanismos de herança e padrões evolutivos. Por isso, uma extensão da tese da contingência é a de que não existe uma teoria ou mecanismo único – nem mesmo uma teoria ou grande síntese multicausal – que seja responsável por todas as explicações do domínio evolutivo (BEATTY, 1995).

Além disso, praticamente todas as disciplinas biológicas podem contribuir para a compreensão da evolução. Isso ocorre porque ao investigar o funcionamento de determinado grupo de organismo ou nível biológico, uma disciplina pode contribuir para o entendimento de processos, padrões evolutivos e mecanismos de herança. Dessa

forma, embriologia, paleontologia, ecologia, botânica, zoologia, microbiologia, entre outras disciplinas da biologia, podem elucidar questões genuinamente evolutivas.

2.3 Algumas consequências do pluralismo evolutivo

Os pluralistas precisam responder a questões difíceis, particularmente oriundas da filosofia da ciência. Um dos desafios apresentados é de que uma postura pluralista implicaria que as abordagens e teorias científicas não fornecem uma única verdade completa e abrangente para o domínio evolutivo. Na ausência de padrões fundamentais de justificação, toda e qualquer forma de argumentação seria aceitável. Desse modo, algumas versões pluralistas poderiam promover um “vale tudo” na biologia, pelo menos no que diz respeito à verdade e à demarcação científica (BOGHOSSIAN, 2012).

Defensores do pluralismo evolutivo buscam distinguir a sua postura do relativismo e estabelecer critérios mínimos de demarcação. Em uma perspectiva relativista, haveria a negação de restrições objetivas ao pluralismo evolutivo, podendo fazer parte deste pluralismo e em pé de igualdade o criacionismo e o design inteligente, por exemplo. Uma forma de colocar restrições razoáveis sobre quais tipos de conhecimentos científicos são admissíveis é se voltar para virtudes epistêmicas que as teorias biológicas possuem. Existem muitas virtudes possíveis e reais, como sensibilidade a fatos empíricos, pressupostos de fundo plausíveis, coerência com outros conhecimentos, exposição a críticas da mais ampla variedade de fontes, entre outros (DUPRÉ, 1993).

Outra crítica ao pluralismo evolutivo é a ausência de relação entre as teorias e disciplinas biológicas (MITCHELL, 2003). Um pluralista poderia reconhecer que diferentes tipos de questões requerem respostas diferentes e, portanto, não haverá interação entre os cientistas que trabalham com diferentes níveis. Em um caso extremo, pode levar a uma forma de isolamento dentro do domínio evolutivo. O problema com este quadro é que ele pressupõe o fechamento explicativo dentro de cada nível de análise e uma estreiteza no escopo da investigação científica que impede os tipos de interações frutíferas entre disciplinas e teorias, as quais caracterizam grande parte da história da ciência (MITCHELL, 2003).

Um problema adicional é que quando analisamos as pesquisas em diferentes níveis de investigação, podemos ver que em muitos casos elas não podem ser

satisfatoriamente respondidas sem considerar outros níveis. Mesmo quando ocorre uma situação improvável, em que um cientista está estreitamente preocupado com apenas um nível de análise, seria um erro pensar que as respostas a outras perguntas não têm relação com a investigação nesse nível. Por isso, muitas das discussões que argumentam em favor do pluralismo deixaram um vácuo filosófico, na medida em que elas não buscam a questão de como diferentes campos, métodos e conceitos estão relacionados na prática biológica, ou então como eles podem ser integrados (BRIGANDT, 2010).

Segundo Kellert, Longino e Waters (2006), uma postura pluralista não rejeita imediatamente os esforços de integração, mas recusa-se a supor que a unidade é sempre possível ou a síntese seja um fim em si. O pluralismo não pressupõe que todas as disciplinas sejam comensuráveis e, em última análise, unificáveis, mas tampouco presume que cada disciplina seja necessariamente isolada e incomensurável com as outras. O pluralismo defendido por Kellert, Longino e Waters sustenta que, para quaisquer disciplinas, é uma questão contingente e aberta se elas podem ou devem ser integradas. Tais questões devem ser respondidas caso a caso. Para alguns problemas, uma abordagem multidisciplinar de cooperação parece ocorrer, ao passo que outros problemas parecem fomentar a criação de uma nova disciplina. Mas os pluralistas sustentam que não há boas razões para presumir que isolamento, cooperação, integração ou síntese sejam adequados para todos os casos (KELLERT; LONGINO; WATERS, 2006).

Contra um pluralismo que simplesmente afirma que a biologia precisa de uma diversidade de disciplinas e abordagens teóricas, alguns autores argumentam que resolver problemas biológicos complexos (atendendo a objetivos epistêmicos ou pragmáticos) requer pelo menos a integração parcial de conceitos e explicações de diferentes campos. Este é o caso de autores como Darden e Maull (1977), Sandra Mitchell (2003), Ingo Brigandt (2010), entre outros.

Darden e Maull (1977) argumentam que a motivação para a integração na biologia é, na maioria das vezes, a existência de um problema científico que não pode ser resolvido por um campo de pesquisa isolado. Quando pesquisadores reconhecem que possuem interesses em comum, a integração entre diferentes campos pode resultar da origem do que elas chamam de “teoria intercampos”.

Outro exemplo nesta linha é o “pluralismo integrativo” (*integrative pluralism*) de Sandra Mitchell (2003). O pluralismo integrativo visaria incorporar diferentes níveis

de análise pelo estabelecimento de pequenas integrações “locais”. A autora argumenta que o pluralismo integrativo é a melhor descrição da complexidade evolutiva, multicomponente e de variados níveis dos sistemas biológicos. A complexidade, segundo a autora, invoca múltiplos níveis de organização e múltiplos fatores causais, os quais requerem uma integração de abordagens para dar conta dos problemas biológicos. É um tipo de integração necessária para explicar fenômenos complexos, mas sem uma unificação em larga escala.

Mais recentemente, Brigandt (2010) discute uma proposta de integração que pode ser efetuada por unidades epistêmicas menores (como conceitos, métodos, explicações) vinculadas segundo problemas científicos específicos. Enquanto uma síntese/unificação é uma conexão estável de disciplinas, no modelo flexível de Ingo Brigandt uma disciplina pode manter sua independência e identidade tradicional, mas entrar em relações mais transitórias com outros campos, dependendo de qual problema for abordado.

A proposta de Brigandt (2010) é fundamentada na história da ciência e em um exemplo específico da biologia evolutiva, a saber, as explicações sobre a origem das novidades evolutivas. Segundo o autor, uma disciplina única não é suficiente para resolver os problemas relacionados com a origem de grandes novidades evolutivas, e muitas das soluções encontradas na história da biologia exigiram o envolvimento de diferentes campos. Exemplos de novidades evolutivas são as mandíbulas dos vertebrados e a evolução das penas nas aves, as quais levaram ao envolvimento dos campos da filogenia, paleontologia, ecologia, biogeografia e biologia do desenvolvimento para sua elucidação. O autor sugere que resolver problemas complexos, como os encontrados na biologia evolutiva, não requerem uma síntese estável de diferentes campos biológicos, mas integrações de unidades epistêmicas menores, visando solucionar problemas específicos (Brigandt, 2010).

Desse modo, quando olhamos para a prática científica não encontramos uma ampla integração na biologia, mas uma série de integrações que não envolvem uma síntese estável dos diferentes campos biológicos. As formas de integração encontradas podem ser compatíveis com uma postura pluralista, sem o recurso às visões mais tradicionais de unidade da ciência. Unificação ou integração não é um objetivo em si na perspectiva do pluralismo evolutivo, mas integrações locais (em oposição a grandes sínteses) ocorrem e devem ocorrer na biologia para finalidades epistêmicas específicas.

A defesa do pluralismo evolutivo é compatível com a defesa de integrações na biologia. A crítica aqui apresentada é endereçada à suposta síntese da biologia evolutiva e ao próprio ideal de unificação da biologia como um todo a partir da evolução biológica. Entende-se que a biologia não foi unificada no sentido forte pretendido pela síntese evolutiva e que sequer devemos assumir esse ideal como um objetivo na ciência.

No próximo capítulo, indico algumas implicações para o contexto de ensino das considerações científicas, históricas e filosóficas discutidas ao longo dos capítulos 1 e 2, particularmente em relação ao ideal de centralidade da evolução no ensino de biologia.

3 A CENTRALIDADE DA EVOLUÇÃO NO ENSINO DE BIOLOGIA

A importância central da teoria evolutiva para a biologia como um todo é reconhecida por muitos autores (DOBZHANSKY, 1973; MEYER; EL-HANI, 2005). Talvez a frase mais conhecida que expressa essa ideia seja oriunda de um artigo do geneticista Theodosius Dobzhansky, no periódico *American Biology Teacher*: “Nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução”. Neste trabalho, Dobzhansky (1973, p. 129) argumenta que “vista à luz da evolução, a biologia é, talvez, intelectualmente a ciência mais satisfatória e inspiradora. Sem essa luz, torna-se uma pilha de fatos diversos, alguns deles interessantes ou curiosos, mas sem uma imagem significativa do todo”.

Para Dobzhansky, a centralidade da evolução se deve à dependência explicativa da biologia em relação ao pensamento evolutivo. O autor apela à seleção natural para explicar a diversidade dos seres vivos e à ancestralidade comum para explicar a unidade da vida. Nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução porque a evolução é um princípio central da biologia, organizando as observações e os experimentos sobre o mundo vivo em um todo coeso e conceitual. Dobzhansky (1973) também argumenta que as ideias evolutivas têm um papel central na biologia porque oferecem uma visão sobre os seres vivos que vai além da simples descrição das características dos organismos. A biologia sem evolução perde a sua dimensão histórica. É o entendimento das causas históricas da vida que confere à evolução um importante papel para o conhecimento biológico, estendendo-se a todas as disciplinas.

Mas o ideal de centralidade da evolução pode ser entendido de distintas formas, as quais não são necessariamente conflitantes. Um sentido diferente daquele aludido originalmente por Dobzhansky (1973) é uma acepção pedagógica, sendo a evolução eleita como eixo central da biologia por sua capacidade de facilitar o aprendizado (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009). As relações evolutivas facilitariam o aprendizado em biologia por sua forma de compreender e estudar os seres vivos e a sua classificação. O princípio da ancestralidade comum, por exemplo, pode oferecer um sentido à imensa quantidade de conhecimento biológico, permitindo compreender como organismos aparentemente distintos possuem similaridades na organização molecular, morfológica e comportamental (MEYER; EL-HANI, 2005).

A centralidade da evolução ainda pode ser instanciada em questões epistêmicas mais amplas. A biologia evolutiva, enquanto disciplina, pode ser encarada como uma área do conhecimento que foi historicamente importante para a unificação da biologia

como um todo. Tal interpretação, como discutida anteriormente, é compartilhada por historiadores que interpretam a formação da chamada síntese evolutiva como um marco importante de unificação da biologia (SMOCOVITIS, 1996; DELISLE, 2009).

Além disso, o empreendimento mais ambicioso para reformar o ensino em consonância com este ideal de unificação da biologia teve a participação de alguns importantes nomes da síntese evolutiva, como George Ledyard Stebbins e George Gaylord Simpson (SMOCOVITIS, 1996). O chamado *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) ocorreu entre os anos 1950-1960 e materializou-se em coleções didáticas destinadas ao ensino secundário, com três versões diferentes de materiais traduzidas para o português: a versão azul, que enfatizava o nível molecular e bioquímico; a versão verde, que enfatizava a ecologia; e a versão amarela, que tratava do nível celular e genético. No Brasil, esses materiais didáticos, bem como a produção de kits para o uso em escolas, foram coordenados e traduzidos pelo Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBCEC). Este foi um dos passos essenciais para a substituição da disciplina história natural pela *disciplina escolar* biologia (LORENZ, 2008).

Basta lembrar que até meados do século XX a história natural embasou os currículos brasileiros de ensino básico e superior, englobando estudos sobre zoologia, botânica, geologia e mineralogia (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009). Segundo Marandino, Selles e Ferreira (2009, p. 57), o BSCS tornou-se uma referência para gerações de professores no Brasil, sendo considerado um instrumento na construção da disciplina escolar biologia. As autoras analisam os volumes da versão azul do BSCS e argumentam que há um papel central da evolução, usado para sustentar a visão de uma biologia unificada. Essa análise é fundamentada pelo trabalho de Smocovitis (1996), que também argumenta no sentido de que a versão azul do BSCS teve significativo papel na veiculação das ideias evolutivas, sustentando uma visão de ciência moderna e unificada. Desse modo, o ideal de unificação da biologia que parece ter sido incorporado na estruturação da disciplina escolar biologia foi oriundo da síntese evolutiva (SMOCOVITIS, 1996; MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009).

Se há muito tempo existe um entendimento compartilhado sobre a importância central do pensamento evolutivo, por que muitos estudos apontam que a biologia é rotineiramente ensinada sem a integração com evolução? Apesar da ampla influência que a síntese evolutiva parece ter na própria formação da disciplina escolar biologia, uma série de evidências apontam a ausência da evolução como elemento central da

prática pedagógica. É muito comum, por exemplo, que professores de biologia ensinem evolução como apenas mais um conteúdo do currículo, longe de ser um eixo integrador (PRICE; PEREZ, 2016; OLEQUES, 2014; ZAMBERLAN; SILVA, 2012).

A literatura em ensino de evolução geralmente atribui este cenário a alguns elementos recorrentes, como a oposição de grupos religiosos, abordagens inadequadas de livros didáticos, formação insuficiente de professores e dificuldades conceituais básicas. Um aspecto pouco mencionado é o fato de que o ideal de unificação da biologia, a partir da evolução biológica, carrega os caminhos que seguiram a construção da respectiva ciência de referência. É preciso ter em conta que este ideal carrega os processos de produção cultural e histórico da biologia, com suas inúmeras controvérsias internas (ARAÚJO, 2020).

Nesse sentido, pretendo argumentar ao longo deste capítulo que uma das razões para este cenário é que a própria síntese evolutiva perpetuou uma série de desafios para estabelecer a centralidade da evolução no contexto de ensino. Discuto mais especificamente de que forma a proeminência da genética de populações, o foco na seleção natural como explicação padrão na evolução e a distinção entre causas próximas e últimas são elementos que dificultam constituir a evolução como tema central e unificador no ensino de biologia. Por fim, argumento a favor de um ensino de biologia instanciado na perspectiva do pluralismo evolutivo, o qual pode ser mais promissor em estabelecer a centralidade da evolução no ensino de biologia.

3.1 A proeminência da genética de populações na teoria evolutiva

Como discutido no primeiro capítulo, a genética de populações foi central não apenas na síntese evolutiva, mas também no próprio movimento de unificação da biologia a partir do conhecimento evolutivo. A crescente importância dos genes para a evolução resultou em uma relação hierárquica da genética de populações em relação às outras disciplinas biológicas. Como Sewall Wright (1959, p. 959) destacou: “(...) a genética está vinculada à biologia em todos os níveis, das macromoléculas às espécies, em uma disciplina unificada”. Essa relação hierárquica entre as disciplinas biológicas carrega uma suposição epistêmica e metafísica subjacente, segundo a qual os fenômenos de nível superior são determinados por fenômenos de nível inferior. Tal ponto de vista parece ter influenciado a formulação dos currículos e livros didáticos de biologia. Um

exemplo que envolve diretamente a organização curricular do ensino de biologia é a ideia de que para ocorrer o aprendizado sobre evolução biológica é necessário o conhecimento de genética (BIZZO; EL-HANI, 2009a; GOEDERT, 2004).

Em muitos países, os currículos apresentam genética aos estudantes do ensino secundário como uma espécie de pré-requisito para a aprendizagem sobre evolução. A abordagem mais tradicional ensina sequencialmente genética mendeliana, base cromossômica da herança, meiose e genética de populações, para somente depois ensinar evolução (BIZZO; EL-HANI, 2009b). De fato, esses temas são relevantes no ensino de evolução biológica, mas o pensamento evolutivo pode ser trabalhado em diferentes dimensões sem o conhecimento prévio sobre genética. Darwin desenvolveu muitos aspectos do pensamento evolutivo que são relevantes nos dias de hoje sem ter conhecimento de genética (que nem havia surgido enquanto disciplina).

Segundo Bizzo e El-Hani (2009a), tal perspectiva curricular está fortemente baseada em pressupostos epistemológicos e históricos sobre as relações entre os trabalhos de Gregor Mendel e Charles Darwin:

O argumento seria o seguinte: faltava à Darwin o arcabouço teórico da genética mendeliana e, portanto, ele não foi capaz de desenvolver a chamada síntese evolutiva, algo que tomou forma apenas a partir da década de 1930, mediante a fusão do trabalho dos dois cientistas. A escola poderia, então, oferecer um atalho epistemológico aos estudantes, mostrando o trabalho de Mendel como estando diretamente ligado ao de Darwin. Assim, quando os alunos começassem a estudar evolução, teriam já passado pelo aprendizado da genética, algo que lhes proveria o que faltara ao próprio Darwin. O ambiente escolar poderia oferecer, assim, uma 'via rápida' em termos do aprendizado da evolução biológica (BIZZO; EL-HANI, 2009a, p. 250).

Essa organização curricular, visivelmente ancorada na síntese evolutiva, acaba por empurrar as discussões evolutivas para o final da educação básica. Em entrevistas com professores brasileiros, encontram-se relatos de que a evolução é trabalhada no terceiro ano do ensino médio, no final do ano letivo e em poucas aulas (OLEQUES, 2014). A evolução também está usualmente colocada nos últimos capítulos dos livros didáticos destinados aos terceiros anos do ensino médio no Brasil (ZAMBERLAN; SILVA, 2012). No ensino superior a situação é bastante semelhante, uma vez que a genética é comumente considerada um pré-requisito para o ensino de evolução (GOEDERT, 2004).

A presença do pensamento evolutivo apenas no final da organização curricular acarreta em uma baixa compreensão por parte dos estudantes, os quais muitas vezes

interpretam os princípios evolutivos de forma equivocada. Um tema complexo e permeado por questões de ordens culturais e existenciais não pode ser contemplado de forma tão superficial. Além de levar a resultados ineficazes, esse arranjo curricular obviamente não cumprirá o papel integrador almejado para a evolução no conhecimento biológico.

3.2 O monopólio da genética mendeliana

Como discutido anteriormente, a genética é central para a teoria evolutiva. Mas não foi toda e qualquer abordagem sobre genética e hereditariedade que fez parte da síntese evolutiva original. O livro *Les théories de l'évolution* (1909), de Yves Delage e Marie Goldsmith, nos dá uma ideia da amplitude de concepções sobre evolução e hereditariedade pouco tempo antes da consolidação da síntese. Dos vinte e um capítulos desta obra, oito tratam de concepções de diferentes pesquisadores sobre hereditariedade. As teorias da hereditariedade abordadas são oriundas de distintas tradições de pesquisa, em disciplinas como fisiologia, embriologia e citologia.

Algumas destas abordagens perderam força na comunidade científica em pouco tempo, surgindo certo consenso para as questões sobre hereditariedade e evolução na figura da genética mendeliana (PROVINE, 2001). Mesmo abordagens que nasceram na própria genética tiveram pouco impacto no pensamento evolutivo. Um exemplo é a chamada “genética fisiológica”, que buscava integrar a hereditariedade com processos fisiológicos e do desenvolvimento (GOLDSCHMIDT, 1940). As pesquisas desse tipo, centradas no desenvolvimento, simplesmente não foram incorporadas pela síntese evolutiva (WADDINGTON, 1957). Isso se deve, em partes, porque a genética mendeliana considera a hereditariedade como a passagem de genes entre as gerações, sendo praticamente independente dos fenômenos do desenvolvimento biológico e da influência do meio (AMUNDSON, 2005).

Para a genética de população, a herança mendeliana é o modelo exclusivo que opera na evolução, sendo os genes mendelianos a “matéria prima” sobre a qual os mecanismos evolutivos atuam. Esta perspectiva persiste até hoje no contexto de ensino, apesar de críticas relativas ao determinismo genético e ao genocentrismo perpetuados por tal abordagem (JAMIESON; RADICK, 2017).

Para Jamieson e Radick (2017), começar o estudo da hereditariedade e evolução com a genética mendeliana pode mais complicar do que ajudar. Por exemplo, o conceito de dominância produz um senso exagerado do poder determinista dos genes. Além do mais, iniciar o estudo da hereditariedade com a discussão sobre alelos dominantes e recessivos faz parecer que este é o caso usual na natureza. As exceções aos padrões mendelianos são coletivamente caracterizadas como "herança não-mendeliana" (co-dominância, pleiotropia, penetrância, plasticidade fenotípica, fatores epigenéticos, etc...). E ao menos na educação básica há pouco espaço para a herança não-mendeliana, como se esses casos em conjunto fossem menos usuais que os padrões mendelianos.

Uma situação semelhante ocorre na herança poligênica/polialélica, uma vez que a abordagem mendeliana geralmente trata de características com um gene e dois alelos. Como consequência, é usada a linguagem de “um gene para uma característica” e de genes “controlando ou sendo responsáveis por” características fenotípicas. Tal visão é contrária aos entendimentos mais recentes dos estudos genômicos, segundo os quais características expressas por um único gene são muito raras (JAMIESON; RADICK, 2017).

Outra crítica para a abordagem mendeliana é que ela divide o organismo em duas dimensões, entre genótipo e fenótipo. Há muito tempo se reconhece determinados problemas gerados a partir da estrita dicotomia genótipo-fenótipo na biologia evolutiva (cf. LEWONTIN, 1974). Como Richard Lewontin discute em seu livro *The Genetic Basis of Evolutionary Change*:

É a evolução do fenótipo que nos interessa. Os geneticistas de população, em seu entusiasmo ao lidar com as mudanças nas frequências genotípicas que estão por trás das mudanças evolutivas, esquecem que o que deve ser explicado em última análise é a miríade e sutil mudança no tamanho, forma, comportamento e interação com outras espécies, que constituem as coisas reais da evolução (...). Concentrar-se apenas na mudança genética, sem tentar relacioná-la com os tipos de evolução fisiológica, morfológica e comportamental que se manifestam no registro fóssil e na diversidade dos organismos e comunidades existentes, é esquecer completamente o que estamos tentando explicar em primeiro lugar (LEWONTIN, 1974, p. 19).

A dicotomia genótipo-fenótipo permite que determinadas abordagens da biologia evolutiva se concentrem na dinâmica dos genes, fazendo com que a evolução seja pensada no domínio do genótipo. Como Lewontin alerta, essa ênfase faz esquecer que é a evolução do fenótipo que interessa à biologia evolutiva em primeiro lugar. Esta dicotomia ainda carrega uma concepção linear entre genótipo e fenótipo, deixando de lado os processos que conectam causalmente estas duas dimensões.

A natureza essencialmente genética da evolução e a relação direta entre genótipo e fenótipo acabam por explicitar pontos cegos da teoria evolutiva, que sobrevalorizam o poder causal dos genes e excluem explicações alternativas, relacionados com a evolução morfológica, comportamental e ecológica (LEWONTIN, 1974). No contexto de ensino, isso gera uma série de consequências que dificultam tomar a evolução como eixo central da biologia.

A origem das novidades evolutivas, por exemplo, torna-se sinônimo de mutação genética. Novidades evolutivas são estruturas que surgem em determinada espécie, sendo qualitativamente diferentes de qualquer estrutura dos seus ancestrais (LOVE, 2008). Na perspectiva da genética mendeliana, as novidades evolutivas são estudadas a partir de mudanças quantitativas das frequências gênicas. As explicações sobre novidades evolutivas, no entanto, têm envolvido a contribuição de muitos campos da biologia, incluindo paleontologia, biologia do desenvolvimento e morfologia (BRIGANDT, 2010).

Ao enfatizar que existe uma relação direta entre genótipo e fenótipo, o ensino de biologia perde de vista a complexidade biológica em seus diferentes níveis. O gene tornou-se uma poderosa ferramenta conceitual para simplificar o estudo da evolução. No contexto de ensino, isso representa uma oportunidade perdida de promover o pensamento evolutivo em diferentes disciplinas que contribuem para elucidar a evolução fenotípica.

3.3 Seleção natural como explicação padrão da evolução

A síntese evolutiva sofreu uma paulatina mudança ao longo do tempo, adotando maior ênfase em explicações adaptativas e baseadas na seleção natural. Stephen Jay Gould (1983) chamou essa mudança de um “endurecimento” da síntese evolutiva e ilustra tal deslocamento ao analisar o trabalho de importantes arquitetos, como Dobzhansky, Simpson e Wright.

Em consonância com este “endurecimento”, os currículos de ensino secundário e mesmo de graduação frequentemente não enfatizam mecanismos evolutivos além da seleção natural (PRICE; PEREZ, 2016). Os manuais contemporâneos de biologia evolutiva para a educação superior descrevem como processos evolutivos apenas os mecanismos que alteram diretamente as frequências gênicas, sobretudo a seleção natural

(LALAND *et al.*, 2015). Essa ênfase acaba levando muitos estudantes a interpretar toda a evolução através da seleção natural e a inclusive conceber que evolução e seleção natural são sinônimos (JAKOBI, 2010).

Segundo Laland *et al.* (2015), processos do desenvolvimento, plasticidade fenotípica, herança não genética e construção de nicho são, na melhor das hipóteses, modestos e, mais comumente, ausentes nos livros didáticos de biologia evolutiva para o ensino superior. Dessa forma, o foco na seleção natural, combinada com o monopólio da genética mendeliana, contribui para uma *simplificação* do estudo da evolução fenotípica.

Muitas disciplinas e conteúdos abordam aspectos da evolução fenotípica - como biologia celular e molecular, biologia do desenvolvimento e fisiologia -, mas a tendência de interpretar toda e qualquer característica em termos de adaptação impede uma abordagem mais ampla e complexa da evolução. Uma abordagem centrada no organismo permitiria o aporte de diferentes disciplinas e conteúdos biológicos, contribuindo para a própria centralidade da evolução no ensino de biologia.

O poder causal da seleção natural também se estende para os padrões de larga escala na história da vida (NEHM; KAMPOURAKIS, 2014; FUTUYMA 2017). Na escola, os alunos são introduzidos à seleção natural desde o início da unidade sobre biologia evolutiva, construindo modelos abstratos de populações em vez de visualizar mudanças em grande escala, como a origem de grupos taxonômicos, tendências evolutivas, radiação adaptativa e extinção (BIZZO; EL-HANI, 2009b).

A paleobiologia não é considerada uma área central mesmo na formação dos biólogos e os livros didáticos dão à microevolução maior destaque quando abordam biologia evolutiva (NEHM; KAMPOURAKIS, 2014). Alguns pesquisadores relatam que os alunos apresentam dificuldades em conceitos essenciais para a compreensão da macroevolução, como fósseis, especiação, interpretação de filogenias, tempo profundo e padrões evolutivos (NADELSON; SOUTHERLAND, 2009). Essas dificuldades são observadas em estudantes de diferentes níveis, incluindo graduandos de biologia e professores (CATLEY, 2006).

Uma compreensão abrangente da evolução simplesmente não é possível com a ausência da macroevolução no contexto de ensino. E os avanços recentes da paleobiologia e biologia evolutiva do desenvolvimento apresentam processos que não

são contemplados pela abordagem microevolutiva, geralmente focada em seleção natural (CATLEY, 2006). Além disso, a macroevolução requer conhecimento de muitos campos biológicos, incluindo biologia do desenvolvimento, filogenia, paleontologia, biologia teórica e ecologia (BRIGANDT, 2010). Uma abordagem pluralista adaptada à complexidade da macroevolução é fundamental para o aprendizado da teoria evolutiva nos dias de hoje e pode contribuir para a centralidade da evolução no contexto de ensino por fomentar discussões evolutivas a partir de mecanismos evolutivos em diferentes disciplinas e conteúdos.

3.4 A distinção entre causas próximas e causas últimas

Em um influente artigo de 1961, chamado *Cause and Effect in Biology*, Ernst Mayr apresenta a dicotomia entre causas próximas e causas últimas na biologia. Essa distinção tem recebido um grande interesse na literatura sobre história e filosofia da biologia. Biólogos e filósofos da biologia vêm debatendo como tal distinção deve ser entendida, que trabalho conceitual ela faz e como pode iluminar debates sobre questões evolutivas (HAIG, 2013).

Mayr (1961) argumenta que os cientistas interessados em mostrar como os sistemas biológicos funcionam lidam com causas próximas. Assim, disciplinas como fisiologia tem relação com elementos estruturais, respondendo a perguntas do tipo “como?”. A biologia evolutiva, por outro lado, responde a perguntas do tipo “por que?”, explicando as causas histórico-evolutivas dos seres vivos.

A discussão levada a cabo por Mayr (1961) tem sido interpretada de diferentes maneiras: como uma distinção entre perguntas do tipo “como” e “por que”; entre causas agindo no passado e causas agindo no presente; entre diferentes tipos de causas no mundo biológico; e sobre o foco de pesquisa nas disciplinas da biologia (HAIG, 2013). No texto original, Mayr (1961, p. 1502) claramente distingue diferentes tipos de causas que acompanham o trabalho de dois tipos de áreas: a biologia funcional ocupa-se com “a operação e a interação de elementos estruturais”, enquanto a biologia evolutiva estuda “as causas [históricas] das características”. Esta distinção foi claramente projetada para evitar a confusão entre tipos de explicações na biologia.

No entanto, segundo autores como Amundson (2005, p. 223) e West-Eberhard (2003, p. 11), tal dicotomia acabou sendo um passo importante para estabelecer a ideia

de que os mecanismos de desenvolvimento são irrelevantes para a evolução. A biologia do desenvolvimento lida com causas próximas e, por essa razão, os seus fenômenos poderiam ser deixados de lado por aqueles interessados em causas histórico-evolutivas. Um dos principais objetivos do livro de Mary Jane West-Eberhard, *Developmental plasticity and evolution*, é justamente mostrar como as “causas próximas” do desenvolvimento, sobretudo a plasticidade fenotípica, afetam fenômenos de interesse para os biólogos evolutivos.

Mais recentemente, Laland *et al.* (2011) argumentam que processos evolutivos importantes seriam considerados causas próximas segundo a distinção original de Mayr (1961). Os autores argumentam que algumas discussões da biologia evolutiva têm mostrado que processos do desenvolvimento, construção de nicho e o comportamento animal não são relevantes apenas como causas próximas, mas desempenham um importante papel nas explicações históricas. Este reconhecimento difere claramente da dicotomia original de Mayr, desafiando esta distinção.

Como a dicotomia próxima/última também conduz o trabalho de áreas distintas da biologia, ela acaba estabelecendo que a biologia funcional não desempenha um papel importante nas explicações históricas. Por essa razão, a dicotomia de Mayr gera uma segregação nas principais tendências de pesquisa biológica, assim como nas disciplinas que em princípio lidam com evolução biológica. Embriologia, fisiologia, bioquímica, biologia celular, entre outras disciplinas, seriam irrelevantes para elucidar as causas últimas. Não por acaso, tais disciplinas geralmente são encaradas como sem importância para o estudo de evolução no contexto pedagógico.

Ao discutir a importância de uma biologia das causas últimas no contexto de ensino, Cummins e Remsen (1992, p. 205) argumentam que: “(...) bioquímica, biologia celular, fisiologia e outras áreas da biologia que estudam as causas próximas não geram um estudante capaz de raciocinar usando a causalidade final”. Tal concepção expressa a ideia de que a biologia funcional não lida com explicações histórico-evolutivas e, por consequência, não inclui evolução biológica em sua discussão.

Esta concepção pode dificultar a presença de discussões evolutivas no contexto de ensino nas mais variadas disciplinas que tradicionalmente não são consideradas pertencentes à biologia histórica. Para estabelecer a importância central da teoria evolutiva no ensino de biologia como um todo, torna-se imperativo reconhecer a

relevância da biologia funcional para as discussões evolutivas. Caso contrário, a evolução estará ausente na maior parte do currículo e das áreas biológicas.

3.5 Em direção a uma abordagem mais pluralista no ensino de evolução

A síntese evolutiva estabeleceu alguns pressupostos que permitiram aos biólogos de diferentes áreas trabalharem juntos, particularmente em relação aos problemas evolutivos. A proeminência da genética de populações na teoria evolutiva, a primazia da seleção natural e a distinção entre causas próximas e últimas¹⁶ são alguns destes pressupostos (LALAND *et al.*, 2015).

No entanto, como discutido ao longo deste capítulo, tais aspectos representam desafios para estabelecer a evolução como eixo central e unificador no ensino de biologia. Estes pressupostos geraram um estreitamento nas disciplinas e conteúdos que lidam com as explicações evolutivas, dificultando um arranjo curricular em que a evolução seja tomada como eixo central.

Compreendendo estas limitações, podemos entender, segundo venho argumentando, porque a evolução não atua como um elemento central da prática pedagógica. Como um ensino fortemente ancorado nestes pressupostos e limitado em termos de contato entre as diferentes áreas da biologia poderia auxiliar em uma compreensão em que a evolução seja um eixo central e unificador? De que maneira os estudantes poderiam desenvolver essa capacidade se as relações entre a evolução e outras disciplinas são fortemente pautadas na genética mendeliana?

As reflexões históricas e filosóficas discutidas até aqui nos impelem a pensar em outras perspectivas de ensino afinadas com uma biologia mais pluralista em termos de abordagens e disciplinas que lidam com explicações evolutivas. Uma visão geral da evolução pode considerar aspectos moleculares, bioquímicos, ontogenéticos, fisiológicos, morfológicos e comportamentais, processos ecológicos, populacionais e geológicos, incluindo escalas de tempo de poucas gerações até milhões de anos. Dessa forma, praticamente todas as disciplinas biológicas podem contribuir para a

¹⁶ É importante ressaltar que a distinção entre causas próximas e últimas não foi um pressuposto da síntese evolutiva original dos anos 1940. No entanto, após os debates da década de 1970 em torno do poder explicativo da seleção natural, a dicotomia causas próximas/últimas foi integrada como uma das críticas direcionadas às abordagens de pesquisas debitorias da síntese evolutiva (AMUNDSON, 2005, p. 211).

compreensão da evolução ao investigar o funcionamento de determinado grupo de organismo ou nível biológico (ARAÚJO, 2020).

Embriologia, paleontologia, ecologia, botânica, zoologia, microbiologia, entre outras disciplinas, podem elucidar questões genuinamente evolutivas. Por exemplo, a microbiologia pode discutir em detalhes o papel evolutivo da simbiose e a transferência horizontal de genes (FRAGA, 2018). A sistemática filogenética aborda a história evolutiva de plantas e animais, ao passo que botânica e zoologia podem discutir mecanismos evolutivos. A hibridação em plantas tem-se mostrado uma força criativa para a evolução da biodiversidade na Terra e o comportamento animal pode ter impacto na especiação (WISSEMAN, 2007; BEANS, 2017). A paleobiologia não analisa apenas os fósseis e a história da vida, mas também mecanismos macroevolutivos. O mesmo pode ser dito de outras disciplinas não mencionadas aqui, cada uma com suas particularidades. Um melhor equilíbrio da genética e da seleção natural com outras disciplinas e mecanismos evolutivos ao longo do currículo seria uma estratégia interessante para fomentar a centralidade da evolução no ensino da biologia.

Acredito que estas considerações possam orientar novas propostas de ensino e aprendizagem, práticas curriculares e pedagógicas tanto no ensino básico quanto superior. Se quisermos que as considerações elaboradas pela biologia contemporânea façam parte das práticas pedagógicas, devemos analisar em mais detalhe as contribuições das diferentes áreas biológicas para o pensamento evolutivo (cf. LALAND *et al.* 2015; JABLONKA; LAMB, 2005; WEST-EBERHARD, 2003). E esta é uma oportunidade importante para estabelecer a evolução como eixo central no ensino de biologia.

Além dos aspectos pluralistas relacionados diretamente com a miríade de disciplinas biológicas, também é necessário explorar a importância de abordagens e críticas “externas” à biologia para o ensino de evolução. Discussões de caráter histórico, filosófico, sociológico e cultural contribuem para uma visão pluralista do conhecimento evolutivo.

A inclusão destas discussões é importante por ao menos três razões. A primeira delas é que a biologia evolutiva requer um olhar “externo”, que seja crítico com o conhecimento produzido. Historicamente, a evolução contribuiu para justificar determinados tipos de discriminação social, mobilizando saberes e discursos sobre gênero e sexualidade, determinismo genético, diferenças étnico-raciais, entre outras

temáticas sociocientíficas. A compreensão do conhecimento evolutivo desarticulada da reflexão histórica, filosófica, ética e política pode ter consequências desastrosas. Os movimentos eugenistas do século XX talvez sejam os exemplos mais conhecidos, uma vez que a evolução conferiu uma das bases científicas para suas aplicações.

É por isso que reflexões oriundas da história da ciência, antropologia, sociologia, entre outras áreas das ciências humanas, são essenciais para um entendimento crítico da evolução biológica, exercendo um importante papel na educação para o exercício da cidadania. Esse entendimento crítico e humanista da evolução biológica é essencial para a formação de pesquisadores e professores. Afinal, o papel do biólogo e do professor vem “se alargando e exigindo interfaces cada vez maiores com outras áreas do conhecimento. Ou seja, para entender e realizar as transformações que vêm ocorrendo no mundo natural, já não basta os conhecimentos advindos da *Biologia stricto sensu*” (AYRES, 2005, p. 192).

O cientista é responsável pelas consequências sociais da ciência e a sua formação deve privilegiar não apenas assuntos “próprios” da sua área de atuação, mas as questões filosóficas, éticas, ideológicas e políticas que permeiam o conhecimento biológico. Os professores ainda demandam o enfrentamento destas questões no contexto de ensino na educação básica e superior.

A segunda importância de um pluralismo no ensino de evolução que inclua as ciências humanas reside no fato de que a história e a filosofia da biologia têm sido centrais para a própria teoria evolutiva. Muitos filósofos da biologia interagem com os biólogos evolutivos, influenciando os seus debates. Um exemplo é a discussão sobre adaptacionismo e as propostas de “síntese” do conhecimento evolutivo, como discutido anteriormente. Muitas pesquisas evolutivas atuais envolvem diretamente questões filosóficas, como, por exemplo, os debates sobre unidades de seleção. Além disso, nas últimas quatro décadas os filósofos da biologia conseguiram mostrar que a análise da biologia evolutiva pode trazer contribuições para a filosofia da ciência e a filosofia em geral. A evolução pode lançar luz sobre causalidade, tipos de explicação na ciência, e para temas mais amplos da filosofia, como a noção de natureza humana (PRADEU, 2017).

Por fim, os alunos e professores devem aprender e ensinar não somente os produtos da ciência, mas também *sobre* a ciência (FREIRE JR, 2002; MARTINS, 2006). Incluir aspectos históricos, filosóficos, sociais e culturais possibilita enfatizar os

processos de construção do conhecimento científico, evitando que se limite apenas aos *produtos* de pesquisa em biologia evolutiva.

As discussões metacientíficas sobre o conhecimento evolutivo são relevantes em muitos sentidos, não apenas para uma melhor compreensão sobre a natureza da ciência e em relação aos desafios sociocientíficos do conhecimento biológico, mas também para as discussões teóricas da biologia evolutiva. Com este amplo entendimento da importância das discussões metacientíficas, torna-se imprescindível considerar os aspectos históricos, filosóficos, antropológicos e sociológicos relacionados ao conhecimento evolutivo como um elemento importante de uma perspectiva pluralista no contexto de ensino.

EIXO II

PLURALISMO E INTEGRAÇÃO NO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

4 O CONTEXTO DO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA E O PERFIL DOS PARTICIPANTES

Esta pesquisa tem como objeto central de investigação o chamado Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS, atividade de formação continuada oferecida por um grupo de estudantes de pós-graduação que realizam estudos sobre evolução biológica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O curso é oferecido semestralmente desde 2014, em uma semana condensada, com carga horária de 30 horas. As edições ocorrem em Porto Alegre e a maioria de seus alunos são estudantes de graduação em ciências biológicas de Universidades públicas e privadas do sul do Brasil.

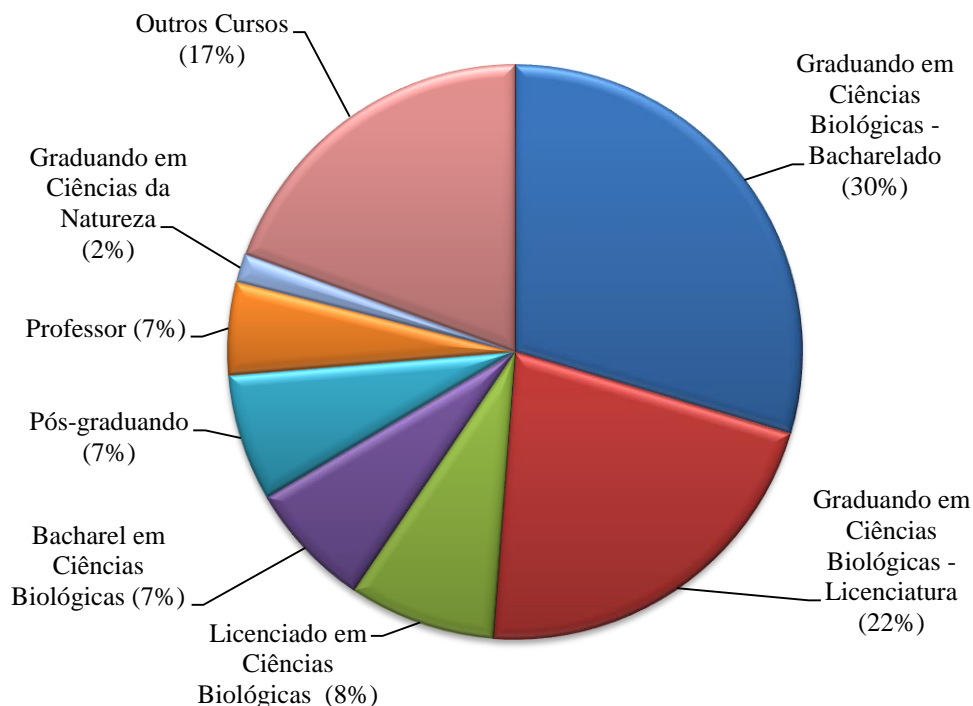
No ano de 2018 foram feitas as primeiras observações do curso, com a aplicação de um questionário de pesquisa que serviu como estudo piloto para a posterior validação. A sequência da pesquisa foi realizada nas edições 2019/1 e 2019/2, as quais ocorreram nos dias 11 a 15 de março e 22 a 26 de julho, respectivamente. A divulgação destas edições ocorreu através de redes sociais (como o *facebook*), pela página principal do site da UFRGS e através da lista de e-mail dos participantes das edições anteriores do curso. A divulgação também ocorreu através de comissões de graduação de cursos de ciências biológicas de diferentes instituições de ensino superior, em secretarias de educação municipais e na secretaria de educação do Estado do Rio Grande do Sul.

As secretarias de educação não retornaram a divulgação e apenas a comissão de graduação do curso de ciências biológicas da UFRGS confirmou a divulgação. Mesmo com a divulgação praticamente restrita a redes sociais, a edição 2019/1 teve 365 inscritos e a edição 2019/2 contou com 282 inscrições.

A inscrição foi efetuada online, via formulário, e as informações solicitadas contemplavam identificação, área de formação/atuação, se o inscrito já havia participado de alguma edição anterior do curso e se já havia frequentado disciplinas sobre evolução biológica. A distribuição dos inscritos, em relação à área de formação/atuação, pode ser conferida nos gráficos a seguir (Figuras 3 e 4).

