Filipe Faria Berçot

História da biologia e natureza da ciência na
formação inicial de professores: uma sequência
didática sobre reprodução animal no século XVIII
nos estudos de Charles Bonnet e Abraham
Trembley

History of biology and nature of science in preservice teacher
training: a teaching learning sequence on animal reproduction
in the Eighteenth century in the studies of Charles Bonnet and
Abraham Trembley

São Paulo

2018

Filipe Faria Berçot

História da biologia e natureza da ciência na
formação inicial de professores: uma sequência
didática sobre reprodução animal no século XVIII
nos estudos de Charles Bonnet e Abraham
Trembley

History of biology and nature of science in preservice teacher
training: a teaching learning sequence on animal reproduction
in the Eighteenth century in the studies of Charles Bonnet and
Abraham Trembley

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Ciências, na área de
Biologia Genética

Orientadora: Prof^ª Dr^a Maria Elice de
Brzezinski Prestes

São Paulo

2018

Berçot, Filipe Faria
História da biologia e natureza da ciência na
formação inicial de professores: uma Sequência
Didática sobre reprodução animal no século XVIII
nos estudos de Charles Bonnet e Abraham Trembley
/ Filipe Faria Berçot; orientadora Maria Elice de
Brzezinski. --São Paulo, 2018.
349 f.

Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo. Departamento de
Genética e Biologia Evolutiva.

1. História da Biologia. 2. Natureza da ciência. 3.
Sequência didática. 4. Charles Bonnet. 5.
Abraham Trembley. I. Universidade de São
Paulo.
Instituto de Biociências. Departamento de
Genética e Biologia Evolutiva II. Título.

Comissão julgadora

Prof. Dr.

Prof. Dr

Profa. Dra.

Prof. Dr.

Profª. Drª Maria Elice de Brzezinski Prestes
Orientadora

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Doutora Maria Elice de Bzezinski Prestes, por toda atenção dispensada à pesquisa. Pelos inúmeros incentivos, pela amizade e carinho ao longo desses anos de trabalho.

Ao Agustín Adúriz-Bravo, professor da Universidade de Buenos Aires e coordenador do Grupo de Epistemologia, História e Didática das Ciências (GEHyD), pela acolhida junto ao seu grupo de pesquisa na Argentina, pelos conselhos, auxílio e suporte acadêmico.

Ao CNPq, que subsidiou a pesquisa no Brasil e à CAPES, que possibilitou a dedicação e investimento de parte do trabalho no exterior.

Aos colegas do LaHBE, pelas ricas discussões em seminários, pelas valiosas contribuições dadas à minha pesquisa.

Aos licenciandos da USP e UNIFESP, que aceitaram, gentilmente, participar desta pesquisa.

Aos meus pais, pelo estratosférico amor e carinho dado ao longo da minha existência sobre esse planetinha azul.

À minha irmã, por sempre acreditar em mim.

À Cínthia, por estar ao meu lado e suportar minhas crises de desespero.

E a todos que contribuíram para o desenvolvimento desta tese, o meu mais sincero obrigado.