Figura 3. Gráfico mostrando a porcentagem de inscritos, segundo a área de formação/atuação, na edição 2019/1. Outros Cursos – estudantes de Psicologia, Biomedicina, Farmácia, Medicina, Educação Física, Geografia, Filosofia, Pedagogia, Fisioterapia, Física, entre outros em menor proporção

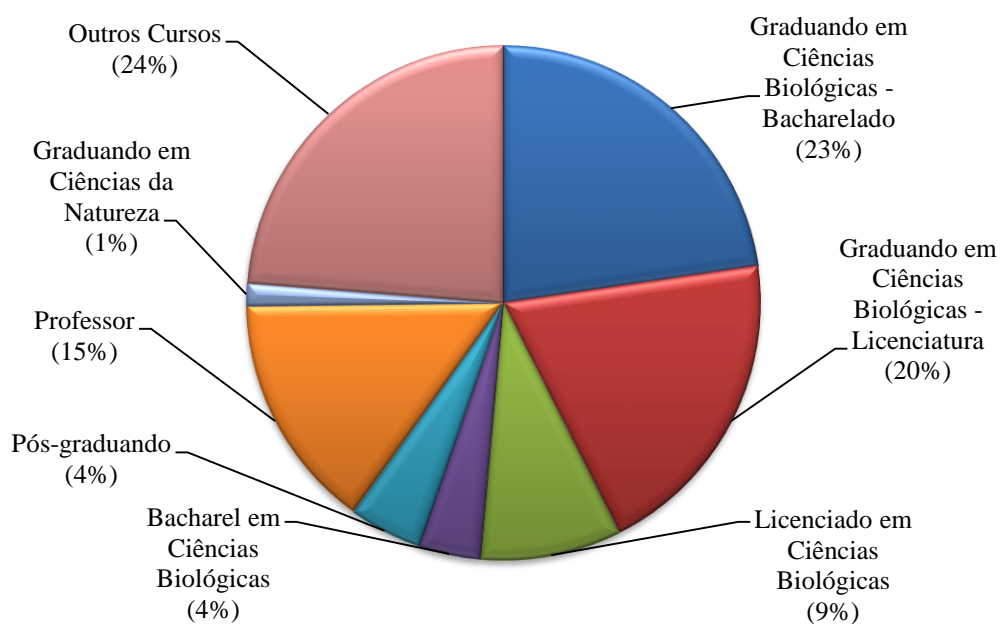
Inscritos na Edição 2019/1 (n = 365)



FONTE: Elaboração própria

Figura 4. Gráfico mostrando a porcentagem de inscritos, segundo a área de formação/atuação, na edição 2019/2

Inscritos na Edição 2019/2 (n = 282)



FONTE: Elaboração própria

A seleção de candidatos nestas edições foi feita da seguinte forma. Todos os professores têm a participação garantida e uma cota de vagas é assegurada para cada um dos grupos a seguir, em ordem decrescente: licenciados e bacharéis em ciências biológicas; licenciandos e bacharelados em ciências biológicas; pós-graduandos; e outros cursos. Dentro de cada grupo, os critérios que serviram para a seleção da cota de selecionados foram os seguintes: (i) não ter participado de alguma edição anterior do curso; (ii) ter frequentado disciplinas sobre evolução biológica; e (iii) a ordem temporal de inscrição.

Apesar de formalmente a seleção de candidatos iniciar após a inscrição, é interessante notar como diferentes formas de seleção já parecem ter começado antes de o curso determinar quem pode ou não efetivar a matrícula. Um exemplo nítido são aquelas pessoas que desejam participar, mas não puderam se inscrever por conta dos turnos do curso. Mensagens diversas foram recebidas com a sugestão de a programação do curso ocorrer no período noturno, ou então em finais de semana, para possibilitar a presença de quem trabalha no horário comercial. Por exemplo, uma pessoa interessada no curso enviou a seguinte mensagem, via rede social:

Galera, eu gostaria de deixar uma sugestão. Como muita gente trabalha em turno integral e não consegue liberação no emprego seria muito legal ter a opção desse curso tipo 'aulões' num fim de semana.

(Comentário na Página do Curso de Biologia Evolutiva no Facebook, 20/01/2019).

Essa sugestão já havia sido feita em outras edições e acabou esbarrando, por um lado, na própria possibilidade de conseguir auditório na Universidade aos finais de semana ou mesmo à noite. Não se pode negar que esta sugestão não foi contemplada também por certa cultura de organização acadêmica entre os ministrantes (em sua maioria da UFRGS). Não por acaso, as pessoas que mais se mostraram impossibilitadas de frequentar o curso são aquelas que estudam em instituições de ensino superior privadas, onde a formação geralmente ocorre fora do horário comercial. Como vamos ver a seguir, grande parte das pessoas que frequentaram o curso nas edições pesquisadas são oriundas de Universidades públicas e de grandes Universidades privadas, que possuem um funcionamento parecido com as instituições públicas.

A possibilidade de acesso ao curso também é um problema quando se refere ao número de vagas ofertadas. Se por um lado o auditório onde ocorre o curso comporta aproximadamente 100 pessoas, as atividades desenvolvidas com um grupo tão grande

contrariam algumas expectativas pedagógicas da equipe de organização. As edições 2019/1 e 2019/2 mantiveram a estrutura encontrada nos cursos anteriores, com a seleção de 100 pessoas e boa parte das temáticas organizadas em forma de palestras, com uma exposição de propostas prontas de cada um dos ministrantes. Além de palestras, o curso também ofereceu visitas guiadas ao museu de Paleontologia, bem como a apresentação de trabalhos de participantes de edições anteriores.

No começo das edições 2019/1 e 2019/2 do curso, o questionário validado de pesquisa foi entregue aos cursistas presentes¹⁷. Os participantes foram avisados que tal questionário seria usado para avaliar o curso, sendo também voltado para uma pesquisa de doutorado. Não foi solicitada qualquer identificação dos participantes, sendo assegurado seu anonimato. A participação era voluntária e aqueles que não desejavam participar da pesquisa poderiam entregar o questionário não preenchido ou então se recusar a recebê-lo, sem com que isso acarretasse em qualquer tipo de constrangimento.

O questionário foi preenchido, na seção de identificação, por 79 cursistas em 2019/1 e 77 cursistas em 2019/2. A distribuição dos cursistas que preencheram o questionário, em relação à religião, sexo, nível acadêmico e Instituição de Ensino Superior (IES) de origem, está discriminada nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Distribuição dos participantes da edição 2019/1 em relação à religião, sexo, formação e IES de origem (n = 79)

	Variáveis	Numero (%)
<i>Participou anteriormente do Curso de Biologia Evolutiva</i>	Sim	18 (23%)
	Não	61 (77%)
<i>Religião</i>	Nenhuma	64 (81%)
	Católico	9 (11%)
	Espírita	2 (3%)
	Evangélico	3 (3,8%)
	Outras	1 (1,2%)
<i>Sexo</i>	Masculino	23 (29%)
	Feminino	56 (71%)
<i>Nível acadêmico</i>	Ciências Biológicas	26 (33%)

¹⁷ O desenvolvimento e a validação deste instrumento serão discutidos no capítulo 7. Neste momento, utilizo os seus dados somente para detalhar o perfil dos participantes do curso. O questionário aplicado encontra-se no Apêndice B.

	(início)	
	Ciências Biológicas (avançado)	36 (45,5%)
	Pós-Graduação	17 (21,5%)
IES	Universidade Pública	53 (67%)
	Universidade Privada	25 (31,7 %)
	Faculdade Privada	1 (1,3%)

FONTE: Elaboração própria

Tabela 2. Distribuição dos participantes da edição 2019/2 em relação à religião, sexo, formação e IES de origem (n = 77)

	Variáveis	Numero (%)
Participou anteriormente do Curso de Biologia Evolutiva	Sim	11 (14%)
	Não	66 (86%)
Religião	Nenhuma	59 (76,6%)
	Católico	8 (10,4%)
	Espírita	2 (2,6%)
	Evangélico	1 (1,2%)
	Outras	7 (9,1%)
Sexo	Masculino	23 (30%)
	Feminino	54 (70%)
Nível acadêmico	Outros Cursos	5 (6,5%)
	Ciências Biológicas (início)	28 (36,4%)
	Ciências Biológicas (avançado)	24 (31,1%)
	Pós-Graduação	20 (26%)
IES	Universidade Pública	51 (66,2%)
	Universidade Privada	22 (28,6%)
	Faculdade Privada	4 (5,2%)

FONTE: Elaboração própria.

O nível acadêmico foi classificado segundo a formação relacionada com evolução biológica, a partir dos seguintes critérios:

(i) *Outros cursos*: participantes que não têm formação em ciências biológicas.

(ii) *Ciências Biológicas (início)*: são considerados deste grupo os estudantes que estão no máximo até o segundo ano da graduação em ciências biológicas e responderam no questionário que não frequentaram disciplinas sobre evolução;

(iii) *Ciências Biológicas (avançado)*: são considerados avançados os estudantes a partir do terceiro ano de graduação que responderam no questionário já ter frequentado alguma disciplina sobre evolução biológica, assim como os alunos já formados em ciências biológicas;

(iv) *Pós-Graduação*: são considerados os estudantes já formados em ciências biológicas que são ou já foram vinculados a cursos de pós-graduação *stricto sensu* da área biológica ou de ensino/educação.

Os professores de educação básica que participaram do curso foram distribuídos entre os grupos *Ciências Biológicas (avançado)* e *Pós-Graduação*, dependendo dos critérios discriminados acima. A disparidade na proporção entre sexo feminino e masculino é um dado que chama a atenção nas edições do curso. Há uma procura muito maior ao Curso de Biologia Evolutiva por estudantes do sexo feminino. Apesar de a igualdade de gênero estar desequilibrada no ensino superior brasileiro em favor das mulheres (UNESCO, 2018), geralmente a disparidade não é tão grande quanto o encontrado neste curso de extensão.

Outro dado interessante é o grande número de cursistas que declararam não possuir religião, demonstrando que os alunos do curso tem um perfil um pouco distinto do encontrado em pesquisas que foram feitas com graduandos e professores diretamente no seu lugar de formação/atuação. Estas pesquisas geralmente constataam um número maior de pessoas identificadas a determinadas religiões (ex., OLEQUES, 2014). Como o Curso de Biologia Evolutiva é uma atividade eletiva que atrai interessados em evolução biológica, o perfil do seu público pode apresentar diferenças significativas em relação aos graduandos e graduados em ciências biológicas de modo geral.

Os alunos de Universidades públicas compõem a maior parte dos participantes, sendo oriundos de diversas instituições, sobretudo da região sul (como UFRGS, UFSM, UFPel UFPR e UFSC). Em seguida, estão os alunos de Universidades particulares (como PUCRS, ULBRA, UNISINOS, UCS e FEEVALE). O número quase inexistente de participante de Faculdades particulares não pode ser negligenciado se considerarmos os dados do censo da educação, elaborado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). Se consultarmos a evolução do quantitativo de cursos e da oferta de vagas referentes à graduação em ciências biológicas, ao longo da década de 1990, 2000 e 2010, veremos que houve uma mudança de perfil em direção a instituições particulares de ensino.

A maior parte das vagas para a formação de biólogos no Brasil, em 1991, era ofertada em Universidades públicas - aproximadamente 56% do universo total de vagas para ciências biológicas no país (HADDAD, 2006, p. 25). O cenário que encontramos no ano de 2004 é bastante distinto. As Universidades, faculdades e centros integrados *privados* compõem a maior parte das ofertas de vagas em ciências biológicas no Brasil - 67% do universo total de vagas no país (HADDAD, 2006, p. 80).

Este cenário está em consonância com a política do MEC de estimular a expansão das ofertas de vagas no ensino superior brasileiro pelas instituições privadas (MARTINS, 2000). O aumento de oferta de vagas em ciências biológicas foi acompanhado, portanto, por uma mudança de perfil quanto à categoria acadêmico-administrativa. Os dados do ENADE/2017 para os cursos de ciências biológicas (licenciatura) também mostra esta modificação. Na análise por região, observa-se que as Instituições Privadas concentraram 44 dos 81 cursos participantes da região Sul, 54.3% do total regional (BRASIL, 2018).

Mesmo com esse cenário de ofertas de vagas para a formação de biólogos na região sul, os alunos de instituições públicas compõem a maior parte dos participantes no Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS. O cenário apresentado anteriormente nos força a repensar de que forma podemos efetivar a ação de extensão para alunos de diferentes instituições, não contemplando apenas discentes e egressos de Universidades públicas, mas também de centros universitários e faculdades particulares.

Neste mesmo íterim, precisamos considerar o número limitado de licenciados em ciências biológicas, formados em Universidades públicas, que estão atuando nas escolas de ensino público. Ambrosini (2012) pesquisou o universo de licenciados em ciências biológicas, formados pela UFRGS entre 2000 e 2010, que estão atuando na rede pública estadual de Porto Alegre. A pesquisadora obteve a listagem de alunos formados entre 2000-2010 no Departamento de Consultoria em Registros Discentes da Universidade (DECORDI-UFRGS) e comparou estes nomes com a listagem de professores atuantes na rede pública de ensino na cidade de Porto Alegre. Essa listagem foi obtida na Secretaria de Educação do Rio Grande do Sul (SEDUCRS).

A autora encontrou na rede estadual de ensino de Porto Alegre, no ano de 2011, um total de 402 professores de Ciências e de 232 professores de Biologia. De todos estes professores de Ciências, apenas 6 (1,5%) eram formados na UFRGS nos últimos 10 anos. No caso de professores de Biologia, esse número era de apenas 4 (1,7%). Isso

significa que, em 2011, somente 2,2% dos professores de Ciências e Biologia da rede pública estadual de Porto Alegre eram egressos da UFRGS, considerando o universo de formados na Universidade nos 10 anos anteriores à pesquisa.

É claro que precisamos considerar ainda os egressos da UFRGS antes de 2000, que podem estar atuando na rede pública estadual da cidade, além de outras Universidades públicas do Estado. Este cenário pode também ter mudado em 2013, quando ocorreu um concurso com 10.000 vagas para Professores do quadro de carreira do magistério público do Estado do Rio Grande do Sul. De qualquer forma, os números encontrados por Ambrosini (2012) são estarrecedores, visto que a UFRGS formou 456 licenciados em ciências biológicas neste período (2000-2010).

Estes dados, mesmo tomados de forma incipiente, nos fazem pensar sobre o público alvo do Curso de Biologia Evolutiva, com as seleções (tácitas ou não) daqueles que frequentam o curso, bem como o seu impacto no contexto de formação continuada de professores e biólogos. Se o perfil de participantes do curso continuar sendo licenciados em ciências biológicas de Universidades públicas (principalmente da UFRGS), que impacto o curso terá no ensino básico? Um curso que pretende ter característica de extensão, para além dos muros da Universidade, deve viabilizar uma relação transformadora entre Universidade e sociedade, evitando reificar as diferenças e tradições que já estão postas.

5 O PLURALISMO DO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

Uma série de críticas às abordagens de ensino debitárias da síntese evolutiva foram apresentadas no primeiro eixo da tese, particularmente em relação ao seu restrito pluralismo. Neste capítulo, busco argumentar que o Curso de Biologia Evolutiva é uma atividade de formação continuada instanciada em uma perspectiva pluralista de ensino.

Abordo especificamente três aspectos que representam o pluralismo do curso: (i) um pluralismo teórico de processos, unidades, hereditariedade e padrões evolutivos; (ii) abordagens de história e filosofia da biologia e a ênfase no contexto local, com discussões voltadas para personagens históricos brasileiros e sobre pesquisas da nossa biodiversidade; (iii) e a presença de temáticas sociocientíficas, a partir de discussões sobre os conceitos de raça, gênero, religião e política.

Estes três aspectos são, de certa forma, recomendados por diferentes autores. Muitos biólogos e filósofos da biologia enfatizam a necessidade de uma abordagem pluralista de processos, padrões e hereditariedade na biologia evolutiva (DANCHIN *et al.*, 2011; DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007; PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000). Inclusive algumas pesquisas estão começando a propor abordagens de ensino em consonância com este pluralismo teórico (cf. COSTA, 2017; OLIVEIRA; CALDEIRA; BRANDO, 2017). Na literatura sobre ensino de ciências, argumenta-se com frequência a favor da inserção de discussões históricas, filosóficas e sociocientíficas no contexto de ensino (MARTINS, 2006; FREIRE JR, 2002).

Obviamente, como pesquisador do tema, estou familiarizado com uma pequena parte de toda a discussão apontada acima, o que não me desanima de apostar em uma investigação nesse sentido. Na verdade, para a realização desta pesquisa, interessam-me as questões que se mostram mais diretamente relacionadas aos casos concretos encontrados no Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS. Em última análise, eu pretendo combinar a experiência do curso com uma reflexão filosófica e histórica, de modo a vislumbrar um caminho que permita pensar os desafios do ensino de evolução em uma perspectiva mais pluralista que a perpetuada pela síntese evolutiva.

Desse modo, a discussão aqui empreendida tem como ponto de partida as observações das edições 2018/1, 2018/2, 2019/1 e 2019/2 do Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS e a análise do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino” (ARAÚJO, 2017)¹⁸. Este livro foi elaborado pelos proponentes do Curso de Biologia

¹⁸ Disponível gratuitamente para download em: <https://www.editorafi.org/240biologia>.

Evolutiva na UFRGS a partir das atividades e discussões das primeiras edições do projeto, entre os anos de 2014 e 2017. Por isso, esta produção é um material interessante para a análise das abordagens de ensino presentes no projeto de extensão, uma vez que sua própria materialidade expressa dimensões do pluralismo do curso, foco de investigação desta tese. Além disso, a inclusão do livro na análise do curso, em combinação com as observações das edições 2018 e 2019, permite uma maior abrangência das temáticas que perduraram no Curso de Biologia Evolutiva desde o seu início.

Este enfoque constitui-se fundamentalmente importante para definir a unidade de análise proposta nesta pesquisa: o processo de formação continuada vivenciado no Curso de Biologia Evolutiva a partir do pluralismo encontrado nesta atividade de extensão.

5.1 Pluralismo teórico no Curso de Biologia Evolutiva

Como discutido no segundo capítulo da tese, o pensamento evolutivo tem vivenciado atualmente um momento de reformulações, que passa pela proliferação de conceitos, sendo caracterizado por um *pluralismo teórico*. O Curso de Biologia Evolutiva está em consonância com alguns aspectos desta perspectiva pluralista. As atividades do curso, em seu conjunto, contemplam um pluralismo de processos, unidades, hereditariedade e padrões evolutivos.

Dessa forma, o quadro 3 busca situar as atividades do curso - assim como capítulos do livro elaborado a partir de edições anteriores -, que privilegiam uma diversidade de processos evolutivos, dando conta de um panorama pluralista de mecanismos que atuam na mudança evolutiva¹⁹.

¹⁹ É interessante notar que o *pluralismo teórico* na biologia evolutiva é acompanhado por um *pluralismo causal*, com uma expansão da gama de fatores causais que contribuem para a mudança evolutiva (NEHM; KAMPOURAKIS, 2014).

Quadro 3. Os processos evolutivos que as atividades do Curso de Biologia Evolutiva e os capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino” priorizam. Estas atividades podem discutir outros mecanismos, mas os processos evolutivos apontados são priorizados nas abordagens sobre mudanças evolutivas. Na última coluna, encontram-se definições e discussões destes processos em atividades do curso e nos capítulos do livro

Processos evolutivos	Atividades e capítulos do livro que priorizam os processos	Definições e discussões sobre processos
Processos clássicos da síntese evolutiva (seleção natural, deriva genética, fluxo gênico e mutação)	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos evolutivos (2018/1 e 2018/2). • Evolução humana (2018/1, 2019/1, 2019/2). • Psicologia evolutiva (2018/1). • Darwin e o ciático: um olhar evolutivo sobre a saúde do movimento humano atual (2019/1). • Capítulos 2, 3, 5, 6, 19 e 20. 	Livro (p. 69, 74, 105-109, 145-146, 469-470, 474-477, entre outras).
Plasticidade do desenvolvimento (fenotípica)	<ul style="list-style-type: none"> • Evo-Devo: expandindo as fronteiras da Biologia Evolutiva (2018/1, 2018/2, 2019/1). • A influência do ambiente sobre a morfologia (...) (2018/1). • Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global (2019/1). • Hereditariedade, variação e evolução (2019/2). • Capítulos 7 e 8. 	<p><i>Embora as novidades evolutivas possam ser originadas por mutação, elas também podem ser induzidas por fatores ambientais</i> (Atividade no Curso de Biologia Evolutiva, 2018/1).</p> <p>Livro (p. 231-238).</p>
Construção de nicho	<ul style="list-style-type: none"> • Ecologia evolutiva (2018/1). • A influência do ambiente sobre a morfologia (...) (2018/1). • Princípios da ecologia evolutiva (2019/1). • Por que o pensamento evolutivo é primordial no ensino de ecologia? (2019/2). • Capítulo 15. 	<p><i>Quando tais modificações [ambientais] alteram as pressões de seleção, a evolução por construção de nicho é um resultado possível</i> (Atividade no Curso de Biologia Evolutiva, 2019/1).</p> <p>Livro (p. 392-394).</p>
Seleção de espécies	<ul style="list-style-type: none"> • Discutindo macroevolução e 	<i>Nos livros [de evolução do ensino superior] (...) taxas evolutivas, extinções e</i>

	<ul style="list-style-type: none"> paleontologia (2018/1). • Paleontologia e Evolução no tempo profundo (2019/1). • Ecologia e macroevolução (2019/2). • Capítulo 1. 	<i>irradiações aparecem como padrões (...) mas acredito que tudo que altera as taxas de extinção e de especiação são processos [evolutivos]</i> (Atividade no Curso de Biologia Evolutiva, 2018/1). Livro (p. 47-52).
Simbiose	<ul style="list-style-type: none"> • A biologia evolutiva e a compreensão do mundo microbiano (2019/1). • Capítulo 21. 	Livro (p. 503-504).
Viés de desenvolvimento e Restrição de desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • Evo-Devo: expandindo as fronteiras da biologia evolutiva (2018/1 e 2019/1). • Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global (2019/1). • Biologia evolutiva do desenvolvimento (2019/2). • Capítulo 8. 	<i>Os processos do desenvolvimento podem gerar viés e restrições no direcionamento da evolução e no surgimento de novas variantes fenotípicas</i> (Atividade no Curso de Biologia Evolutiva, 2019/1). Livro (p. 225-230).

FONTE: Elaboração própria

Considerando o quadro 3, podemos interpretar que há uma recorrência maior dos processos clássicos da síntese evolutiva nas atividades do curso. Isso já é esperado, uma vez que não há um consenso sobre os “novos” processos evolutivos. Além disso, as evidências e os exemplos bem corroborados de mudanças evolutivas são mais abundantes a partir dos mecanismos clássicos, como seleção natural e deriva genética. Não se segue disso que o curso não adote um pluralismo de processos, uma vez que claramente as atividades não tratam somente do papel causal e explicativo da seleção natural na mudança evolutiva, mas também abordam outros mecanismos.

O pluralismo de processos é geralmente pensado em oposição ao adaptacionismo e à centralidade da seleção natural (ORZACK; FORBER, 2017). Godfrey-Smith (2001) distingue três variedades de adaptacionismo: *empírico*, *explanatório* e *metodológico*. O *adaptacionismo empírico* defende a primazia causal da seleção natural em relação aos outros fatores evolutivos, sustentando que é possível explicar o processo evolutivo apenas levando em conta a seleção natural. O *adaptacionismo explanatório* pode admitir que a seleção natural possui inúmeras

restrições, e que muitas características dos seres vivos não são adaptações, mas sustenta a primazia *explicativa* da seleção natural na produção de adaptações complexas. O *adaptacionismo metodológico*, por outro lado, “não faz nenhuma afirmação acerca do mundo natural e do papel que a seleção natural desempenha no mesmo, consistindo apenas numa recomendação acerca de como os biólogos devem pensar sobre os organismos e organizar suas investigações” (SEPULVEDA; EL-HANI, 2007). Nesse caso, a adaptação seria um bom conceito organizador da pesquisa evolutiva.

A partir das observações e dos próprios objetivos do curso que, em consonância com as edições anteriores, deram origem ao livro (ARAÚJO, 2017), pode-se afirmar que a maioria dos ministrantes concorda com o adaptacionismo metodológico, mas rejeita explicitamente o adaptacionismo empírico e explanatório. Ao acompanhar as atividades do curso, fica claro o posicionamento da maior parte dos ministrantes de que a explicação das características complexas requer diferentes processos evolutivos, apesar de a seleção natural ser um conceito importante da biologia evolutiva. Essa posição é coerente com a perspectiva pluralista de processos evolutivos.

Alguns ministrantes, por outro lado, rejeitam explicitamente os três tipos de adaptacionismos. Esse posicionamento é característico dos paleontólogos que fazem parte do curso, os quais recusam mesmo o *adaptacionismo metodológico* na evolução, não encarando a adaptação como um bom conceito organizador da paleobiologia. Isso pode ser explicado porque a paleontologia geralmente está preocupada com níveis de hierarquia superior às populações, e as suas explicações lançam mão de fatores geológicos para abordar temas como radiação evolutiva, sobrevivência, extinção e distribuição de clados em um longo período de tempo.

Por fim, algumas atividades assumem os três tipos de adaptacionismos - empírico, explanatório e metodológico. Destacam-se, neste sentido, as discussões sobre evolução humana e psicologia evolutiva²⁰. Esse posicionamento é o mais conflitante em vista de um pluralismo de processos. A perda de poder explicativo e causal da seleção natural é uma consequência do pluralismo de processos, o qual necessariamente se afasta de uma visão adaptacionista em que a seleção seja vista como mecanismo que explica toda a evolução (ALMEIDA; EL-HANI, 2010). Como o pluralismo de

²⁰ A psicologia evolutiva é considerada debitária da sociobiologia e, dessa forma, herdeira de uma abordagem eminentemente adaptacionista.

processos passa a combinar a seleção natural com outros mecanismos evolutivos, torna-se óbvio que ela deverá perder parte de seu poder explicativo.

Desse modo, encontramos no curso, de maneira geral, a recusa a um adaptacionismo estrito e o reconhecimento de um pluralismo de processos evolutivos. A adoção desse pluralismo de processos vem a reboque de outro tipo de pluralismo: o reconhecimento da existência de uma miríade de unidades evolutivas que evoluem por processos evolutivos além da seleção natural (GONTIER; BRADIE, 2017). Apesar de não ser um pré-requisito para o pluralismo de processos, o chamado pluralismo de unidades evolutivas e níveis de seleção acaba sendo uma decorrência deste posicionamento.

A partir das observações realizadas e da consulta dos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”, é possível afirmar que há uma recorrência do posicionamento mais tradicional adotado na síntese evolutiva. Em consonância com a consolidação da genética de população, as mudanças ocorridas no nível genético são indicadores de evolução e duas posições prevalecem em termos muito gerais: uma que escolhe o indivíduo e a outra o gene como unidade de seleção, sendo a população a unidade prevalente da mudança evolutiva. Para usar um termo de Ernst Mayr (1982), podemos chamar esse posicionamento geral de um *pensamento populacional*, central na biologia evolutiva como um todo.

Apesar de o pensamento populacional ser o mais recorrente no curso, encontram-se uma série de discussões sobre a possibilidade de outras unidades evolutivas. Em uma atividade da edição 2018/1, por exemplo, um ministrante defendeu uma definição de evolução que não se compromete com alguma unidade evolutiva em particular e nem com algum processo *a priori*. O ministrante definiu evolução como “descendência com modificação”²¹.

As discussões sobre paleontologia também não são centradas no pensamento populacional, tratando as espécies como as entidades biológicas próprias do campo da macroevolução, as quais são caracterizadas como uma unidade evolutiva de direito próprio. Alguns debates da biologia evolutiva do desenvolvimento também se deslocam

²¹ Essa definição é original de Darwin e contrasta com outras definições, como a proposta por Dobzhansky, que define evolução como mudanças na composição genética das populações ao longo do tempo (DOBZHANSKY, 1937, p. 11-12). A definição de Dobzhansky prioriza a população como unidade evolutiva e o gene como alvo dos processos evolutivos.

do pensamento populacional, privilegiando o organismo como a preocupação central da evolução.

Desse modo, temos três posicionamentos distintos sobre as unidades evolutivas e de seleção. (i) *Pensamento populacional*: organismos não evoluem, são as populações que evoluem; organismos ou genes podem ser alvos da seleção natural; (ii) *Ontogenético*: organismos não evoluem. Programas do desenvolvimento evoluem. Características fenotípicas são produtos da evolução das ontogênias. (iii) *Macroevolutivo*: espécies são alvo de seleção. As espécies constituem uma unidade evolutiva (Quadro 4).

Quadro 4. As unidades evolutivas e de seleção presentes nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”

Unidade evolutiva	Atividades e capítulos do livro
População	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução humana (2018/1 e 2019/1). • Psicologia evolutiva (2018/1). • Mecanismos evolutivos (2018/1 e 2018/2). • Darwin e o ciático: um olhar evolutivo sobre a saúde do movimento humano atual (2019/1). • Capítulos 2, 3, 5, 6, 19 e 20.
Programas do desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • A influência do ambiente sobre a morfologia (...) (2018/1). • Evo-Devo: expandindo as fronteiras da biologia evolutiva (2018/1, 2018/2, 2019/1). • Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global (2019/1). • Biologia Evolutiva do Desenvolvimento (2019/2). • Capítulo 8.
Espécie	<ul style="list-style-type: none"> • Discutindo macroevolução e paleontologia (2018/1). • Paleontologia e evolução no tempo profundo (2019/1). • Ecologia e macroevolução (2019/2). • Capítulo 1.

Unidade de seleção	Atividades e capítulos do livro
Gene	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução humana (2018/1) • Psicologia Evolutiva (2018/1) • As marcas indelévels da evolução na saúde humana (2018/1)
Organismo	<ul style="list-style-type: none"> • A influência do ambiente sobre a morfologia (...) (2018/1) • Evo-Devo: Expandindo as fronteiras da Biologia Evolutiva (2018/1, 2018/2, 2019/1). • Ecologia Evolutiva (2018/1).

	<ul style="list-style-type: none"> • Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global (2019/1). • O alcance da seleção natural e dos genes na explicação da diversidade de formas do mundo vivo (2018/1). • Capítulo 8.
Espécies e <i>taxons</i> superiores	<ul style="list-style-type: none"> • Discutindo macroevolução e paleontologia (2018/1). • Paleontologia e Evolução no tempo profundo (2019/1). • Capítulo 1.

FONTE: Elaboração própria

Para que a evolução seja cumulativa, as mudanças realizadas em uma unidade evolutiva devem ser até certo ponto preservadas na geração seguinte. Em relação às mudanças populacionais, essa persistência necessária é garantida pela hereditariedade. E assim como os outros aspectos discutidos até aqui, alguns biólogos estão cada vez mais apontando para a necessidade de uma concepção mais pluralista de hereditariedade biológica (DANCHIN *et al.*, 2011; WALSH, 2015, p. 100).

Nesse sentido, encontramos no Curso de Biologia Evolutiva, além da herança genética, discussões sobre herança epigenética, simbiótica, ecológica e cultural. A *epigenética* tem um enfoque no desenvolvimento biológico e na noção de que a hereditariedade é influenciada pelo ambiente. O prefixo “epi” é, literalmente, destinado a qualificar a mudança do foco nos genes para os mecanismos pelos quais eles são regulados. Uma de suas importâncias evolutivas reside na expressão de formas alternativas de fenótipos por um mesmo genótipo, ou seja, na plasticidade fenotípica (JABLONKA; LAMB, 2005).

A plasticidade fenotípica permite, por exemplo, que uma parcela dos indivíduos de uma população sobreviva a uma mudança ambiental, por meio da expressão de novos fenótipos. A expansão de uma população em novos nichos também pode ser influenciada pela herança epigenética. A plasticidade fenotípica aumenta a largura do nicho porque as respostas plásticas permitem que os organismos expressem fenótipos vantajosos em uma ampla gama de ambientes. A variação epigenética ainda pode responder à seleção, resultando na acumulação de alterações fenotípicas ao longo de várias gerações, sem necessariamente alterar as frequências gênicas (LALAND *et al.*, 2015).

Alguns destes aspectos, sobretudo os mecanismos moleculares envolvidos, foram discutidos em atividades do Curso de Biologia Evolutiva, assim como no capítulo 8 do livro. Abordou-se também a forma como a acomodação genética e fenotípica proporcionam oportunidades de fixação de novidades evolutivas a partir de mudanças nos programas do desenvolvimento. Devido à complexidade deste tema, não vou tratá-lo em detalhes aqui, mas é importante ressaltar que ele foi abordado no livro (ARAÚJO, 2017, p. 232) e na atividade “Evo-Devo: expandindo as fronteiras da Biologia Evolutiva” (2018/1, 2018/2, 2019/1).

O enfoque na plasticidade fenotípica contrasta com o adotado pela síntese evolutiva, a qual preconiza que a mudança genética sempre deve preceder as mudanças fenotípicas. Alguns autores defendem uma inversão nesta perspectiva, colocando os genes como “seguidores” e não como “líderes” da evolução. Isso quer dizer que as mudanças nas frequências gênicas por vezes “seguem”, ao invés de iniciar, a evolução fenotípica. Um corolário importante dessa visão é que as mudanças adaptativas não “esperam” uma mutação favorável, mas tem origem na plasticidade do desenvolvimento (WEST-EBERHARD, 2003, p. 158).

Diferente da herança genética ou epigenética, a chamada *herança ecológica* é transmitida através de um ambiente externo. Os indivíduos modificam seus ambientes de tal forma que podem afetar as pressões de seleção que agem sobre eles e outros organismos do seu entorno. Exemplos conhecidos incluem as teias, ninhos, represas e tocas que inúmeras espécies animais criam, mas também mudanças nos gases atmosféricos e nutrientes do solo provocadas por bactérias e plantas. Essas mudanças derivam das atividades de construção de nicho dos organismos. Em alguns casos, essas modificações ambientais persistem por tempo suficiente para serem herdadas pelas gerações subsequentes, afetando a dinâmica evolutiva de longo prazo (DANCHIN *et al.*, 2011; ODLING-SMEE; LALAND; FELDMAN, 2003).

Intimamente relacionada com a construção de nicho é a *herança cultural*, uma vez que as atividades culturais humanas (e de outros animais) modificam o ambiente e podem persistir por tempo suficiente para gerar uma pressão seletiva estável. Existem alguns exemplos de herança cultural com impacto evolutivo em nossa espécie. Mas nenhum é tão bem estudado como a coevolução gene-cultura da persistência da lactase - que associa a capacidade de humanos adultos de digerir a lactose e a prática cultural de domesticação de gado e outros organismos que fornecem leite (FUTUYMA, 2002).

A herança cultural também é um tema importante nas discussões sobre a expansão dos hominíneos, que alteraram seu próprio nicho, impactando a forma como a seleção natural atuou ao longo da evolução humana. Estas e outras discussões sobre herança cultural, e sua interação com a herança genética, foram abordadas nas discussões sobre evolução humana do curso (Quadro 5).

Quadro 5. O pluralismo de hereditariedade presente nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”. Algumas atividades/capítulos privilegiam a interação entre duas formas de herança, como as discussões sobre evolução humana e a coevolução gene-cultura

Hereditariedade	Atividades e capítulos do livro
Herança Genética	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução humana (2018/1, 2019/1, 2019/2). • Psicologia evolutiva (2018/1). • As marcas indelévels da evolução na saúde humana (2018/1). • Elementos transponíveis - o lado inquieto do genoma (2019/1). • Mecanismos evolutivos (2018/1). • Capítulos 2, 3 e 20.
Herança Epigenética	<ul style="list-style-type: none"> • A influência do ambiente sobre a morfologia (...) (2018/1) • Evo-Devo: expandindo as fronteiras da biologia evolutiva (2019/1, 2019/2). • Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global (2019/1). • Hereditariedade, variação e evolução (2019/2). • Capítulo 7 e 8.
Herança Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Ecologia evolutiva (2018/1). • Princípios da ecologia evolutiva (2019/1). • Por que o pensamento evolutivo é primordial no ensino de ecologia? (2019/2). • Capítulo 15.
Herança Cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução humana (2018/1 e 2019/1). • Como os sons podem moldar a evolução: um enfoque evolutivo da bioacústica dos cetáceos (2019/1). • Capítulo 2.
Transmissão de simbioses	<ul style="list-style-type: none"> • A Biologia Evolutiva e a compreensão do mundo microbiano (2019/1). • Capítulo 21.

FONTE: Elaboração própria

Podemos citar ainda uma última abordagem relacionada com o pluralismo de hereditariedade: a transmissão de simbioses. A síntese evolutiva foi construída a partir de estudos com organismos eucariontes. Ao longo do século XX, a biologia aprofundou o estudo dos procariontes e a sua relação com os outros seres vivos. Alguns autores,

mais recentemente, não tratam animais e plantas como entidades autônomas, mas como "holobiontes", compostos do hospedeiro e os seus microrganismos simbióticos. A simbiose pode fornecer mecanismos para o isolamento reprodutivo, além de ter relação com transições evolutivas, como a origem simbiogênica das mitocôndrias e cloroplastos (GILBERT; BOSCH; LEDÓN-RETTIG, 2015).

A transmissão de simbioses pode ocorrer de modo *vertical* (de genitor para prole) e *horizontal* (entre organismos não relacionados). Essa é uma das razões que nos leva a outra dimensão do pluralismo teórico – o chamado pluralismo de padrões evolutivos (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007). Como discutido anteriormente, alguns processos de transmissão horizontal nos levam a padrões diferentes do que o representado pela metáfora da árvore. No curso, são preponderantes as discussões sobre evolução gradual e o padrão em árvore, como pode ser observado no quadro 6.

De qualquer forma, algumas atividades não deixam de inserir discussões sobre a teoria do equilíbrio pontuado, evolução reticulada e distintos modos de especiação, os quais abordam outros padrões evolutivos. É importante ressaltar que os variados padrões e modos de especiação não são mutuamente excludentes, sendo apropriados conforme o táxon e a escala discutida.

Quadro 6. O pluralismo de padrão presente nas atividades do Curso de Biologia Evolutiva e nos capítulos do livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”

Padrão evolutivo	Atividades e capítulos do livro
Gradualismo/Padrão em Árvore	<ul style="list-style-type: none"> • As marcas indelévels da evolução na saúde humana (2018/1). • Mecanismos evolutivos (2018/1). • (...) • Capítulos 2, 3, 5, 9, 19 e 20.
Evolução Reticulada	<ul style="list-style-type: none"> • A biologia evolutiva e a compreensão do mundo microbiano (2019/1). • Elementos transponíveis - o lado inquieto do genoma (2019/1). • Bactérias e Vírus (2019/2). • Capítulos 6 e 21.
Equilíbrio Pontuado	<ul style="list-style-type: none"> • Evo-Devo: expandindo as fronteiras da biologia evolutiva (2018/1, 2018/2, 2019/1). • Discutindo macroevolução e paleontologia (2018/1). • Paleontologia e evolução no tempo profundo (2019/1). • Capítulos 1 e 8.

FONTE: Elaboração própria

A evolução reticulada é tratada de modo bastante incipiente, sendo o equilíbrio pontuado discutido em mais detalhes no contexto da paleontologia e biologia evolutiva do desenvolvimento. Essa relação ocorre porque algumas pesquisas na Evo-Devo discutem o papel das modificações nos processos de desenvolvimento que podem contribuir para o surgimento de novas variantes fenotípicas (WEST-EBERHARD, 2003). O reconhecimento destes mecanismos subjacentes auxilia em discussões sobre as mudanças evolutivas que ocorrem de maneira relativamente rápida.

Ainda podemos acrescentar na discussão sobre pluralismo teórico uma série de conceitos centrais da teoria evolutiva que são tomados em uma perspectiva pluralista. Um deles é o pluralismo sobre conceitos de espécies, presente na atividade “Problemas das espécies: questões empíricas e filosóficas” (2018/2). A ministrante discutiu diferentes conceitos de espécies encontrados na literatura evolutiva e as suas implicações. Muitos destes conceitos e suas definições associadas são incompatíveis, na medida em que podem levar a diferenças sobre os limites e números de espécies classificadas.

O conceito de ambiente é outro exemplo que pode ser tomado em uma perspectiva pluralista. Esse conceito é entendido e abordado de diferentes maneiras durante o curso, dependendo do nível de organização biológica e processo evolutivo explorado. Evolução e ambiente estão inscritos em processos nos quais diversos caminhos interagem: em mecanismos de plasticidade fenotípica, na diferenciação de populações devido a mecanismos de isolamento geográfico, na extinção de espécies por mudanças ambientais, na seleção de espécies em nível macroevolutivo, entre outros exemplos abordados durante o curso.

5.2 Privilegiando história e filosofia da biologia e o contexto local

Os aspectos pluralistas discutidos na seção anterior guardam relação direta com uma miríade de disciplinas biológicas. Nesta (e na próxima) seção, pretendo explorar a presença de abordagens “externas” à biologia evolutiva, sobretudo em algumas discussões metacientíficas que contribuem para uma visão pluralista do conhecimento evolutivo.

Discussões de caráter histórico e filosófico abordam os *processos* de construção do conhecimento científico, evitando que o curso se limite apenas aos *produtos* de

pesquisa em Biologia Evolutiva. Considerando o tempo condensado e o formato do Curso de Biologia na UFRGS – sem leituras prévias obrigatórias e com uma exposição dialogada limitada -, não se tem a expectativa de que as atividades metacientíficas feitas neste projeto alterem de forma consistente a compreensão sobre a natureza da ciência entre os cursistas.

Mesmo as propostas de ensino que buscam abordar história e filosofia da ciência de maneira estruturada demonstram dificuldades em melhorar a compreensão sobre a natureza da ciência entre os estudantes (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000). A inserção de história, filosofia e sociologia da ciência no curso tem a expectativa de ao menos não contribuir para a perpetuação de uma imagem deformada da ciência, ao mesmo tempo em que estimula a preocupação *sobre* a ciência entre os cursistas.

O conhecimento evolutivo é especialmente aberto às discussões metacientíficas. As pesquisas de Gould e Lewontin discutidas anteriormente nos mostram que as questões científicas do pensamento evolutivo estão acopladas a aspirações metacientíficas, agendas éticas e políticas. A compreensão do conhecimento evolutivo desarticulada da reflexão histórica, filosófica, ética e política pode ter consequências danosas. O entendimento crítico e humanista da evolução biológica também exerce um importante papel na educação para o exercício da cidadania, tanto para os pesquisadores quanto para os professores em formação. Além do mais, a evolução biológica tem sido o foco da maior parte da atenção em história e filosofia da biologia. Muitos filósofos da biologia interagem com os biólogos evolutivos, inclusive influenciando seus debates (PRADEU, 2017). Com esta compreensão sobre a ampla importância das discussões metacientíficas, é importante considerar os aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conhecimento evolutivo como um elemento importante do pluralismo do curso.

Neste sentido, das vinte atividades que ocorreram na edição 2018/1, ao menos seis tinham como enfoque discussões metacientíficas. No livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”, em um universo de vinte e um capítulos, seis deles possuem discussões metacientíficas. Estas atividades envolvem estudos de caso de história e filosofia da biologia, fomentando reflexões acerca de aspectos particulares da natureza da ciência; abordam desafios sociais, políticos e éticos do conhecimento biológico; e inserem discussões sobre história e filosofia da biologia que podem complexificar a visão da evolução, auxiliando em discussões teóricas.

Ainda que estas atividades pontuais sobre história e filosofia não alterem consistentemente o entendimento sobre natureza da ciência entre os cursistas, elas possuem a capacidade de enriquecer o entendimento da ciência ao inserir seus contextos de produção, neutralizando algumas distorções. Muitas vezes a própria história da ciência pode promover uma visão mitificada, como a concepção de que a ciência é realizada por gênios (PRESTES; CALDEIRA, 2009).

Uma problemática relacionada a esta é que com frequência os materiais didáticos utilizados para a formação em evolução biológica no ensino superior são internacionais, fora do contexto brasileiro e latino americano²². Isso pode criar uma distorção em relação aos contextos de produção da ciência, gerando uma supervalorização da ciência “ocidental” (feita na Europa e Estados Unidos) e dando a conhecer mais a biodiversidade e a pesquisa fora do Brasil do que o conhecimento que temos localmente. O perigo de enfatizar a ciência ocidental e a biodiversidade fora daqui é que criamos uma padronização da ciência, no sentido de que a produção de conhecimento europeu e norte-americano possa ser transferido para diferentes localidades e países. Esse movimento também cria duas classes de saberes, entre aqueles produtores de conhecimento sobre biologia evolutiva e “nós” dos países subdesenvolvidos, meros consumidores que precisam ser alfabetizados pela ciência feita no primeiro mundo.

É inevitável pensar que essa relação perpetua o processo histórico que começou com a expansão militar e comercial de alguns povos da Europa para a América. A colônia não foi apenas colonizada militar e comercialmente, mas as próprias visões de mundo, instituições jurídicas, econômicas, *científicas* e políticas da Europa foram transplantadas para a América. As relações hierárquicas entre dois tipos de conhecimento, um supostamente universal (ocidental) e outro local (americano), simplesmente fazem parte desta dinâmica. A negação da bagagem histórica, cultural e *biológica* da América Latina foi significativa, implicando, por isso, em uma ignorância sobre nós mesmos (MATO, 2008).

Considerando essa problemática com fortes raízes históricas, o curso busca enfatizar as pesquisas feitas no contexto local, tanto ao abordar personagens históricos

²² Os principais livros didáticos sobre evolução destinados ao ensino superior são traduções de obras elaboradas por biólogos britânicos e americanos, como *Evolução* (RIDLEY, 2009), *Análise Evolutiva* (FREEMAN; HERRON, 2009) e *Biologia Evolutiva* (FUTUYMA, 1992).

do pensamento evolutivo brasileiro, quanto por privilegiar as pesquisas evolutivas feitas com a nossa biodiversidade. A abordagem do contexto local tem o potencial de humanizar a matéria científica, aproximando os alunos da ciência feita aqui, valorizando a ciência nacional e desfazendo as relações hierárquicas entre os produtores de conhecimento sobre biologia evolutiva e “nós”, meros reprodutores deste saber.

Desse modo, algumas edições do curso exploraram figuras históricas importantes para a evolução brasileira e gaúcha, como Pe. Balduino Rambo (2018/1) e Fritz Müller (Capítulo 12 do livro). Também foram discutidas as passagens de Charles Darwin (2018/1) e Alfred Wallace (Capítulo 11 do livro) pelo território brasileiro, os quais contribuíram para o conhecimento da nossa biodiversidade. A visita ao museu de Genética (2018/1), por exemplo, permitiu situar a institucionalização das pesquisas evolutivas e genéticas no contexto brasileiro, com a passagem de Theodosius Dobzhansky em território nacional e a formação de grupos de pesquisa no departamento de Genética da UFRGS. Neste museu, há uma série de objetos históricos que ajudam a discutir essa história.

As pesquisas contemporâneas feitas por evolucionistas brasileiros aparecem em diferentes momentos do curso, como na visita guiada ao Museu de Paleontologia da UFRGS, que possui uma série de réplicas de fósseis descobertos no Rio Grande do Sul. Réplicas de Rincossauros e *Prestosuchus* do Rio Grande do Sul ajudam a contar a história dos répteis e crocodilos. Os Cinodontes do museu, encontrados na formação de Santa Maria, também são importantes por ajudar a contar a história evolutiva dos mamíferos. Há diversos exemplos importantes oriundos da formação Santa Maria, como um dos fósseis de dinossauro mais antigos do mundo, o *Staurikosaurus*, encontrado em sedimentos de 225 milhões de anos.

Além da vida pretérita, algumas atividades buscaram discutir pesquisas evolutivas com espécies brasileiras viventes. Um exemplo foi a atividade intitulada “A influência do ambiente sobre a morfologia (...)” (2019/1), a qual traz uma discussão sobre as pesquisas que envolvem ecologia, evolução e desenvolvimento de roedores subterrâneos do gênero *Ctenomys* da planície costeira do Rio Grande do Sul. E a atividade “Como os sons podem moldar a evolução: um enfoque evolutivo da bioacústica dos cetáceos” (2019/1) teve como ênfase o comportamento dos golfinhos *Tursiops* presentes na costa brasileira.

Alguns capítulos do livro também abordam a biodiversidade local, como o capítulo 5, que trata da evolução adaptativa de lagartos fossoriais dos gêneros *Calyptommatus* e *Nothobachia* nas caatingas brasileiras. O capítulo 4 trata de seleção sexual, tema central da biologia evolutiva, a partir de pesquisas feitas no Brasil com as borboletas *Heliconius erato phyllis* e *Actinote sp*, bem como com as aranhas da espécie *Paratrechalea ornata*.

Ainda em relação ao contexto local, o livro "Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino" apresenta análises das abordagens evolutivas presentes em materiais didáticos utilizados em nosso contexto. São três capítulos que discutem materiais didáticos direcionados para o ensino infantil, médio e superior, respectivamente: "A visão antropocêntrica em uma revista de divulgação científica para crianças" (Capítulo 17); "A teoria da evolução é um fio condutor nos livros didáticos de Biologia do Ensino Médio?" (Capítulo 16); e "Ecologia e Evolução: a abordagem evolutiva em livros de ecologia" (Capítulo 15).

5.3 Temáticas sociocientíficas: raça, gênero, religião e política

O conhecimento evolutivo se situa em uma região de disputa entre perspectivas científicas, religiosas e do senso comum. A controvérsia mais conhecida é a incompatibilidade entre evolução e determinadas crenças religiosas, especialmente no que diz respeito à origem da espécie humana. Mas a biologia evolutiva também mobiliza conhecimentos sobre raça, gênero, política, concepções sobre natureza humana, entre outros aspectos, que podem conflitar ou convergir com crenças pessoais e áreas do conhecimento acadêmico. Pretendo explorar nesta seção algumas das temáticas sociocientíficas que estiveram presentes nas edições observadas do Curso de Biologia Evolutiva. Estes elementos de certa forma também contribuem para uma visão mais pluralista do conhecimento evolutivo.

Uma antropóloga no Curso de Biologia Evolutiva: tensionando o conceito biológico de raça

As discussões históricas e filosóficas presentes nas atividades do curso são geralmente conduzidas por biólogos que abordam os debates próprios do campo da biologia evolutiva. Por outro lado, a participação de uma aluna de doutorado em

Antropologia, convidada para a edição 2018/1, inseriu uma visão externa ao campo biológico. A atividade conduzida pela ministrante tinha um enfoque muito maior no impacto do discurso evolutivo e genético no “mundo da vida” do que propriamente na dinâmica de construção destes saberes, aspecto geralmente privilegiado pelos biólogos que participam do curso.

Quando a recepcionei no dia de sua fala, ela confessou certo desconforto em uma atividade para um público recheado de biólogos. E logo disse: “não sei se o pessoal vai gostar muito do que vou falar”. Em certo sentido ela estava certa.

A discussão da antropóloga começou no sentido de pensar as rearticulações do conceito de raça enquanto categoria biológica, em suas dimensões evolutivas e moleculares. A partir de suas pesquisas em antropologia de laboratório, e da literatura de sua área, ela buscou tensionar a forma como o conceito de raça é tratado no discurso biológico.

A ministrante argumentou que, por um lado, o discurso evolutivo é eminentemente a-racialista, ao negar a existência de raças em seres humanos²³. Ainda que esse discurso a-racialista seja recorrente na biologia, a ministrante apontou que as ciências biológicas, contraditoriamente, apropriam e reconstróem as categorias raciais em determinadas práticas médicas e genéticas – como em pesquisas epidemiológicas e na reconstrução de marcadores de ancestralidade molecular. A antropóloga chamou a atenção, nesse sentido, para os riscos e contradições do conceito de raça no campo biológico.

Um dos temas que ela abordou foi em relação aos rumos do debate sobre cotas raciais. Podemos tomar como exemplo dessa temática um artigo elaborado por dois geneticistas em meados de 2004, no momento de debate sobre a implementação de cotas raciais nas Universidades brasileiras (PENA; BORTOLINI, 2004). Com o provocativo título *Pode a genética definir quem deve se beneficiar das cotas universitárias e demais ações afirmativas?*, os geneticistas argumentam que, do ponto de vista biológico, o conceito de raça não se aplica para a espécie humana. Os autores também discutem as

²³ Nessa questão, Richard Lewontin se destaca em uma pesquisa realizada nos anos 1970, utilizando polimorfismos genéticos em grupos sanguíneos, proteínas séricas e isoenzimas (LEWONTIN, 1972). Lewontin encontrou mais variação para estes polimorfismos entre os indivíduos de uma *mesma* população do que *entre* populações de “raças” diferentes. Ele argumentou, dessa forma, que não faz sentido se referir a raças na espécie humana em um contexto biológico. Investigações posteriores corroboraram estes achados iniciais, reafirmando a ideia de que raças humanas não existem do ponto de vista genético ou biológico (ROSENBERG, 2002; TEMPLETON, 1999).

pesquisas sobre a estruturação populacional brasileira, defendendo que a aparência física não é um bom marcador para determinar se a ascendência de uma pessoa é europeia, africana ou ameríndia.

Nesse artigo, vemos como a genética e a biologia evolutiva utilizam de seu capital de prestígio e reconhecimento científico para invalidar tentativas de classificação racial no contexto brasileiro. Dessa forma, a genética:

Constitui-se em um campo revestido da competência e autoridade para tratar da questão racial. Contudo, menos que atuar no sentido de reforçar a validação, *é uma autoridade que esvazia bases conceituais*, uma vez que enfatiza que “raça” é um conceito que, do ponto de vista biológico, não se aplica para a espécie humana (MAIO; SANTOS, 2005, p. 205, grifo meu).

As contradições no manejo da categoria raça no campo biológico, enfatizado pela antropóloga em sua atividade, mostram como esse conhecimento e suas relações de poder podem levar a uma (in)determinação de quem é negro no Brasil, solapando em certa medida as bases de uma política de cotas raciais. Além dos efeitos na política de cotas, esse tema também interfere na identidade e nos processos de identificação dos sujeitos, pautada em uma dimensão biológica da existência.

Algumas falas da antropóloga, particularmente em relação à insistência da biologia em negar o conceito de raça, nitidamente causaram constrangimentos e atritos com os cursistas e outros ministrantes. Em certo momento, a ministrante lançou algumas provocações sobre a postura da biologia, colocando a seguinte questão:

Será que ao deixar de falar de raça (...) a questão racial deixa de ser um problema? Se na biologia está resolvida, nas ciências sociais não está, sendo constitutivo desta área.

Essa provocação em particular marcou alguns atritos. Em uma pergunta, um cursista perguntou se a palestrante “conhecia a história da biologia?”, em referência ao fato de que durante muito tempo o conhecimento biológico legitimou a criação de hierarquias entre as raças humanas. A palestrante contra-argumentou da seguinte forma:

(...) a negação do conceito biológico de raça pode silenciar conversas sobre discriminação e violência profundamente arraigadas (...) e, contraditoriamente, o conceito de raça é mobilizado em outras instâncias do saber biológico.

Outros interlocutores entraram nesse debate e as críticas ficaram em torno da ideia de que a biologia estava “corrigindo” um erro histórico ao negar o conceito de raça na espécie humana. Em verdade, o que estava sendo insinuado é que a palestrante não

conhecia esse aspecto “reparador” que a biologia estava se esforçando em fazer, ao negar as suas perspectivas sobre raça que embasaram políticas eugenistas e racistas.

Parecia óbvio para estes interlocutores que, ao negar a existência de raça na espécie humana, a biologia estava contribuindo para evitar discriminações raciais. Desse modo, as críticas da antropóloga foram tomadas como uma verdadeira *falta de conhecimento* sobre a biologia e a história desta ciência.

Do meu ponto de vista parece óbvio que a antropóloga conhece as contribuições históricas da biologia para teorias racistas, tema batido da crítica social. O que estava em jogo, a meu ver, é que ela justamente estava apresentando uma crítica renovada e contemporânea ao conceito de raça nas ciências biológicas, tensionando inclusive os potenciais efeitos e usos da *negação* de raça enquanto categoria biológica (WILLINSKY, 2004). Um destes usos é o esvaziamento das lutas raciais no contexto brasileiro, com base na ideia de “mistura” genética da nossa população.

Este exemplo é interessante pela complexidade que ele carrega. O aspecto “reparador” da biologia remete ao discurso a-racialista original de Lewontin, inserido em um contexto social muito diferente do nosso. Dois anos antes da sua clássica publicação sobre a impertinência do conceito biológico de raça em seres humanos, Lewontin (1970) lança um artigo criticando os trabalhos que procuravam estabelecer a contribuição de fatores genéticos na origem de diferenças do QI (quociente de inteligência) entre grupos raciais. A sua crítica se dirige, sobretudo, ao trabalho *How Much Can We Boost I.Q. and Scholastic Achievement?* (1969), de Arthur Jensen, professor de Psicologia Educacional da Universidade de Califórnia.

Neste trabalho, Jensen argumentava que os negros norte-americanos possuíam, em média, um pior desempenho do que os brancos norte-americanos nos testes padronizados de QI. Segundo este autor, os programas de educação compensatória não tiveram sucesso em “remover” esta diferença. Sua explicação causal para esse fato é de que o QI é altamente herdável, sendo a explicação para a maior parte da variação entre estes grupos os fatores genéticos. As críticas de Lewontin buscaram mostrar as fraquezas do trabalho de Jensen, as quais não passam apenas pelo pressuposto de diferenças genéticas entre as raças, mas também pelo uso errado de metodologias e conceitos, como a ideia de herdabilidade (LEWONTIN, 1970).

Dessa forma, há uma interessante oposição produtiva entre a noção de raças humanas e o uso da raça como categoria biológica, a qual pode assumir diferentes enfoques dependendo da conjuntura (WILLINSKY, 2004). No contexto original das críticas de Lewontin, a negação do conceito de raça biológica serviu para uma crítica contundente ao racismo na sociedade norte-americana, a qual possui um cunho fortemente segregacionista.

No contexto brasileiro contemporâneo, por outro lado, alguns usos da negação biológica do conceito de raça tem o potencial efeito de reforçar a ideia de que existe uma democracia racial, enfraquecendo as lutas políticas da população negra. Para o ativista do movimento negro Athayde Motta, a pesquisa sobre o “retrato molecular do Brasil pode virar uma campanha pró-democracia racial (...) um discurso político-ideológico cuja função primordial é manter o estado de desigualdades raciais no Brasil” (MOTTA, 2003 *apud* SANTOS; MAIO, 2005, p. 450).

É verdade que os geneticistas que pesquisam o retrato molecular da população brasileira muitas vezes admitem as possíveis implicações sociais e políticas do seu trabalho²⁴. Contudo, independentemente deste reconhecimento, ou da falta de intenções prescritivas sobre os impactos políticos da negação do conceito de raça no contexto brasileiro, não se pode negar que os resultados oriundos dos estudos genéticos e evolutivos podem vir a ter implicações políticas importantes (SANTOS; MAIO, 2005).

Ciência e política inevitavelmente se entrelaçam nesses debates, cujos limites não estão contidos no interior dos laboratórios ou no teclado do computador do cientista. A ambiguidade está associada ao fato de o conceito de raça ser relevante do ponto de vista biológico e, ao mesmo tempo, ser acionado como categoria política (MAIO; SANTOS, 2005). A negação do conceito de raça biológica pode servir para uma crítica contundente ao racismo, mas, ao mesmo tempo, contém a tensão embutida de desestabilizar a identidade política do movimento negro no contexto brasileiro.

É interessante notar como no Curso de Biologia Evolutiva essa ambiguidade é acionada ou negada em determinados momentos. Se por um lado os interlocutores da antropóloga enfatizaram os ganhos políticos do posicionamento a-racialista da biologia,

²⁴ Por exemplo, o geneticista Sérgio Pena, sobre a temática da raça, afirma que: “o Brasil certamente não é uma 'democracia racial'... Pode ser ingênuo de nossa parte, mas gostaríamos de acreditar que se os muitos brancos brasileiros que têm DNA mitocondrial ameríndio e africano se conscientizassem disso valorizariam mais a exuberante diversidade genética do nosso povo e, quem sabe, construiriam no século XXI uma sociedade mais justa e harmônica” (PENA *et al.*, 2000, p. 25 *apud* SANTOS; MAIO, 2005, p. 452).

por outro lado, se mantiveram incrédulos para os efeitos negativos desse posicionamento em desestabilizar a identidade política do movimento negro no contexto brasileiro.

Este exemplo parece nos ensinar duas coisas. A primeira delas é que as discussões metacientíficas sobre o conhecimento evolutivo têm diferentes tradições, preocupações e objetivos. Os biólogos, de modo geral, estão inseridos com debates e preocupações metacientíficas que se originaram no seio das leituras históricas e filosóficas da própria biologia. Dessa forma, os biólogos do curso (e, aqui, obviamente me incluo) possuem determinadas leituras do conceito de raça que estão circunscritas aos debates do campo, como a ideia de que a negação do conceito biológico de raça pela genética possui ganhos progressistas “independente do contexto”. Isso explica um pouco as críticas direcionadas à ministrante da antropologia e o *estranhamento* de muitos biólogos – como eu, que até então pensava “afinal, negar diferenças raciais não é algo inerentemente bom?”.

Aquilo que nos parece “natural” faz sentido porque se articula na nossa rede de significados. Dessa forma, o estranhamento às críticas da antropóloga sobre a negação do conceito de raça não deixa de ser mobilizado por certa incompreensão entre estas tradições científicas, mas também carrega as relações de poder-saber que definem quem está autorizado a descrever as coisas no mundo biológico e, porque não, criticar os “extravasamentos” deste conhecimento. Parece-me que o desconforto e as dúvidas sobre as credenciais científicas da antropóloga expõem um pouco estas relações.

Essa impressão foi ainda reforçada pela atividade que ocorreu imediatamente após as discussões sobre antropologia. Trata-se das discussões sobre psicologia evolutiva no curso. Se a palestra da antropóloga criou certo desconforto, a fala sobre psicologia evolutiva foi marcada por descontração. Inclusive esta palestra era a última deste dia e seu término estava previsto para as 17h30min. O palestrante não havia terminado sua fala e estendeu a sua apresentação até aproximadamente 18h20min, com a maior parte do público acompanhando atento. Durante a palestra sobre psicologia evolutiva não houve qualquer intervenção negativa ou crítica, somente debates animados e em um tom mais leve²⁵.

²⁵ É importante frisar que no final desta edição do curso um aluno relatou certo incômodo com algumas extrapolações apresentadas pelo ministrante dessa fala, particularmente sobre a questão do livre arbítrio. A atividade continha algumas afirmações sobre as bases genéticas e evolutivas de determinados

Esse contraste é interessante, pois apesar de a psicologia evolutiva ter uma aceitação ótima no Curso de Biologia Evolutiva e receber raras críticas, ela é considerada por alguns autores um caso limítrofe entre ciência e pseudociência (PIGLIUCCI; BOUDRY, 2013). Apesar de fundamentada teoricamente na abordagem adaptacionista, existem sérias dúvidas sobre o seu conteúdo empírico, sobretudo pela dificuldade de testar suas hipóteses adaptativas complexas (como, por exemplo, que certa relação cintura-quadril em mulheres é universalmente atraente). Há uma série de críticas feitas por evolucionistas para a psicologia evolutiva, como a suposição de que a espécie humana tem características comportamentais selecionadas em um ambiente específico; em não termos registro fóssil para comportamentos; na dificuldade de isolar as hipóteses adaptativas de aspectos culturais e individuais, entre outros (PIGLIUCCI; BOUDRY, 2013). Somam-se ainda a estas críticas os potenciais riscos sociais das pesquisas desta área sobre comportamento humano.

Dessa forma, não deixa de ser surpreendente que aparentemente entre os alunos do curso a psicologia evolutiva tem o estatuto de ciência, ao passo que as credenciais científicas da antropologia para uma leitura crítica do conhecimento evolutivo foram colocadas em dúvida por algumas pessoas²⁶.

Essa questão nos leva a pensar sobre os ganhos de inserir uma perspectiva *estranha* ao pensamento evolutivo. O que ficou claro nesse caso é que trazer alguém externo à perspectiva evolutiva acaba por inserir leituras muito diferentes àquelas recorrentes na formação inicial dos biólogos. Aqui me refiro não somente ao conhecimento científico da área, mas às próprias reflexões metacientíficas do campo, como as discussões sobre o conceito de raça.

Outro exemplo que demonstra isso são as discussões sobre religião e ciência que aconteceram nas edições 2018/1 e 2019/1 do Curso de Biologia Evolutiva. Em uma atividade na edição 2018/1, determinado ministrante buscou criticar o pressuposto de que evolução e religião são necessariamente incompatíveis. O ministrante buscou mostrar que é uma ideia equivocada a imagem de que Darwin tenha sido um materialista que difundiu ativamente o ateísmo. Darwin não deixou de admitir a

comportamentos que levariam a implicações que o cursista não gostaria de aceitar. Uma delas, por exemplo, é a de que temos pouco controle e responsabilidade sobre nossas escolhas de parceiros.

²⁶ Esse ponto é difícil de tratar, uma vez que muitas pessoas podem discordar de determinada fala, mas se sentir inibidas de criticar, como o cursista que criticou a psicologia evolutiva apenas de forma particular no final do curso. De qualquer modo, isso também nos faz pensar porque se torna mais fácil algumas pessoas direcionarem críticas para a antropologia do que para uma área interna à biologia evolutiva.

possibilidade de um criador e a leitura das modificações introduzidas na *Origem das Espécies* na primeira e sexta edição podem evidenciar essa postura (BIZZO, 2013).

Uma forma explorada pelo ministrante de amenizar o conflito entre ciência e religião foi através da distinção filosófica que as coloca em domínios de questionamento distintos (magistérios). Essa demarcação foi popularizada na biologia por Stephen Jay Gould, o qual sugeriu que ciência e religião contribuem para diferentes áreas da existência humana e dão sentido à vida de diferentes maneiras. Em *Pilares do Tempo*, Gould argumenta a favor dos “magistérios não interferentes” e estabelece que a ciência é baseada no naturalismo metodológico, sendo este distinto do naturalismo metafísico: “a esfera ou magistério da ciência engloba o mundo empírico: de que é feito o universo (fato) e por que ele funciona de determinada maneira (teoria). O magistério da religião engloba questões de significado definitivo e valor moral” (GOULD, 2002, p. 13).

Dessa forma, as discussões sobre religião e ciência no curso caminharam no sentido dos embates e superações desses “magistérios”. Mas todos os exemplos de religião levantados pelo ministrante biólogo foram em relação ao cristianismo. Nesse quesito, a ministrante oriunda da antropologia, que estava acompanhando essa fala na edição 2018/1, decidiu fazer uma colocação, questionando por que todo o debate apresentado não considerou religiões de matriz africana e indígena. O ministrante biólogo concordou com essa crítica e disse que essa reflexão é impossibilitada pela falta de literatura, ao passo que a antropóloga perguntou: “mas por que será que não tem literatura?”.

Boa parte da discussão sobre ciência e religião popularizada por evolucionistas (como Gould e Dawkins) está voltada para os desafios e resistências históricas do cristianismo com o pensamento evolutivo. São as leituras dessa tradição que os biólogos estão acostumados a lançar mão. A presença de alguém da antropologia, por outro lado, revela a preocupação com outra tradição de conhecimento e pesquisa, a qual possui um contato muito maior com a diversidade religiosa no contexto brasileiro, privilegiando não apenas as religiões de matriz europeia.

Esses diálogos e embates ilustram de que forma o conhecimento evolutivo se situa em uma região de disputa entre perspectivas científicas com diferentes tradições, preocupações e objetivos. Os biólogos não estão inseridos apenas em uma tradição científica, mas também em determinados debates e preocupações *metacientíficas* que se

originaram no seio das leituras históricas, filosóficas e sociocientíficas da própria biologia.

Evolução, política e pós-verdade

A comissão de organização do curso decidiu que a temática central da edição 2019/1 seria “Evolução Biológica em tempos de Pós-Verdade”, com a abordagem de alguns temas sensíveis no contexto em que esta edição ocorreu. A bióloga americana Barbara McClintock (1902-1992) foi homenageada e uma atividade a seu respeito discutiu questões de gênero na biologia evolutiva. Entremeadas às discussões sobre evolução, outras atividades inseriram alguns temas sociocientíficos, como aquecimento global, pós-verdade e criacionismo.

Durante o planejamento do curso, nas semanas que antecederam esta edição, alguns ministrantes estavam apreensivos. Nos relatos de planejamento havia certa tensão em discutir tais temáticas e causar reações negativas entre os cursistas. A edição 2019/1 ocorreu em março de 2019, pouco tempo após a eleição presidencial brasileira, em um período de grande polarização política. Relatos de perseguição nas Universidades públicas acabaram reforçando uma espécie de autocensura entre alguns ministrantes do curso.

Esta preocupação não era exagerada, visto que o presidente recém-eleito por 57.7 milhões de brasileiros, Jair Messias Bolsonaro, fazia apologia à tortura e aos torturadores da ditadura civil-militar, além de se opor à demarcação de terras indígenas, às pautas LGBT e do movimento negro. O presidente declarou em diferentes momentos que as minorias devem “se curvar às majorias ou desaparecer”²⁷. Este contexto político e cultural deu lugar a discursos anti-intelectuais e anticientíficos. Havia um ódio que se dirigia ao conhecimento e à ciência, o qual parecia politicamente perigoso e um retrocesso civilizatório.

Diversos exemplos de discursos anti-intelectuais e anticientíficos estavam ocorrendo no período desta edição. Participantes do governo eleito desejavam uma

²⁷ https://brasil.elpais.com/brasil/2018/10/24/opinion/1540394956_656180.html. Acesso em: 26 Março 2019.

<https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2019/01/filho-de-bolsonaro-propoe-revisao-historica-sobre-ditadura-em-livro-didatico.html>. Acesso em: 26 Março 2019.

revisão histórica do golpe e da ditadura civil-militar brasileira (1964-1985), anunciando, inclusive, uma possível revisão dos livros de História para mostrar a “verdade” a respeito da ditadura²⁸. Esse revisionismo buscava negar ou justificar aspectos sensíveis da ditadura, como a violação dos direitos humanos, sem o menor pudor e embasamento real. O chanceler indicado pelo presidente eleito relativizava o conhecimento estabelecido pelo consenso internacional dos climatologistas a respeito da origem antrópica do aumento do aquecimento global, afirmando que o “aquecimento global é uma trama marxista”²⁹.

Outros exemplos de revisionismo na cúpula principal do governo eleito foram as afirmações de que a educação brasileira estava repleta de “ideologia de gênero” e “doutrinação marxista”. O ministro da educação indicado pelo governo na época da edição 2019/1 do curso, Ricardo Velez Rodriguez, escreveu em seu blog um texto intitulado *Um roteiro para o MEC*, no qual afirmava que os regulamentos na educação tornaram os brasileiros “reféns de um sistema de ensino alheio às suas vidas e afinado com a tentativa de impor, à sociedade, uma doutrinação de índole cientificista e enquistada na ideologia marxista”³⁰. Segundo o ministro, isso seria destinado a desmontar os valores da sociedade, como a preservação da vida, da família e da religião.

Em seu discurso de posse do MEC, o agora ex-ministro reafirmou essas pautas: “Combateremos o marxismo cultural, hoje presente em instituições de educação básica e superior. Trata-se de uma ideologia materialista alheia aos nossos mais caros valores de patriotismo e de visão religiosa do mundo”³¹.

As alegações do ministro estavam alinhadas ao chamado “Movimento Escola Sem Partido”³², que pretendia, através de projetos de leis, impor a censura ao estudo de temas que possam entrar em conflito com as convicções ideológicas, morais e religiosas

²⁸ <https://g1.globo.com/educacao/noticia/2019/04/04/ministro-da-educacao-diz-que-pretende-revisar-livros-didaticos-sobre-o-golpe-de-1964-e-a-ditadura-militar.ghtml>. Acesso em: 05 Abril 2019.

²⁹ https://www.theguardian.com/world/2018/nov/15/brazil-foreign-minister-ernesto-araujo-climate-change-marxist-plot?CMP=tw_t_gu. Acesso em: 05 Abril 2019.

³⁰ <http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/584884-anti-marxista-indicado-por-olavo-de-carvalho-sera-ministro-da-educacao>. Acesso em: 02 Abril 2019.

³¹ <https://g1.globo.com/politica/noticia/2019/01/02/ricardo-velez-rodriguez-assume-ministerio-da-educacao-em-cerimonia-em-brasilia.ghtml>. Acesso em: 03 Abril 2019. O ministro Vélez foi demitido em 08 de abril de 2019 e substituído por Abraham Weintraub.

³² Movimento Escola Sem Partido se apresenta como uma “iniciativa conjunta de estudantes e pais preocupados com o grau de contaminação política ideológica das escolas brasileiras, em todos os níveis: do ensino básico ao superior”. Fonte: <http://www.escolasempartido.org/quem-somos>. Acesso em: 10 Abril 2019.

dos estudantes e de seus pais, limitando os conteúdos científicos que podem ser abordados pelos professores. Os aspectos no ensino das ciências humanas e naturais em contradição com determinadas “convicções e valores” de algum estudante ou sua família poderiam ser considerados parte de uma doutrinação ilegítima e inaceitável.

Tais considerações visivelmente tinham implicações para o Curso de Biologia Evolutiva. Uma delas é o potencial de aprofundamento do conhecido embate criacionismo *versus* evolução no contexto brasileiro. Como Rosa (2017) argumenta:

(...) no caso da aprovação de tais projetos de lei [ligados ao movimento escola sem partido], famílias com visões de mundo criacionistas poderiam denunciar anonimamente professores que discutem as origens do universo, da vida e da diversidade de seres vivos, incluindo os humanos, a partir de perspectivas científicas evolutivas (ROSA, 2017, p. 14).

Essa postura não é nova e também não é originalmente brasileira. A questão é que estava se tornando institucionalizada, uma vez que as Universidades, a educação e as políticas científicas passaram a ser governadas por atores políticos que perpetuam esse tipo de discurso anti-intelectual e anticientífico.

Esta tendência se alinha ao que alguns autores têm chamado do fenômeno da “pós-verdade”, tema central da edição 2019/1 do curso. Este termo tomou a atenção do público em novembro de 2016, quando o *Oxford Dictionaries* o definiu como um adjetivo “relativo a ou que denota circunstâncias nas quais fatos objetivos são menos influentes na formação da opinião pública do que apelos à emoção e à crença pessoal”. O prefixo “pós” deste termo não tem função temporal, mas um sentido de que a verdade é eclipsada, tornando-se irrelevante.

Este termo foi definido no contexto do Brexit, na Grã-Bretanha, e no uso crescente de desinformação em campanhas políticas na Hungria, Rússia, EUA e Turquia (MCINTYRE, 2018). McIntyre descreve em que sentido o fenômeno da “pós-verdade” foi uma novidade na política americana:

No passado, enfrentamos sérios desafios para a noção de verdade, mas nunca antes tais desafios foram tão abertamente adotados como uma estratégia para a subordinação política da realidade. Assim, o que chama a atenção na ideia de pós-verdade não é apenas que a verdade está sendo contestada, mas que está sendo desafiada como um mecanismo para afirmar o domínio político. E é por isso que não se pode fugir da política se quisermos entender o que se deve ‘conhecer essencialmente’ sobre a ideia de pós-verdade (MCINTYRE, p. xiv, 2016).

A pós-verdade não é apenas parte de uma retórica política que aparentemente sempre existiu. É preciso levar em conta algumas especificidades que nos ajudam a

entendê-la também no contexto brasileiro. O aspecto primário é a disposição de adotar uma “ignorância intencional”, que é a tendência a afirmar algo sem se preocupar em descobrir se as informações estão corretas. É uma indiferença descuidada dos fatos. Outra característica central é o favorecimento das crenças preexistentes. A pós-verdade estabelece um padrão de ceticismo muito grande para crenças que não se quer acreditar, combinada com a credulidade completa em relação a quaisquer fatos que se encaixam em uma agenda prévia. Isso não leva ao abandono dos fatos, mas a um uso seletivo daqueles que sustentam a própria posição, com a completa rejeição dos fatos que não sustentam tal posição prévia (MCINTYRE, 2018).

O problema é que na arena pública isso pode trazer uma série de consequências coletivas. Quando o chanceler do governo sustenta que as mudanças climáticas são irrelevantes, as consequências em longo prazo para seu ceticismo podem ser devastadoras. Quando um ministro da educação afirma que o problema da educação é a “ideologia de gênero” e o “marxismo cultural”, baseando-se em relatos anedóticos, ele está fazendo um diagnóstico da realidade do país de modo distorcido. O ministro delega um peso muito grande para as evidências favoráveis a sua agenda prévia, ao mesmo tempo em que desconsidera outros aspectos da realidade educacional que conflitam com suas crenças, como as inúmeras pesquisas sobre a realidade complexa da educação brasileira.

O mesmo ocorre quando o presidente Jair Bolsonaro promete ampliar o acesso a armas, como estratégia de segurança pública, apesar das evidências que apontam na direção de menos segurança com mais armas (CERQUEIRA; MELLO, 2012). O perigo da pós-verdade não é apenas de permitir que nossas opiniões e sentimentos desempenhem um papel primordial na formação do que consideramos fatos e verdade, mas que, ao fazê-lo, corremos o risco de sermos alienados da própria realidade.

Essa tendência repousa em uma série de amplas questões epistemológicas, o ramo da filosofia que lida com a natureza do conhecimento. A aparente plausibilidade do discurso anti-intelectual e anticientífico, ainda que não explícita ou conscientemente formulada, baseia-se na suposição de que “a verdade está nos olhos de quem vê”. Cada ponto de vista produziria sua própria verdade, sendo todas *equivalentes* entre si.

À primeira vista esse posicionamento parece tolerante e pluralista, mas ele pode ser utilizado para finalidades muito perigosas. Como Donna Haraway (1995, p. 22-23) argumenta: “o relativismo é uma maneira de não estar em lugar nenhum, mas alegando-

se que se está igualmente em toda parte. A ‘igualdade’ de posicionamento é uma negação de responsabilidade e de avaliação crítica”.

O posicionamento relativista permite que alguém simplesmente não concorde com os direitos humanos, por exemplo, e não ofereça razões para isso, uma vez que é a “sua opinião”. A defesa dos direitos humanos, por outro lado, não se refere “apenas” à minha opinião. Trata-se pelo menos da jurisprudência e da prevalência da lei em diferentes países. É a voz da experiência que a humanidade teve com inquisições, crimes de guerra e regimes fascistas.

Se eu aceito irrestritamente a posição relativista eu não apenas coloco em equivalência a aceitação ou negação dos direitos humanos, mas também o programa de ensino das escolas e Universidades, que podem ser baseados no conhecimento acadêmico ou nas “convicções e valores” dos estudantes e da sua família, mesmo que seja a convicção de que a Terra é plana ou os valores de uma supremacia racial. Os atores políticos que defendem o movimento escola sem partido adotam esse relativismo extremo quando alegam, por exemplo, que o conhecimento produzido na academia é “ideológico” e está no mesmo patamar do senso comum.

Estes elementos foram discutidos durante o curso e, de modo geral, bem recebidos por grande parte dos cursistas. A grande maioria dos cursistas parecia encarar como algo problemático o posicionamento relativista extremo e os discursos anti-intelectuais. Por outro lado, durante o café e em conversas paralelas, foi possível ouvir algumas reclamações por parte de alguns cursistas, que se sentiam incomodados porque o curso “está discutindo muita política” (...) “mais política do que as edições anteriores”.

Esta reclamação também foi expressa pela coordenadora do programa de pós-graduação que apoiou a edição 2019/1 do curso. Segundo a coordenadora, o curso estava inserindo temas “pouco científicos”, que representavam certo “proselitismo político” inadequado para uma atividade sobre biologia evolutiva. A preocupação da coordenadora seria de a atividade estar usando o “nome” do programa de pós-graduação para propagar determinados posicionamentos políticos e visão de mundo.

O raciocínio subjacente a esta preocupação é o de que a ciência é um empreendimento neutro, que não carrega concepções e visões de mundo. O curso justamente estaria “sujando” esta suposta neutralidade da biologia evolutiva e do

Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular (PPGBM) da UFRGS, ao inserir questões entremeadas com o campo político do nosso contexto atual.

Para Donna Haraway (1995), a concepção de neutralidade da ciência é o perfeito gêmeo do relativismo. Ambos são "truques de deus", prometendo, igualmente e inteiramente, visão de toda parte e de nenhum lugar. Ao isolar a ciência da esfera valorativa, o mito da neutralidade coloca a ciência fora do alcance de questionamentos em termos de valores sociais e, nesta operação, permite que a ciência seja posta como um valor universal.

Além do mais, é possível reconhecer que a ciência e os cientistas possuem compromissos com certos valores morais e sociais sem cair necessariamente em um relativismo. Muitos epistemólogos contemporâneos não veem problema na presença de valores sociais na atividade científica, os quais podem exercer um papel legítimo ou mesmo contribuir para a produção de conhecimento (cf. KELLERT; LONGINO; WATERS, 2006). Essas questões envolvem o problema bastante expressivo atualmente sobre a dimensão social do conhecimento científico.

Essa perspectiva crítica da ciência, como uma atividade que *não* está livre de valores, destaca a sua racionalidade em termos de um conjunto de valores sociais e cognitivos (ou epistêmicos). Os valores epistêmicos envolvem, por exemplo, adequação empírica, simplicidade, escopo, consistência teórica, precisão na descrição das evidências, etc... (KUHN, 2011)³³. Tal abordagem tem suas raízes em Thomas Kuhn, sendo esboçada em sua obra de maior repercussão, *The structure of scientific revolutions* ([1968] 2013), e retomada na coletânea *A Tensão Essencial* ([1977] 2011).

Dessa forma, a questão de aceitar algo como conhecimento científico não é uma função de pureza epistêmica (ou neutralidade científica), mas o reconhecimento que este conhecimento *também* manifesta um alto grau de valores epistêmicos. São essas virtudes que nos ajudam a diferenciar o conhecimento científico do senso comum e dos discursos revisionistas/negacionistas, os quais *não* são marcados pela precedência de valores epistêmicos. A marca dos discursos anti-intelectuais e anticientíficos citados anteriormente é justamente o corte e cola arbitrário, a costura aleatória de elementos escolhidos a dedo. Por isso, é preciso reforçar os critérios legítimos para produção e

³³ Há uma série de questões que não vou abordar sobre a racionalidade da ciência em termos de um conjunto de valores, como as relações de importância e hierarquia entre os valores e o quão suficiente é o grau de manifestação deles (KUHN, 2011).

avaliação de conhecimento científico. É preciso fortalecer a pesquisa, a reflexão, a fundamentação teórica e o argumento sólido. Os conhecimentos produzidos pelas ciências humanas e naturais, e acumulados pela humanidade, não podem ser confundidos com meras opiniões ou com discursos obscuros.

Por outro lado, não podemos esquecer o quão problemático é o perfeito gêmeo do relativismo: a concepção de neutralidade da ciência. A exclusão de valores sociais no discurso da ciência não os tira do jogo, colocando-os de forma mais perigosa, como algo *natural*, universal e totalizante. Esta postura também enfraquece as instituições e as práticas democráticas tão necessárias para os dias de hoje.

Dessa forma, parece que em nosso contexto é necessário manter uma perspectiva pluralista, em termos epistêmicos e valorativos, mas também não abrir mão da demarcação entre ciência e discursos obscuros ou de senso comum que podem limitar as abordagens de ensino em sala de aula. Estes tempos requerem lucidez para não cairmos em um cientificismo arrogante e perigoso, mas tampouco assumir um pluralismo *sem limites*.

Estas questões sociais e epistêmicas, mobilizadas pela edição 2019/1, foram tão impactantes que provocaram alguns efeitos mais amplos, de ordem institucional do curso. Após esta edição do curso, a coordenadora do PPGBM-UFRGS (onde o curso ocorria desde a sua primeira edição), procurou alguns ministrantes e fez uma série de questionamentos sobre as temáticas desta edição. Esta discussão gerou alguns atritos e a coordenadora mencionou a necessidade do curso contar com um “comitê científico” para definir a sua programação, o que foi compreendido pelos ministrantes como uma tentativa de censura. Esse diálogo foi bastante distinto dos que haviam ocorrido até então, de forma cordial, sendo bastante tenso e causando uma inevitável ruptura.

Os ministrantes do curso, após essa intromissão e crítica sobre as temáticas, optaram por procurar outro local para organizar o curso. Encontraram uma recepção institucional no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRGS, que começou a apoiar o curso na edição 2019/2.

É difícil fazer um diagnóstico completo e minimamente não enviesado desta mudança de postura da coordenação em relação ao curso, uma vez que inevitavelmente, como um dos organizadores, estou diretamente implicado. Parece óbvio, no entanto, que o curso passou a desafiar não somente a neutralidade científica, mas também a posição

da genética, o que pode ter desagradado alguns professores do programa de pós-graduação onde a atividade ocorria.

As abordagens do curso compreendem de modo explícito que o determinismo genético é irreconciliável com os resultados empíricos da pesquisa evolutiva atual. As atividades ainda incluem discussões que buscam uma maior paridade epistêmica entre as disciplinas biológicas no pensamento evolutivo, retirando a genética da posição predominante na biologia evolutiva.

Isso pode ter sido entendido como um desafio à autoridade e prestígio científico dos professores do departamento de genética, agravado ainda pelo fato desta crítica ser proveniente de alunos de pós-graduação, que estão em uma posição inferior de hierarquia acadêmica. Pode-se dizer que estava em jogo o monopólio da autoridade científica, no sentido do poder social e da capacidade reconhecida de um agente falar sobre determinados assuntos científicos.

De modo não casual, justamente em uma edição que explicitamente esteve embebida em temáticas relacionadas ao contexto político, que um paradoxo político-institucional do curso foi desfeito: o apoio institucional do Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da UFRGS não resistiu a um curso criado justamente a partir da crítica à centralidade da genética no pensamento evolutivo.

6 CURRÍCULO DO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

Conforme discutido nos capítulos anteriores, há uma série de evidências que corroboram a ideia de que o ensino de evolução geralmente possui ênfase em microevolução, com destaque na seleção natural e na base genética das mudanças evolutivas. Este foco curricular pode limitar significativamente a compreensão da evolução de forma mais ampla, tanto em relação à pluralidade teórica presente na biologia evolutiva quanto em relação às críticas externas ao campo.

Isso nos leva à proposição central da tese: um ensino de evolução pluralista é necessário para uma aproximação da biologia evolutiva enquanto campo de saber amplo e complexo, que envolve não apenas a biologia como um todo, mas também se articula com conhecimentos externos às ciências biológicas. Sem uma abordagem pluralista, a biologia não consegue dar conta das explicações evolutivas complexas, limitando a plausibilidade e a aceitação da própria teoria evolutiva. Além disso, um currículo que venha a adotar a perspectiva do pluralismo evolutivo parece mais promissor em fomentar a evolução como eixo central que percorre as diferentes áreas das ciências biológicas, como discutido no terceiro capítulo da tese.

No registro desta perspectiva pluralista, pretendo dar sequência a alguns aspectos mais específicos relacionados ao currículo do Curso de Biologia Evolutiva. Muitas perguntas poderiam ser feitas sobre o “currículo do curso”, as quais dependem da perspectiva teórica adotada e dos objetivos de pesquisa. A noção de currículo não engloba apenas aspectos explícitos de ensino, mas também os saberes, competências, habilidades e valores que estão circulando em um determinado tempo e espaço histórico, político, econômico e social (MASETTO, 2011). Como toda construção social, o currículo não pode ser compreendido sem uma análise das relações de poder que fizeram e fazem com que se inclua determinado tipo de conhecimento e não outro (SILVA, 2010, p. 135).