Índice

INTRODUÇÃO	7
Objetivos do estudo	7
Objetivos específicos	7
Motivações pessoais e delineamento da pesquisa	8
Das questões a investigar	12
Organização da tese	14
PARTE I: A PESQUISA HISTÓRICA	17
CAPÍTULO 1 - A pesquisa histórica	17
1.1. Introdução	17
1.2. Objetivos	17
1.3. Metodologia da pesquisa histórica	18
1.3.1. Das fontes históricas	18
1.3.2. Da redação de um texto histórico	21
CAPÍTULO 2 - Charles Bonnet (1720-1793) e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento em pulgões	24
2.1. Questões de âmbito teórico e filosófico sobre a geração animal no século XVIII .	24
2.2. Dos recursos materiais e instrumentais	28
2.3. Da comunicação e financiamento das pesquisas	29
2.4. Charles Bonnet, da formação às observações em história natural	32
2.4.1 Charles Bonnet e a história natural	37
2.4.2 Bonnet, Réaumur e a insectologia	40
2.4.3. O problema dos pulgões no século XVIII	42
2.4.4. Réaumur e a investigação do sexo em pulgões	46
2.4.5. Réaumur e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento	47
2.4.6. Charles Bonnet e as observações com pulgões	48
2.4.7. Bonnet e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento	51
2.4.8. As evidências da multiplicação sem acasalamento.....	53
2.4.9. As evidências contrárias à multiplicação sem acasalamento	55
2.4.10. Considerações gerais	61
CAPÍTULO 3. Animais, Plantas ou Animais-Planta? Os estudos de Abraham Trembley (1710-1784) e os pólipos de água doce	65
3.1. Abraham Trembley (1710-1784)	65
3.1.1. Trembley e os pólipos de água doce	68
3.1.2. Comunicação entre Trembley e Réaumur	72
3.1.3. Um animal que brota? A forma “incomum” de reprodução dos pólipos.....	74
3.1.4. Pólipos de água doce: dos aspectos anatômicos e fisiológicos da digestão	79

3.1.5. Pólipos de água doce: a reprodução por brotamento	86
3.1.6. Pólipos: vivíparos! E... ovíparos?	88
3.1.7. Os pólipos: dos fossos à fama – considerações gerais	92
PARTE II – A pesquisa empírica	96
CAPÍTULO 4 – Fundamentação teórica	96
4.1. História da Ciência e Ensino de Ciências	96
4.1.1 Funções da História da Ciência na ciência	97
4.1.2 Funções da história da ciência no ensino de ciências	99
4.1.3. Dificuldades da História da Ciência no ensino de ciências	100
4.1.4. História da ciência e a formação de professores	101
4.1.5. História da Ciência e Natureza da Ciência	104
4.2. Estratégias e materiais de ensino	113
4.3. Ensino por Investigação	115
4.3.1. Os “5E”	116
4.4. Sequências Didáticas	119
4.5. Pesquisa Baseada em Design (DBR)	120
CAPÍTULO 5. Desenvolvimento das estratégias e recursos	124
5.1. Planejamento e construção da Replicação “física” de experimento histórico	124
5.1.1. Replicação de experimento histórico, investigação e NdC	125
5.1.2. Dos recursos instrumentais e materiais da replicação	126
5.1.3. Construção da Narrativa Histórica	129
5.2. Objeto Virtual de Aprendizagem: Planejamento e construção dos protótipos	138
5.2.1. Objeto Virtual de Aprendizagem: protótipo I	140
5.2.2. Objeto Virtual de Aprendizagem: protótipo II	142
CAPÍTULO 6 – Métodos e técnicas de coleta e análise dos dados	144
6.1. Abordagem qualitativa	144
6.2. Pesquisa participante e observação participante	144
6.3. Análise de Conteúdo	145
6.4. Instrumentos de coletas de dados (pré e pós teste)	147
6.5. Métodos de transcrição	149
6.6. Rubricas: estratégias e materiais instrucionais – desenvolvimento e validação	150
CAPÍTULO 7 – Estudo etnográfico	154
7.1. Dos aspectos institucionais	154
7.2 Análise etnográfica: público alvo do protótipo I	154
7.3 Análise etnográfica: público alvo do protótipo II	159
CAPÍTULO 8 - Resultados e Discussão	164
8.1. Planejamento, desenvolvimento e validação: protótipo I	164