Dessa forma, as discussões fomentadas nos capítulos precedentes não deixam de ser uma aproximação sobre o currículo do curso. Como discutido na tese, as formas de conhecimento que circulam no Curso de Biologia Evolutiva são resultado de diversos aparatos, relacionados a discursos, práticas, instituições e tradições que fizeram com que o curso fosse construído como tal em cada uma de suas edições.

Neste capítulo, contudo, pretendo focar em três aspectos curriculares mais específicos. O primeiro se refere aos *elementos explícitos de ensino* do curso. Ao me debruçar sobre o curso, ficou claro que a sua organização curricular se faz por

problemas, conceitos, temas, áreas e atividades que são recorrentes entre as edições. O que diferencia estes elementos é que eles possuem objetivos explícitos de ensino, configurando escolhas planejadas de atividades que são desenvolvidas em cada edição do curso.

Em seguida, analiso a visita guiada ao Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto³⁴. Considero esta visita parte relevante do currículo do curso, uma vez que o museu é um espaço privilegiado para reiterar determinadas representações sobre a natureza e a evolução da vida. Por fim, analiso como as disciplinas biológicas estão configuradas no currículo do curso. Aprofundo esta indagação a partir da análise de algumas respostas do questionário quali-quantitativo que os participantes do curso responderam no início e no fim das edições 2019/1 e 2019/2.

6.1 Elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva

A análise dos elementos de ensino se baseia não apenas nas observações que empreendi no curso, mas também nos materiais de divulgação, na programação e no manual produzido pelos ministrantes. A partir disso, foi possível construir uma sistematização dos seguintes elementos que são privilegiados na formação continuada dos estudantes de ciências biológicas e professores de biologia:

Elemento (E1) – *conceitos básicos de biologia evolutiva*: atividades que exploram conceitos básicos do pensamento evolutivo, com ênfase em microevolução e destaque na seleção natural e na base genética das mudanças evolutivas.

Elemento (E2) - *concepções alternativas*: atividades que tem como ênfase a discussão de concepções que conflitam com a ciência e são comumente relatadas na literatura, como a noção de progresso, pensamento transformacional, propósito no processo evolutivo, interpretações erradas de filogenias, entre outros.

Elemento (E3) – *pluralismo teórico*: atividades que contemplam um pluralismo teórico na biologia evolutiva, relativos a áreas como biologia evolutiva do desenvolvimento, genômica e paleobiologia, que muitas vezes não são abordadas em um ensino de evolução baseado em microevolução e genética de populações.

Elemento (E4) - *ensino de evolução*: espaço do curso dedicado aos dilemas enfrentados pelos educadores no processo de ensino/aprendizagem de evolução.

³⁴ Irajá Damiani Pinto (1919-2014) fundou o Museu de Paleontologia do Instituto de Geociências da UFRGS. Irajá estudou ostracodes fósseis e a sua atuação garantiu o fortalecimento do curso de Geologia e o desenvolvimento de linhas de pesquisa sobre Paleontologia na Instituição. A história do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto está associada diretamente à criação do curso de Geologia da UFRGS, em 1957, vinculado ao Instituto de Ciências Naturais (MENEGAT; ARAÚJO, 2003).

Elemento (E5) – *história e filosofia da ciência*: discussões de caráter histórico, filosófico e cultural que abordam os *processos* de construção do conhecimento científico, se deslocando dos produtos de pesquisa em biologia evolutiva.

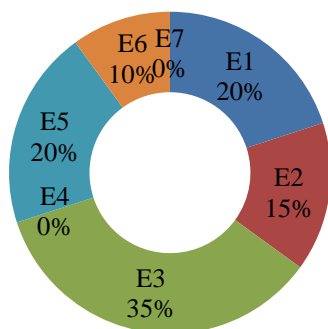
Elemento (E6) – *temáticas sociocientíficas e o contexto local*: saberes e discursos que circulam no curso sobre raça, política, determinismo genético, gênero e sexualidade, entre outras temáticas sociocientíficas relacionadas com o conhecimento evolutivo. Também fazem parte deste elemento as atividades que enfatizam personagens históricos do pensamento evolutivo brasileiro e privilegiam as pesquisas evolutivas feitas com a nossa biodiversidade.

Elemento (E7) – *produção dos cursistas*: espaço do curso dedicado a apresentações dos cursistas que frequentaram edições anteriores. Com a orientação dos ministrantes, os cursistas apresentam uma produção própria em uma nova edição do curso.

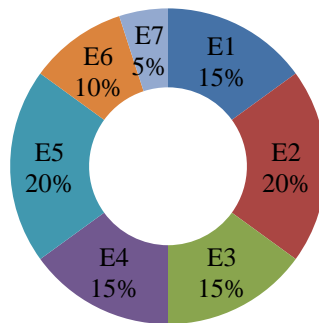
Para visualizar de que forma estes elementos são contemplados, a figura 5 apresenta a distribuição destas temáticas ao longo das edições 2018 e 2019.

Figura 5. Distribuição dos elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva, ao longo das edições em 2018 e 2019. (E1) – conceitos básicos de biologia evolutiva; (E2) - concepções alternativas; (E3) – pluralismo teórico; (E4) - ensino de evolução; (E5) – história e filosofia da ciência; (E6) – temáticas sociocientíficas e o contexto local; (E7) – produção dos cursistas

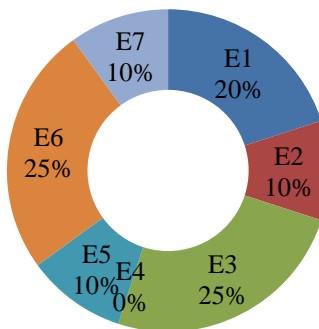
IV Curso de Verão em Biologia Evolutiva (2018/1)



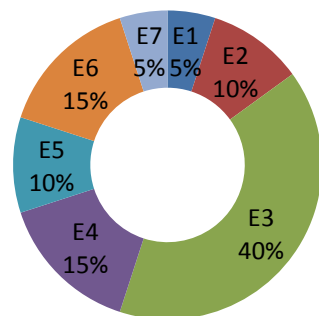
IV Curso de Inverno em Biologia Evolutiva (2018/2)



V Curso de Verão em Biologia Evolutiva (2019/1)



V Curso de Inverno em Biologia Evolutiva (2019/2)



FONTE: Elaboração própria

Percebe-se que as edições de verão (2018/1 e 2019/1) não inserem temáticas sobre *ensino de evolução* (E4), uma vez que o curso de inverno é voltado especificamente para professores e licenciados. Por outro lado, sempre estão presentes em uma boa proporção da programação do curso os conceitos básicos do pensamento evolutivo, as abordagens pluralistas, temáticas sociocientíficas e elementos de história e filosofia da ciência. O quadro 7 permite visualizar mais especificamente os problemas, conceitos, áreas e temas abordados em cada um dos elementos curriculares ao longo destas edições.

Quadro 7. Problemas, conceitos, áreas e temas abordados em cada um dos elementos de ensino do Curso de Biologia Evolutiva nas edições 2018 e 2019

Elemento	Problemas, conceitos, áreas e temas abordados
<i>E1</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Conceitos de seleção natural, adaptação, deriva genética e fluxo gênico; - Explicações seletivas para a origem e evolução do comportamento humano; - Evidências da história evolutiva dos hominíneos; - Relação entre evolução biológica e evolução cultural; - Biologia evolutiva e a compreensão do mundo microbiano; - Análises moleculares comparadas; - Análises anatômicas comparadas; - Seleção sexual; - Mecanismos de especiação.
<i>E2</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Visita ao Museu de Paleontologia: interpretação e vieses nas representações sobre a História da Vida; - Interpretação de filogenias: equívocos comuns; - Noções de progresso e propósito no pensamento evolutivo; - Concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação.
<i>E3</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Epigenética e evolução; - Bioquímica e evolução; - Alcance explicativo da seleção natural e dos genes na explicação da evolução; - Evo-Devo: mecanismos do desenvolvimento envolvidos na evolução; - A influência do ambiente na evolução morfológica; - Processos e padrões macroevolutivos; - Construção de nicho; - Plasticidade fenotípica; - Elementos transponíveis; - Mecanismos de especiação e macroevolução; - Teoria do equilíbrio pontuado; - Paleontologia: tempo profundo, fossilização e datação relativa; - Simbiose e evolução; - Micologia e evolução.
<i>E4</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ensino de evolução e o direito à educação científica; - Dogma, ciência e democracia na educação brasileira; - Relatos de experiência docente e os desafios de ensino-aprendizagem sobre evolução;

	<ul style="list-style-type: none"> - Como o conhecimento evolutivo vem sendo explorado no ensino médio?; - O papel da educação científica na promoção de direitos humanos e os riscos da censura; - As principais dificuldades sobre ensino de evolução relatadas na literatura; - Evolução como eixo central no ensino de biologia.
<i>E5</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Relações entre ciência e valores sociais; - História do pensamento evolutivo: darwinismo, eclipse do darwinismo e síntese evolutiva; - A biologia evolutiva de Richard Lewontin, Barbara McClintock e Stephen Jay Gould; - Questões filosóficas do conceito de espécie; - Discutindo a proposta de “síntese evolutiva estendida”; - O ideal de unificação na biologia a partir da teoria evolutiva; - Questões de história e filosofia da biologia no ensino de evolução; - O mito da neutralidade da ciência; - Genocentrismo e adaptacionismo: questões filosóficas e históricas.
<i>E6</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Perspectiva antropológica para o conceito de raça biológica; - Questões de gênero na biologia evolutiva; - Evolução biológica em tempos de pós-verdade; - Aquecimento global e evolução; - Sociedade da ignorância e evolução; - Evolução e criacionismo; - Evolução biológica e genética no Brasil: Padre Balduino Rambo, Fritz Müller, passagens de Alfred R. Wallace, Charles Darwin e Theodosius Dobzhansky no Brasil; - Evolução vegetal no bioma pampa; - Bioacústica de cetáceos da costa brasileira; - Evolução morfológica de roedores subterrâneos no Rio Grande do Sul; - Conhecimento sobre fósseis brasileiros, particularmente vertebrados da formação Santa Maria.
<i>E7</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades sobre evolução elaboradas por alunos de edições anteriores do curso: <ul style="list-style-type: none"> • A biologia evolutiva do câncer; • A influência dos filtros ecológicos na distribuição de cavalos-marinhos na costa brasileira; • A elaboração de exemplares fósseis como recurso didático para melhor compreensão da evolução em escolas; • Repositórios de materiais educacionais digitais e objetos de aprendizagem em evolução; • Introdução à computação evolutiva; • Ferramentas didáticas para o ensino de evolução.

FONTE: Elaboração própria

A organização curricular do Curso de Biologia Evolutiva não adota, de modo geral, uma sequência linear de conteúdo. Em livros didáticos, por exemplo, é comum iniciar o estudo da evolução pelas moléculas orgânicas que constituem as células para depois ir aos organismos e, então, aos níveis mais “complexos” de organização

biológica (ROMA, 2011). O curso também não apresenta primeiramente os mecanismos microevolutivos, para depois avançar aos conceitos e temáticas mais recentes da biologia evolutiva.

Esse padrão de organização desfaz uma relação linear entre os aspectos genéticos e evolutivos. Em verdade, a grande maioria das temáticas do curso procura discutir a evolução fenotípica e não apenas aspectos moleculares ou genéticos da evolução. Os processos que contribuem para a evolução fenotípica são de ordem genética, epigenética, cultural, ecológica e comportamental, podendo envolver diferentes escalas de tempo.

Além disso, em algumas edições o curso começa pela discussão de temáticas sociocientíficas e relacionadas ao contexto local. Este foi o caso da edição 2019/1, quando o curso começou as suas atividades com a temática da pós-verdade e as questões de gênero na biologia evolutiva. Cabe lembrar que esta edição ocorreu pouco tempo após as eleições presidenciais de 2018, quando estes temas estavam em voga no país.

Em suma, a organização curricular não pressupõe linearidade, sucessão e sequenciamento obrigatório, do “mais simples ao mais complexo”, nem toma o conhecimento genético como pré-requisito para a aprendizagem da evolução. Considera-se também uma maior horizontalidade entre os diferentes conhecimentos envolvidos com evolução biológica.

Cabe mencionar ainda o espaço dedicado à *produção dos cursistas* (E7), que não estava presente desde o início do Curso de Biologia Evolutiva, mas foi inserido nas últimas edições. Essa necessidade resultou do entendimento da formação continuada como um ato criador, em que os cursistas devem comparecer como sujeitos capazes de gerar conhecimento, e não apenas como puras incidências das atividades do curso. Este retorno dos alunos representa um potencial maior de reflexão e construção de narrativas próprias, gerando um aprendizado mais significativo.

O retorno dos cursistas ocorreu de distintas formas. Um exemplo foi a discussão de assuntos com os quais alguns cursistas já elaboram pesquisas (por exemplo, as atividades *A biologia evolutiva do câncer* e *A influência dos filtros ecológicos na distribuição de cavalos-marinhos na costa brasileira*, em 2018/2). A participação de cursistas também ocorreu através da criação de estratégias didáticas elaboradas após a participação no curso, como a atividade intitulada *A elaboração de exemplares fósseis*

como recurso didático para melhor compreensão da evolução em escolas, apresentada em 2019/1. No entanto, o engajamento dos cursistas na criação e apresentação de uma produção própria ainda é tímido, uma vez que em torno de três cursistas retornam a cada edição com uma proposta de apresentação.

Cabe fazer também uma breve discussão sobre as *concepções alternativas* (E2), que são objeto de preocupação no planejamento de diferentes atividades do curso. Uma série de pesquisas na área de ensino de evolução tem explorado e categorizado concepções que se se distanciam das ideias científicas (Quadro 8). Estas concepções ditas “alternativas” - por divergirem das aceitas pela comunidade científica, sendo persistentes entre estudantes de diferentes níveis de formação -, aparecem em diferentes momentos nas atividades do curso.

Quadro 8. Algumas concepções alternativas sobre evolução, segundo o site *Understanding Evolution* (<https://evolution.berkeley.edu>)

A teoria da evolução implica que a vida tenha evoluído (e continue a evoluir) de forma aleatória ou ao acaso.
Evolução resulta no progresso; através da evolução, os organismos estão continuamente aperfeiçoando-se.
Os organismos podem evoluir durante o seu tempo de vida.
A evolução apenas ocorre de forma lenta e gradual.
Porque a evolução é lenta, os seres humanos não conseguem influenciar ela.
A deriva genética ocorre apenas em populações pequenas.
Os seres humanos não estão mais evoluindo.
As espécies são entidades naturais distintas, com uma definição clara, e são facilmente identificáveis por qualquer pessoa.
Seleção natural implica que os organismos tentam se adaptar ao meio.
A seleção natural dá aos organismos o que eles precisam.
Os seres humanos não podem ter impactos negativos nos ecossistemas porque as espécies irão evoluir de acordo com o que precisam para sobreviver.
A seleção natural atua para beneficiar as espécies.
Em uma população, os organismos mais aptos são aqueles que são mais fortes, saudáveis, rápidos e/ou maiores.
A seleção natural produz organismos que estão perfeitamente adaptados ao seu ambiente.
Todas as características de um organismo são adaptações.
A evolução não é ciência porque não pode ser observada ou testada.
A teoria da evolução é inválida porque é incompleta e não consegue dar uma explicação para a biodiversidade que observamos à nossa volta.
As falhas no registo fóssil refutam a evolução.
A teoria da evolução e a religião são incompatíveis.

FONTE: traduzido por Campos *et al.* (2013) e parcialmente modificado

Dependendo da questão a ser tratada e do posicionamento do ministrante, a abordagem sobre as ditas concepções alternativas acaba sendo diferente. Apesar de a literatura sobre ensino de evolução considerar com frequência que as concepções alternativas são um desafio para a aprendizagem (ROSENGREN *et al.*, 2012, p. 361), algumas atividades do curso tratam de problematizar e usar as concepções como elemento de debate, enquanto outras atividades do curso efetivamente procuram que os alunos *superem* tais concepções.

Por exemplo, a atividade “Mecanismos Evolutivos” (2018/1), ao discutir sobre deriva genética, abordou algumas concepções alternativas relacionadas a este conceito, como a ideia de que a deriva ocorre apenas em populações pequenas. A discussão foi encaminhada no sentido de superar dita “concepção alternativa” e entender que a deriva genética é um mecanismo que atua mesmo em populações grandes, apesar de seu efeito evolutivo ser mais relevante em populações pequenas.

Por outro lado, a concepção alternativa de que *a teoria da evolução e a religião são incompatíveis* teve um tratamento totalmente diferente na atividade “Evolução e Criacionismo” (2019/1). As questões suscitadas foram mais abertas e dependentes do posicionamento dos diferentes cursistas. Muitos alunos simplesmente não aceitam a ideia de que pode haver uma compatibilidade entre a teoria da evolução e a religião. Esse debate tomou contorno em relação às leituras metafísicas e científicas do mundo e os temas filosóficos relacionados ao naturalismo.

Outras questões ainda se referem a perspectivas que convivem dentro da própria ciência, mas são explicitamente tratadas como “concepções superadas” pela ciência por alguns ministrantes do Curso de Biologia Evolutiva. Uma delas é a escola lineana de taxonomia. Apesar de não ser considerada uma “concepção alternativa”, ela é praticamente tratada como tal em algumas atividades do curso.

Até meados do século passado, a biologia classificava e organizava o universo da realidade biológica através de um sistema lineano. Nos anos 1960, a biologia evolutiva e a sistemática sofreram mudanças substanciais com o desenvolvimento da cladística (também conhecida por sistemática filogenética). A sistemática filogenética tem como foco a história evolutiva, organizando entidades biológicas com base nas relações de parentesco. O sistema lineano contrasta com o filogenético por levar em conta apenas as similaridades e diferenças entre os seres vivos, agrupando espécies (e outros grupos taxonômicos) que muitas vezes não são aparentados (AMORIM, 2002).

Dessa forma, apesar do sistema lineano ainda ser usado na biologia, ele pode ser problemático em uma perspectiva evolutiva³⁵. Além disso, o método utilizado por este sistema está alinhado às ideias essencialistas e fixistas; ou seja, o sistema lineano tem como pressuposto que as espécies possuem essências partilhadas (essencialismo) e seriam imutáveis (fixismo), sendo os indivíduos de cada espécie cópias imperfeitas de um tipo perfeito e atemporal. O sistema lineano reflete ainda outra corrente de pensamento que conflita com o pensamento evolutivo, o da Escala Natural dos Seres - *Scala Naturae* (AMORIM, 2002).

O sistema lineliano não foi pensado para conceber que as espécies mudam com o tempo, muito menos que podem dar origem a outras espécies. Ele é criticado em diferentes momentos do curso e tratado como uma perspectiva a ser *superada* pelo pensamento evolutivo, ainda que continue a ser utilizado em diferentes contextos científicos e pedagógicos na própria biologia. Esse posicionamento também está evidente no livro elaborado pelos ministrantes do curso (capítulos 9 e 19).

Estes exemplos denotam como as concepções alternativas (e mesmo as que não são consideradas como tal pela literatura) podem ser tratadas de formas distintas no contexto do curso. Dependendo da questão a ser tratada, o currículo do curso pode tratar determinada concepção como uma *oportunidade* de aprendizagem ou então como um *obstáculo* que efetivamente deve ser superado no contexto de ensino.

6.2 Visita guiada ao Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto

A seção anterior apontou elementos de ensino do currículo do Curso de Biologia Evolutiva que são considerados convencionalmente ligados à formação acadêmica em evolução biológica. Entretanto, o currículo do curso não opera apenas nestes elementos “explícitos” - é preciso atentar também para os ensinamentos desencadeados em espaços diversificados, que estão além daqueles que são tradicionalmente vinculados às ações pedagógicas (WORTMANN; COSTA; SILVEIRA, 2015). Um dos espaços em

³⁵ Não é objetivo da tese discutir com mais detalhes os debates entre as teorias concorrentes de classificação biológica e as metodologias sobre inferência filogenética. David Hull (1988, p. 158) originalmente cunhou a frase "sistematas em guerra" para se referir às disputas travadas entre os defensores de duas metodologias (fenética e cladística) nos anos 1970 e 1980. Nessa disputa, nem todos os evolucionistas estavam do lado dos cladistas. A questão levantada aqui é a de que parece um ponto em comum entre os ministrantes do Curso de Biologia Evolutiva que a classificação dos organismos e a sua organização em classes devam respeitar o princípio da ancestralidade comum.

que incidem múltiplas ações educativas é o Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto, onde ocorreram visitas guiadas em todas as edições do curso.

Os museus de história natural são espaços privilegiados que perpetuam visões sobre a natureza. Dentro das paredes dos museus os seres vivos e não vivos são reunidos em uma representação repleta de significados, operando uma produção e construção da natureza de forma análoga aos laboratórios de pesquisa (LENOIR, 1997; 2004). No caso de um museu de paleontologia, determinada representação da história da vida é apresentada ao público através da justaposição de elementos geológicos e paleontológicos (Figura 6).

Figura 6. Visão geral do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto



FONTE: www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/curso-de-inverno-sobre-biologia-evolutiva-e-destinado-a-professores-do-ensino-basico. Acesso em: 12 Agosto 2019

Apesar de conhecer o Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto de longa data, pude observar com mais detalhes a sua mostra quando acompanhei as visitas guiadas do Curso de Biologia Evolutiva nas edições em 2018 e 2019. Logo ao entrar neste espaço, torna-se claro que o museu privilegia a profundidade da história da vida na vastidão do tempo geológico. Podemos falar ao vento que a “Terra possui 4,5 bilhões de anos”, mas a apreciação desta escala de tempo é algo muito diferente. Pela combinação de fósseis, minerais, datações geológicas, globos terrestres e representações de movimentos das placas tectônicas, o museu de paleontologia evoca uma experiência do tempo profundo. Os objetos e as ilustrações presentes no museu contribuem para

uma (re)produção da natureza, através dos fósseis e réplicas preparadas em laboratório, ilustrações, folhetos e montagem final da mostra.

A representação da evolução da vida no Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto gira em torno das divisões do tempo geológico: a visita é guiada seguindo doze representações artísticas de eras e períodos geológicos, acrescidas de informações sobre a crosta terrestre e organismos fósseis (Figura 7). Como a história da Terra envolve uma vastidão de tempo muito maior do que podemos conceber, o museu oferece uma perspectiva de certo modo “vantajosa”, onde uma reconstrução do tempo e da natureza é exposta para fins de comparação entre as eras e períodos geológicos.

Dessa forma, o museu de paleontologia nos dá uma perspectiva dos processos de mudanças geológica e biológica da Terra, justapondo elementos que apresentam uma alegoria da vida no tempo e espaço. Tal representação do tempo e da vida carrega consigo uma concepção das modificações dos seres vivos. A contingência da evolução é explorada através da exposição de alguns eventos de surgimento e modificação dos seres vivos no tempo, como a origem de organismos multicelulares, o surgimento de plantas terrestres e a evolução dos mamíferos. Os guias complementam o aspecto contingente da evolução da vida ao discutir fatores desencadeantes e barreiras bióticas e abióticas que moldaram a evolução biológica ao longo do tempo.

Algumas questões museográficas também se tornaram evidentes durante as visitas que pude acompanhar, sobretudo certo viés da exposição em relação à nossa própria espécie. A colocação do *Homo sapiens* no final da visita tem o potencial de reforçar ideias de progresso evolutivo, como se a evolução da vida tivesse como *finalidade* a espécie humana (veja a Figura 7).

Desse modo, passei a me perguntar sobre a representação da história da vida e do planeta Terra apresentadas no museu. Quando entramos em um Museu de Paleontologia, esperamos encontrar uma exposição sobre a vida na Terra. Mas o museu busca representar a história da vida como um todo ou apenas a evolução da nossa espécie? Se o objetivo for representar a história da vida, quais os períodos e grupos de seres vivos deveriam ser privilegiados em uma exposição? A nossa espécie necessariamente deveria ser representada?

Figura 7. Encarte do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto, mostrando uma sequência temporal das eras e períodos geológicos da Terra. Estes desenhos e as informações do encarte também estão expostos no museu, junto com fósseis representativos de cada período

pré-cambriano

A vida microscópica evolui, alterando os parâmetros ambientais dos oceanos e da atmosfera.



cambriano

Explosão da vida: abundância e diversificação de invertebrados nos mares.



ordoviciano

Fauna diversa, mas ainda restrita aos oceanos de águas rasas, claras e quentes.



siluriano



Marcante evolução dos peixes, primeiras evidências de invertebrados e plantas sobre os continentes.

devoniano



Época de grande irradiação adaptativa de peixes nos mares e nas águas doces. Surgimento dos primeiros tetrápodes.

carbonífero



A idade das grandes florestas, concentradas principalmente nas áreas que hoje constituem o Hemisfério Norte do planeta (paleocontinentes euroamericano e asiático). As áreas do Gondwana, mais ao sul, incluindo o território brasileiro, estavam sujeitas a uma das mais severas fases glaciais de que se tem notícia. Durante o período, ocorre o aparecimento dos primeiros répteis.

permiano

Durante o Permiano, as porções continentais do planeta reuniram-se em uma única massa de terra, denominada de "Pangéia", que experimentou um intenso aquecimento climático. Ao final do período, ocorre a mais drástica das extinções conhecidas no registro paleontológico, assolando mais de 80% da biodiversidade do planeta.

triássico



Período mais quente e seco da história da Terra. A vida recomeça após a grande extinção do final do Permiano. Surgem os primeiros animais voadores, os pterossauros, e a maioria dos grupos atuais: mamíferos, dinossauros (hoje aves), crocodilos e tartarugas.



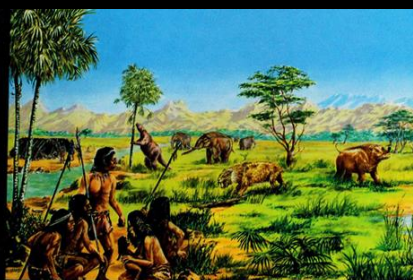
jurássico

A abundância dos peixes propiciou o surgimento de répteis gigantes nos mares, enquanto dinossauros reinavam absolutos em terra. Surgem mamíferos marsupiais e multituberculados, além das primeiras aves.



cretáceo

Climax e extinção dos dinossauros no final do período, terminando com um domínio que durou todo Mesozóico. Aparecimento de mamíferos placentários e de plantas com flores.



paleógeno

Diversificação de mamíferos e aves em condições tropicais.



neógeno

Extinção dos megamamíferos, evolução de mamíferos modernos, de plantas com flores e das gramíneas, direcionando a evolução de animais adaptados à vida nas savanas e pradarias.



Se a montagem da exposição paleontológica usasse como critério a *duração das eras e períodos geológicos da Terra*, tal exposição teria que dar muito espaço ao pré-cambriano, o qual ocupou a maior parte da história do nosso planeta (4,6 bilhões ~ 541 milhões). Se o museu de paleontologia apresentasse uma *relação direta entre o tempo na Terra e o espaço dedicado às formas de vida*, a espécie humana deveria ser representada com pouca ou nenhuma informação. Usando uma metáfora em que o tempo geológico está condensado em 24h, o *Homo sapiens* ocupa os últimos segundos.

Por outro lado, se o critério fosse *diversidade biológica contemporânea*, o museu de paleontologia teria um grande enfoque na origem e evolução dos insetos, um dos grupos mais diversos de seres vivos nos dias de hoje. Os besouros representam a ordem mais diversa dentre os grupos de insetos, mas o Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto não apresenta materiais sobre a evolução destes invertebrados.

Outro critério possível é uma representação das *formas de vida que persistiram na Terra ao longo do tempo*. Nesse caso, o museu seria praticamente dedicado às bactérias (procariotos), que ocupam sozinhas boa parte da história da vida. Em qualquer critério possível, razoável ou justo, as bactérias são - e sempre foram - as formas dominantes de vida na Terra (GOULD, 1996). No entanto, o Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto não tem como foco as bactérias, que estão representadas na exposição apenas no período pré-cambriano, o que pode levar à impressão de que elas não fazem parte da história da vida nas outras eras geológicas, ou então “pararam de evoluir” ao longo do tempo.

Gould (1996) apresentou boas evidências da dominação bacteriana na história da vida em seu artigo *Planet of the bacteria*. São elas:

Tempo. O registro fóssil da vida começa com bactérias, em torno de 3,5 bilhões de anos atrás. Quase *metade* da história da vida é composta somente por bactérias, com a célula eucariótica fazendo uma primeira aparição no registro fóssil cerca de 2 bilhões de anos atrás. As primeiras criaturas multicelulares aparecem em cena logo depois, mas esses organismos não têm nenhuma relação genealógica com o interesse primário do Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto: a história da vida animal. Os primeiros animais multicelulares não aparecem no registro fóssil até cerca de 540 milhões de anos atrás - depois de cinco sextos da história da vida já ter passado.

Indestrutibilidade. As bactérias existem em um número esmagador e em uma ampla gama de ambientes, com modos inigualáveis de metabolismo. A destruição do nosso ambiente pode levar facilmente à nossa própria destruição como espécie no futuro, junto com a maioria dos grandes vertebrados. As bactérias, por outro lado, viveram em períodos que não havia oxigênio e com uma composição atmosférica totalmente distinta.

Diversidade. Em um sistema de três domínios da vida - *Eubacteria*, *Archaeobacteria* e *Eucarya* – dois deles consistem inteiramente de procariotos. Uma vez que colocamos dois terços da diversidade evolutiva entre as bactérias, podemos compreender a centralidade e a dominação delas na vida como um todo. Animais e Plantas fazem parte de dois pequenos ramos em meio a uma infinidade de outros galhos da árvore da vida.

Ubiquidade. Bactérias habitam efetivamente todo lugar adequado para a existência da vida. A tolerância de temperatura e as variações metabólicas das bactérias excedem o escopo de todos os outros organismos conhecidos. As bordas de tolerância das condições químicas e físicas para a vida conhecida são quase exclusivamente bacterianas.

Essas conclusões são bem conhecidas da biologia, mas não são perpetuadas na representação da história de vida do Museu Irajá Damiani Pinto. No encarte do museu é esclarecido que o acervo contém mais de 60.000 peças, entre microrganismos, vegetais, invertebrados e vertebrados fósseis. O foco principal da exposição aberta ao público "contempla os resultados das pesquisas feitas na UFRGS referentes aos vertebrados do Triássico, cujo registro fóssil constitui-se num dos mais expressivos deste período em todo o mundo"³⁶.

Como em todo o museu, a exposição construída depende dos elementos disponíveis pela coleção, que no caso de um museu de paleontologia são também limitados pela própria incompletude do registro fóssil. Mas a coleção não “fala por si” e escolhas são claramente feitas. O Museu de Paleontologia da UFRGS, como outros museus (MACDONALD; WILEY, 2012; MACFADDEN *et al.* 2012), apresenta uma representação dirigida para a biodiversidade animal e uma visão de evolução que perpetua uma concepção de “aumento de complexidade da vida” ao longo do tempo.

³⁶ Disponível em: <https://igeo.ufrgs.br/ig/index.php/museus/10-museus>. Acesso em: 15 Agosto 2019.

Afinal, das doze representações do Museu Irajá Damiani Pinto, onze são dedicadas a plantas e animais, sendo sete delas dedicadas aos vertebrados (Figura 7).

Concepções de progresso e evolução estiveram entrelaçadas desde os primórdios do pensamento evolutivo. Alguns biólogos consideram válidas determinadas conotações de progresso na evolução. No entanto, a ideia de progresso na evolução nunca é tomada de modo absoluto, mas dependente do contexto biológico e ambiental (SHANAHAN, 2000). As discussões sobre a origem de determinadas estruturas, como o surgimento da multicelularidade, homeotermia, bipedia na espécie humana, entre outras, são encaradas por alguns biólogos como uma “melhora” do desempenho funcional dos seres vivos ao longo do tempo. Mas tal concepção de progresso é delimitada a determinados grupos e características bem definidas.

Além do mais, temos bons exemplos na história da vida de algo parecido com aquilo que alguns biólogos entendem como diminuição de complexidade biológica. Por exemplo, muitas linhagens animais sofreram cefalização ao longo do tempo - uma concentração de neurônios em um extremo do corpo e a evolução de órgãos sensoriais neste mesmo local. No entanto, após sofrer certa cefalização, algumas linhagens que evoluíram parasitismo interno perderam a “cabeça” com a qual surgiram. Alguns exemplos conhecidos ocorrem em linhagens de nematódeos contemporâneas. Há evidências de diminuição do encéfalo também em primatas folívoros, o que estaria correlacionado com a evolução de intestinos maiores (STANKOWICH; ROMERO, 2017).

Dessa forma, mesmo em um museu em que a coleção seja principalmente voltada para vertebrados, a sua construção não precisa necessariamente ser uma representação voltada para o aparente aumento da complexidade das características biológicas ao longo do tempo. Os humanos, por exemplo, têm menos genes do que muitas espécies de plantas e menos pares de bases do que linhagens de invertebrados, peixes, anfíbios e protistas. O crânio dos mamíferos têm menos elementos ósseos e partes móveis que os crânios de seus ancestrais reptilianos (WERTH, 2012).

Além disso, a ideia de complexidade é sempre relativa. Em mais de uma oportunidade escutei alunos do Curso de Biologia Evolutiva se referir a espécies que são “mais evoluídas”. É difícil saber exatamente o que isso significa. Não são todos organismos existentes igualmente evoluídos? Meu palpite é que mesmo aceitando a

evolução biológica, as pessoas não conseguem pensar de modo muito distinto da "Grande Cadeia do Ser", com os humanos entronados no topo.

E isso é reforçado pela representação perpetuada no museu, que claramente escolhe a evolução de *determinadas características* dos vertebrados até chegar aos seres humanos, representados no final da visita. As duas últimas representações do museu, correspondentes aos curtos períodos do paleógeno e neógeno, incorporam essa noção. De forma sutil, as eras e períodos geológicos anteriores constituem uma *preparação* para a aparição final da espécie humana. É como se os quase 4 bilhões de anos da história precedente fossem uma prefiguração das nossas características, com todas as épocas anteriores incorporando um germe da nossa chegada tardia nesta história. Apesar de em certo sentido essa representação ser adequada, ao menos em uma perspectiva genealógica, ela também representa uma presunção injustificada do nosso lugar na natureza.

Gould (2001), que dedicou grande parte de seus livros para as representações que fazemos da história da vida, escreveu o seguinte:

Se não passamos de um pequeno galho no florido e arborescente arbusto da vida, e se o nosso galho se separou há apenas um momento geológico, então talvez não sejamos o resultado previsível de um processo inerentemente progressivo (a orgulhosa tendência da história da vida na direção do progresso); talvez sejamos, não importa nossas glórias e conquistas, um acidente cósmico momentâneo, que nunca surgiria novamente se a árvore da vida pudesse ser replantada a partir da semente e criada novamente sob condições similares (GOULD, 2001, p. 35).

O lugar de destaque da espécie humana, a qual é criticada por Gould, inevitavelmente faz parte da representação perpetuada pelo Museu de Paleontologia, onde nossa espécie é colocada como horizonte alcançado pelo processo evolutivo. É claro que podemos considerar nossa espécie única devido à sua capacidade cultural e inventiva, bem como seu amplo impacto na Terra. Devido ao impacto do ser humano nas outras formas de vida, alguns autores estão inclusive propondo a criação de uma nova era geológica, chamada de Antropoceno (STEFFEN *et al.*, 2011). Mas algo muito distinto disso é a concepção subjacente de colocar a espécie humana como “ápice” da evolução.

Algumas estratégias para evitar interpretações progressistas e antropocêntricas da história da vida foram discutidas pelos guias durante as visitas ao museu (Figura 8). Uma das sugestões apresentadas por eles é iniciar a visita ao museu do presente para o

passado da história da vida. Essa abordagem permitiria focar nos ancestrais em comum dos organismos, evitando uma narrativa direcionada aos seres humanos.

Outra sugestão seria simplesmente justificar que *o museu está representando a nossa própria evolução e não a história da vida como um todo*. E mesmo admitindo que o museu procure representar nossa própria história no planeta, podemos ainda desmistificar certas concepções de progresso. Um exemplo utilizado pelos guias é a evolução dos membros dos cavalos. O *Homo sapiens* retém a condição ancestral, com cinco dedos, enquanto os equinos são caracterizados por modificações dos dígitos e membros. Neste sentido, os cavalos são mais derivados que os seres humanos, pois somos mais parecidos com o ancestral em comum que compartilhamos. Este exemplo pode ajudar na compreensão do caráter contingente da evolução da vida, desmistificando concepções antropocêntricas que estabelecem a excepcionalidade da evolução humana.

Figura 8. Visita guiada ao Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto. Edição 2018/2 (acima) e 2019/1 (abaixo)



FONTE: Registro próprio

6.3 O Curso de Biologia Evolutiva e a disciplinarização da evolução biológica

Uma narrativa comum sobre a teoria evolutiva apresenta uma grande síntese e convergência de disciplinas no pensamento evolutivo. Em contraste, apresentei uma série de críticas ao longo da tese para esta concepção. Uma crítica abordada *ad nauseam* nos últimos capítulos é a de que não há uma relação paritária entre as diferentes disciplinas na biologia evolutiva, uma vez que as explicações dos fenômenos evolutivos são dadas em termos de processos microevolutivos que, em última instância, estão baseados na genética de população. Nesse sentido, a genética de população teria prioridade explicativa sobre outras disciplinas.

O Curso de Biologia Evolutiva nasceu de críticas a esta centralidade da genética no contexto da formação inicial em evolução biológica na própria UFRGS. Contudo, esta atividade de extensão não deixa de apresentar também uma forma de *disciplinar* a evolução biológica. Como estudantes de pós-graduação, os proponentes do curso estão vinculados a departamentos universitários. A maioria dos departamentos é identificado a disciplinas específicas, que orienta a formação e avaliação dos acadêmicos para sua formação profissional e especializada. As disciplinas de origem dos proponentes do curso possuem um corpo coerente de conhecimento e um conjunto de práticas pelas quais tal conhecimento é adquirido, confirmado, implementado, preservado e reproduzido. Nesse sentido, uma temática importante sobre o currículo do Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS é analisar o seu processo de disciplinarização do conhecimento evolutivo.

Uma forma que encontrei de entender as relações disciplinares no contexto do currículo do curso foi através da análise dos questionários de pesquisa respondidos pelos alunos. O questionário quali-quantitativo aplicado no curso contém duas questões dissertativas que foram propositalmente pensadas para que os alunos se posicionassem sobre o currículo vivenciado nesta atividade, particularmente em relação às disciplinas e conteúdos que fizeram parte desta experiência. São elas:

1. Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?
2. A abordagem e o conteúdo do Curso de Biologia Evolutiva apresentou alguma diferença em relação à sua formação inicial sobre evolução? Quais são as semelhanças e diferenças?

O questionário contendo apenas a primeira questão foi entregue no começo das edições 2019/1 e 2019/2, antes de iniciar qualquer atividade. No final destas edições, um novo questionário foi respondido pelos alunos, desta vez com as duas questões acima e com o acréscimo de mais duas questões dissertativas que não serão discutidas neste capítulo (Veja o *Apêndice B*, com as questões 1, 2, 3 e 4).

Para analisar os escritos dos alunos, todas as respostas das questões 1 e 2 foram processadas na íntegra pelo software de análise textual IRAMUTEQ - *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*, desenvolvido pelo *Laboratoire d'Études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales* (LERASS) da Universidade de Toulouse³⁷. O IRAMUTEQ é um software livre que permite análises sobre *corpus* textuais³⁸.

Foi possível utilizar uma série de recursos do *software* para refinamento e interpretação das respostas dos alunos, como o método de Classificação Hierárquica Descendente (CHD) e a Análise de Similitude. A CHD é um método para classificar os segmentos de texto em função dos seus respectivos vocabulários. A partir dessas análises em matrizes, o software organiza os dados em um dendrograma que ilustra as relações entre as classes estabelecidas. A análise de similitude, por outro lado, possibilita identificar as co-ocorrências entre as palavras, e seu resultado traz indicações da conectividade entre elas, auxiliando na identificação de relações de representação³⁹.

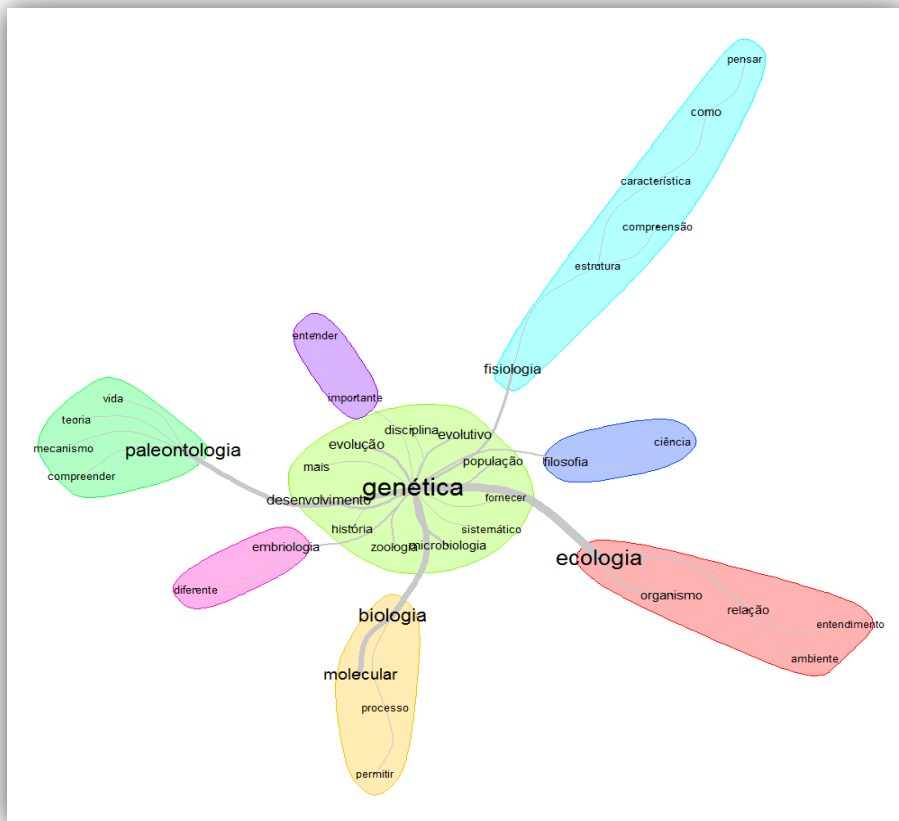
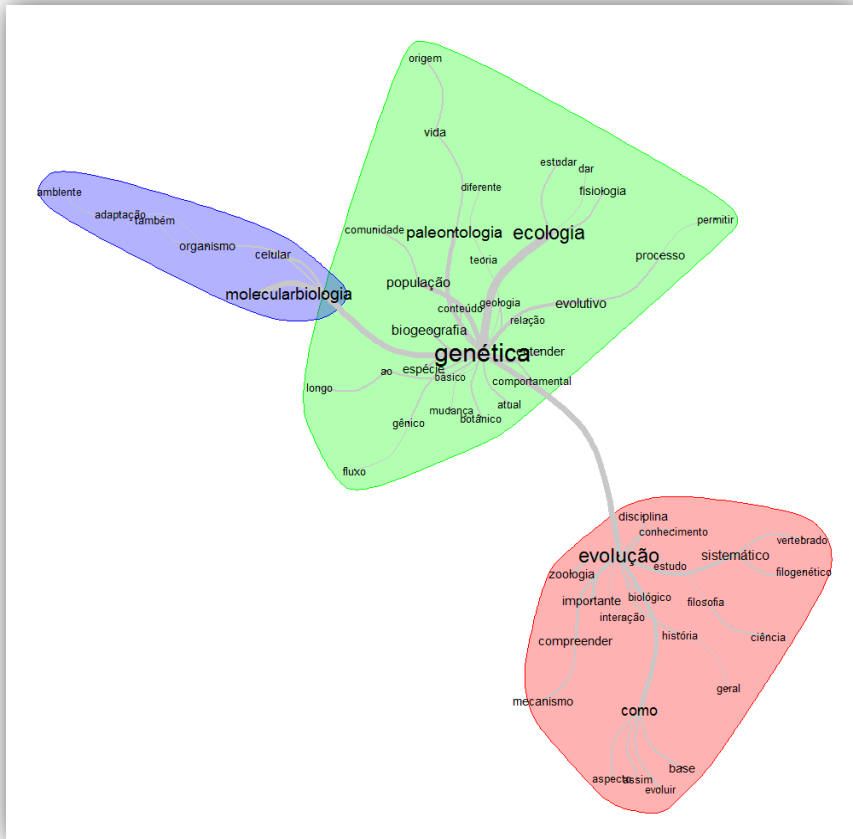
Considerando estas funcionalidades do programa, obtivemos a conectividade entre as palavras nas respostas obtidas antes e depois do curso para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?”. Como a questão está direcionada para conteúdos e disciplinas relacionadas com evolução, esta análise apresenta algumas evidências das concepções dos alunos sobre as relações disciplinares da teoria evolutiva antes e após vivenciar o currículo do Curso de Biologia Evolutiva (Figura 9).

³⁷ Para permitir a comparação das respostas antes e depois do curso, não foram processadas as respostas dos alunos que já haviam participado de alguma edição anterior.

³⁸ *Corpus* textuais referem-se ao conjunto total de textos que estão sendo analisados em uma pesquisa.

³⁹ Informações obtidas do tutorial do Iramuteq. Os parâmetros utilizados para a análise foram aqueles padronizados pelo programa quando da instalação do software. Disponível em: www.iramuteq.org/documentation/fichiers/tutoriel-en-portugais. Acesso em: 08 Julho 2019.

Figura 9. Análise de similitude das respostas para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?”. Acima, a análise pré-curso, 2019/1 (n = 61). Abaixo, a análise pós-curso, 2019/1 (n = 45)



FONTE: Elaboração própria

A análise com o IRAMUTEQ permitiu reunir as palavras mais frequentes nas respostas analisadas. A palavra *genética* é a mais citada, sendo, portanto, central para a maioria das respostas analisadas. Como pode ser observado nas respostas pré-curso, três grupos principais de palavras foram encontrados: *genética*, *evolução* e *biologia* (muito próxima de *molecular*).

Apesar de relativamente frequentes, termos como *paleontologia* e *ecologia* não chegam a formar um *cluster* de destaque nas respostas pré-curso, sendo fortemente vinculados à *genética*. Quando estas disciplinas são citadas nas respostas, elas geralmente não apresentam uma definição clara e elaborada de sua contribuição/importância para a evolução. Isso pode explicar porque na análise de similitude pré-curso estas disciplinas não formaram um *cluster* bem definido, sendo fortemente vinculadas à *genética*.

Nas respostas pré-curso da primeira questão, a *genética* esteve presente em quase todos os escritos e a sua importância para a evolução é reconhecida em diferentes sentidos. Alguns exemplos são os seguintes⁴⁰:

Genética, pois não há como entender o mecanismo evolutivo sem ter uma boa base em genética, especialmente de populações. Paleontologia para conhecer a vida pretérita e compreender como as espécies evoluem e se diversificam (Participante 2019/1, pré-curso).

Se tudo só faz sentido à luz da evolução, creio que ela é importante em todas as áreas e todas as disciplinas são importantes para a evolução. No entanto, para ater-me ao que foi perguntado: genética, biologia molecular, ecologia e biogeografia (Participante 2019/1, pré-curso).

Genética porque é pré-requisito para evolução (Participante 2019/1, pré-curso).

Na análise de similitude pós-curso, a *genética* continua central, mas outros *clusters* importantes foram formados, centralizados pelas palavras *paleontologia*, *fisiologia*, *embriologia*, *filosofia* e *ecologia* (Figura 9). É possível inferir pelas respostas que os alunos conceberam uma maior contribuição destas disciplinas para a evolução, estabelecendo uma aglomeração própria para estas disciplinas/conteúdos, que antes eram sempre vinculados à *genética*.

Alguns exemplos de respostas que reforçam esta compreensão são as seguintes:

Biologia molecular, genética. Para conhecimento das estruturas genéticas responsáveis pelas características, funções e sobre como utilizar técnicas

⁴⁰ Embora colocados sob a mesma designação, os excertos são transcrições das respostas de diferentes alunos do Curso de Biologia Evolutiva.

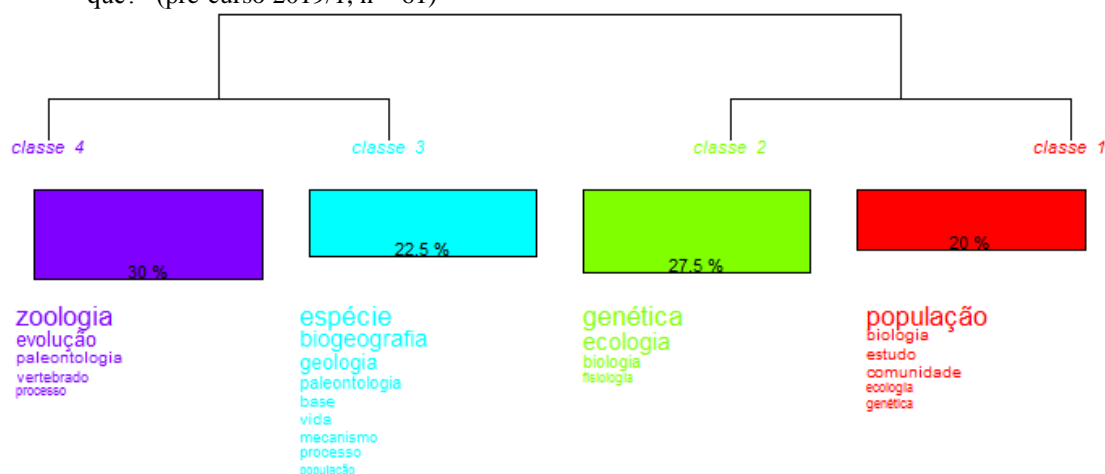
moleculares para a biologia evolutiva. Ecologia e fisiologia para compreensão dos comportamentos e estruturas macroevolutivas em relação às influências do ambiente ao organismo (Participante 2019/1, pós-curso).

Genética, pois nos fornece todo embasamento fenotípico e genotípico para determinadas características apresentadas pelos organismos. Ecologia fornece informações quanto a respostas dos organismos em razão da variabilidade ambiental e na relação entre os organismos. Embriologia mostra a formação inicial dos animais e suas características de desenvolvimento. Fisiologia para entender como os diferentes sistemas e estruturas morfológicas interferem no comportamento e hábitos dos organismos (Participante 2019/1, pós-curso).

Genética, paleontologia, zoologia, botânica, micologia, embriologia. O entendimento completo da evolução só pode ser dado de maneira satisfatória se englobar todas as disciplinas citadas acima (Participante 2019/1, pós-curso).

Para complementar a análise de similitude, aplicamos o método CHD ao mesmo conjunto de respostas, obtendo dendrogramas pré e pós-curso (Figuras 10 e 11). No dendrograma obtido a partir das respostas pré-curso, o *corpus* de análise se divide em dois *subcorpus* (Figura 10). É possível visualizar as palavras que foram mais citadas nas respostas, bem como a relação de proximidade entre elas. Desse modo, a classe 2 (onde *genética* e *ecologia* são mais frequentes) está mais próxima à classe 1 (com a maior frequência da palavra *população*). Esses *corpus* estão separadas das classes 3 e 4, onde as palavras *zoologia*, *evolução*, *espécie* e *biogeografia* são mais frequentes.

Figura 10. Dendrograma obtido pelo método CHD das respostas para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pré-curso 2019/1, n = 61)

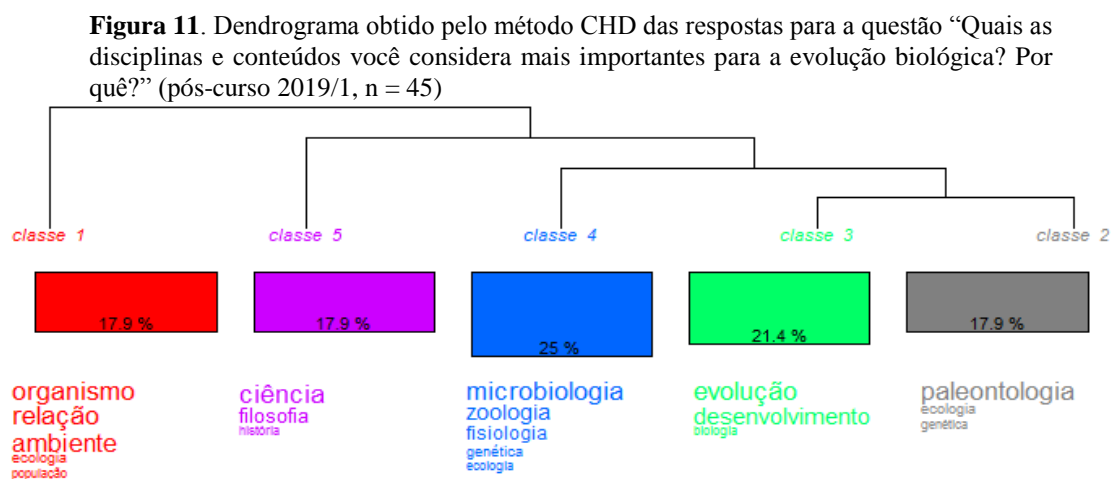


FONTE: Elaboração própria

No *subcorpus* das classes 2 e 1 está presente um vocabulário relacionado com genética e biologia das populações, ao passo que no *subcorpus* das classes 3 e 4 está presente um vocabulário relacionado com macroevolução e biodiversidade. Essa clara

divisão entre microevolução e macroevolução, ou entre processos e padrões evolutivos, está muito relacionada com um currículo centrado na síntese evolutiva, como discutido anteriormente.

Novas relações aparecem após os alunos frequentarem o curso e responderem esta questão. No dendrograma obtido para as respostas pós-curso cinco classes são formadas (Figura 11). As classes 1 e 5 estão separadas das demais, contendo uma frequência maior das palavras *organismo*, *relação*, *ambiente*, *ciência* e *filosofia*. Este vocabulário não era relevante nas respostas pré-curso. A palavra *genética* está dispersa em mais de uma classe e não parece existir uma separação nítida entre micro e macroevolução, como encontrado anteriormente.



FONTE: Elaboração própria

Cabe destacar também o subcorpus formado entre as classes 3 e 2, que possui em maior frequência as palavras *evolução*, *desenvolvimento* e *paleontologia*. A aproximação entre desenvolvimento e paleontologia é um dos motes da biologia evolutiva do desenvolvimento, área de pesquisa que tem crescido nos últimos anos na teoria evolutiva, sendo relevante nas discussões do Curso de Biologia Evolutiva.

Tais relações demonstradas pelos dendrogramas se tornam nítidas quando olhamos de perto as respostas dos alunos para a questão 2. Quando os alunos são perguntados após o curso se “A abordagem e o conteúdo do Curso de Biologia Evolutiva apresentou alguma diferença em relação à sua formação inicial sobre evolução? Quais são as semelhanças e diferenças?”, fica claro como o currículo do curso é percebido de forma distinta da formação inicial dos alunos, geralmente associada a um currículo genecentrista e focado na seleção natural.

Transcrevo algumas respostas:

Sim, tanto no ensino médio quanto no ensino superior a evolução é apresentada muitas vezes, como uma combinação de seleção natural e mutações. Esse curso mostrou que há muito mais elementos que estão envolvidos com a evolução das espécies. Além disso, muitas vezes em aula de biologia é passada a ideia de que há organismos mais evoluídos do que outros, esse curso ajudou a desmanchar essa ideia (Participante 2019/1, pós-curso).

Muito. Não imaginava que abordar biologia evolutiva envolvia tantas coisas como, por exemplo, biologia evolutiva do desenvolvimento, paleontologia e filosofia. O curso me trouxe uma maior noção da dimensão desse universo da biologia evolutiva (Participante 2019/1, pós-curso).

Sim, apresentou diferenças. Um foco no processo evolutivo e sua relação com a ecologia e desenvolvimento, não tão dependente do gradualismo e genética de populações, como a principal diferença (Participante 2019/2, pós-curso).

Acredito que foi complementar. Alguns conceitos ficaram mais aprofundados ou tive outras visões. Em relação ao trabalho na sala de aula, as discussões sobre árvores filogenética foram as que mais me ajudaram a me embasar no futuro como professor (Participante 2019/2, pós-curso).

Com esse tipo de análise, não pretendo apresentar uma relação de causa e efeito entre o currículo do curso e as respostas dos alunos. A análise das respostas dos alunos contribui com elementos sobre o currículo do Curso de Biologia Evolutiva na complexa rede de relações disciplinares que configuram a formação sobre evolução biológica destes estudantes. De todo modo, a comparação das respostas do tipo “antes” e “depois” do curso denota que esta formação continuada, em certo sentido, ajuda a reduzir a forte relação hierárquica da genética em relação às outras disciplinas e apresenta uma maior pluralidade disciplinar, inclusive de áreas externas à biologia⁴¹.

Esta análise também evidencia que a formação inicial dos estudantes que frequentam o curso é focada em um currículo debitário da síntese evolutiva, a despeito destes alunos serem oriundos de diversas instituições de ensino. Este foco curricular na formação inicial dos biólogos e professores pode limitar significativamente a compreensão do conhecimento evolutivo de forma mais ampla, tanto em relação à pluralidade disciplinar presente na biologia evolutiva contemporânea quanto em relação às críticas externas ao campo.

⁴¹ Foram feitas as mesmas análises para os escritos obtidos nas questões 1 e 2 entre os alunos que frequentaram a edição 2019/2. Estas análises estão no *Apêndice C* da tese. A análise de similitude obtida nas respostas pré-curso em 2019/2 é muito semelhante ao obtido a partir dos escritos em 2019/1, posicionando a genética de modo central. O dendrograma obtido pelo método CHD também denota uma separação entre o vocabulário relacionado com micro e macroevolução. Por outro lado, a análise das respostas pós-curso em 2019/2 denotam relações disciplinares distintas das obtidas em 2019/1. Isso pode ser explicado pelas diferentes ênfases que cada edição do curso apresenta em sua programação.

EIXO III

FORMAÇÃO INICIAL E CONTINUADA EM
EVOLUÇÃO BIOLÓGICA: UMA ANÁLISE A PARTIR
DO CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

7 DESENVOLVIMENTO E VALIDADE DE CONTEÚDO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

No terceiro e último eixo da tese, pretende-se analisar as respostas dos alunos do curso na seção do questionário de pesquisa em que são apresentadas afirmações sobre evolução biológica. Esta análise não tem a pretensão de detectar o aprendizado dos estudantes ou representar um quadro geral de suas concepções sobre evolução. Seria contraditório defender ao longo da tese a complexidade do conhecimento evolutivo e, ao mesmo tempo, reduzir essa complexidade a frases simples que expressariam o conhecimento evolutivo dos alunos. Dessa forma, este questionário deve ser entendido como uma metodologia *complementar* às análises desenvolvidas anteriormente neste estudo e não como uma ferramenta que encerra as suas conclusões nela mesma.

O desenvolvimento e a validação de tal instrumento são detalhados no presente capítulo. O capítulo 8 faz uma análise das respostas dos alunos no início do Curso de Biologia Evolutiva. Esta análise permite comparar o posicionamento de estudantes com diferentes graus de formação acadêmica em evolução biológica, uma vez que frequentam o Curso de Biologia Evolutiva alunos do começo da graduação em ciências biológicas, estudantes já avançados na graduação e pós-graduandos.

A forma como os alunos se posicionam em relação às mesmas afirmações do questionário, após as discussões levadas a cabo no Curso de Biologia Evolutiva, é objeto de análise do capítulo 9. Esta análise é importante para entender se o curso possui algum impacto, mesmo que momentâneo, nas crenças dos estudantes sobre evolução biológica.

7.1 Desenvolvimento do questionário de pesquisa

O questionário de pesquisa foi inicialmente elaborado de forma coletiva pela equipe de proponentes do Curso de Biologia Evolutiva⁴². Na primeira parte do questionário, questões abertas demandam respostas sobre as disciplinas e os conteúdos que os estudantes consideram importantes para a evolução biológica, além de permitir um posicionamento do cursista sobre a abordagem de ensino do Curso de Biologia

⁴² A redação de todas as questões e as posteriores modificações foram por mim efetuadas a partir de sugestões, críticas e revisões dos ministrantes do curso. As primeiras versões das questões foram discutidas em reuniões de organização do curso, entre 2017 e 2018, as quais permitiram a interferência direta dos ministrantes na elaboração deste questionário. Todos os ministrantes concordaram que o questionário desenvolvido seja utilizado nesta pesquisa de doutorado. Registra-se a participação direta e coautoria no desenvolvimento do questionário de Ronaldo Paesi e Voltaire Dutra Paes Neto.

Evolutiva. As respostas desta primeira parte do questionário foram discutidas no capítulo anterior.

Na segunda parte do questionário, o participante deve se posicionar em função da concordância ou discordância de afirmações sobre evolução biológica. Procura-se avaliar alguns elementos que a organização do Curso de Biologia Evolutiva privilegia na formação continuada dos estudantes.

Os itens da segunda parte do questionário contemplam três elementos presentes na organização curricular do curso, a saber, *concepções alternativas*, *pluralismo evolutivo* e *interpretação de filogenias*. Para a formulação dos itens, foram escolhidos temas e afirmações sobre evolução biológica que circulam nas edições do curso. A escolha de questões fechadas, com afirmações em que os respondentes assinalam seu grau de concordância, considerou a possibilidade de aplicar o questionário a uma amostra ampla.

A partir do banco de questões criado de forma conjunta, ao longo do ano de 2017, procurou-se refinar cada item a partir de um levantamento bibliográfico. Artigos sobre evolução, ensino de evolução e livros didáticos de biologia evolutiva para o ensino superior foram consultados (ALTERS; NELSON, 2002; AMORIM, 2002; BENTON, 2003; FREEMAN; HERRON, 2009; FUTUYMA, 1992; GREGORY, 2008; GREGORY, 2009; MEIR *et al.*, 2007; NEHM; SCHONFELD, 2008).

Uma estrutura geral do questionário com 24 itens foi criada e aplicada em duas edições do curso (2018/1 e 2018/2). No primeiro teste realizado o respondente poderia concordar com cada afirmação, discordar ou apontar que não saberia dizer. No segundo teste realizado, optou-se pela construção de uma escala do tipo Likert de 5 pontos. Nessa escala o respondente deve expressar seu grau de concordância ou discordância de cada afirmação, sendo que cada posição representa um valor numérico.

Obtivemos um total de 129 respostas nos dois estudos piloto realizados no ano de 2018. Esses dados estão distribuídos da seguinte forma, segundo a formação acadêmica dos respondentes: 25 pós-graduandos; 90 graduandos/graduados em ciências biológicas; e 14 estudantes de ensino superior de outros cursos.

A partir destas respostas, uma análise foi realizada para verificar se as questões apresentavam problemas de construção. Desse modo, se estudantes de pós-graduação de áreas que são próximas à biologia evolutiva tivessem dificuldades para responder as

questões, o instrumento apresentaria problemas. Além disso, se os pós-graduandos pontuassem em uma alta frequência a opção neutra “não concordo nem discordo”, esse dado seria considerado indicativo de problemas na redação da questão.

Os pós-graduandos pontuaram em uma frequência menor a alternativa neutra, mas apresentaram uma frequência semelhante de acertos em relação aos outros grupos na maioria dos itens. Este é um resultado parcialmente esperado, uma vez que alguns estudos apontam que mesmo estudantes de pós-graduação mantêm concepções alternativas sobre o pensamento evolutivo (GREGORY; ELLIS, 2009). Os testes piloto, dessa forma, apontaram que o instrumento não tinha problemas de construção que dificultassem a resposta por alguém com certo domínio do conhecimento evolutivo.

Para o instrumento final, optou-se por retirar a alternativa central “não concordo nem discordo”, a fim de evitar a tendência central nas respostas. A escala do tipo Likert de 4 pontos foi adotada, apresentando uma série de vantagens, como, por exemplo, a não ambiguidade das categorias de respostas e a possibilidade do respondente se posicionar em relação a cada afirmação do instrumento.

Outro empecilho averiguado durante os estudos piloto foi o tempo. O questionário foi projetado para ser completado no início e no final de cada edição do curso, em mais ou menos 30 minutos. Considerando que o Curso de Biologia Evolutiva possui um tempo limitado e condensado, seria contraproducente ter muito de seu espaço consumido nesta etapa da pesquisa. Os respondentes também se mostraram cansados com um questionário deste tamanho, uma vez que muitos instrumentos não foram preenchidos completamente. Dessa forma, o instrumento foi reduzido para 21 itens, ainda mantendo os mesmos três eixos.

Cabe ressaltar que as alterações ocorridas a partir destes dois testes piloto foram feitas pelo autor desta pesquisa, mas em constante discussão com alguns proponentes do Curso de Biologia Evolutiva, que auxiliaram nas modificações. O trabalho conjunto de pós-graduandos oriundos de diferentes tradições de pesquisa sobre evolução biológica mostrou ser uma rica experiência no aperfeiçoamento do instrumento.

Após as reformulações feitas em função destes dois testes piloto, um banco de questões com 42 afirmativas foi construído, sendo formado por duas questões para cada conceito/concepção mobilizada no instrumento elaborado originalmente (Quadro 9). A maioria dos itens já possuía duas versões criadas conjuntamente. Aqueles conceitos e

concepções que não possuíam dois itens foram complementados pelo autor da tese a partir das referências bibliográficas da área. Assim, por exemplo, o item A mobiliza a concepção de que “A seleção natural gera adaptações ótimas” e o banco de questões possui duas versões para este item. O mesmo ocorre para os itens B, C e, assim, sucessivamente. Com isso esperava-se que, após a validação de conteúdo, uma questão referente a cada item com a melhor avaliação pelos juízes fosse selecionada para compor o questionário validado.

Quadro 9. Conceitos e concepções contemplados em cada item do questionário

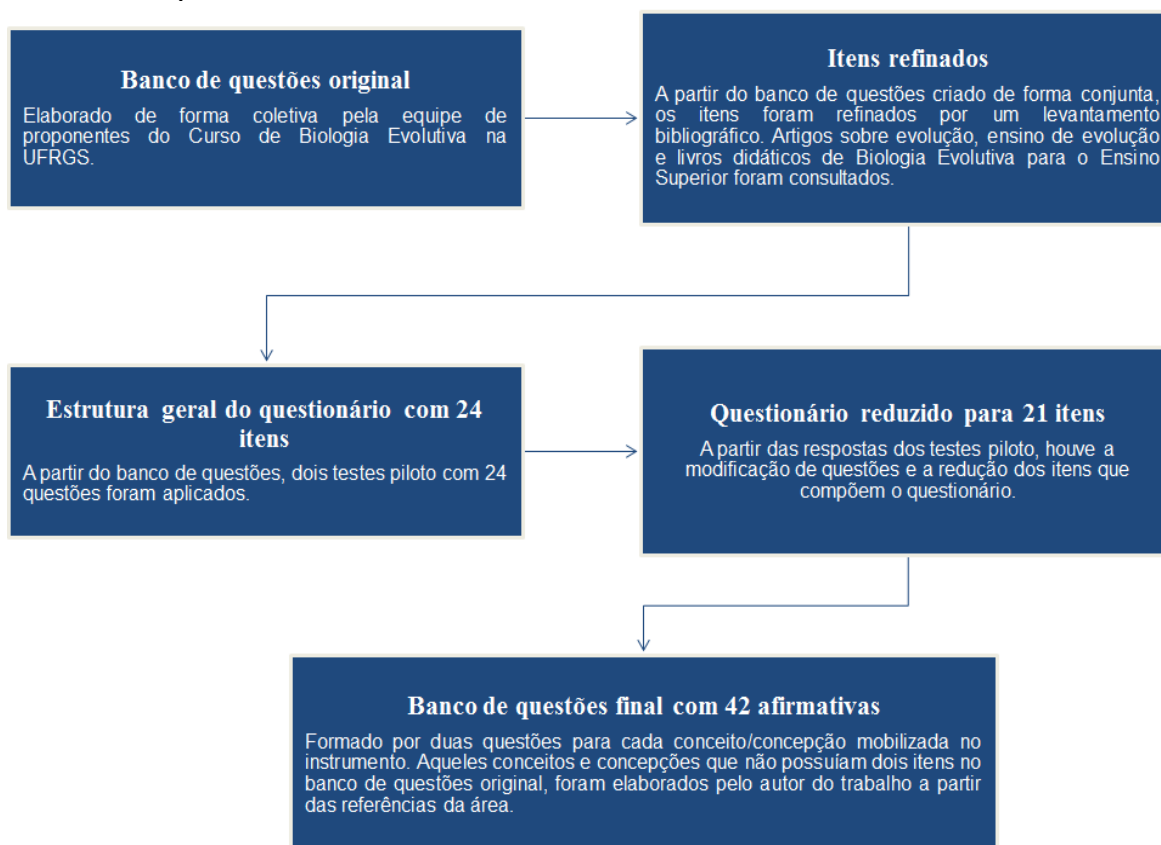
Item	Conceitos e concepções contempladas	Referências Consultadas
<u>Concepções alternativas</u>		
A)	A seleção natural gera adaptações ótimas.	Gregory, 2009
B)	Concepção transformacional de evolução.	Caponi, 2005
C)	A seleção natural dá aos organismos o que eles precisam.	Alters e Nelson, 2002
D)	Evolução = seleção natural.	Gregory, 2009
E)	Deriva genética como um mecanismo alternativo à seleção natural.	Nehm e Schonfeld, 2008
F)	Conotação de progresso na evolução.	Shanahan, 2000
G)	A seleção natural atua para beneficiar as espécies.	Gregory, 2009
H)	As teorias tornam-se fatos quando são bem suportadas.	Nehm e Schonfeld, 2008
D)	A ausência de fósseis intermediários refuta a evolução.	Nehm e Schonfeld, 2008
J)	A ciência é imutável.	Gil-Pérez <i>et al.</i> , 2001
<u>Pluralismo evolutivo</u>		
K)	Relação entre desenvolvimento e evolução.	West-Eberhard, 2003
L)	Genômica e evolução.	West-Eberhard, 2003
M)	Taxas evolutivas.	Benton, 2003
N)	Irradiações evolutivas e extinções.	Benton, 2003
O)	Ancestralidade comum.	Reece <i>et al.</i> , 2015
P)	Relação entre microevolução e macroevolução.	Nadelson e Southerland, 2009

<u>Interpretação de filogenias</u>		
Q)	Leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum.	Amorim, 2002
R)	Grupos modernos podem originar outros grupos modernos.	Gregory, 2008
S)	Em uma filogenia, o ramo longo indica que o táxon mudou pouco desde que divergiu.	Gregory, 2008
T)	Correlacionar o parentesco com a proximidade espacial dos nós terminais.	Meir <i>et al.</i> , 2007
U)	Táxons que aparecem perto da ponta ou no lado direito da filogenia são mais evoluídos que os outros grupos da árvore.	Gregory, 2008

FONTE: Elaboração própria

A Figura 12 apresenta um fluxograma que sistematiza o processo de desenvolvimento do instrumento e do banco de questões.

Figura 12. Fluxograma do processo de desenvolvimento do instrumento de pesquisa e do banco de questões



FONTE: Elaboração própria

7.2 Validação de conteúdo do questionário de pesquisa

A grande amplitude de temas explorados pelo questionário torna metodologicamente desafiadora a validação de conteúdo. Com exceção dos itens relacionados com interpretação de filogenias, as dimensões dos outros elementos abrangem mais de um constructo, englobando vários aspectos sobre evolução biológica. São abordados temas amplos nos itens relacionados com *concepções alternativas e pluralismo evolutivo*, como seleção natural, macroevolução, biologia do desenvolvimento, genômica, paleontologia, natureza da ciência, entre outros.

A maioria dos investigadores em ensino de ciências tende a considerar medidas de consistência interna, como o teste alpha de Cronbach, o índice mais aconselhável para a validação de uma escala. Contudo, a análise deste teste leva em conta que os itens meçam aspectos de um mesmo constructo (MAROCO; GARCIA-MARQUES, 2006). O fato de o instrumento aqui desenvolvido ser multidimensional, mesmo dentro dos eixos elencados, dificulta a sua validação através de medidas de consistência interna como o teste alpha de Cronbach.

Além das estatísticas correlacionais, que adequadamente respondem à validade de conteúdo, foi desenvolvido por Hernández-Nieto (2002) o chamado Coeficiente de Validade de Conteúdo (CVC). A confiabilidade deste coeficiente ocorre através de avaliadores especialista no tema do instrumento (BALBINOTTI, 2005).

Os especialistas avaliam a qualidade dos itens quanto à clareza de seu conteúdo, além de relacionar o item ao fator que acredita ser representativo, isto é, se cada item constitui uma interpretação adequada do fator que se propõe medir. No caso do questionário de pesquisa em tela, trata-se dos conceitos e das concepções contempladas no quadro 9. Os especialistas ainda avaliam o instrumento como um todo, para ajuizar se o questionário e seus elementos são adequados quanto à clareza e à representatividade (COLUCI; ALEXANDRE; MILANI, 2015).

Foram convidados 20 especialistas para a avaliação do questionário, considerando os seguintes critérios: possuir doutorado e pesquisa sobre evolução biológica; ser professor no ensino superior, com pesquisa e ensino na área de evolução há mais de quatro anos; e não ter contato direto com a pesquisa desta tese de doutorado. O conjunto de juízes convidados ainda reflete uma pluralidade de disciplinas e pesquisas no campo da biologia evolutiva, sendo especialistas das áreas da

paleontologia, biologia do desenvolvimento, ensino de evolução, biologia animal, botânica, biologia molecular, microbiologia, genética, ecologia, filosofia e história da biologia. Este aspecto foi importante para contemplar o eixo pluralista que o questionário buscou abranger.

O instrumento foi enviado aos 20 especialistas por correio eletrônico, seguido de carta esclarecendo os objetivos da pesquisa. Nesta carta constava também o motivo da escolha daquele sujeito como juiz e uma breve explicação dos conceitos de clareza e representatividade, para que o especialista avaliasse os eixos, os itens e o instrumento como um todo. A avaliação dos juízes ocorreu a partir da mesma escala, com os avaliadores podendo escolher as seguintes respostas: 1 = não representativo/não claro; 2 = necessita de grande revisão para ser representativo/claro; 3 = necessita de pequena revisão para ser representativo/claro; 4 = muito relevante/claro.

Um total de sete avaliadores retornou a avaliação, sendo especialistas com pesquisas sobre genética, biologia animal, ecologia, ensino de evolução, paleontologia, história e filosofia da biologia. Um dos avaliadores não preencheu o questionário completamente e foi desconsiderado na análise do coeficiente de conteúdo. Apesar do baixo retorno, este número de avaliadores é adequado, uma vez que a literatura aconselha que a avaliação de conteúdo seja feita por um comitê composto por cinco a dez juízes especialistas na área do instrumento de medida (LYNN, 1986; RUBIO *et al.*, 2003).

A partir da análise teórica das 42 afirmativas pelos seis avaliadores que preencheram completamente o instrumento de avaliação, calculou-se o coeficiente de validade de conteúdo para cada item (CVCi). A seguir, apresento a fórmula do CVC proposto por Hernández-Nieto (2002) e a sua descrição:

Média de cada item - soma dos valores obtidos na escala de avaliação, pelo número de juízes (J):

$$Mx = \frac{\Sigma x}{J}$$

CVC do item - média do item pelo valor máximo que o item pode alcançar:

$$CVCi = \frac{Mx}{Vma}$$

Cálculo do erro Pe para a polarização dos juízes, sendo N_j (número de juízes):

$$Pe = \left(\frac{1}{N_j}\right)^{N_j}$$

CVC total - média do CVC do item subtraído da média da constante Pe :

$$CVCt = M_{cvc} - M\left(\frac{1}{N_j}\right)^{N_j}$$

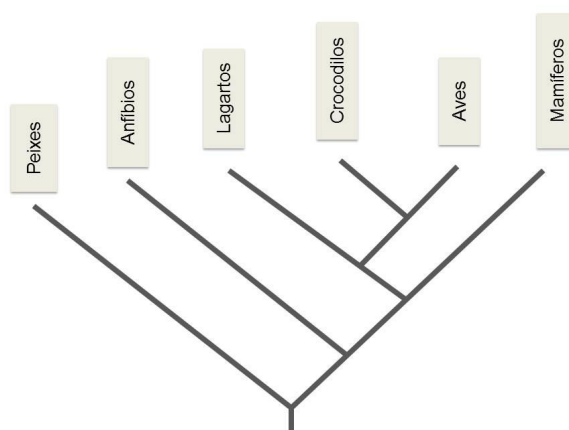
Conforme sugestão de Hernández-Nieto (2002), apenas foram aceitos valores de concordância $> 0,8$. As questões que tiveram valores menores que 0,8 foram descartadas. No quesito clareza, duas questões foram descartadas por obter $CVC < 0,80$. Estas questões estavam relacionadas aos itens B e K. As outras questões formuladas para os itens B e K obtiveram, respectivamente, $CVC = 0,96$ e $CVC = 0,92$ para clareza, e foram selecionadas. Apesar de ter obtido $CVC > 0,80$, a questão relacionada ao item K que foi selecionada também recebeu sugestões de alteração de redação, visando dar maior clareza, e estas foram acatadas.

O critério para a seleção do restante das questões de cada item foi a obtenção de *maior* coeficiente de validade de conteúdo quanto à clareza e representatividade, seguido da ausência de indicações de reformulação da redação por parte dos juízes.

Na validação dos itens relacionados com *interpretação de filogenias* nenhuma questão obteve $CVC < 0,80$, seja no quesito clareza ou representatividade. Apesar disso, todos os itens deste eixo foram modificados para atender a um avaliador que sugeriu substituir o cladograma que baseia as afirmativas. Apesar das questões serem representativas e claras, o avaliador ponderou que a filogenia utilizada poderia causar confusão para os respondentes que tivessem conhecimento da diversidade taxonômica do registro fóssil e das relações de parentescos mais aceitas atualmente para os vertebrados.

Ainda que os itens Q, R, S, T e U não tenham como objetivo avaliar esse tipo de conhecimento, mas a capacidade de interpretar filogenias, o cladograma foi modificado para atender a sugestão do avaliador (Figura 13).

Figura 13. Filogenia simplificada dos vertebrados utilizada para responder aos itens Q, R, S, T e U do questionário validado



FONTE: Elaboração própria

Apesar da alteração no cladograma, a mesma estrutura de redação dos itens foi mantida. Isso foi possível porque a única mudança ocorrida na redação foi em relação aos táxons em questão. Desse modo, com base na análise teórica e sugestões dos juízes, as questões que tiveram o melhor coeficiente de clareza e representatividade para cada um dos itens foram selecionadas, compondo o questionário final com 21 questões (Tabela 3).

Tabela 3. Cálculo do CVC dos itens selecionados para o questionário validado, em relação à clareza e representatividade. Valor de erro $Pe = 0,00002$

Item	Clareza		Representatividade		Modificação na redação
	Média	CVC	Média	CVC	
A	4	0,99	4	0,99	Não
B	3,83	0,96	4	0,99	Não
C	3,83	0,96	4	0,99	Não
D	3,67	0,92	4	0,99	Não
E	3,83	0,96	3,83	0,95	Não
F	3,83	0,96	4	0,99	Não
G	3,83	0,96	4	0,99	Não
H	3,83	0,96	3,83	0,95	Não
I	3,83	0,96	4	0,99	Sim
J	3,83	0,96	4	0,99	Não
K	3,67	0,92	3,83	0,95	Sim
L	3,83	0,96	4	0,99	Não
M	3,83	0,96	4	0,99	Não
N	3,83	0,96	4	0,99	Não
O	4	0,99	4	0,99	Não

P	4	0,99	4	0,99	Não
Q	3,83	0,96	4	0,99	Não
R	4	0,99	4	0,99	Sim
S	4	0,99	4	0,99	Sim
T	4	0,99	3,83	0,95	Sim
U	3,83	0,96	4	0,99	Sim
CVCt		0,97		0,99	

FONTE: Elaboração própria.

Na avaliação global, o questionário e seus eixos foram considerados adequados quanto à clareza e representatividade por 100% dos juízes e, portanto, considerado validado. O quadro 10 mostra a redação dos 21 itens do questionário final já validado.

Quadro 10. Questionário final, já validado, com as afirmações que expressam concepções alternativas, pluralismo evolutivo e interpretação de filogenias. Os respondentes pontuam seu grau de concordância/discordância através de uma escala Likert de 4 pontos

Indique o seu grau de concordância/discordância em relação às declarações abaixo
A) A seleção natural produz organismos perfeitamente adaptados aos seus ambientes.
B) A seleção natural atua nos organismos individuais para adaptá-los ao meio ambiente.
C) A capacidade de correr rapidamente em guepardos evoluiu porque essa espécie precisava ser capaz de pegar as suas presas.
D) As mudanças ao longo das gerações em uma população são sempre adaptativas.
E) A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural.
F) As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados.
G) O comportamento dos suricatos de avisar outros indivíduos da aproximação de um predador evoluiu por seleção natural para favorecer a sobrevivência da espécie.
H) Hipóteses científicas tornam-se teorias e, finalmente, com mais evidências, tornam-se fatos bem estabelecidos.
I) A inexistência de registros fósseis para as formas intermediárias, como entre <i>Homo sapiens</i> e outras espécies de hominíneos, pode refutar a teoria evolutiva.
J) A teoria evolutiva atingiu a sua maturidade com a unificação entre o darwinismo e a genética, não sofrendo modificações desde então.
K) A evolução morfológica é limitada por restrições do desenvolvimento e pela história evolutiva das espécies.
L) Não é preciso o surgimento de novos genes para a evolução de novas estruturas fenotípicas.
M) As linhagens de seres vivos evoluem em taxas constantes.
N) Irradiações evolutivas e extinções são importantes processos evolutivos.
O) Há uma série de evidências que embasam a hipótese de ancestralidade comum entre eucariotos e procariotos.
P) Os eventos macroevolutivos (mudanças evolutivas acima das populações) resultam

da soma de vários eventos microevolutivos (mudanças evolutivas no nível das populações).

Q) Segundo a filogenia, os peixes são igualmente aparentados aos lagartos e aos mamíferos.

R) Segundo a filogenia, os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos.

S) Podemos inferir a partir da filogenia que os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados.

T) Segundo a filogenia, os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves.

U) Podemos inferir a partir da filogenia que os anfíbios são menos evoluídos do que as aves e os mamíferos.

FONTE: Elaboração própria

7.3 Os conceitos e as concepções evolutivas contempladas no questionário validado

Concepções alternativas

Os primeiros itens do questionário validado (A, B, C, D e G) expressam concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação. A seleção natural é um dos mecanismos centrais da mudança evolutiva, sendo o principal processo responsável pela evolução das características adaptativas. Alguns estudos sobre ensino de evolução indicam que a seleção natural é geralmente pouco compreendida, mesmo entre estudantes de biologia e professores (GREGORY, 2009; ALTERS; NELSON, 2002).

O item A do questionário expressa a ideia de que a seleção natural gera soluções adaptativas ótimas. Contudo, há muitas razões pelas quais a seleção natural não resulta em soluções adaptativas ótimas em relação ao meio. Os seres vivos são constituídos por características resultantes de um conjunto complexo de *trade-offs*. Uma vez que a fisiologia, a anatomia e o desenvolvimento dos organismos são integrados, a evolução adaptativa é geralmente limitada por características vinculadas ao traço sob seleção (STEARNS, 1989). Dessa forma, restrições de vários tipos (genéticas, ontogenéticas, físicas, energéticas, históricas, etc...) limitam a evolução de características complexas.

Outra razão que impede adaptações ótimas está relacionada às modificações que ocorrem no ambiente populacional, seja por processos autônomos, como as mudanças geológicas, ou então pela própria atividade dos organismos, que agem continuamente sobre o meio em que vivem. Os efeitos seletivos também podem ser “minimizadas” pela ação de outros mecanismos evolutivos, como a deriva genética. Estas são algumas

das razões pelas quais a seleção natural não implica necessariamente em um aumento do valor do *fitness* médio da população até o seu máximo teórico, ou seja, não atua como um fator de otimização (GREGORY, 2009).

O item B expressa uma conhecida concepção alternativa: a ideia de que os organismos individuais podem evoluir (CAPONI, 2005). Para autores como Mayr (2004) e Caponi (2005), uma das rupturas promovidas pelo pensamento darwinista em relação à história natural precedente foi a substituição das explicações transformacionais pelas explicações variacionais de mudança evolutiva. Nas explicações transformacionais, a evolução é entendida como o resultado de transformações ocorridas nos componentes individuais; ou seja, a mudança evolutiva é explicada por meio das transformações de cada indivíduo da espécie. Nas perspectivas variacionais, por sua vez, as mudanças evolutivas são explicadas como consequência das proporções dos componentes das populações. Nesse caso, a evolução biológica é concebida como o resultado das mudanças na proporção de organismos variantes.

Além de carregar uma explicação transformacional, a afirmativa selecionada para o item B ainda acrescenta a ideia de que a seleção natural “adapta” os organismos ao meio ambiente, como uma resposta à necessidade dos organismos individuais. Tal concepção não é aceita pelos evolucionistas porque não são os indivíduos que se adaptam através da seleção natural. Em vez disso, a seleção envolve mudanças na proporção de características presentes nas populações ao longo do tempo. Essa modificação na proporção, e não uma alteração dos próprios organismos, gera mudanças no valor médio de um traço particular na população. Em resumo, os organismos são alvos da seleção natural, mas não são eles que evoluem ou se adaptam; são as populações que evoluem.

O item D iguala a ideia de evolução à seleção natural, deixando de lado todas as mudanças populacionais que não são adaptativas. Há uma série de mudanças evolutivas que não ocorrem por seleção natural. Além disso, uma vez que a afirmação reforça a ideia de que toda a mudança é adaptativa, ela tem como consequência que praticamente todas as características dos organismos são adaptações, constituindo um adaptacionismo estrito que é visto como problemático por muitos biólogos e filósofos (GODFREY-SMITH, 2001).

Os itens C e G exploram as tentadoras tendências de pensar que a seleção natural pode prever o que uma espécie ou um indivíduo “precisa” para sua sobrevivência. No

entanto, a seleção natural não tem qualquer intenção, nem envolve esforços, tentativas ou vontades. É tentador pensar que a seleção natural promove comportamentos para favorecer a sobrevivência das espécies, mesmo que sejam desfavoráveis ou coloquem em risco indivíduos da população. Contudo, esta impressão está incorreta, e a evolução de comportamentos altruístas (como presente nos suricatos sentinelas) é explicada por modelos como o de seleção de parentesco.

Além dos conceitos de seleção natural e adaptação, alguns estudos sobre ensino de evolução têm discutido a presença de concepções alternativas em relação a outros processos evolutivos. O item E do questionário busca expressar a concepção alternativa de que a deriva genética é um mecanismo alternativo à seleção natural (NEHM; SCHONFELD, 2008). O item F também expressa uma conhecida concepção alternativa, relacionada com a ideia de que a evolução tem um progresso/aprimoramento absoluto ao longo do tempo, uma vez que afirma a tendência de complexidade no processo evolutivo. Este item expressa um padrão geral ou meta progressiva na evolução que transcende os detalhes particulares da história da vida na Terra. Esse tipo de conotação progressiva não é aceita pelos evolucionistas (SHANAHAN, 2000).