8.2. Aplicação: Protótipo I	165
8.2.1. Apresentação (Aula 1)	165
8.3 Coleta e análise de dados	166
8.3.1. Aula 2: A experimentação com seres vivos no século XVIII	166
8.3.2. Aula 2 (parte 2) “O dilema de Trembley”	168
8.3.3. Aula 3: Narrativa histórica “Pólipo, um zoófito?!?”	174
8.3.4. Aula 4. Narrativa histórica: “O enigma do pulgão no século XVIII”	178
8.4. Considerações gerais da SD: iteração I	186
8.5. Dos Princípios de Design, refino e readequação: iteração I.....	204
8.6. Planejamento, desenvolvimento e validação: protótipo II.....	206
8.7. Aplicação: protótipo II	207
8.8 Coleta e análise de dados	208
8.8.1. Aula 1 (Parte I): Usos de História da Ciência e Natureza da Ciência no ensino	208
8.8.2. Aula 1 (Parte II): Replicação física de experimento histórico “O dilema de Trembley”	209
8.8.3. Aula 2. Narrativa histórica: “Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação”	232
8.8.4. Aula 3. Objeto Virtual de Aprendizagem: “ O enigma dos pulgões no século XVIII.....	255
8.9. Considerações gerais da SD: iteração II.....	266
8.10. Dos Princípios de Design, refino e readequação: protótipo II.....	275
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	278
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	287
ANEXOS	303

INTRODUÇÃO

Objetivos do estudo

O presente trabalho teve como objetivo, elaborar, validar, aplicar e avaliar uma Sequência Didática (SD), baseada em episódios da História da Biologia do século XVIII, associando práticas de ensino por Investigação (EI). A SD, destinada a licenciandos em Ciências Biológicas, foi planejada com o propósito de promover conhecimentos históricos específicos (conteúdo histórico), revisitar conteúdos conceituais sobre modos de reprodução assexual animal (conteúdo científico) sob a perspectiva de aplicações didáticas e subsidiar concepções informadas sobre a Natureza da Ciência (conteúdo metacientífico).

Objetivos específicos

- (1) Elaborar, validar, aplicar e avaliar uma Sequência Didática (SD) para licenciandos de Ciências Biológicas, baseada em Ensino por Investigação (EI) e Pesquisa Baseada em *Design*, por meio da utilização de episódios da História da Biologia do século XVIII;
- (2) Desenvolver uma pesquisa histórica detalhada e contextualizada, sobre a identificação e reconhecimento de novos modos de reprodução animal, na primeira metade do século XVIII: (a) multiplicação sem acasalamento (partenogênese) em afídeos, estudos conduzidos pelo naturalista Charles Bonnet (1720-1793); (b) a regeneração em pólipos de água doce (hidras), estudos realizados pelo naturalista Abraham Trembley (1710-1784).
- (3) Utilizar os resultados da pesquisa histórica como subsídio à construção e elaboração de recursos e estratégias dos protótipos da SD junto a licenciandos em Ciências Biológicas a fim de revisitar conceitos dos tipos de reprodução assexual animal (conteúdo científico) sob a perspectiva de aplicações didáticas, promover compreensão de conhecimentos históricos (conteúdo histórico) e subsidiar concepções informadas sobre a Natureza da Ciência (NdC) (conteúdo metacientífico).
- (4) Aplicar a SD por meio de protótipos iterativos, a fim de estabelecer Princípios de *Design* que possam balizar a elaboração de novas SDs em contextos similares

Motivações pessoais e delineamento da pesquisa

O interesse pela área de ensino de ciências é algo que me acompanha desde os primeiros semestres da graduação em licenciatura em Biologia, quando tive a oportunidade de auxiliar em monitorias de práticas de ensino e disciplinas de estágio supervisionado. A partir dessas experiências, surgiu a ideia de desenvolver um projeto de monitoria e monografia, voltado à elaboração de objetos virtuais de aprendizagem para o ensino de imunologia básica.

Motivado pelos resultados obtidos, decidi investir na linha de pesquisa, e durante o mestrado, pude ampliar o projeto à novos objetos virtuais e à criação de um website de ensino de imunologia, farmacologia e fisiologia celular¹, sempre focando na formação de professores.