Ainda em relação ao eixo concepções alternativas, determinados itens buscam contemplar concepções sobre natureza da ciência que são diretamente relacionadas com o pensamento evolutivo. Embora eu discordo que exista uma natureza da ciência (no singular) e reconheça as discordâncias substanciais entre filósofos, sociólogos e historiadores sobre aspectos gerais da ciência, uso esta frase com base na convicção de que tais discordâncias têm pouco ou nenhum lugar nas questões que o questionário busca avaliar. Creio que as concepções expressas nos item H, I e J são consideradas problemáticas por boa parte dos pesquisadores que tomam a ciência como objeto de investigação.

Por exemplo, encontramos muitas definições de “teoria científica” na literatura. Entretanto, dificilmente algum filósofo, sociólogo ou historiador da ciência aceitaria que os fatos “esperam” as teorias para serem estabelecidos. A afirmação do item H justamente expressa tal sobreposição ao afirmar que somente depois que os cientistas determinam que as teorias são bem suportadas, eles podem se referir a elas como fatos. Esta afirmação estabelece uma série gradual de menor a maior grau de certeza entre teorias e fatos, como se os cientistas, a partir do desenvolvimento teórico, chegassem aos fatos “concretos”. Tal concepção está intimamente relacionada com a ideia de que a

evolução é “somente” uma teoria, como se isso delegasse um estatuto epistêmico inferior ao conhecimento evolutivo.

Outra concepção relacionada com natureza da ciência é a de que a biologia evolutiva busca por fósseis intermediários ou “elos perdidos” para reconstruir a história da vida. O item I, neste sentido, afirma que a ausência de fósseis intermediários é problemática para a teoria evolutiva. Os paleontólogos, no entanto, não esperam encontrar fósseis intermediários para reconstruir a história da vida e há uma série de razões para isso. Em primeiro lugar, a Terra é muito grande para ser explorada e os paleontólogos precisam se contentar com amostras. Além disso, nem todos os organismos são fossilizados, havendo desvios sistemáticos de quais organismos podem virar fósseis. Os paleontólogos estão mais interessados em caracteres compartilhados por ancestralidade comum. São esses dados que ajudam a contar a história evolutiva e não necessariamente a procura por fósseis intermediários (MEAD, 2009).

Esta questão também envolve a forma como a pesquisa evolutiva usa evidências para testar hipóteses e gerar conclusões sobre a história da vida. A ausência de fósseis intermediários não refuta a teoria evolutiva porque há uma série de observações e evidências indiretas que embasam as conclusões históricas da biologia evolutiva. Fósseis, morfologia comparada e sequências de DNA; estratigrafia e datação radiométrica para estabelecer eventos no tempo; embriologia, comportamento, fisiologia e bioquímica, entre outros elementos, são utilizados para as inferências históricas da teoria evolutiva (MEAD, 2009).

Pluralismo evolutivo

Além das concepções alternativas, o questionário também é utilizado para expressar alguns conceitos relacionados com biologia do desenvolvimento, genômica, paleobiologia e macroevolução, compondo um pluralismo teórico do conhecimento evolutivo.

O item K do questionário afirma que “A evolução morfológica é limitada por restrições do desenvolvimento e pela história evolutiva das espécies”. Os organismos são entidades históricas e integradas, de modo que muitas das características neles observadas são resultantes de restrições que afetam as interações dos elementos que formam este todo integrado. Negar isso remete ao ideal de que a evolução deve ter

restrições mínimas, sejam elas históricas, estruturais ou relativas ao desenvolvimento biológico (GOULD; LEWONTIN, 1979). Um corolário importante das pesquisas sobre biologia evolutiva do desenvolvimento é justamente entender o modo como processos ontogenéticos geram restrições no surgimento de novas variantes fenotípicas (LALAND *et al.*, 2015).

O item L trata de uma questão relativa à genômica e evolução. Os estudos genômicos têm mostrado que os genes podem ser cooptados ou compartilhados com outras vias biológicas, não sendo obrigatório o surgimento de novos genes para a evolução de novas estruturas fenotípicas (WEST-EBERHARD, 2003). Essa afirmação também contrasta com a definição clássica de evolução, como mudança na composição genética das populações ao longo do tempo (DOBZHANSKY, 1937, p. 11–12).

O item M estabelece que “As linhagens de seres vivos evoluem em taxas constantes”. A taxa de mudança evolutiva, no entanto, pode ser relativamente mais rápida ou mais lenta a depender de alguns fatores ontogenéticos e/ou ecológicos das linhagens (ERWIN, 2011). Discussões mais recentes da biologia evolutiva tem superado o gradualismo estrito característico da síntese evolutiva. Tanto a teoria do equilíbrio pontuado quanto a biologia evolutiva do desenvolvimento apresentam interpretações diferentes de um padrão gradualista para algumas linhagens. Dessa forma, não se trata de negar o gradualismo, mas reconhecer que há um pluralismo de padrões que representam a história da vida quando consideramos os mais variados táxons.

O item N afirma que as taxas de extinção e especiação são processos evolutivos de direito próprio e o item O afirma que Eucariotos e Procariotos compartilham um ancestral em comum. Os domínios da vida compartilham um conjunto de características que reforçam a hipótese de ancestralidade comum, possuindo semelhanças em relação à RNA polimerase, ribossomos e código genético (DOOLITTLE; BAPTESTE, 2007).

Por fim, o item P endossa a tese “extrapolacionista” de que a microevolução é suficientemente responsável por padrões de larga escala na história da vida. No entanto, esse posicionamento é desafiado pelos avanços da paleobiologia e da biologia do desenvolvimento, as quais sugerem que a macroevolução não é redutível a processos microevolutivos (PADIAN; ANGIELCZYK, 2007).

Dessa forma, este eixo contempla determinadas discussões precedentes nesta pesquisa, sobre os pressupostos da síntese evolutiva e a perspectiva teórica pluralista da evolução. Algumas delas são: o gradualismo estrito (item M), a extrapolação de explicações microevolutivas para padrões macroevolutivos (item P), a importância do desenvolvimento biológico para a evolução morfológica (item K) e a contraposição a uma concepção genecentrada de evolução (item L).

Interpretação de filogenias

As árvores filogenéticas são a representação mais direta do princípio da ancestralidade comum - cerne da teoria evolutiva -, sendo essenciais para interpretar adequadamente padrões e processos evolutivos (GREGORY, 2008). Desse modo, o interesse de incluir itens sobre filogenias no questionário não está relacionado ao conhecimento técnico da inferência filogenética, mas a uma compreensão mais prática acerca do que as árvores representam e, tão importante quanto, acerca do que elas não representam.

O questionário abrange cinco afirmativas feitas para uma árvore evolutiva simples dos vertebrados (Figura 13). As afirmativas apresentam concepções alternativas que são comumente encontradas na literatura, com exceção do item Q, que denota uma leitura correta das relações de parentesco. Tais questões são inter-relacionadas e, portanto, sobrepõem-se até certo ponto, mas cada uma pode ser ilustrada usando exemplos distintos.

Se o item Q expressa uma leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum, o item T estabelece que os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves. Para estabelecer essa leitura da filogenia, o respondente deve interpretar a árvore na ordem dos nós terminais e não a partir dos ancestrais em comum (nós internos).

Além de resultar em interpretações incorretas sobre as relações de parentesco, a leitura da filogenia a partir dos nós terminais pode gerar uma falsa impressão de tendência evolutiva entre organismos contemporâneos, como se pudéssemos estabelecer a ordem peixes → anfíbios → “répteis” → aves → mamíferos. A afirmativa do item R justamente estabelece essa ideia, ao afirmar que os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos.

Ao concordar com o item R, fica explícito que os lagartos descendem de um ancestral pertencente a um “estágio anfíbio”, o qual, por sua vez, descende de um ancestral do “estágio peixe”. Contudo, mesmo se os aspectos gerais dos ancestrais destes grupos possuam semelhanças com “anfíbios” e “peixes”, eles não pertencem a estes grupos contemporâneos. Os peixes, anfíbios e lagartos não são descendentes um dos outros, sendo parentes contemporâneos que surgiram muito tempo depois que suas respectivas linhagens divergiram de um ancestral comum.

Relacionada com esta concepção alternativa é a suposição de que o ancestral de dois grupos modernos deve ser muito semelhante ou talvez até o mesmo de um destes grupos (GREGORY, 2008). O item S, neste sentido, afirma que “os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados”. Alguns autores acreditam que os alunos possuem este tipo de conclusão quando o comprimento do ramo é muito longo e não apresenta ramificações, como é o caso dos grupos externos (posição que os peixes ocupam na filogenia).

No entanto, o comprimento do ramo não indica a quantidade de mudanças evolutivas que ocorreram (BAUM; SMITH; DONOVAN, 2005)⁴³. E qualquer um dos grupos contemporâneos tem o mesmo tempo de mudanças, uma vez que compartilham o mesmo ancestral comum mais remoto. Como resultado, qualquer noção de que uma das linhagens contemporâneas da árvore é a “mais evoluída”, ou que tenha tido mais tempo para acumular diferenças, não pode ser interpretada pela filogenia.

Além disso, os peixes são o grupo de vertebrados mais numerosos e diversificados (REECE *et al.*, 2015). E mesmo se pensarmos em termos de morfologia, temos exemplos de peixes muito distintos de um corpo fusiforme – a forma presumida de um ancestral remoto dos vertebrados. Um exemplo conhecido são as espécies de cavalo-marinho. Desse modo, é enganosa a ideia de que os peixes contemporâneos mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados.

Muitas destas concepções não parecem apenas relacionadas à interpretação das filogenias, mas carregam também concepções de progresso. Frequentemente os seres vivos contemporâneos são apresentados “enfileirados”, remontando a ideia influente de uma *Scala Naturae* - como uma sequência linear de modificações dos organismos

⁴³ Algumas filogenias podem ser calibradas no tempo ou refletir as distâncias evolutivas entre os grupos. Não é este o caso da filogenia utilizada no questionário, que representa apenas as relações de parentesco.

(PAESI, 2018). A afirmativa U expressa essa sequência linear, buscando reproduzir esse tipo de concepção.

Ponderações finais

Os especialistas que avaliaram o questionário apresentaram um alto índice de concordância no processo de validação. A exaustiva discussão do questionário no grupo proponente do Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS, seguido da revisão da literatura e de dois estudos piloto antes de se chegar à versão enviada aos juízes, pode ter contribuído para este índice. Lembrando que no conjunto do instrumento houve apenas a exclusão de duas questões e a seleção daquelas que obtiveram melhores coeficientes de validade de conteúdo.

Deve-se considerar, contudo, as limitações da validação de conteúdo. Ainda que os eixos *concepções alternativas e interpretação de filogenias* possam ter contemplado uma parte considerável dos aspectos salientados pela literatura em ensino de evolução, os itens relacionados ao *pluralismo evolutivo*, por sua própria natureza, acabam por não esgotar esta dimensão. Como tal, deve-se reconhecer que o instrumento desenvolvido não foi concebido para gerar retratos completos do que os alunos sabem sobre evolução. Este questionário deve ser considerado um instrumento que tem o objetivo de avaliar aspectos que esta pesquisa e os proponentes do Curso de Biologia Evolutiva consideraram importantes no contexto do curso. Tais escolhas, obviamente, também estão baseadas na literatura sobre ensino de evolução.

Para corroborar a validade de conteúdo foi utilizado apenas o cálculo do coeficiente de validação de conteúdo (CVC). Deve-se admitir, portanto, que apesar do estudo apresentar uma etapa de desenvolvimento detalhada, ainda se faz necessário investir em uma investigação mais aprofundada das características psicométricas do instrumento. Espera-se que a discussão dos conceitos e das concepções contempladas no questionário validado possa abrir possibilidades posteriores de melhorias na investigação deste instrumento e de seus eventuais limites.

**8 AS RESPOSTAS DOS ALUNOS QUANDO CHEGAM AO
CURSO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE
GRADUANDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E PÓS-
GRADUANDOS**

Pesquisas realizadas nas últimas quatro décadas revelaram que alunos com diferentes graus de formação acadêmica aderem a concepções alternativas relacionadas com princípios evolutivos básicos (GREGORY, 2009; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). É razoável supor que os estudantes de pós-graduação da área biológica tenham uma maior compreensão dos processos evolutivos, mas alguns estudos apresentaram evidências que contradizem esta suposição (ALTERS; NELSON, 2002; GREGORY; ELLIS, 2009).

Como o Curso de Biologia Evolutiva é frequentado por alunos de diferentes níveis acadêmicos sobre evolução biológica – desde estudantes do início da graduação em ciências biológicas a pós-graduandos com pesquisa na área -, uma questão interessante de pesquisa é investigar como estes alunos se posicionam em relação às afirmações do questionário.

É preciso lembrar que este instrumento de pesquisa, discutido em detalhes no capítulo anterior, não pretende averiguar diretamente o aprendizado dos alunos. Isso não impede, contudo, que o instrumento seja usado para inferir o posicionamento dos estudantes em relação a algumas afirmações sobre o pensamento evolutivo. Dessa forma, o objetivo deste capítulo é comparar as respostas dos alunos que frequentam o curso, levando em conta a formação acadêmica sobre evolução biológica destes estudantes. Afinal, há alguma diferença nas respostas de alunos que, em princípio, tiveram mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica? E se há diferença, em relação a quais questões desenvolvidas no questionário de pesquisa?

Cabe retomar, portanto, para fins de comparação, os grupos eleitos nesta pesquisa para diferenciar a formação inicial em evolução biológica⁴⁴:

(i) *Ciências Biológicas (início)*: são considerados deste grupo os estudantes que estão no máximo até o segundo ano da graduação e responderam no questionário que não frequentaram disciplinas sobre evolução biológica;

(ii) *Ciências Biológicas (avançado)*: são considerados avançados os estudantes a partir do terceiro ano de graduação que responderam no questionário já ter frequentado alguma disciplina sobre evolução biológica, assim como os alunos formados em ciências biológicas;

⁴⁴ Não foram considerados na análise os estudantes de “outros cursos”, pois além de ser um grupo heterogêneo (de áreas muito distintas), também estão em um número muito menor que os grupos elencados.

(iii) *Pós-Graduação*: são considerados os estudantes formados em ciências biológicas que são ou já foram vinculados a cursos de pós-graduação *stricto sensu* da área biológica ou de ensino/educação.

A tabela 4 apresenta o número de estudantes que preencheram todos os itens do questionário na seção em que são apresentadas as afirmativas em escala do tipo Likert. Este número considera as respostas completas obtidas nas edições 2019/1 e 2019/2 do curso, quando o questionário já estava validado. O mesmo questionário foi entregue no começo destas edições, antes de iniciar qualquer atividade, e após a última atividade do curso. Como nem todos os alunos frequentaram as atividades até o final, e muitos questionários foram preenchidos de forma incompleta, o número de estudantes pós-curso é um pouco menor.

Tabela 4. Número de estudantes (nas edições 2019/1 e 2019/2) que preencheram todos os itens do questionário, por grupo de formação acadêmica

Grupos	Pré-curso	Pós-curso
Ciências Biológicas (início)	46	39
Ciências Biológicas (avançado)	42	30
Pós-Graduação	34	26
Total	122	95

FONTE: Elaboração própria.

É importante ressaltar que não foram considerados nesta análise os questionários incompletos, preenchidos por estudantes que já participaram de alguma edição anterior do curso, assim como os questionários de alunos de graduação de outros cursos (que não seja ciências biológicas).

A tabela 5 apresenta uma comparação entre os estudantes que preencheram completamente o questionário de pesquisa, levando em conta que sexo feminino, não possuir religião e IES pública são os atributos predominantes entre os participantes.

Tabela 5. Distribuição dos respondentes que preencheram completamente o questionário de pesquisa nas edições 2019/1 e 2019/2, em relação a sexo, religião e IES de origem. Acima, os respondentes pré-curso e, abaixo, os respondentes pós-curso

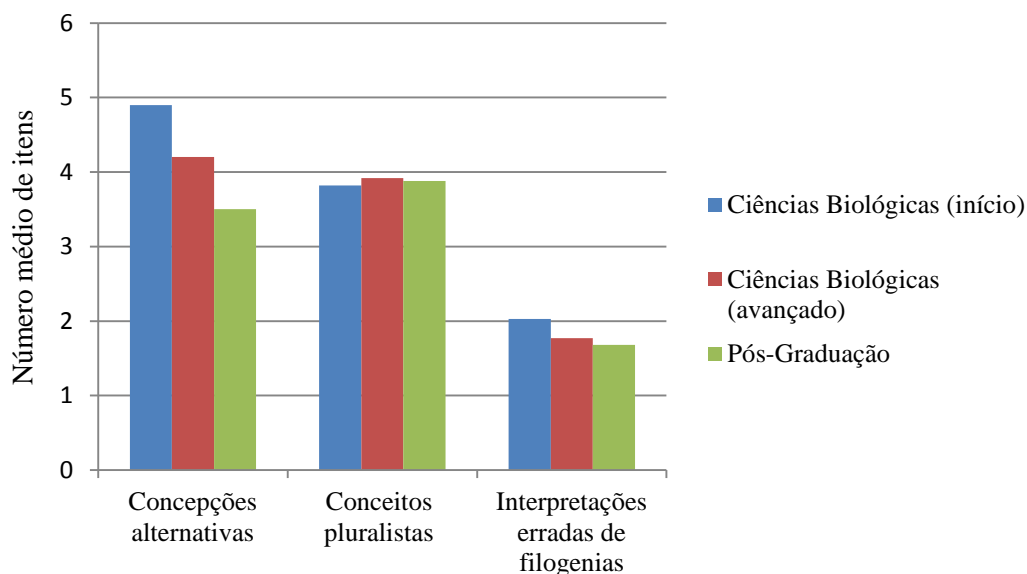
Grupos (pré-curso)	Sexo feminino	Sem religião	IES pública
Ciências Biológicas (início)	82,6%	80,5%	87%
Ciências Biológicas (avançado)	62%	81%	60%
Pós-Graduação	73,5%	76,5%	62%

Grupos (pós-curso)	Sexo feminino	Sem religião	IES pública
Ciências Biológicas (início)	77%	82%	89,7%
Ciências Biológicas (avanzado)	60%	90%	73,3%
Pós-Graduação	80,7%	69,2%	57,7%

FONTE: Elaboração própria

As respostas das afirmativas foram analisadas de forma binária, categorizando os alunos que marcaram concordo plenamente e concordo parcialmente como “concordantes” com o item e aqueles que discordaram parcialmente e totalmente como “discordantes”. Desse modo, pôde-se calcular o número médio de respostas em cada grupo para os itens sobre as concepções alternativas, interpretações erradas de filogenias e nas questões relacionadas aos conceitos pluralistas de evolução (Figura 14).

Figura 14. Os estudantes endossam menos concepções alternativas à medida que possuem mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica. O mesmo padrão é observado em relação às interpretações erradas de filogenias, embora de modo menos marcado. Este padrão não é encontrado no eixo sobre conceitos pluralistas de evolução, no qual todos os grupos estão próximos



FONTE: Elaboração própria

A primeira faixa da figura 14 mostra a distribuição de cada grupo quanto ao número médio de concepções alternativas. Este número foi calculado pela média de concordância dos itens A-J, uma vez que todos estes itens expressam concepções consideradas alternativas, como discutido no capítulo anterior.

A segunda faixa apresenta a distribuição de cada grupo quanto aos conceitos pluralistas. Alguns itens deste eixo apresentam afirmações que vão de encontro a uma concepção pluralista de evolução, como o item P, que estabelece o *continuum* entre

micro e macroevolução. Desse modo, o gráfico mostra o *número médio de respostas que são consideradas consonantes com uma concepção pluralista de evolução*. A depender do item, a concordância pode levar a um conceito pluralista (itens K, L, N e O), enquanto em outros itens é a discordância que endossa uma concepção pluralista de evolução (itens M e P).

A última faixa do gráfico mostra a distribuição de cada grupo em relação às interpretações de filogenias que são consideradas problemáticas. Este eixo possui apenas um item em que a concordância é considerada uma interpretação correta – o item Q, que endossa uma leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum.

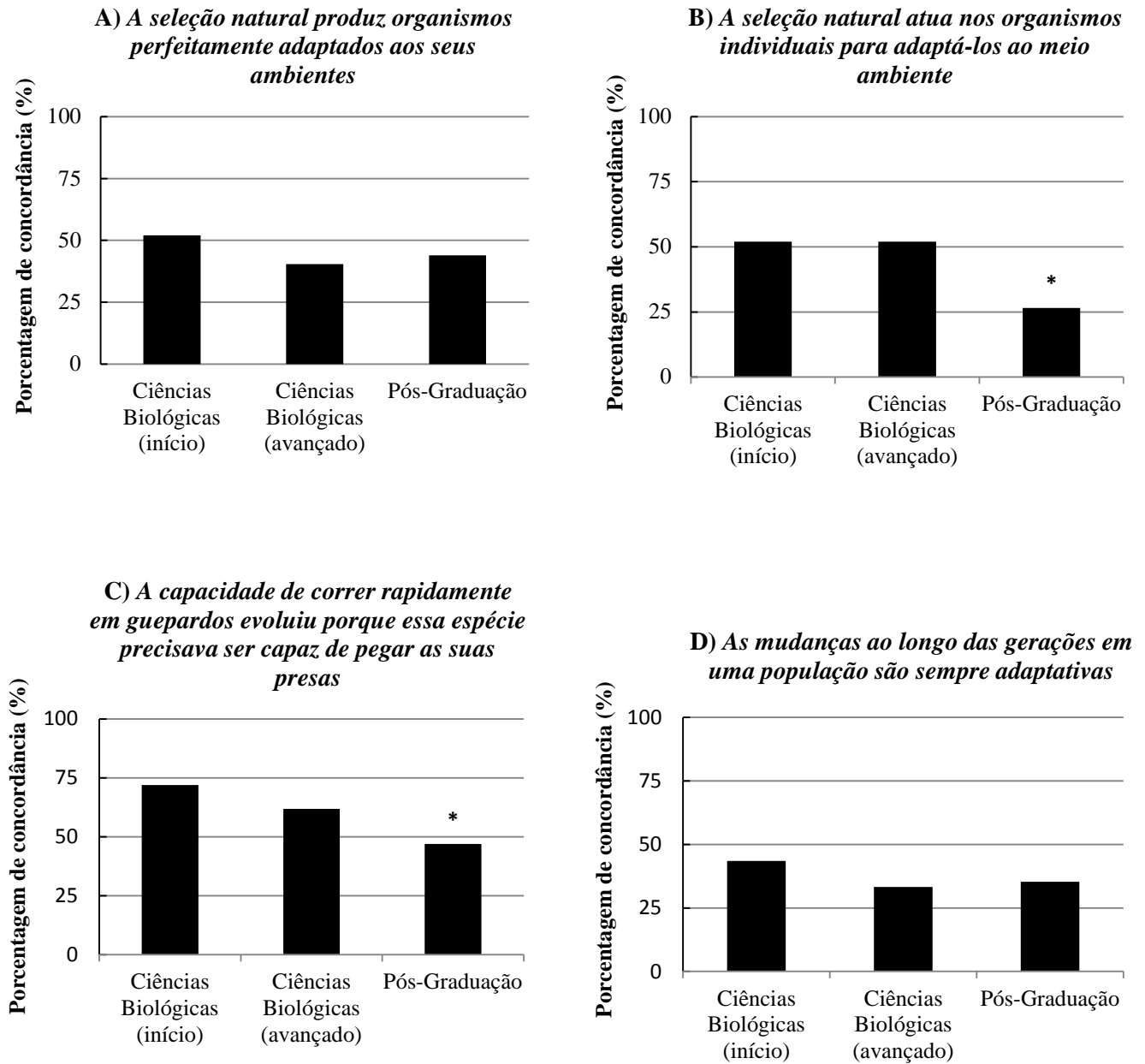
Como pode ser interpretado pelo gráfico, há uma redução nas concepções alternativas conforme os alunos possuem mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica. No entanto, todos os grupos ainda mantêm uma média considerável de concordância no eixo concepções alternativas. O mesmo padrão é observado no eixo “interpretações de filogenias”, embora a diferença entre os grupos seja menos marcada. Cabe lembrar que o eixo concepções alternativas possui 10 itens, ao passo que o eixo interpretações de filogenias possui 5 itens, o que pode explicar esta diferença.

Seria esperado que os alunos mais avançados na graduação em ciências biológicas e os pós-graduandos expressassem mais conceitos pluralistas, pois em princípio entraram em contato com uma maior variedade de explicações evolutivas. Contudo, isso não é encontrado no número médio de conceitos pluralistas endossados por estes grupos, que não diferem entre si.

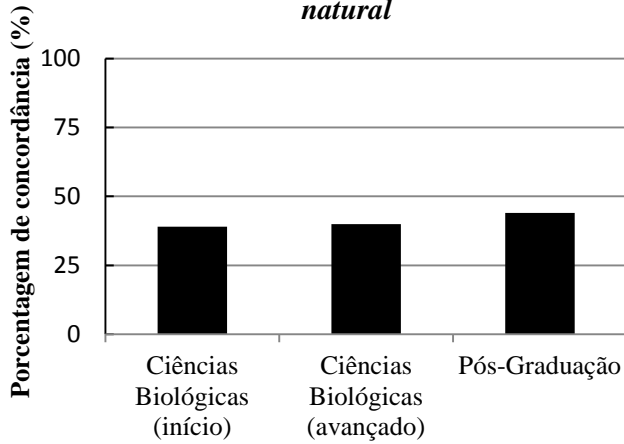
Para aprofundar as relações entre as frequências identificadas em cada item individualmente, foram realizados testes Qui-Quadrado (χ^2) comparando a distribuição das respostas entre os grupos de estudantes. Estes testes foram realizados através do pacote de software SPSS – versão 18.0.

Começamos pela análise dos itens do eixo *concepções alternativas*: na figura 15 são apresentadas as porcentagens de concordância para cada um dos itens deste eixo, segundo grupo de formação acadêmica.

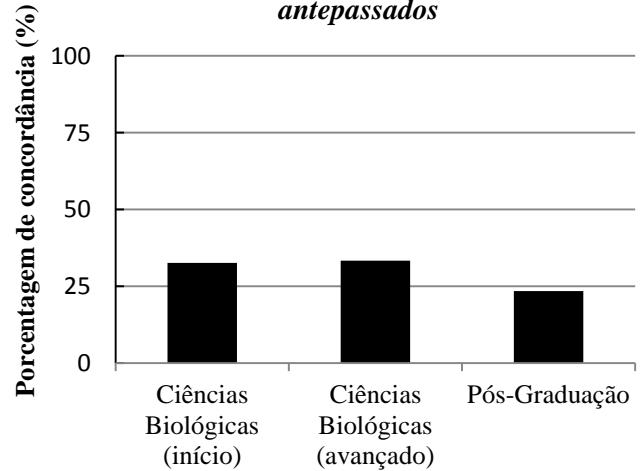
Figura 15. Porcentagem de concordância em relação aos itens do eixo concepções alternativas, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação aos itens C ($\chi^2 = 4.955$ $p = 0.026$) e H ($\chi^2 = 6.215$ $p = 0.013$). Os pós-graduandos diferem de ambos os grupos de ciências biológicas (início e avançado) no item B. *, $p < 0.05$



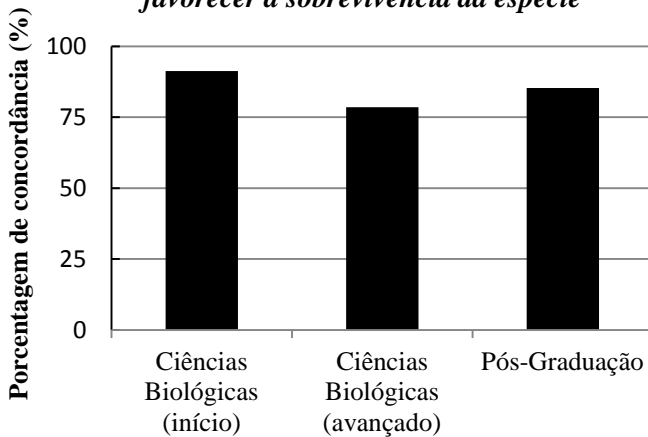
E) A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural



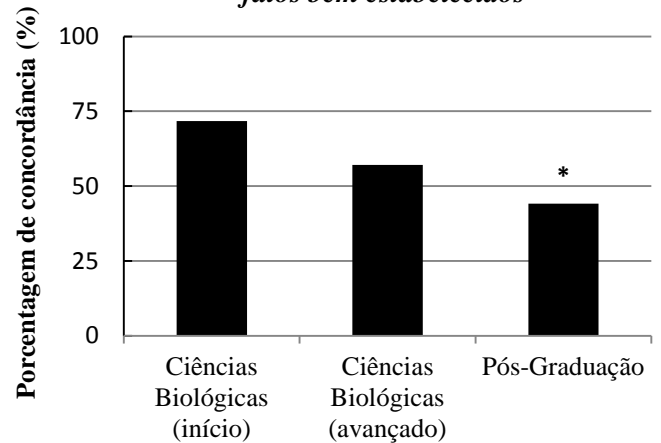
F) As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados



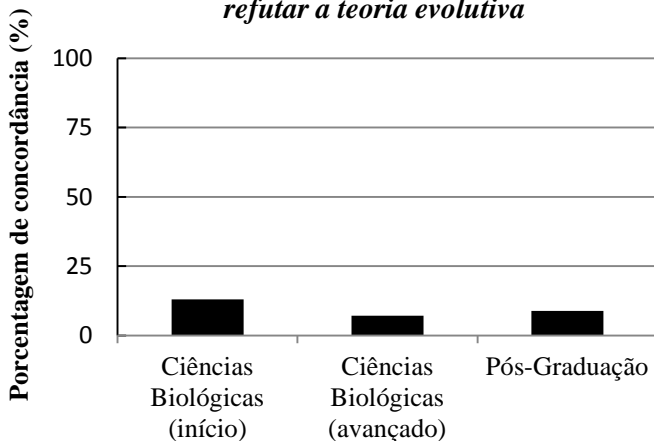
G) O comportamento dos suricatos de avisar outros indivíduos da aproximação de um predador evoluiu por seleção natural para favorecer a sobrevivência da espécie



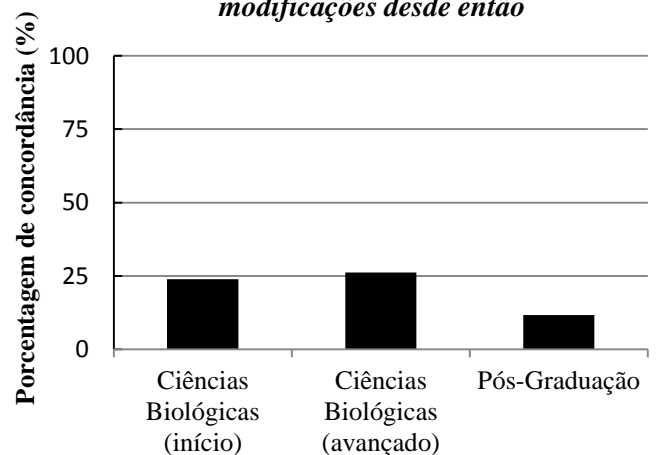
H) Hipóteses científicas tornam-se teorias e, finalmente, com mais evidências, tornam-se fatos bem estabelecidos



I) A inexistência de registros fósseis para as formas intermediárias, como entre Homo sapiens e outras espécies de hominíneos, pode refutar a teoria evolutiva



J) A teoria evolutiva atingiu a sua maturidade com a unificação entre o darwinismo e a genética, não sofrendo modificações desde então



Mais de 50% dos alunos que chegam ao Curso de Biologia Evolutiva concordam com as concepções alternativas expressas nos itens B, C, G e H. Contudo, os pós-graduandos concordam em uma menor proporção em relação aos outros grupos nos itens B, C e H, diferindo significativamente.

Estes itens envolvem concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação. O item B do questionário expressa uma concepção transformacional da evolução, ao passo que os itens C e G exploram as tendências de pensar que a seleção natural pode prever o que uma espécie ou um indivíduo “precisa” para sua sobrevivência.

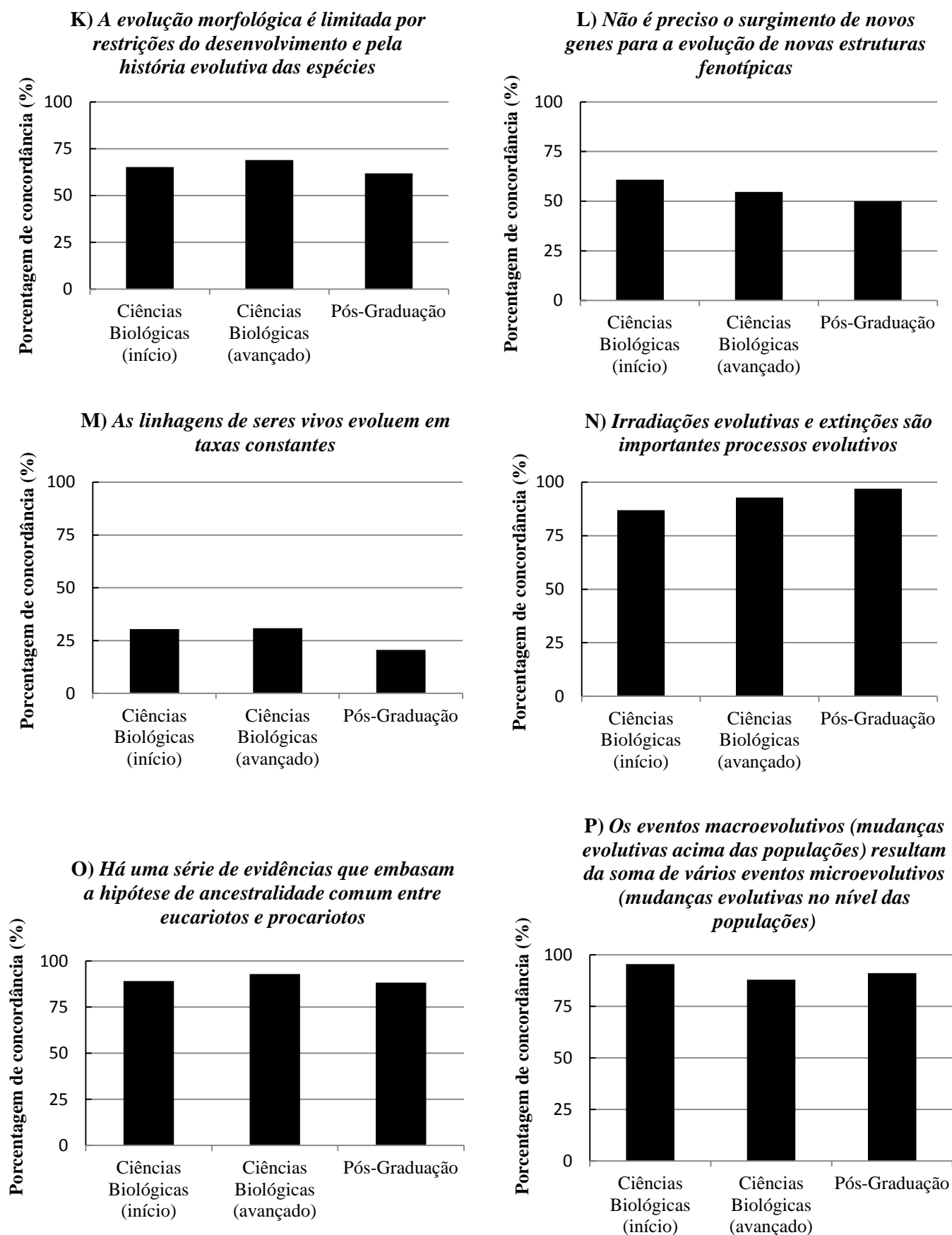
Os resultados mostraram uma alta prevalência de concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação, sobretudo em estudantes de graduação, incluindo aqueles que estão avançados no curso de ciências biológicas. As diferenças entre graduandos em ciências biológicas do início e no fim do curso foram mínimas. Essa persistência sugere que a graduação não desfaz concepções alternativas sobre estes conceitos evolutivos.

Além dos conceitos de seleção natural e adaptação, alguns estudos sobre ensino de evolução têm discutido a presença de concepções alternativas em relação a outros processos evolutivos, os quais também são explorados nos itens do questionário. Contudo, nenhum deles teve uma frequência tão alta de concordância quanto o encontrado nos conceitos de seleção natural e adaptação.

A única exceção foi o item H, relacionado com concepções sobre a natureza da ciência que são diretamente relacionadas com o pensamento evolutivo. Este item estabelece uma série gradual de menor a maior grau de certeza entre teorias e fatos, como se os cientistas, a partir do desenvolvimento teórico, chegassem aos fatos “concretos”. É interessante notar que os pós-graduandos diferem significativamente dos alunos de ciências biológicas do início da graduação. Esse resultado é razoável, uma vez que seria esperado dos pós-graduandos uma maior experiência com a prática científica do que alunos do início do curso.

Por outro lado, os pós-graduandos não diferem significativamente dos outros grupos nas questões do eixo “pluralismo evolutivo”, o qual possui itens relacionados com biologia do desenvolvimento, genômica, paleobiologia e macroevolução (Figura 16).

Figura 16. Porcentagem de concordância em relação aos itens do eixo pluralismo evolutivo, por grupo de formação acadêmica



Como dito anteriormente, seria razoável esperar que os alunos mais avançados na graduação em ciências biológicas e os pós-graduandos expressassem mais conceitos pluralistas, uma vez que, em princípio, entraram em contato com uma maior variedade de explicações evolutivas. Isso ocorre de maneira clara apenas no item N, mas não há diferenças significativas, uma vez que todos os grupos aderem a essa afirmativa em uma grande proporção.

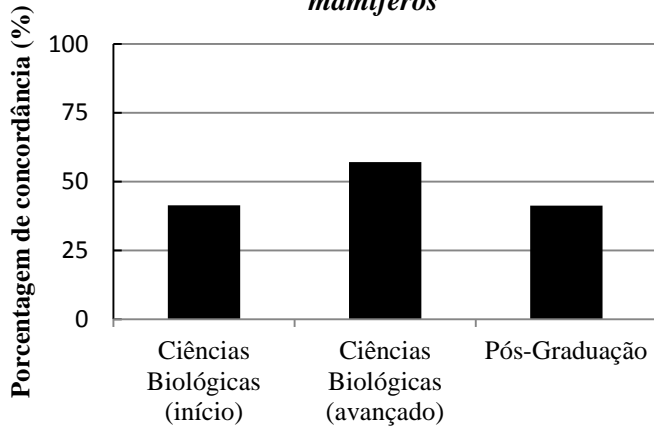
Cabe ressaltar as respostas obtidas para o item L, que apresenta uma porcentagem de concordância *menor* conforme o grau de formação acadêmica. Essa alternativa justamente estabelece que *não é* preciso o surgimento de novos genes para a evolução de novas estruturas fenotípicas, contrastando com o genocentrismo na teoria evolutiva. Ou seja, segundo os dados apresentados, quanto maior a formação acadêmica em evolução biológica mais os alunos são genocentristas. Esse resultado faz sentido se considerarmos que a formação inicial dos alunos é fortemente debitária da síntese evolutiva, a qual adota uma concepção genocentrista da teoria evolutiva, como discutido previamente.

Não podemos deixar de mencionar a alta taxa de concordância com o item P em todos os grupos, o qual estabelece a tese “extrapolacionista” de que a microevolução é suficientemente responsável por padrões de larga escala na história da vida. Como discutido previamente, a autonomia dos processos macroevolutivos é um aspecto importante da perspectiva pluralista.

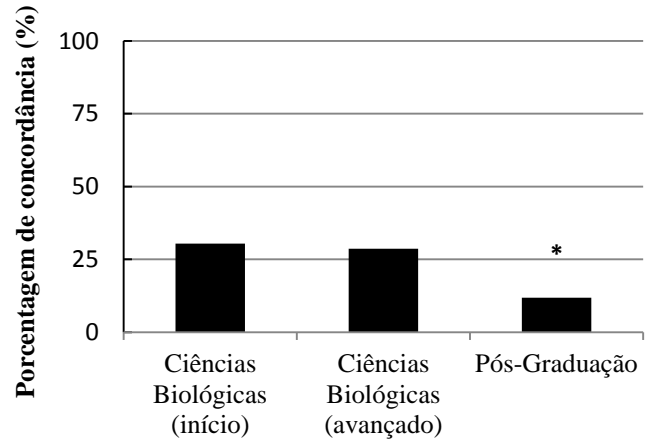
Apesar da formação acadêmica não parecer relevante nos conceitos pluralistas, ela parece fazer alguma diferença nas interpretações de filogenias. Os cinco últimos itens do questionário apresentam afirmações sobre as relações estabelecidas em uma filogenia simples dos vertebrados (Figura 13). As porcentagens de concordância para cada um dos itens deste eixo, por grupo de formação acadêmica, são apresentadas na figura 17.

Figura 17. Porcentagem de concordância nos itens do eixo interpretação de filogenias, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação ao item R ($\chi^2 = 3.908$ $p = 0.048$)

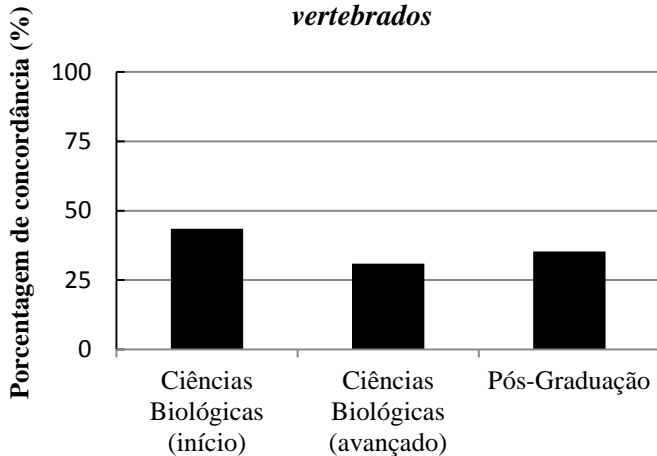
Q) Segundo a filogenia, os peixes são igualmente aparentados aos lagartos e aos mamíferos



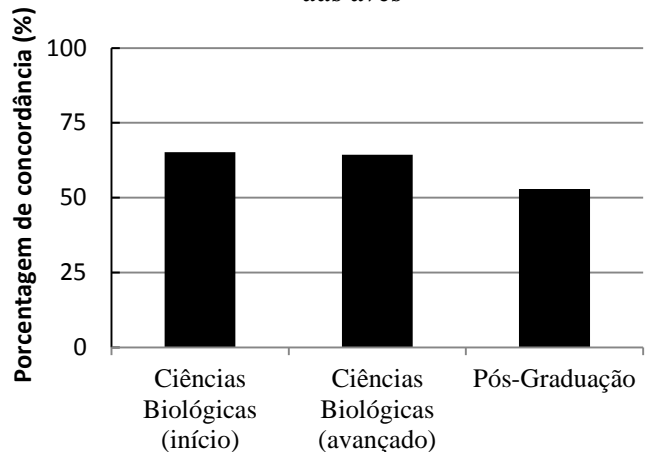
R) Segundo a filogenia, os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos



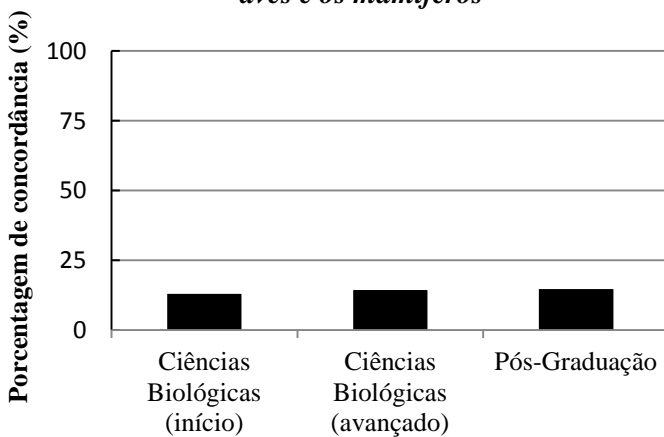
S) Podemos inferir a partir da filogenia que os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados



T) Segundo a filogenia, os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves



U) Podemos inferir a partir da filogenia que os anfíbios são menos evoluídos do que as aves e os mamíferos



As afirmativas deste eixo apresentam concepções alternativas que são comumente encontradas na literatura, com exceção do item Q, que denota uma leitura correta da filogenia a partir dos ancestrais em comum. É interessante notar que menos da metade dos alunos endossam a leitura correta dos ramos, como expressa neste item. Em conformidade com este dado, mais da metade dos alunos concordam com o item T, que apresenta uma leitura dos ramos que não considera as relações de ancestralidade comum, mas a proximidade dos nós terminais. Ou seja, a maior parte dos alunos, independente do grau de formação acadêmica, não faz uma leitura das relações de parentesco a partir dos ancestrais em comum, mas a partir da proximidade espacial dos grupos contemporâneos na filogenia.

O único item que mostrou diferença significativa foi a questão R. Os graduandos em ciências biológicas concordam mais com essa afirmativa do que os pós-graduandos, diferindo significativamente. Este item remonta a ideia de uma *Scala Naturae*, como uma sequência linear de modificações dos organismos.

Algumas conclusões gerais podem ser observadas na comparação das respostas do questionário. Em primeiro lugar, as concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação são as mais frequentes entre os estudantes. A graduação em ciências biológicas não parece modificar substancialmente essas concepções, mas a pós-graduação representa uma diminuição deste tipo de concepção alternativa. Em segundo lugar, os alunos não se tornam mais pluralistas conforme a formação acadêmica; pelo contrário, parecem inclusive se tornar mais genocentristas. E, por fim, a formação acadêmica não parece auxiliar consistentemente na leitura das filogenias a partir dos ancestrais em comum.

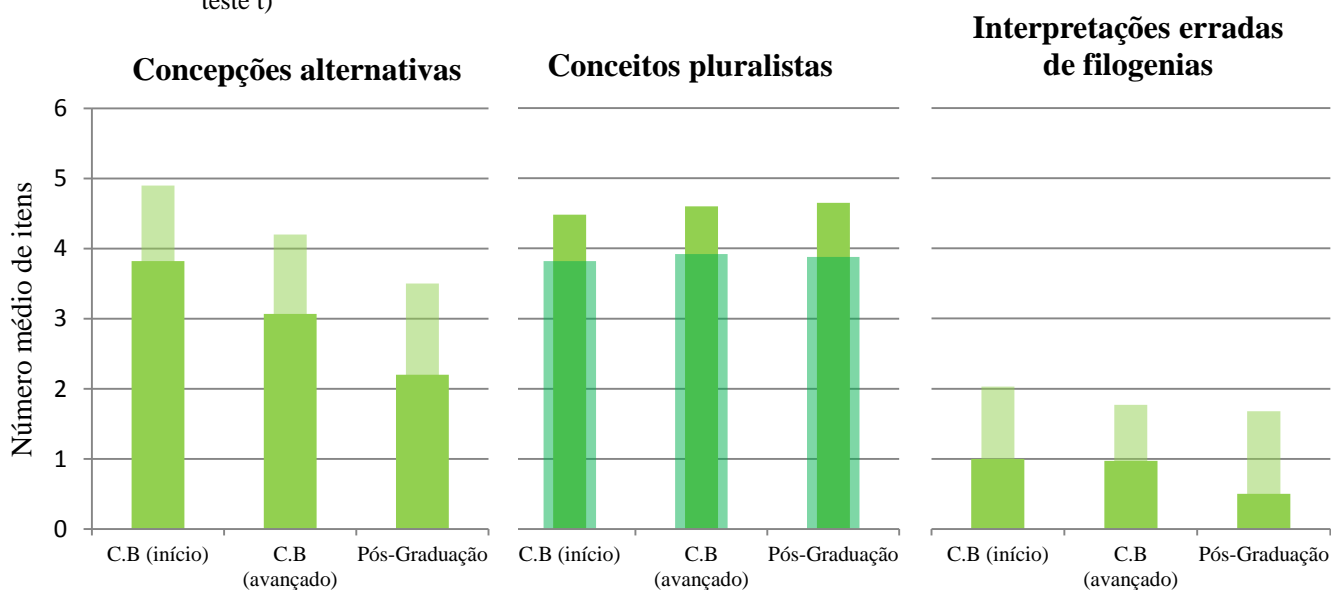
Esta comparação não conta com um número amostral grande ($n = 122$) e, como dito anteriormente, não podemos relacionar diretamente a concordância ou discordância de afirmações simples com o conhecimento evolutivo dos alunos. De todo modo, as evidências aqui apresentadas corroboram em grande medida as discussões prévias da tese, as quais levaram em conta outros elementos, como as observações empreendidas, a literatura sobre ensino de evolução e as discussões relativas à história e filosofia da biologia.

9 AS RESPOSTAS DOS ALUNOS APÓS O CURSO DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

Este capítulo apresenta uma comparação das respostas dos alunos antes e depois do Curso de Biologia Evolutiva. Esta comparação é importante para entender se o curso possui algum impacto, mesmo que momentâneo, no posicionamento dos estudantes. Como o questionário foi inicialmente construído pelos ministrantes do curso, tal comparação pode servir para o planejamento das novas edições. Por isso, mais informativo do que os itens em que os alunos parecem mudar o posicionamento após frequentar as atividades de extensão, são aquelas questões que não mostraram mudanças relevantes, pois elas podem ser alvo de reflexão no planejamento das novas edições do curso.

O questionário aplicado antes e depois do curso é o mesmo e as respostas das afirmativas em escala Likert também foram analisadas de forma binária (entre concordantes e discordantes). Desse modo, pôde-se calcular o número médio de concepções alternativas, interpretações erradas de filogenias e conceitos pluralistas de evolução em cada um dos grupos acadêmicos elencados. A figura 18 mostra uma comparação do número médio de resposta dos alunos antes e depois de participarem do Curso de Biologia Evolutiva.

Figura 18. Número médio de concepções alternativas, conceitos pluralistas e interpretações erradas de filogenias antes do curso (verde transparente) e após frequentar o curso (verde sólido), por grupo de formação acadêmica. Há uma diminuição no número médio de concepções alternativas e interpretações erradas de filogenias após o curso em todos os grupos. Todos os grupos também endossam, em média, mais conceitos pluralistas. As diferenças pré e pós-curso são estatisticamente significativas ($p < 0.05$, teste t)



FONTE: Elaboração própria

Através desta comparação, podemos interpretar que o Curso de Biologia Evolutiva tem algum impacto na diminuição das concepções alternativas e das interpretações erradas de filogenias em todos os grupos de formação acadêmica, ao mesmo tempo em que contribui para uma maior concepção pluralista de evolução entre os alunos. Os grupos tiveram um ganho praticamente homogêneo nos três eixos do questionário, mantendo as mesmas diferenças pré-testes. Desse modo, ao que tudo indica, o Curso de Biologia Evolutiva é relevante tanto para estudantes do começo e final da graduação em ciências biológicas, quanto para os pós-graduandos.

Cabe lembrar que o eixo concepções alternativas possui dez itens, o eixo pluralismo seis itens e o eixo interpretações de filogenias cinco itens. Além disso, o eixo pluralismo é “invertido” no gráfico: ou seja, está avaliando uma maior aderência às concepções pluralistas de evolução. Dessa forma, as médias dos eixos não podem ser comparadas de maneira absoluta.

De todo modo, mesmo quando comparamos de forma relativa, averiguamos que o eixo concepções alternativas ainda apresenta a maior média, com aproximadamente 30% de concordância entre os estudantes de graduação em ciências biológicas (início e avançado), mesmo após frequentar o curso. Apesar de todos os grupos mostrarem uma considerável melhora no escore médio, os picos relacionados com concepções alternativas estão longe de desaparecer.

Quando olhamos os itens individualmente, podemos entender quais concepções alternativas são endossadas em uma alta frequência mesmo após o curso, e quais delas mostram alguma melhoria substancial (Tabela 6).

Tabela 6. Porcentagem de concordância, para cada um dos itens do questionário, considerando as respostas totais pré-curso (n = 122) e pós curso (n = 95) obtidas nas edições 2019/1 e 2019/2

Itens	Pré-curso (%)	Pós-curso (%)	Mudança (%)
A) A seleção natural produz organismos perfeitamente adaptados aos seus ambientes.	45,9	28,5	- 17,4
B) A seleção natural atua nos organismos individuais para adaptá-los ao meio ambiente.	45	36,8	- 8,2
C) A capacidade de correr rapidamente em guepardos evoluiu porque essa espécie precisava ser capaz de pegar as suas presas.	61,5	47,4	- 14,1
D) As mudanças ao longo das gerações em uma população são sempre adaptativas.	37,7	20	- 17,7
E) A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural	40,1	34,7	- 5,4
F) As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados.	30,3	16,8	- 13,5

G) O comportamento dos suricatos de avisar outros indivíduos da aproximação de um predador evoluiu por seleção natural para favorecer a sobrevivência da espécie.	85,2	71,6	- 13,6
H) Hipóteses científicas tornam-se teorias e, finalmente, com mais evidências, tornam-se fatos bem estabelecidos.	59	42,1	- 16,9
I) A inexistência de registros fósseis para as formas intermediárias, como entre Homo sapiens e outras espécies de hominíneos, pode refutar a teoria evolutiva.	9,8	6,9	- 3,1
J) A teoria evolutiva atingiu a sua maturidade com a unificação entre o darwinismo e a genética, não sofrendo modificações desde então.	21,3	6,4	- 14,9
K) A evolução morfológica é limitada por restrições do desenvolvimento e pela história evolutiva das espécies.	65,5	71,6	6,1
L) Não é preciso o surgimento de novos genes para a evolução de novas estruturas fenotípicas.	55,7	88,4	32,7
M) As linhagens de seres vivos evoluem em taxas constantes.	27,8	17,9	- 9,9
N) Irradiações evolutivas e extinções são importantes processos evolutivos.	91,8	97,9	6,1
O) Há uma série de evidências que embasam a hipótese de ancestralidade comum entre eucariotos e procariotos.	90	97,9	7,9
P) Os eventos macroevolutivos (mudanças evolutivas acima das populações) resultam da soma de vários eventos microevolutivos (mudanças evolutivas no nível das populações).	91,8	81	- 10,8
Q) Segundo a filogenia, os peixes são igualmente aparentados aos lagartos e aos mamíferos.	46,7	83	36,3
R) Segundo a filogenia, os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos.	24,6	7,4	- 17,2
S) Podemos inferir a partir da filogenia que os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados.	36,9	24,2	- 12,7
T) Segundo a filogenia, os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves.	61,5	30,5	- 31
U) Podemos inferir a partir da filogenia que os anfíbios são menos evoluídos do que as aves e os mamíferos.	13,9	5,2	- 8,7

FONTE: Elaboração própria

As frequências calculadas na tabela 6 consideram todos os alunos pré-curso e pós-curso, sem a separação por grupo de formação acadêmica. Apesar de todos os itens do eixo concepções alternativas sofrerem diminuição na taxa de concordância, muitas destas concepções ainda apresentam uma taxa acima de 30%. Destacam-se, neste sentido, os itens B, C, E, G e H.

Os itens B, C e G são concepções alternativas relacionadas com seleção natural e adaptação. O item E, de certo modo, também está relacionado com seleção natural, pois estabelece que a deriva genética é um mecanismo alternativo a este processo evolutivo.

Desse modo, uma conclusão que podemos tirar destes dados é a de que o Curso de Biologia Evolutiva não auxilia consistentemente os estudantes nas discussões sobre seleção natural e adaptação, sobretudo em relação ao pensamento finalista subjacente a estes conceitos. As questões C e G, por exemplo, envolvem concepções sobre propósito no processo evolutivo. A redação da questão C estabelece que os guepardos evoluíram

porque "precisavam" pegar as suas presas, ao passo que a questão G se refere à necessidade da evolução do comportamento dos suricatos para a sobrevivência da espécie, como se houvesse um objetivo *a priori* na evolução por seleção natural.

As explicações teleológicas remontam a Aristóteles e são frequentemente enquadradas em termos de mudanças que ocorrem em resposta a uma necessidade específica. Obviamente, isso contrasta fortemente com o processo de duas etapas envolvendo origem de variação seguida de seleção natural (GREGORY, 2009).

As concepções alternativas relacionadas com seleção natural são bem documentadas na literatura, sendo o pensamento teleológico um dos mais recorrentes entre os estudantes com diferentes níveis acadêmicos (ex., BISHOP; ANDERSON, 1990; FERRARI; CHI, 1998; NEHM; REILLY, 2007; GREGORY, 2009). Alguns destes estudos buscam associar a baixa compreensão sobre seleção natural com a aceitação de evolução e/ou com crenças religiosas dos alunos (BUCKBERRY; SILVA, 2012). No entanto, entre os alunos do Curso de Biologia Evolutiva a questão da aceitação de evolução não é relevante, uma vez que os estudantes buscam o curso de forma voluntária, e a grande maioria alega não possuir religião. Mesmo assim, tais estudantes possuem um alto índice de concepções alternativas sobre seleção natural.

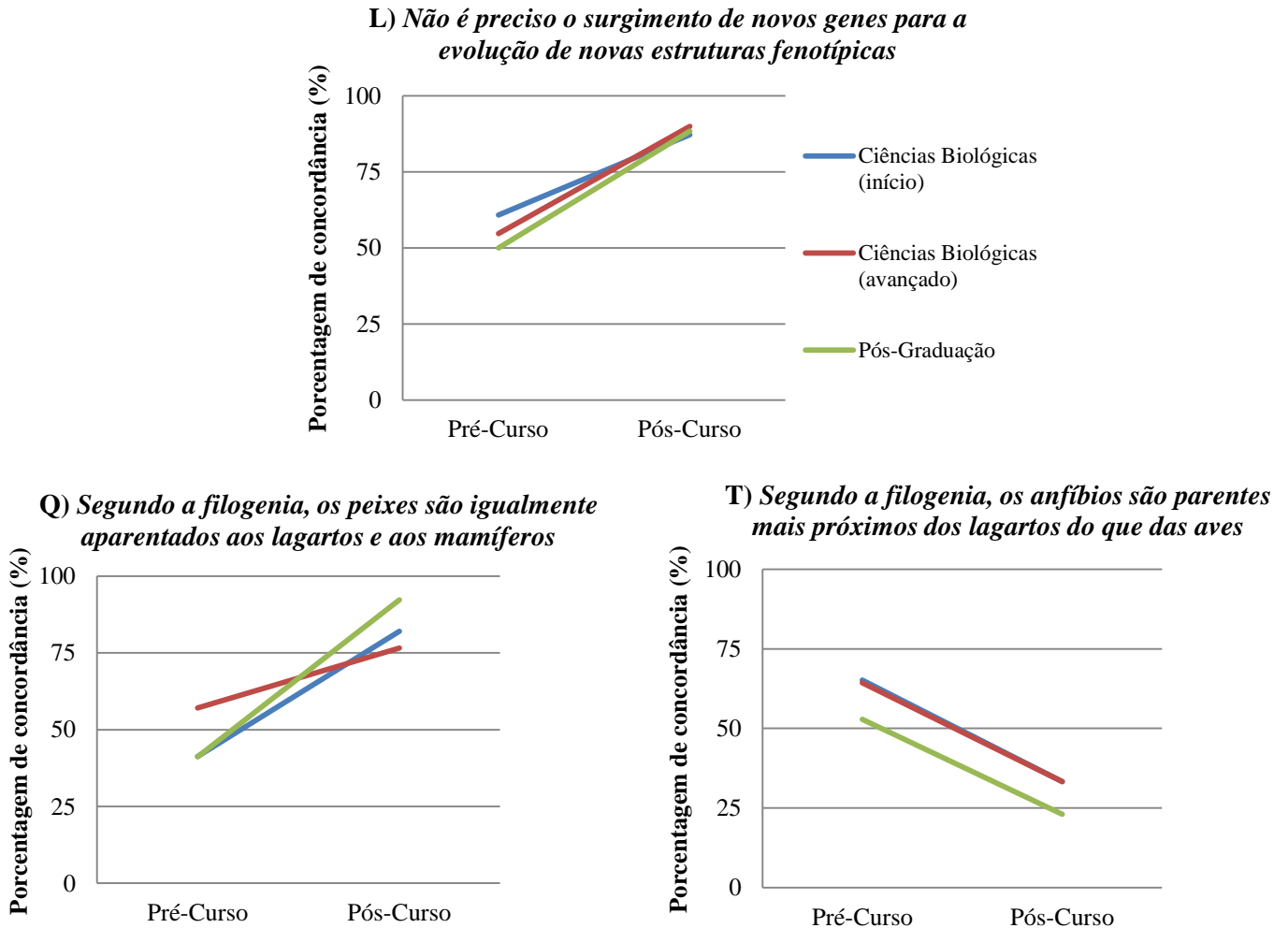
Outro item do eixo concepções alternativas que se mantém após o curso com uma alta taxa de concordância é a questão H, relacionada com natureza da ciência. Esta afirmativa é relevante para a evolução porque muitos estudantes parecem conceber que as teorias são meramente hipóteses testadas algumas vezes, ao passo que as leis são "fatos científicos" testados com sucesso várias vezes. Essa concepção se aproxima de um sentido popular para as acepções de teoria e fato, o que pode levar à ideia de que a evolução é "apenas" uma teoria, como se fosse uma categoria epistemicamente inferior às leis científicas ou aos fatos "concretos".

O uso problemático destes conceitos está arraigado em nossa cultura e mesmo uma grande proporção de estudantes do final da graduação em ciências biológicas endossa a hierarquização entre fatos e teorias. Ainda que o Curso de Biologia Evolutiva priorize discussões metacientíficas, sobre história e filosofia da biologia, tal concepção ainda se mantém bastante frequente entre os estudantes após o curso.

Por outro lado, quando comparamos as respostas pré e pós-curso, encontramos mudanças consideráveis, em todos os grupos, na porcentagem de concordância de

algumas questões sobre pluralismo evolutivo e interpretações de filogenia. Destacam-se os itens L (do eixo pluralismo evolutivo), Q e T (sobre interpretações de filogenias), que tiveram uma mudança acima de 30% após o curso (Figura 19).

Figura 19. Porcentagem de concordância dos itens L, Q e T pré e pós-curso, por grupo de formação acadêmica. Estes itens foram os que mostraram maior diferença entre os alunos antes e após frequentar o curso (acima de 30%)



FONTE: Elaboração própria

Os dados pós-teste, para a questão L, revelam que os estudantes de todos os grupos passam a concordar em uma proporção muito maior com a afirmativa que desafia o genocentrismo na teoria evolutiva. Isto corrobora a análise discutida anteriormente, sobre as respostas das perguntas dissertativas do questionário, as quais indicam que o genocentrismo da teoria evolutiva é desafiado pelo Curso de Biologia Evolutiva.

Por outro lado, a análise dos escritos dos alunos no IRAMUTEQ indica que os estudantes ressignificam a relação entre micro e macroevolução no Curso de Biologia Evolutiva, o que não se confirma na análise do questionário para o item P, que estabelece o *continuum* entre micro/macroevolução e mantém uma alta taxa de concordância após o curso (veja a Tabela 6).

Dos três eixos do questionário, aquele que mostrou mais mudanças substanciais na comparação pré e pós-curso foi o eixo “interpretações de filogenias”. Destacam-se os itens Q e T (Figura 19). Uma proporção considerável dos alunos passa a interpretar o cladograma a partir dos ancestrais em comum (nós internos) e não na ordem dos nós terminais. Além de resultar em interpretações corretas sobre as relações de parentesco, a leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum impede uma falsa impressão de tendência evolutiva entre organismos contemporâneos.

Algumas conclusões gerais podem ser observadas nesta comparação das respostas pré e pós-curso. Como discutimos no capítulo anterior, as concepções alternativas sobre seleção natural e adaptação são as mais frequentes entre os estudantes de todos os grupos acadêmicos e isso se mantém após o curso.

O curso parece ter algum impacto em determinadas dimensões do pluralismo teórico na evolução. Mesmo alguns itens que estão no eixo concepções alternativas, e sofreram uma maior redução após o curso, podem ser interpretados como relacionados às perspectivas pluralistas de evolução (itens A e D). Enquanto o item A do questionário expressa a ideia de que a seleção natural gera soluções adaptativas ótimas, o item D iguala evolução e seleção natural, deixando de lado todas as mudanças evolutivas que não são adaptativas.

Cabe lembrar que a primazia da seleção natural e o adaptacionismo são pressupostos desafiados pela perspectiva pluralista da evolução. Desse modo, a redução de concordância de itens relacionados com estas concepções também indica uma mudança em direção a um maior pluralismo, pois tais questões estão relacionadas com a ideia de que a seleção natural tem um grande poder explicativo e causal, sendo concebida como um mecanismo que explica toda a evolução.

Em resumo, os dados comparativos indicam que o Curso de Biologia Evolutiva tem o potencial de tornar os alunos mais pluralistas, sobretudo em relação ao genocentrismo e, em menor proporção, em relação ao poder causal e explicativo da

seleção natural. O Curso de Biologia Evolutiva também parece auxiliar consistentemente os alunos na leitura das filogenias a partir dos ancestrais em comum.

Tendo apresentado as análises relativas à comparação pré e pós-curso, cabe mencionar algumas limitações metodológicas deste estudo. As mais importantes limitações, segundo meu entendimento, são as seguintes. Em primeiro lugar, há um número relativamente pequeno de estudantes que responderam ao questionário (122 pré-curso e 95 pós-curso), que são divididos em três grupos conforme a formação acadêmica. Seria desejável um número maior de respostas para elaborar as comparações aqui desenvolvidas.

Como referido anteriormente, afirmações simples sobre o pensamento evolutivo não fornecem muitas informações sobre o conhecimento dos alunos. A argumentação e os discursos gerados pelos alunos são essenciais nos contextos educacionais, os quais não são contemplados em um questionário fechado.

Outra limitação na análise é o fato de o questionário ser anônimo e sem qualquer identificação, impedindo associar as respostas pré e pós-curso aos mesmos participantes. Esta situação impede testes estatísticos pareados, pois isso exige estabelecer as respostas de cada indivíduo. Por outro lado, os resultados pré e pós-curso também não configuram amostras independentes, pois são observações dos mesmos indivíduos. Um problema ainda relacionado com as análises estatísticas são os dados ausentes. Não temos como saber se as pessoas que não preencheram o questionário pós-curso diferem sistematicamente daquelas que preencheram. Os respondentes ausentes no pós-curso poderiam modificar as frequências das respostas.

Por fim, a duração do curso é de apenas 30h, que estão condensadas em uma semana. Esse tipo de intervenção é irrealista em termos pedagógicos.

Obviamente, eu preferiria produzir um estudo metodologicamente impecável, sem nenhuma destas limitações. A escolha enfrentada, então, foi fazer este estudo exploratório, na esperança de que os resultados se mostrem suficientemente intrigantes para abrir possibilidades posteriores de aprimoramento. Além disso, é importante considerar que esta análise deve ser tomada no contexto das outras discussões da tese. E, neste sentido, esta pesquisa também possui algumas qualidades que podem ser elencadas.

A primeira delas é a população de estudo do Curso de Biologia Evolutiva. Esta atividade representa uma oportunidade única para investigar estudantes com diferentes graus de formação acadêmica sobre evolução biológica. Frequentam o curso desde graduandos que não tiveram ensino formal de tópicos evolutivos até pós-graduandos com pesquisas na área biológica. Outra vantagem é que os alunos são oriundos de diferentes instituições de ensino superior, públicas e privadas, principalmente da região sul do Brasil. A maior parte dos trabalhos sobre ensino de evolução com alunos de diferentes instituições e graus de formação acadêmica é feito com estudantes dos Estados Unidos (ZIADIE; ANDREWS, 2018). São poucos os estudos deste tipo feitos no Brasil ou na América Latina.

O instrumento de pesquisa passou por um processo de desenvolvimento amplo, em que pós-graduandos de diferentes áreas uniram esforços para pensar nas questões. Além disso, o instrumento passou por um processo de validação, com a contribuição de pesquisadores experientes. O aspecto pluralista do questionário, apesar de metodologicamente desafiador, é inovador em termos disciplinares.

Outra qualidade deste estudo é que os resultados obtidos a partir do questionário não são interpretados “por eles mesmos”. Este instrumento é compreendido como uma metodologia *complementar* às análises desenvolvidas anteriormente na tese e não como uma ferramenta que encerra as suas conclusões. As discussões sobre história e filosofia da biologia, as observações registradas do curso e a análise das respostas abertas do questionário são alguns destes elementos. Uma das conclusões compartilhadas por estas diferentes metodologias é a de que a formação inicial dos alunos é fortemente centrada na genética e o Curso de Biologia Evolutiva contribui para desafiar o genocentrismo embutido nesta formação.

Coletivamente, esse conjunto de análises lança questionamentos sobre muitas das questões complexas subjacentes aos esforços para orientar as práticas do Curso de Biologia Evolutiva. Esta pesquisa, portanto, é uma oportunidade importante de interlocução entre pesquisa, ensino e extensão, formando uma ponte para o desenvolvimento mais qualificado de uma formação continuada baseada em evidências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa de doutorado procurou combinar metodologias e perspectivas teóricas diversas, em busca de uma *triangulação* ancorada em múltiplos pontos de referência. O primeiro eixo da tese é um destes pontos de referência, ancorado em análises históricas e filosóficas do pluralismo evolutivo. O segundo eixo da tese sustenta outro ponto de ancoragem desta triangulação, ao privilegiar as observações empreendidas no curso e a análise das respostas dissertativas do questionário de pesquisa aplicado em diferentes edições.

O terceiro eixo da tese fixa o último ponto de ancoragem desta triangulação teórico-metodológica. Ainda que a observação do curso seja um elemento importante, ela, por si só, não contempla uma análise mais aprofundada sobre o posicionamento dos participantes em relação às questões evolutivas que circulam nesta atividade de extensão. O questionário em escala do tipo Likert cumpre este papel, comparando alunos com diferentes graus de formação acadêmica e o impacto do curso como proposta de formação continuada. Neste eixo, a literatura sobre ensino de evolução é um referencial importante.

Após ler e reler estes três eixos, e pensar sobre os diferentes referenciais utilizados na pesquisa de doutorado, um sentimento familiar foi acionado. Trata-se de certo desconforto de que esta tese mobiliza literaturas que não convergem em muitos sentidos. Começando pelas pesquisas sobre biologia evolutiva, passando pela literatura em ensino de evolução, filosofia e história da biologia, até chegar aos estudos culturais da ciência, estas diferentes tradições teóricas parecem divergentes em alguns pontos básicos.

Esta sensação é familiar porque minha própria trajetória acadêmica esteve permeada por tais contradições: inicialmente, participei da produção de conhecimento na biologia, ao frequentar a graduação na área e participar de pesquisas sobre biologia molecular e evolução. Conforme me inseria nesse universo de produção de conhecimento científico, percebi que a minha motivação não estava em *fazer* a pesquisa no laboratório, aceitando seus pressupostos para me engajar em uma determinada comunidade científica. O meu desejo era entender *como funciona* a biologia, sua relação com a sociedade, fundamentação teórica e filosófica.

Em minha dissertação de mestrado (ARAÚJO, 2015) pude aprofundar este aspecto ao elaborar uma pesquisa sobre a história do pensamento evolutivo. A temática de pesquisa desta tese permitiu certa continuidade com a minha investigação no

mestrado, que versou sobre o papel da genética na síntese evolutiva. Foi também durante o mestrado que entrei em contato com os estudos culturais da ciência, perspectiva teórica relacionada com a linha de pesquisa do PPGEdU-UFRGS que a tese de doutorado está vinculada. Os estudos culturais da ciência se mostraram importantes ao longo desta investigação nas discussões sobre as disputas disciplinares que permearam e permeiam a construção da teoria evolutiva.

Autores como Timothy Lenoir foram referências importantes para pensar sobre a disciplinarização do conhecimento evolutivo e a produção cultural das disciplinas biológicas, como discutido no sexto capítulo sobre o currículo do curso. Vassiliki Betty Smocovitis, uma das historiadoras da biologia mais inspiradoras para esta pesquisa, também se situa no campo dos estudos culturais da ciência (SMOCOVITIS, 1996).

Nesta linha de pesquisa também encontrei solo fértil para ampliar e aprofundar as questões referentes à educação e ao ensino de evolução em uma perspectiva mais pluralista. Os estudos culturais deram consistência ao pluralismo, através do reconhecimento de saberes heterogêneos que atravessam a evolução biológica e o ensino de evolução, muito além daqueles conhecimentos tradicionalmente vinculados à biologia *stricto sensu*.

Neste momento fica mais claro que esta tese de doutorado foi praticamente uma alegoria da minha própria trajetória acadêmica, com as contradições e convergências que há muito tempo me impulsionam a pensar sobre a construção do conhecimento biológico e as suas implicações. Esta investigação não deixa de carregar marcas indeléveis destas múltiplas culturas acadêmicas, contato este que não é tranquilo, nem suave.

Algumas limitações foram evidentes e não podem ser negadas. Uma delas é que o exercício de *estranhamento* foi menor do que achei possível quando iniciei a pesquisa. Meu pertencimento como parte central do Curso de Biologia Evolutiva me fez enxergar muito mais as qualidades e possibilidades do curso do que a sua problematização. Por vezes, a própria escrita da tese denuncia isso: com frequência falo em “nosso” curso, na primeira pessoa, e me refiro às potencialidades das atividades como alguém de dentro, efetivamente um proponente que somente cinicamente negaria isso. O exercício de estranhamento e afastamento do curso se mostrou mais relevante naqueles aspectos que eu já possuía alguma diferença, como nas críticas ao conceito de raça e nas discussões políticas suscitadas.

Dessa forma, as qualidades hipercríticas valorizadas pelos estudos culturais não foram levadas a tento (para uma discussão detalhada sobre a hipercrítica, veja VEIGANETO, 1996). Penso que se algum colega da minha linha de pesquisa, formado em outra área, frequentasse o curso, com certeza ele ou ela poderia enxergar possibilidades e críticas muito distintas daquelas discutidas aqui.

Apesar de o meu pertencimento ter, de certo modo, enrijecido as críticas ao curso, ele permitiu que uma série de produções fossem alcançadas. Posso dizer que o tripé pesquisa, ensino e extensão foi explorado na tese. Durante o período de doutorado foram gestados o livro *Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino* (ARAÚJO, 2017) e o site *Pensamento Evolutivo* (www.pensamentoevolutivo.com). Ao mesmo tempo, a pesquisa está continuamente refletindo na iniciativa das novas edições do curso e na construção de novas produções bibliográficas, como um livro sobre ensino de evolução que está sendo produzido e ainda não foi publicado.

Além do mais, com a vantagem do olhar retrospectivo e na busca de uma coerência nesta tese, consigo entender melhor como compatibilizei os diferentes referenciais de pesquisa. A perspectiva pluralista não está presente apenas na biologia evolutiva e no currículo do curso - como argumentei ao longo da pesquisa -, mas é também uma condição de possibilidade da própria investigação levada a cabo nesta tese. Quer dizer, a afirmação do pluralismo e das formas de se pensar e fazer pesquisa também são extensíveis à própria base epistemológica desta investigação.

Trata-se mais de uma *postura* que permite pensar nas complexas questões suscitadas do que propriamente uma síntese coerente dos referenciais citados anteriormente. Podemos chamar isso de uma postura pluralista - a necessidade de perspectivas divergentes que trabalham juntas em um empreendimento de investigação. A adoção de uma única abordagem de pesquisa obscureceria certos aspectos, limitando nossa compreensão da biologia evolutiva e da própria formação continuada de biólogos e professores.

Esta postura pluralista gerou uma série de convergências nas conclusões da tese. Os três eixos de pesquisa, com seus diferentes referenciais teóricos associados, reforçam a conclusão de que a formação inicial dos biólogos e professores de biologia é fortemente baseada nos pressupostos da síntese evolutiva, a despeito de o curso ser frequentado por estudantes de diferentes instituições de ensino superior. A literatura sobre história do pensamento evolutivo, as observações realizadas e as respostas do

questionário apontam que os alunos compartilham um currículo sobre evolução biológica em que a genética é central.

A formação inicial dos alunos que frequentam o curso privilegia os aspectos que denominei como pressupostos comuns da síntese evolutiva original, a saber: genocentrismo; gradualismo estrito; extrapolação de explicações microevolutivas para padrões macroevolutivos; e a primazia causal da seleção natural. Afinal, a comparação dos alunos com diferentes graus de formação acadêmica em ciências biológicas aponta que os estudantes não se tornam mais pluralistas à medida que possuem mais tempo de ensino formal sobre evolução; pelo contrário, parecem inclusive se tornar mais genocentristas. E, como discutido ao longo da tese, o gene tornou-se uma poderosa ferramenta conceitual para simplificar o estudo da evolução. No contexto de ensino, isso representa uma oportunidade perdida de abordar a evolução em diferentes disciplinas que contribuem para elucidar a evolução fenotípica.

É interessante notar como a inserção de discussões variadas no Curso de Biologia Evolutiva, a partir da contribuição de estudantes de pós-graduação inseridos em distintas comunidades acadêmicas, acaba permitindo um maior pluralismo teórico⁴⁵. Essas comunidades privilegiam distintos processos de mudança evolutiva, unidades evolutivas, mecanismos de herança e padrões evolutivos. Dessa forma, esta proposta de formação continuada acaba diferindo da formação inicial dos alunos que frequentam o curso, como pode ser verificado nas respostas dissertativas do questionário e na comparação pré e pós-curso.

Outro aspecto do pluralismo do curso salientado durante a pesquisa são as abordagens de história e filosofia da biologia e a presença de temáticas sociocientíficas, através de discussões sobre raça, gênero, religião e política. Estes elementos ocupam uma parte considerável do currículo do curso, ampliando as discussões em temáticas que podem gerar uma série de ressignificações sobre o conhecimento evolutivo. Como estas discussões são complexas, e o curso possui apenas 30h condensadas em uma semana, não se tem a pretensão de que tais atividades sejam aprofundadas e tenham o mesmo impacto que as discussões internas da biologia, que fazem parte da formação inicial dos biólogos de maneira mais efetiva.

⁴⁵ Apesar de a tese discutir a presença de um pluralismo mais geral no Curso de Biologia Evolutiva, por vezes, busco qualificar os tipos de pluralismos encontrados, como o pluralismo teórico e o pluralismo causal discutidos no capítulo 5.

De todo modo, ao analisar as perspectivas *externas* às ciências biológicas no Curso de Biologia Evolutiva, esta pesquisa pode contribuir para a inovação curricular, principalmente em relação às questões filosóficas, éticas, ideológicas, sociais e políticas necessárias para a formação de biólogos e professores.

Nesse sentido, esta pesquisa aponta desafios e possibilidades de um ensino pluralista de evolução, os quais se situam além das questões científicas da biologia, envolvendo também temas sociocientíficos, filosóficos e pedagógicos. Apesar de a tese tratar de um curso de formação continuada específico, os seus resultados não deixam de ser relevantes para outras instâncias de ensino e ressignificação do conhecimento evolutivo. Os desafios e as possibilidades apontadas ao longo do texto abrem novos tópicos de investigação para a continuidade da pesquisa após a conclusão do doutorado, com potenciais implicações em reformas curriculares e no desenvolvimento de materiais didáticos.

A biologia evolutiva contemporânea é complexa, envolve variadas disciplinas acadêmicas e é permeada por questões de ordens culturais e existenciais, fazendo com que tais articulações não sejam secundárias, mas centrais no contexto de formação dos biólogos e professores. A formação inicial e continuada em evolução biológica não pode abrir mão desta pluralidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, F; LEDERMAN, N. The influence of History of Science courses on student's views of nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.
- ABRANTES, P. **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- ALMEIDA, A.M.R; EL-HANI, C.N. Um exame histórico-filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento. **Scientiæ Studia**, v. 8, n. 1, p. 9-40, 2010.
- ALTERS, B.J; NELSON, C.E. Teaching evolution in higher education. **Evolution**, v. 56, n. 10, p. 1891-1901, 2002.
- AMBROSINI, B.B. **Aspectos da construção da identidade docente de professores de Ciências e Biologia, atuantes na rede pública estadual do município de Porto Alegre, egressos da UFRGS**. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- AMORIM, D.S. **Fundamentos de Sistemática Filogenética**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2002.
- AMUNDSON, R. **The Changing Role of the Embryo in Evolutionary Thought: Roots of Evo-Devo**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- ARAÚJO, A.M. Balduino Rambo e a busca de um entendimento da natureza. In: RAMBO, A.B; GRUTZMANN, I; ARENDT, I.C. (Orgs.). **Pe. Balduino Rambo: A pluralidade na unidade - memória, religião, cultura e ciência**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2007, p. 113-120.
- ARAÚJO, L.A.L. **A racionalidade genética no pensamento evolutivo**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- _____. (org.). **Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Fi, 2017.
- _____. The centrality of evolution in biology teaching: towards a pluralistic perspective. **Journal of Biological Education**, 2020. DOI: 10.1080/00219266.2020.1757486.
- ARAÚJO, L.A.L; ARAÚJO, A.M. Por que o desenvolvimento ontogenético foi tratado como uma “caixa preta” na síntese moderna da evolução? **Principia: an international journal of epistemology**, v. 19, n. 2, p. 263-279, 2015.
- _____. Quando a história é escrita pelos vencedores: a interpretação do Eclipse do Darwinismo pelos arquitetos da Síntese Evolutiva. **Filosofia e História da Biologia**, v. 12, n. 2, p. 275-287, 2017.
- ARNOLD, M.L; FOGARTY, N.D. Reticulate Evolution and Marine Organisms: The Final Frontier? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 10, p. 3836-3860, 2009.

- AYRES, A.C.M. As tensões entre a licenciatura e o bacharelado: a formação dos professores de Biologia como território contestado. In: MARADINO, M. *et al.* (Orgs.). **Ensino de Biologia: conhecimentos e valores em disputa**. Niterói: Eduff, 2005, p. 182-197.
- BALBINOTTI, M.A.A. Para se avaliar o que se espera: reflexões acerca da validade dos testes psicológicos. **Aletheia**, n. 21, p. 43-52, 2005.
- BATESON, P. *et al.* New trends in evolutionary biology: biological, philosophical and social science perspectives. **Interface Focus**, v. 7, p. 1-3, 2017.
- BAUM, D.A; SMITH, S.D; DONOVAN, S.S. The tree-thinking challenge. **Science**, v. 310, n. 5750, p. 979-980, 2005.
- BEANS, C. News Feature: Can animal culture drive evolution? **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 30, p. 7734-7737, 2017.
- BEATTY, J. The evolutionary contingency thesis. In: WOLTERS, G; LENNOX, J (Eds.). **Theories and rationality in the biological sciences**. The second Annual Pittsburgh/Konstanz Colloquium in the Philosophy of Science. University of Pittsburgh Press, 1995, p. 45-81.
- BENTON, M.J. Patterns and rates of species evolution. In: CONTRAFATTO, G; MINELLI, A. (Eds). **Encyclopedia of Life Support Systems**. Oxford: UNESCO Publishers, 2003.
- BISHOP, B.A; ANDERSON, C.W. Student conceptions of natural selection and its role in evolution. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, p. 415-427, 1990.
- BIZZO, N.M.V. Criacionismo versus evolucionismo: literalismo religioso e materialismo darwiniano em questão. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 2, p. 301-339, 2013.
- BIZZO, N.M.V; EL-HANI, C.N. Darwin and Mendel; evolution and genetics. **Journal of Biological Education**, v. 43, n. 3, p. 108-114, 2009a.
- _____. O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 235-257, 2009b.
- BOGHOSSIAN, P. **Medo do conhecimento: contra o relativismo e o construtivismo**. São Paulo: Editora SENAC, 2012.
- BOWLER, P. **The Eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian Evolution Theories in the Decades around 1900**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.
- BRASIL. **Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2 – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica Brasília: MEC, 2006.
- _____. **ENADE 2017: Relatório da área Ciências Biológicas**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2018.

- BRIGANDT, I. Beyond Reduction and Pluralism: Toward an Epistemology of Explanatory Integration in Biology. **Erkenntnis**, v. 73, n. 3, p. 295-311, 2010.
- BUCKBERRY, S; SILVA, K.B. Evolution: improving the understanding of undergraduate biology students with an active pedagogical approach. **Evolution: Education and Outreach**, v. 5, n. 2, p. 266-273, 2012.
- BURIAN, R. Challenges to the evolutionary synthesis. **Evolutionary Biology**, v. 23, p. 247-269, 1988.
- CAMPOS, R. *et al.* (Eds.). **Um livro sobre evolução**. Porto: Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, 2013.
- CAPONI, G. O darwinismo e seu outro, a teoria transformacional da evolução. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 2, p. 233-242, 2005.
- _____. Subordinación explicativa de la construcción de nichos a la selección natural. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 203-220, 2016.
- CARON, J. A. 'Biology' in the life sciences: A historiographical contribution. **History of Science**, v. 26, n. 3, p. 223-268, 1988.
- CATLEY, K.M. Darwin's missing link - a novel paradigm for evolution education. **Science Education**, v. 90, p. 767-783, 2006.
- CERQUEIRA, D.R.C; MELLO, J.M.P. **Menos armas, menos crimes**. PUC, Rio de Janeiro: Departamento de Economia, 2012.
- CLIFFORD, J; MARCUS, G.E. **A escrita da cultura: poética e política da etnografia**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2016.
- COLUCI, M.Z.O; ALEXANDRE, N.M.C; MILANI, D. Construção de instrumentos de medida na área da saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, p. 925-936, 2015.
- COSTA, V.S. **Trazendo a macroevolução para a sala de aula: ensinando biologia evolutiva de forma pluralista e integrada**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), UFBA/UEFS, 2017.
- CLOUGH, E.E; WOOD-ROBINSON, C. How secondary students interpret instances of biological adaptation. **Journal of Biological Education**, v. 19, p. 304-310, 1985.
- CUMMINS, C.L; REMSEN, V. The importance of distinguishing ultimate from proximate causes in the teaching of biology. In: HILLS, S. (Ed.). **History and philosophy of science in science education**. Proceedings of the second international conference for history and philosophy in science education, Mathematics Science Teaching Teacher Education Group. Kingston, Canada: Queens University, 1992, p. 201-210.
- DANCHIN, E. *et al.* Beyond DNA: integrating inclusive inheritance into an extended theory of evolution. **Nature Reviews Genetics**, v. 12, p. 475-486, 2011.
- DARDEN, L; MAULL, N. Interfield theories. **Philosophy of science**, v. 44, n. 1, p. 43-64, 1977.

- DELAGE, Y; GOLDSMITH, M. **Les théories de l'évolution**. Paris: Flammarion, 1909.
- DELISLE, R.G. The uncertain foundation of neo-Darwinism: metaphysical and epistemological pluralism in the evolutionary synthesis. **Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 40, n. 2, p. 119-132, 2009.
- _____. What was really synthesized during the evolutionary synthesis? A historiographic proposal. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 42, p. 50-59, 2011.
- DENZIN, N.K; LINCOLN, Y. **Planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2 ed. Porto Alegre: ARTMED, 2006.
- DEPEW, D.J; WEBER, B.H. Consequences of Nonequilibrium Thermodynamics for the Darwinian Tradition. In: DEPEW, D.J. **Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution**. MIT Press, p. 317-354, 1988.
- DIECKMANN, U; DOEBELI, M. Pluralism in evolutionary theory. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 18, n. 5, p. 1209-1213, 2005.
- DOBZHANSKY, T.H. **Genetics and the Origin of Species**. New York: Columbia University Press, 1937.
- _____. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, v. 75, n. 2, p. 87-92, 1973.
- DOOLITTLE, W.F; BAPTESTE, E. Pattern pluralism and the Tree of Life hypothesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, p. 2043-2049, 2007.
- DUPRÉ, J. **The disorder of things: Metaphysical foundations of the disunity of science**. Harvard University Press, 1993.
- ELDREDGE, N. **Unfinished Synthesis: Biological Hierarchies and Modern Evolutionary Theory**. New York: Oxford University Press, 1985.
- ERWIN, D.H. Evolutionary uniformitarianism. **Developmental Biology**, v. 357, n. 1, p. 27-34, 2011.
- ESPOSITO, M. From Human Science to Biology: The Second Synthesis of Ronald Fisher. **History of the Human Sciences**, v. 29, p. 44-62, 2016.
- FÁBREGAS-TEJEDA, A; VERGARA-SILVA, F. Hierarchy Theory of Evolution and the Extended Evolutionary Synthesis: Some Epistemic Bridges, Some Conceptual Rifts. **Evolutionary Biology**, p. 1-13, 2018.
- FERRARI, M; CHI, M.T.H. The nature of naive explanations of natural selection. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 10, p. 1231-1256, 1998.
- FISHER, R.A. **The Genetical Theory of Natural Selection**. Oxford: Clarendon Press, 1930.