Entretanto, a mudança radical de área de pesquisa e a decisão de desenvolver um projeto, e subsequentemente uma tese, em história da ciência e ensino foi fruto da minha necessidade particular de ir além da compreensão dos conteúdos conceituais “prontos”. Havia uma lacuna, um vácuo. Afinal, como (ou por que) um assunto específico se torna aceito pela comunidade científica? De que forma esse conteúdo é definido como algo a ser disseminado e aprendido na academia ou instituições de educação básica?

De fato, ao longo das atividades como monitor e, posteriormente, como professor-tutor, (modalidade Ensino à Distância, EAD) em disciplinas de instrumentação ao ensino, pude perceber que tais dúvidas sobre desconhecimento histórico não eram exclusividade minha, mas sim, um problema compartilhado por muitos estudantes.

Todavia, devido à formação incipiente (na verdade, inexistente) em história (e filosofia) da ciência, me sentia incapaz de fornecer qualquer resposta segura. Por essas razões, optei por “mudar de ares” e iniciar a empreitada de tentar conhecer a ciência por meio de sua história e, consequentemente, por meio da filosofia da ciência.

Ademais, trabalhando com a formação docente, tive a possibilidade de participar de experiências promissoras, mas também, de observar falhas e deficiências no processo de ensino e aprendizagem.

A despeito da qualidade intelectual e da bagagem conceitual carregada pelos estudantes de licenciatura, percebi que faltava algo de extrema importância, que os próprios currículos do sistema educacional deixavam a desejar: o conhecimento sobre ciências. Isto é, a abordagem sobre os aspectos e processos inerentes à construção do conhecimento científico – natureza da ciência (NdC).

¹ Os materiais podem ser acessados no website: <http://www.lcc.kftox.com/>

Essa carência, porém, não é novidade. Há tempos, o ensino da natureza da ciência vem sendo alvo de preocupações de educadores em ciências (DEWEY, 1916; MATTHEWS, 1989a; LEDERMAN, 1992; ABD-EL-KHALICK; BELL; LEDERMAN, 1998; ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO; ESTANY, 2002) e de mudanças curriculares e investimento em políticas educacionais (JENKINS, 1996; MCCOMAS; OLSON, 1998; MAYER; TOKUYAMA, 2002; MEC, 2006, 2018; HODSON, 2014a). Contudo, ainda hoje continuamos a nos deparar com essas defasagens no conhecimento científico de estudantes.

Nesse sentido, com o intuito de contribuir para amenizar essa situação, decidimos investir em um projeto que abordasse, simultaneamente, história da ciência, natureza da ciência e estratégias de ensino investigativas. Após uma série de ajustes, o projeto final foi constituído por uma Sequência Didática, voltada à formação inicial de professores em biologia e estruturada sobre episódios históricos das “descobertas” de modos de reprodução assexual animal no século XVIII.

Sequências Didáticas (SD) podem ser compreendidas como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas a fim de alcançar determinados objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos, tanto pelos professores como pelos alunos (ZABALA, 1998, p.18).

Esse tipo de intervenção de ensino tem se destacado nas últimas décadas, devido ao seu caráter flexível e adaptável a diversos contextos educacionais (LIJNSE, 1995, 2004; LEACH; SCOTT, 2002; MÉHEUT; PSILLOS, 2004b; SARMENTO et al., 2013a; DIMITRIS PSILLOS; KARIOTOGLOU, 2015; VÁZQUEZ-ALONSO et al., 2016). Além disso, as SDs se configuram como estratégia de ensino, bem como objeto de pesquisa (MÉHEUT, 2007; PSILLOS; KARIOTOGLOU, 2015).

Diante dos nossos propósitos de promover aprendizagem de natureza da ciência, a história da ciência tem se mostrado um candidato promissor. Os apelos para a incorporação da história da ciência no ensino, contudo, não são recentes. Há um século, se defende o uso da história como estratégia para a compreensão acerca do fazer científico (SARTON, 1918, CONANT, 1960; DUSCHL, 1985; JENKINS, 1990; MATTHEWS, 1989b; MARTINS, 1990). Entretanto, quando comparada às pesquisas sobre aplicação da história da física, astronomia, química e matemática, disciplinas científicas estabelecidas há mais tempo, a aplicação no ensino de história da biologia é bem mais recente.