FOLGUERA, G. **Filosofía de la Biología: análisis crítico de las jerarquías en la teoría de la evolución**. EAE Editorial Academia Espanola, 2011.

FRAGA, F.B.F.F. Towards an Evolutionary Perspective in Teaching and Popularizing Microbiology. **Journal of microbiology & biology education**, v. 19, n. 1, 2018.

FREEMAN, S; HERRON, J.C. **Análise evolutiva**. Artmed Editora, 2009.

FREIRE JR, O. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. In: SILVA FILHO, W.J. (Ed.). **Epistemologia e ensino de ciências**. Salvador: Arcádia/UCSal, 2002, p. 13-30.

FUTUYMA, D.J. **Biologia evolutiva**. São Paulo: Editora SBG, 1992.

_____. **Evolução, Ciência e Sociedade**. São Paulo: Editora SBG, 2002.

_____. Evolutionary biology today and the call for an extended synthesis. **Interface focus**, v. 7, n. 5, 2017.

GILBERT, S.F; BOSCH, T.C.G; LEDON-RETTIG, C. Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents. **Nature Reviews Genetics**, v. 16, p. 611-622, 2015.

GIL-PÉREZ, D; MONTORO, I.F; ALÍS, J.C; CACHAPUZ, A; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GOEDERT, L. **A Formação do Professor de Biologia na UFSC e o Ensino da Evolução Biológica**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

GODFREY-SMITH, P. Three Kinds of Adaptationism. In: ORZACK, S.H; SOBER, E (Eds.). **Adaptationism and Optimality**. Cambridge University Press, 2001, p. 335-357.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GOLDSCHMIDT, R. **The Material Basis of Evolution**. New Haven: Yale University Press, 1940

GONTIER, N; BRADIE, M. Acquiring Knowledge on Species-Specific Biorealities: The Applied Evolutionary Epistemological Approach. JOYCE, R (Ed.). **The Routledge Handbook of Evolution and Philosophy**. Routledge, 2017, p. 136-152.

GOULD, S.J. Is a New and General Theory of Evolution Emerging? **Paleobiology**, v. 6, n.1, p. 119-130, 1980.

_____. Evolution as fact and theory. **Discover**, p. 34-37, 1981.

_____. The Hardening of the Modern Synthesis. In: GRENE, M. (Ed.). **Dimensions of Darwinism**. Cambridge University Press; Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1983, p. 71-93.

_____. Planet of the bacteria. **Washington Post Horizon**, 1996.

_____. Evolution: the pleasures of pluralism. **The New York Review of Books**, v. 44, p. 47–52, 1997.

_____. **Lance de dados**. Editora Record, 2001.

_____. **Pilares do tempo: ciência e religião na plenitude da vida**. Rio de Janeiro: Rocco, 2002.

GOULD, S.J; ELDREDGE, N. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: SCHOPF, T.J.M. (Ed.). **Models in Paleobiology**. San Francisco: Freeman, Cooper and Company, 1972, p. 82-115.

GOULD, S.J; LEWONTIN, R. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London B**, v. 205, p. 581-598, 1979.

GOULD, S.J; LLOYD, E.A. Individuality and adaptation across levels of selection: how shall we name and generalize the unit of Darwinism? **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, p. 11904-11909, 1999.

GREGORY, T.R. Understanding evolutionary trees. **Evolution: Education and Outreach**, v. 1, n. 2, p. 121-137, 2008.

_____. Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. **Evolution: Education and outreach**, v. 2, n. 2, 2009.

GREGORY, T.R; ELLIS, C.A.J. Conceptions of evolution among science graduate students. **BioScience**, v. 59, n. 9, p. 792-799, 2009.

HADDAD, A.E (Org.). **A trajetória dos cursos de graduação na saúde: 1991-2004**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2006.

HAIG, D. Proximate and ultimate causes: how come? and what for? **Biology & Philosophy**, v. 28, n. 5, p. 781-786, 2013.

HAHN, H; NEURATH, O; CARNAP, R. A concepção científica do mundo - O Círculo de Viena: Dedicado a Moritz Schlick. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 5-20, 1986.

HARAWAY, D. Saberes localizados: a questão da ciência para o feminismo e o privilégio da perspectiva parcial. **Cadernos pagu**, n. 5, p. 7-41, 1995.

HERNÁNDEZ-NIETO, R.A. **Contributions to statistical analysis**. Mérida: Ediciones Universidad de Los Andes, 2002.

HULL, D. Are species really individuals? **Systematic Zoology**, v. 25, p. 174-191, 1976.

_____. **Science as a process: an evolutionary account of the social and conceptual development of science**. University of Chicago Press, 1988.

HUXLEY, J.S. *Evolution: the modern synthesis*. London: Allen and Unwin, 1942.

- JABLONKA, E; LAMB, M. **Evolution in four dimensions. Genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life.** Cambridge: MIT Press, 2005.
- JAKOBI, S.R. “Little monkeys on the grass...” How people for and against evolution fail to understand the theory of evolution. **Evolution: Education and Outreach**, v. 3, n. 3, p. 416-419, 2010.
- JAMIESON, A; RADICK, G. Genetic determinism in the genetics curriculum. **Science & Education**, v. 26, n. 10, p. 1261-1290, 2017.
- JENSEN, A.R. How much can we boost IQ and scholastic achievement? **Harvard Educational Review**, v. 39, p. 1-123, 1969.
- JUNKER, T. The Eclipse and Renaissance of Darwinism in German Biology (1900-1950). In: ENGELS, E-M; GLICK, T (Eds.). **The Reception of Charles Darwin in Europe – volume II.** London: Continuum, 2008, p. 480-501.
- KELLERT, S.H; LONGINO, H.E; WATERS, C.K (Eds.). **Scientific pluralism.** Minneapolis: University of Minnesota Press, 2006.
- KIMURA, M. Neutral theory of molecular evolution. **Nature**, v. 217, p. 624-626, 1968.
- KUHN, T. **A tensão Essencial.** São Paulo: Editora Unesp, 2011.
- _____. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** Tradução: Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 12 ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- KUMMER, T.A; WHIPPLE, C.J; JENSEN, J.L. Prevalence and persistence of misconceptions in tree thinking. **Journal of microbiology & biology education**, v. 17, n. 3, p. 389-398, 2016.
- LALAND, K.N. *et al.* Cause and effect in biology revisited: is Mayr’s proximate-ultimate dichotomy still useful? **Science**, v. 334, n. 6062, p. 1512-1516, 2011.
- LALAND, K.N. *et al.* Does evolutionary theory need a rethink? **Nature**. v. 514, p. 161-164, 2014.
- LALAND, K.N; ULLER, T; FELDMAN, M.W; STERELNY, K; MULLER, G.B; MOCZEK, A; JABLONKA, E; ODLING-SMEE, J. The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B**, v. 282, 2015.
- LARGENT, M. The so-called eclipse of Darwinism. In: CAIN, J; RUSE, M (Eds.). **Descended from Darwin.** Philadelphia: American Philosophical Society, 2009, p. 3-21.
- LENOIR, T. A ciência produzindo a natureza: o museu de história naturalizada. **Episteme**, v. 2, n. 4, p. 55-72. 1997.
- _____. **Instituindo a ciência: a produção cultural das disciplinas científicas.** São Leopoldo: UNISINOS, 2004.
- LEWONTIN, R.C. Race and Intelligence. **Bulletin of the Atomic Scientists**, v. 26, n. 3, p. 2-8, 1970.

_____. The Apportionment of Human Diversity. In: DOBZHANSKY, T; HECHT, M.K; STEERE, W.C (Eds.). **Evolutionary Biology**. New York: Springer, 1972, p. 381-398.

_____. **The genetic basis of evolutionary change**. New York: Columbia University Press, 1974.

_____. **Not in our genes: biology, ideology and human nature**. New York: Pantheon Books, 1984.

_____. **Tripla hélice: gene, organismo e ambiente**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

LIEBERMAN, B.S; MILLER, W; ELDREDGE, N. Paleontological patterns, macroecological dynamics and the evolutionary process. **Evolutionary Biology**, v. 34, n. 1, p. 28-48, 2007.

LORENZ, K.M. Ação de instituições estrangeiras e nacionais no desenvolvimento de materiais didáticos de ciências no Brasil: 1960-1980. **Revista Educação em Questão**, v. 31, n. 17, p. 7-23, 2008.

LOVE, A.C. Explaining evolutionary innovation and novelty: criteria of adequacy and multidisciplinary prerequisites. **Philosophy of science**, v. 75, p. 874-886, 2008.

LYNN, M.R. Determination and quantification of content validity. **Nursing research**, v. 35, n. 6, 1986.

MACDONALD, T; WILEY, E.O. Communicating phylogeny: evolutionary tree diagrams in museums. **Evolution: Education and Outreach**, v. 5, n. 1, p. 14-28, 2012.

MACFADDEN, B. *et al.* Fossil horses, orthogenesis, and communicating evolution in museums. **Evolution: Education and Outreach**, v. 5, n. 1, p. 29-37, 2012.

MAIO, M.C; SANTOS, R.V. Política de Cotas Raciais, os “olhos da sociedade” e os usos da Antropologia: o Caso do Vestibular da Universidade de Brasília (UnB). **Horizontes Antropológicos**, v.11, n. 23, p. 181-214, 2005.

MARANDINO, M; SELLES, S.E; FERREIRA, M.S. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez, 2009.

MAROCO, J; GARCIA-MARQUES, T. Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? **Laboratório de psicologia**, p. 65-90, 2006.

MARTINS, C.B. O ensino superior brasileiro nos anos 90. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 41-60, 2000.

MARTINS, R.A. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 21-34.

MASETTO, M.T. Inovação curricular no ensino superior. **Revista e-curriculum**, v. 7, n. 2, p.1-20, 2011.

MATO, D. No hay saber “universal”: la colaboración intercultural en la producción de conocimientos es imprescindible. **Alteridades**, v.18, n. 35, p.101-116, 2008.

MAYDEN, R.L. A hierarchy of species concepts: the denouement in the saga of the species problem. In: CLARIDGE, M; DAWAH, H.A; Wilson, M.R (Eds.). **Species: the units of biodiversity**. London: Chapman and Hall, 1997.

MAYR, E. Cause and effect in biology. **Science**, v. 134, p. 1501-1506, 1961.

_____. Some thoughts on the history of the evolutionary synthesis. In: MAYR, E; PROVINE, W (Eds.). **The evolutionary synthesis: perspectives on the unification of biology**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1980, p. 1-48.

_____. **The growth of biological thought: diversity, evolution, and inheritance**. Cambridge, Mass., and London: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

_____. **What evolution is**. Basic Books, 2001.

_____. **What Makes Biology Unique?** Cambridge, MA: Belknap Press, Harvard University Press, 2004.

MCINTYRE, L. **Post-truth**. MIT Press, 2018.

MEAD, L.S. Transforming our thinking about transitional forms. **Evolution: Education and Outreach**, v. 2, n. 2, p. 310-314, 2009.

MEDRADO, F.S; SELLES, S.L.E. Justificativas para a inserção de conteúdos de Evolução em livros didáticos de Biologia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Águas de Lindóia, 2015.

MEGLHIORATTI, F.A; BORTOLOZZI, J; CALDEIRA, A.M.A. História da Biologia: aproximações possíveis entre categorias históricas e concepções sobre ciência e evolução apresentadas pelos professores de biologia. In: CALDEIRA A; CALUZI, J (Eds.). **Filosofia e história da ciência - contribuições para o ensino de ciência**. Ribeirão Preto: Kayrós Editora, 2005, p. 11-28.

MEIR, E. *et al.* College students' misconceptions about evolutionary trees. **The American Biology Teacher**, v. 69, n. 7, p. 71-76, 2007.

MENEGAT, R; ARAÚJO, A.M. Conversando com Irajá Damiani Pinto. **Episteme**, n. 17, p. 9-29, 2003.

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

MITCHELL, S.D. **Biological complexity and integrative pluralism**. Cambridge University Press, 2003.

MÜLLER, G.B. Evo–devo: extending the evolutionary synthesis. **Nature reviews genetics**, v. 8, n. 12, p. 943-949, 2007.

_____. Why an extended evolutionary synthesis is necessary. **Interface Focus**, v. 7, n.6, p. 1-11, 2017.

NADELSON, L.S; SOUTHERLAND, S.A. Development and preliminary evaluation of the Measure of Understanding of Macroevolution: Introducing the MUM. **The Journal of Experimental Education**, v. 78, p. 151-190, 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Thinking evolutionarily: Evolution education across the life sciences: Summary of a convocation**. Washington: National Academies Press, 2012.

NEHM, R.H; KAMPOURAKIS, K. History and philosophy of science and the teaching of macroevolution. In: MATTHEWS, M.R. (Ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014, p. 401-421.

NEHM, R.H; SCHONFELD, I.S. Measuring knowledge of natural selection: a comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 45, n. 10, p. 1131-1160, 2008.

NEHM, R.H; REILLY, L. Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. **BioScience**, v. 57, n. 3, p. 263-272, 2007.

ODLING-SMEE, F.J; LALAND, K.N; FELDMAN, M.W. **Niche Construction: the Neglected Process in Evolution**. Princeton University Press, 2003.

OLEQUES, L.C. **A evolução biológica em diferentes contextos de ensino**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde), Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

OLEQUES, L.C. *et al.* Evolução Biológica: percepção de professores de biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 2, p. 243-263, 2011.

OLIVEIRA, A. Etnografia e pesquisa educacional: por uma descrição densa da educação. **Educação Unisinos**, v. 17, n.3, p. 271-280, 2013.

OLIVEIRA, T.B; CALDEIRA, A.M.A; BRANDO, F.R. Evolução biológica: ECO-EVO-DEVO na formação inicial de professores e pesquisadores. **Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias**, v. 12, n. 2, p. 81-98, 2017.

ORDINE, N. **A utilidade do inútil**. Rio de Janeiro: Zahar, 2016.

ORZACK, S.H; FORBER, P. Adaptationism. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2017. Disponível em: www.plato.stanford.edu/adaptationism. Acesso em: 20 Junho 2018.

OYAMA, S; GRIFFITHS, P.E; GRAY, R.D. **Cycles of contingency. Developmental systems and evolution**. Cambridge: MIT Press, 2001.

PADIAN, K, ANGIELCZYK, K.D. Transitional forms versus transitional features. In: PETTO, A.J; GODGREY L.R (Eds.). **Scientists confront intelligent design and creationism**. New York: Norton, 2007, p. 197-230.

PAES-NETO, V.D; SANTOS, M.B.L; MELO, T.P. Paleontologia e Evolução no tempo profundo. In: ARAÚJO, L.A.L (Org.). **Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino**. Porto Alegre: Editora Fi, 2017, p. 35-60.

- PAESI, R.A. Evolução humana nos livros didáticos de Biologia: o antropocentrismo em questão. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 1, p. 143-166, 2018.
- PENA, S.D.J; BORTOLINI, M.C. Pode a genética definir quem deve se beneficiar das cotas universitárias e demais ações afirmativas? **Estudos Avançados**, v. 18, n. 50, p. 31-50, 2004.
- PENA, S.D.J. *et al.* Retrato molecular do Brasil. **Ciência hoje**, v. 27, n. 159, p. 16-25, 2000.
- PIEVANI, T. Rhapsodic evolution: Essay on exaptation and evolutionary pluralism. **World Futures: The Journal of General Evolution**, v. 59, n. 2, p. 63-81, 2003.
- PIGLIUCCI, M. Do we need an extended evolutionary synthesis? **Evolution: International Journal of Organic Evolution**, v. 61, n. 12, p. 2743-2749, 2007.
- PIGLIUCCI, M; KAPLAN, J. The fall and rise of Dr. Pangloss: Adaptationism and the Spandrels paper 20 years later. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 66-70, 2000.
- PIGLIUCCI, M; BOUDRY, M. **Philosophy of Pseudoscience: Reconsidering the Demarcation Problem**. Chicago/London: The University of Chicago Press, 2013.
- PIGLIUCCI, M; MÜLLER, G.B. **Evolution – The Extended Synthesis**. Cambridge: MIT Press, 2010.
- PRADEU, T. Thirty years of Biology & Philosophy: philosophy of which biology? **Biology & Philosophy**, v. 32, n. 2, p. 149-167, 2017.
- PRESTES, M.E.B; CALDEIRA, A.M.A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 1-16, 2009.
- PRICE, R.M; PEREZ, K.E. Beyond the adaptationist legacy: updating our teaching to include a diversity of evolutionary mechanisms. **The American Biology Teacher**, v. 78, n. 2, p. 101-108, 2016.
- PROVINE, W. Progress in evolution and meaning of life. In: WATERS, K; VAN HELDEN, A (Eds.). **Julian Huxley, biologist and statesman of science**. Houston: Rice University Press, 1992, p. 165-180.
- _____. **The origins of theoretical population genetics: with a new afterword**. University of Chicago Press, 2001.
- REECE, J.B. *et al.* **Biologia de Campbell**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2015.
- REID, R.G.B. **Evolutionary Theory: The Unfinished Synthesis**. Ithaca: Cornell University Press, 1985.
- REIS, C.R.M. Ecologia e evolução: a abordagem evolutiva em livros didáticos de ecologia. In: ARAÚJO, L.A.L (Org.). **Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino**. Porto Alegre: Editora Fi, 2017, p. 391-386.

- REIS, C.R.M; ARAÚJO, L.A.L. Extended Evolutionary Synthesis: Neither Synthesis Nor Extension. **Biological Theory**, v. 15, p. 57-60, 2020.
- ROMA, V.N. **Os livros didáticos de biologia aprovados pelo programa nacional do livro didático para o ensino médio (PNLEM 2007/2009): a evolução biológica em questão**. Dissertação (Ensino de Ciência), Universidade de São Paulo, 2011.
- RIDLEY, M. **Evolução**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009.
- ROSA, R.T.D. Prefácio. In: ARAÚJO, L.A.L (Org.). **Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino**. Porto Alegre: Editora Fi, 2017, p. 11-22.
- ROSENBERG, N.A. *et al.* Genetic structure of human populations. **Science**, v. 298, n. 5602, p. 2381-2385, 2002.
- ROSENGREN, K.S. *et al.* (Eds.). **Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution**. Oxford University Press, 2012.
- RUBIO, D.M. *et al.* Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. **Social work research**, v. 27, n. 2, p. 94-104, 2003.
- RUTLEDGE, M.L; MITCHELL, M.A. High school biology teachers' knowledge structure, acceptance and teaching of evolution. **American Biology Teacher**, v. 64, n. 1, p. 21-28, 2002.
- RUTLEDGE, M.L; WARDEN, M.A. The development and validation of the Measure of Acceptance of the Theory of Evolution instrument. **School Science and Mathematics**, v. 99, n. 1, p.13-18, 1999.
- SAHLINS, M. **The Use and Abuse of Biology: an Anthropological Critique of Sociobiology**. University of Michigan Press, 1976.
- SANTOS, B.W. **Análise de livros didáticos e validação de sequência didática sobre pluralismo de processos e evo-devo no contexto do ensino de Zoologia de Vertebrados**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento), Universidade Federal da Bahia, 2014.
- SANTOS, R.V; MAIO, M.C. Antropologia, raça e os dilemas das identidades na era da genômica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 12, n. 2, p. 447-468, 2005.
- SARKAR, S. Evolutionary theory in the 1920s: the nature of the "synthesis". **Philosophy of Science**, v. 71, p. 1215-1226, 2004.
- _____. Haldane's The causes of evolution and the Modern Synthesis in evolutionary biology. **Journal of Genetics**, v. 96, n. 5, p. 753-763, 2017.
- SEPULVEDA, C; EL-HANI, C. N. **Controvérsias sobre o conceito de adaptação e suas implicações para o ensino de evolução**. Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis: Abrapec, 2007.
- _____. Ensino de Evolução: uma experiência na formação inicial de professores de biologia. In: TEIXEIRA, P.M.M; RAZERA, J.C.C. (Orgs.). **Ensino de Ciências: pesquisas e pontos em discussão**. 1. ed. Campinas: Komedi, 2009.

- SHANAHAN, T. Evolutionary progress? **BioScience**, v. 50, n. 5, p. 451-459, 2000.
- SHERMAN, P.W. The levels of analysis. **Animal Behaviour**, v. 36, n. 2, p. 616-619, 1988.
- SILVA, T.T. **Documentos de Identidade: uma Introdução às Teorias de Currículo**. Editora Autêntica. 2010.
- SILVA-PORTO, F.C; LUZ, M.R.M.P; WAIZBORT, R. A suposta centralidade da Evolução nos livros didáticos de Biologia. **Anais do VI encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, Florianópolis, 2007, p. 127-138.
- SMOCOVITIS, V.B. **Unifying biology: the evolutionary synthesis and evolutionary biology**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996.
- STANKOWICH, T; ROMERO, A.N. The correlated evolution of antipredator defences and brain size in mammals. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1846, 2017.
- STEARNS, S.C. Trade-offs in life-history evolution. **Functional ecology**, v. 3, n. 3, p. 259-268, 1989.
- STEFFEN, W. *et al.* The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 369, n. 1938, p. 842-867, 2011.
- STOLTZFUS, A. Why we don't want another "Synthesis". **Biology Direct**, v. 12, n. 23, 2017.
- TEMPLETON, A.R. Human races: a genetic and evolutionary perspective. **American Anthropologist**, v. 100, n. 3, p. 632-650, 1999.
- TIDON, R; LEWONTIN, R.C. Teaching evolutionary biology. **Genetics and Molecular Biology**, v. 27, p. 124-131, 2004.
- ULLER, T; HELANTERÄ, H. Heredity in evolutionary theory. In: HUNEMAN, P; WALSH, D. (Eds.). **Challenging the Modern Synthesis: Adaptation, Development, and Inheritance**. Oxford: Oxford University Press, 2017, p. 280-316.
- UNESCO. **Global Education Monitoring Report 2017/8: Accountability in Education**. Paris, UNESCO, 2018. Disponível em: <https://en.unesco.org/gem-report/report/2017/accountability-education>. Acesso em: 05 Maio 2020.
- VEIGA-NETO, A. A didática e as experiências de sala de aula: uma visão pós-estruturalista. **Educação e Realidade**, v. 21, n. 2, p. 161-175, 1996.
- _____. Para pensar de outro modo a ética na pesquisa. In: SANTOS, L.H.S; KARNOPP, L.B. (Orgs.). **Ética e pesquisa em Educação: questões e proposições às ciências humanas e sociais**. Porto Alegre: Editora de UFRGS, 2017, p. 265-300.
- VELHO, G. O desafio da proximidade. In: VELHO, G; KUSCHNIR, K (Orgs.). **Pesquisas urbanas: desafios do trabalho antropológico**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, p. 11-19, 2003.

- VOLTAIRE. **Cândido ou o otimismo**. Lisboa: Tinta-da-China, 2006.
- WADDINGTON, C.H. **The Strategy of the Genes**. London: Allen and Unwin, 1957.
- WALSH, D.M. **Organisms, agency, and evolution**. Cambridge University Press, 2015.
- WERTH, A. Avoiding the pitfall of progress and associated perils of evolutionary education. **Evolution: Education and Outreach**, v. 5, n. 2, p. 249-265, 2012.
- WEST-EBERHARD, M.J. **Developmental plasticity and evolution**. Oxford University Press, 2003.
- WILLINSKY, J. Ciência e a origem da raça. In: LOPES, A.C; MACEDO, E (Org.). **O currículo de ciências em debate**. Campinas: Papirus, 2004, p. 77-118.
- WILSON, E.O. **Sociobiology: The New Synthesis**. Harvard University Press, 1975.
- WISSEMANN, V. Plant evolution by means of hybridization. **Systematics and Biodiversity**, v. 5, n. 3, p. 243-253, 2007.
- WORTMANN, M.L; COSTA, M.V; SILVEIRA, R.H. Sobre a emergência e a expansão dos Estudos Culturais em educação no Brasil. **Revista Educação**, v. 38, n. 1, p. 32-48, 2015.
- WRIGHT, S. Genetics and the hierarchy of biological sciences. **Science**, v. 130, n. 3381, p. 959-965, 1959.
- YIN, R.K. **Estudo de caso - planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman. 2001.
- YUDELL, M; DESALLE, R. Essay Review - Sociobiology: Twenty-Five Years Later. **Journal of the History of Biology**, v. 33. p. 577-584, 2000.
- ZAMBERLAN, E.S.J; SILVA, M.R. O evolucionismo como princípio organizador da biologia. **Temas & Matizes**, v. 15, p. 27-41, 2009.
- _____. O Ensino de Evolução Biológica e a sua Abordagem em Livros Didáticos. **Educação & Realidade**, v. 37, n. 1, p. 182-212, 2012.
- ZIADIE, M.A; ANDREWS, T.C. Moving evolution education forward: a systematic analysis of literature to identify gaps in collective knowledge for teaching. **CBE—Life Sciences Education**, v. 17, n. 1, p. 11, 2018.
- ZILLIG, C. **Dear Mr. Darwin: A intimidade da correspondência entre Fritz Müller e Charles Darwin**. São Paulo: Sky/nima Comunicação e Design, 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE A

IV CURSO DE VERÃO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA (2018/1)

26 de Fevereiro a 02 de março de 2018

Segunda-feira (26/02)

13h30min/14h40min - Apresentação do Curso.

14h40min/16h10min - *Pe. Balduino Rambo: Sacerdote, Filósofo e Naturalista.*

Intervalo

16h30min/17h30min - Mecanismos Evolutivos.

Terça-feira (27/02)

09h00min/10h20min - Admirável Mundo Novo: Epigenética.

Intervalo

10h40min/12h00 - O Alcance da Seleção Natural e dos Genes na Explicação das Formas do Mundo Vivo.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Evo-Devo: Expandindo as Fronteiras da Biologia Evolutiva.

14h40min/15h50min - A Influência do Ambiente sobre a Morfologia: um Estudo de Caso sobre uma Espécie de Roedor Subterrâneo e suas Implicações para a Biologia Evolutiva.

Intervalo

16h20min/17h30min - Discutindo Macroevolução e Paleontologia.

Quarta-feira (28/02)

09h00min/10h20min - Visita ao Museu de Paleontologia.

Intervalo

10h40min/12h00 - A Evolução Biológica e a Genética no Brasil.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - A Ciência é Livre de Valores?

14h40min/15h50min - Filogenias e Interpretações de Histórias Evolutivas.

Intervalo

16h20min/17h30min - Escorregadas Gradistas.

Quinta-feira (01/03)

09h00min/10h20min - História do Pensamento Evolutivo.

Intervalo

10h40min/12h00 - Filosofia da Biologia e a Teoria Evolutiva.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Evolução Humana.

14h40min/15h50min - Tensionando o Conceito de Raça na Antropologia e na Biologia Evolutiva.

Intervalo

16h20min/17h30min - Psicologia Evolutiva.

Sexta-feira (02/03)

13h30min/14h40min - Ecologia Evolutiva.

Intervalo

15h00min/16h20min - As Marcas da Evolução na Saúde Humana.

16h20min/17h30min - Evolução: algumas ideias que podem ser confusas.

IV CURSO DE INVERNO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA (2018/2)

Edição especial com base no livro “Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino”

23 a 27 de Julho de 2018

Segunda-feira (23/07)

13h30min/14h40min - Apresentação do Curso.

14h40min/16h10min - A Biologia Evolutiva de Richard Lewontin.

Intervalo

16h30min/17h30min - O ensino de evolução biológica e o direito à educação científica.

Terça-feira (24/07)

09h00min/10h20min - Mecanismos evolutivos.

Intervalo

10h40min/12h00 - A compreensão de Evolução Biológica no Brasil: o triplo problema.

Intervalo do almoço

13h30min/14h40min - Aprendendo Evolução Biológica a partir das árvores evolutivas.

14h40min/15h50min - Sistemática Filogenética: abordando a evolução em sala de aula I.

Intervalo

16h20min/17h30min - Sistemática Filogenética: abordando a evolução em sala de aula II.

Quarta-feira (25/07)

09h00min/10h20min - Visita ao Museu de Paleontologia.

Intervalo

10h40min/12h00 - Atividades sobre evolução: participantes de edições anteriores do curso.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - A Evolução dos Pampas.

14h40min/15h50min - O problema das espécies: questões empíricas e filosóficas.

Intervalo

16h20min/17h30min - Paleontologia e Evolução no tempo profundo.

Quinta-feira (26/07)

13h30min/14h40min - Existe uma teoria geral da evolução?

14h40min/15h50min - A proposta de uma “Síntese Estendida da Evolução”.

Intervalo

16h20min/17h30min - Admirável Mundo Novo: Epigenética.

Sexta-feira (27/07)

09h00min/10h20min - Evo-Devo e a expansão das fronteiras da Biologia Evolutiva.

Intervalo

10h40min/12h00 - A Biologia Evolutiva e a compreensão do mundo microbiano.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Dogma, Ciência e Democracia: um relato de experiência de aula.

Intervalo

15h00min/16h20min - Um mistério revelado: como os conhecimentos evolutivos vêm sendo explorados nas aulas de Biologia do ensino médio?

16h20min/17h30min - Encerramento.

V CURSO DE VERÃO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA (2019/1)

Evolução em tempos de “Pós-Verdade”

11 a 15 de março de 2019

Segunda-feira (11/03)

13h30min/14h40min - Apresentação do Curso.

14h40min/15h50min - Barbara McClintock e as questões de gênero na Biologia Evolutiva.

Intervalo

16h20min/17h30min - Evolução Biológica em tempos de pós-verdade.

Terça-feira (12/03)

09h00min/10h20min - Por que odiamos tanto estudar plantas?

Intervalo

10h40min/12h00 - Princípios da Ecologia Evolutiva.

Intervalo do almoço

13h30min/14h40min - Darwin e o ciático: um olhar evolutivo sobre a saúde do movimento humano atual.

14h40min/15h50min - Como os sons podem moldar a evolução: um enfoque evolutivo da bioacústica dos cetáceos.

Intervalo

16h20min/17h30min - Admirável Mundo Novo: Epigenética.

Quarta-feira (13/03)

13h30min/14h40min - Evo-Devo e a expansão das fronteiras da Biologia Evolutiva.

14h40min/15h50min - Plasticidade fenotípica, Eco-Evo-Devo e o negacionismo do aquecimento global.

Intervalo

16h20min/17h30min - O papel da Educação Científica na promoção de direitos humanos e os riscos de censura.

Quinta-feira (14/03)

09h00min/10h00 - Visita ao Museu de Paleontologia.

Intervalo

10h20min/12h00 - Atividades sobre evolução: participantes de edições anteriores do curso.

Intervalo do almoço

13h30min/14h40min - Elementos transponíveis: o lado inquieto do genoma.

14h40min/15h50min - Existe uma teoria geral da evolução?

Intervalo

16h20min/17h30min - Qual a importância da Filosofia para a Biologia Evolutiva?

Sexta-feira (15/03)

09h00min/10h20min - Paleontologia e Evolução no tempo profundo.

Intervalo

10h40min/12h00 - Evolução e Criacionismo no Ensino de Biologia.

Intervalo do almoço

13h30min/14h40min - A Biologia Evolutiva e a compreensão do mundo microbiano.

Intervalo

15h00min/16h20min - História evolutiva dos Hominíneos.

16h20min/17h30min – Encerramento.

V CURSO DE INVERNO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA (2019/2)

Pela Centralidade da Evolução no Ensino de Biologia

22 a 26 de julho de 2019

Segunda-feira (22/07)

13h30min/14h40min - Evolucionista Homenageado: Professor Aldo Mellender de Araújo.

14h40min/16h10min - Por que a Evolução deve ser central no Ensino de Biologia?

Intervalo

16h30min/17h30min - Bioquímica e Evolução.

Terça-feira (23/07)

13h30min/14h00 - Atividades sobre evolução: participantes de edições anteriores do curso.

14h00/15h10min - A Origem da Multicelularidade Animal.

Intervalo

15h30min/16h40min - Bactérias e Vírus.

16h40min/18h00min - Hereditariedade, Variação e Evolução.

Quarta-feira (24/07)

09h00min/10h20min - Biologia Evolutiva do Desenvolvimento.

Intervalo

10h40min/12h00 - Sistemática Filogenética.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Evolução, Religião e Criacionismo.

14h40min/15h50min - Educação em Direitos Humanos e liberdade de expressão: riscos de censura.

Intervalo

16h20min/17h30min - Elementos de Agnotologia Contemporâneo.

Quinta-feira (25/07)

09h00min/10h20min - Por que o pensamento evolutivo é primordial no Ensino de Ecologia?

Intervalo

10h40min/12h00 - História e Filosofia da Biologia.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Ecologia e Macroevolução.

14h40min/15h50min - Botânica e Evolução.

Intervalo

16h20min/17h30min - Evolução Humana.

Sexta-feira (26/07)

09h00min/10h20min - Visita ao Museu de Paleontologia.

Intervalo

10h40min/12h00 - O desconhecido mundo dos Fungos.

Intervalo do Almoço

13h30min/14h40min - Biologia Animal e Evolução I.

Intervalo

15h00min/16h20min - Biologia Animal e Evolução II.

16h20min/17h30min - Pela centralidade da Evolução no Ensino de Biologia.

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

Caro(a) cursista, este questionário não é uma prova ou uma avaliação dos seus conhecimentos. Você não é obrigado a respondê-lo. Os organizadores do Curso de Biologia Evolutiva da UFRGS irão utilizar essas respostas para repensar o curso de evolução, assim como para desenvolver pesquisas sobre ensino de evolução. Por isso, estamos pedindo sua colaboração. Por favor, responda a partir do que você pensa e procure ser o mais sincero possível. Não se preocupe se está certo ou errado, se você já estudou isso ou nunca estudou. Muito obrigado por sua colaboração!

DADOS

Você já participou do Curso de Biologia Evolutiva? Se sim, quando? _____

Religião _____ Sexo _____

Você é professor(a)? Se sim, em qual disciplina e modalidade de ensino (estadual, municipal, particular, ensino superior, etc...)? _____

Qual o seu curso de graduação? (informar licenciatura/bacharelado) _____

Instituição de formação: _____

Ano de formação: _____ Se não formado, informar o semestre: _____

Você possui pós-graduação? Em qual área? _____

Você já fez disciplinas sobre evolução biológica? Se sim, qual(is)? _____

QUESTÕES DISSERTATIVAS

1. Quais as **disciplinas** e **conteúdos** você considera mais importantes para a evolução biológica?
Por quê?

2. A **abordagem** e o **conteúdo** do Curso de Biologia Evolutiva apresentou alguma diferença em relação à sua formação inicial sobre evolução? Quais são as semelhanças e diferenças?

3. Este curso, ou pelo menos parte dele, interferiu na sua forma de pensar sobre evolução? Se sim, de que forma?

4. Caso você queira expressar algum comentário, crítica ou sugestão, escreva abaixo! Sem dúvida, o que você escrever será muito valioso para seguir a melhoria do curso.

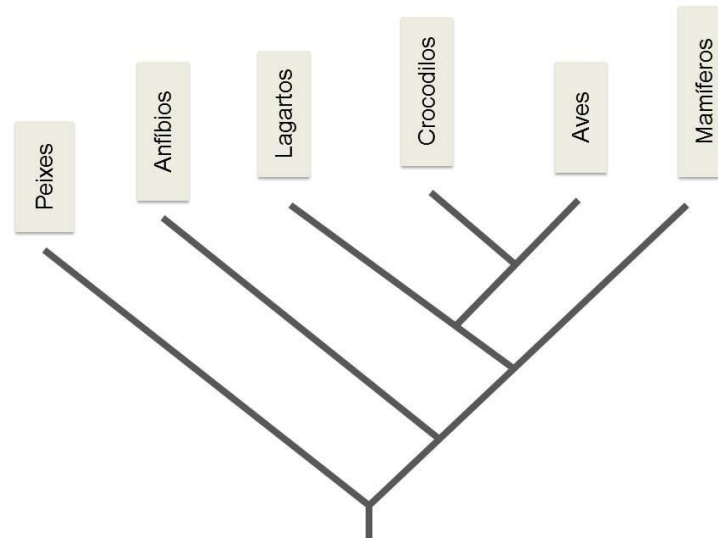


O questionário continua....



<u>INDIQUE O SEU GRAU DE CONCORDÂNCIA/DISCORDÂNCIA EM RELAÇÃO ÀS DECLARAÇÕES</u> <u>ABAIXO</u>	Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo Parcialmente	Discordo Totalmente
A) A seleção natural produz organismos perfeitamente adaptados aos seus ambientes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B) A seleção natural atua nos organismos individuais para adaptá-los ao meio ambiente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C) A capacidade de correr rapidamente em guepardos evoluiu porque essa espécie precisava ser capaz de pegar as suas presas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D) As mudanças ao longo das gerações em uma população são sempre adaptativas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E) A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F) As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G) O comportamento dos suricatos de avisar outros indivíduos da aproximação de um predador evoluiu por seleção natural para favorecer a sobrevivência da espécie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H) Hipóteses científicas tornam-se teorias e, finalmente, com mais evidências, tornam-se fatos bem estabelecidos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I) A inexistência de registros fósseis para as formas intermediárias, como entre <i>Homo sapiens</i> e outras espécies de hominíneos, pode refutar a teoria evolutiva.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J) A teoria evolutiva atingiu a sua maturidade com a unificação entre o darwinismo e a genética, não sofrendo modificações desde então.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K) A evolução morfológica é limitada por restrições do desenvolvimento e pela história evolutiva das espécies.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L) Não é preciso o surgimento de novos genes para a evolução de novas estruturas fenotípicas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M) As linhagens de seres vivos evoluem em taxas constantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
N) Irradiações evolutivas e extinções são importantes processos evolutivos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O) Há uma série de evidências que embasam a hipótese de ancestralidade comum entre eucariotos e procariotos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P) Os eventos macroevolutivos (mudanças evolutivas acima das populações) resultam da soma de vários eventos microevolutivos (mudanças evolutivas no nível das populações).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

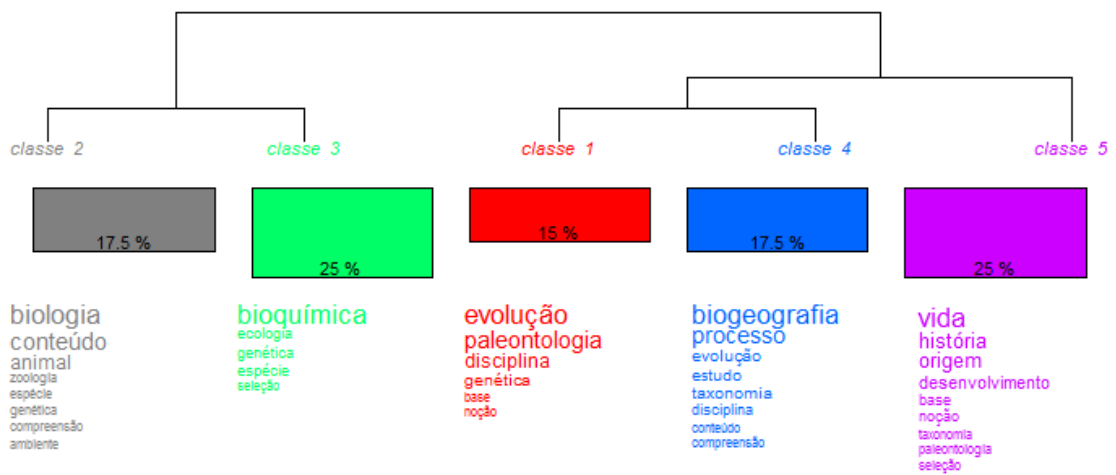
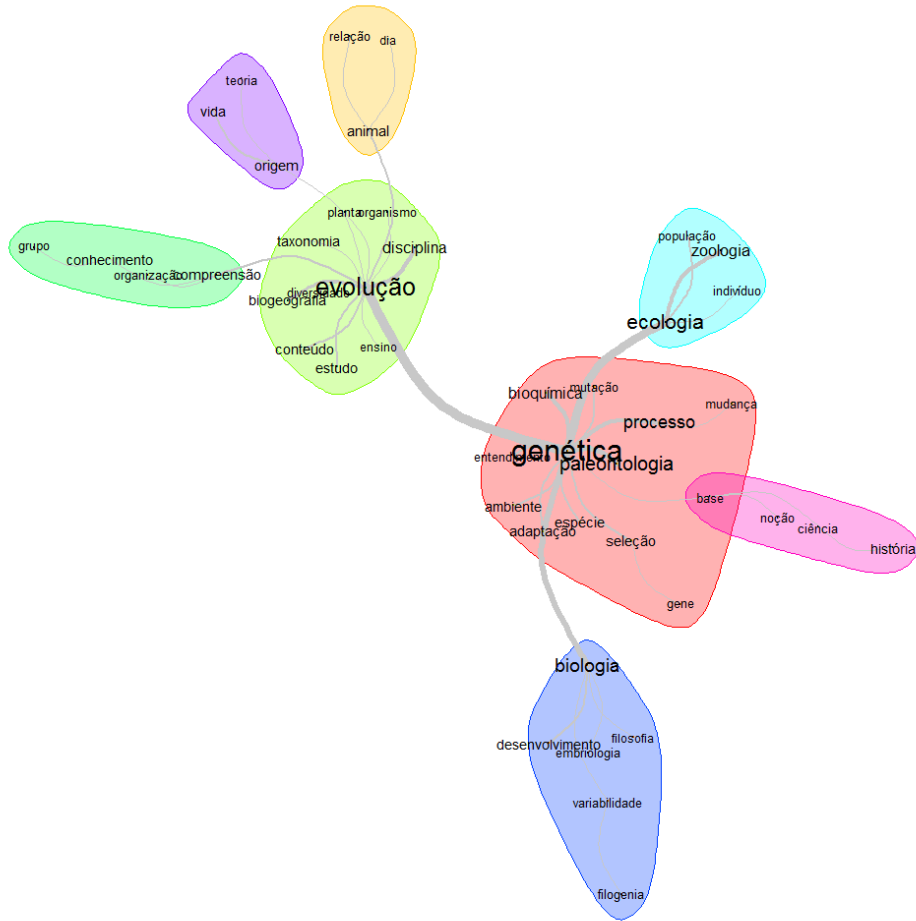
Com base na árvore evolutiva a seguir, indique o seu grau de concordância/discordância em relação às declarações abaixo



	Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo Parcialmente	Discordo Totalmente
Q) Segundo a filogenia, os peixes são igualmente aparentados aos lagartos e aos mamíferos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R) Segundo a filogenia, os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S) Podemos inferir a partir da filogenia que os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T) Segundo a filogenia, os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
U) Podemos inferir a partir da filogenia que os anfíbios são menos evoluídos do que as aves e os mamíferos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

APÊNDICE C

Análise de similitude e CHD para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pré-curso, 2019/2).



Análise de similitude e CHD para a questão “Quais as disciplinas e conteúdos você considera mais importantes para a evolução biológica? Por quê?” (pós-curso, 2019/2).