Mesmo não se configurando como um trabalho inteiramente inédito da história da biologia, uma vez que os estudos de Bonnet e Trembley são conhecidos entre os especialistas da área (LENHOFF; LENHOFF, 1986, 1989a; RATCLIFF; BUSCAGLIA, 1997; RATCLIFF, 2004a),

a pesquisa histórica desta tese conjugou, à leitura dos trabalhos de historiadores da ciência (PRESTES, 2003, 2007; PRESTES; MARTINS, 2014), a análise dos originais do século XVIII.

Além disso, a seleção e o modo de reunião dos episódios foram guiados por objetivos educacionais particulares, caracterizando um enredo histórico singular. Por fim, a tese contribui na divulgação de episódios da história da biologia pouco conhecidos do público acadêmico e escolar brasileiro, apresentando os naturalistas que contribuíram diretamente para o avanço do conhecimento do que hoje se conhece como biologia da reprodução.

Com relação ao objeto da pesquisa histórica, o assunto “reprodução assexual” em especial, a “partenogênese”, foi um conteúdo de particular interesse do doutorando, apesar de, inicialmente, desconhecer a fundo, sua história.

Quando, onde, como e sob quais arcabouços teóricos e empíricos essas “descobertas” aconteceram? Quais foram os personagens envolvidos nessa parte da história da biologia? Teriam ocorrido conflitos teóricos ou mudanças conceituais bruscas? De que forma, o que hoje conhecemos como reprodução assexual animal, se consolidou? O que essas questões podem nos dizer sobre o fazer científico ou sobre outros aspectos contextuais que se relacionam à natureza da ciência?

Com o intuito de desvendar essas perguntas, mergulhamos nas referências históricas e conseguimos encontrar e responder a maioria dessas dúvidas, apresentadas nos capítulos históricos desta tese: “Charles Bonnet (1720-1793) e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento em pulgões” e “Animais, Plantas ou Animais-Planta? Os estudos de Abraham Trembley (1710-1784) e os pólipos de água doce”.

Entretanto, apesar de sermos defensores da presença da história da ciência em recursos didáticos para o ensino de aspectos científicos e metacientíficos, somos, também, conscientes dos desafios e das barreiras que impedem essa inserção. Tais como: o papel do professor frente às dificuldades de apresentar a história de forma motivadora; lidar com as ideias equivocadas dos alunos sobre a história da ciência; conseguir realizar investigações históricas abertas diante de resultados históricos conhecidos, desafios de usar episódios da história para ensinar conceitos de ciência moderna (HENKE; HÖTTECKE, 2015).

Com relação às questões institucionais, há decisões enviesadas de formuladores de currículos e políticas educacionais, reservando a história e filosofia da ciência como estratégia ocasional ou anedótica ao ensino de ciências (SEROGLOU; ADÚRIZ-BRAVO, 2012).

Junto a isso, somam-se as já inflacionadas grades curriculares dos cursos de graduação, o que dificulta ainda mais a inclusão de disciplinas com abordagem sobre História e Filosofia da Ciência e/ou Natureza da Ciência na formação de professores de ciências e biologia.

Por essas razões, Agustín Adúriz-Bravo (2018) sugere que essa deficiência pode ser minimizada com a aplicação de estratégias pontuais, como Sequências Didáticas em disciplinas pedagógicas ou de práticas em ensino de ciências².

Cabe ressaltar, também, que não estamos isolados na empreitada de utilizar a história como ferramenta para o ensino.

Em uma análise recente, Palma e colaboradores (2017) investigaram a quantidade de dissertações e teses abordando o tema “história da ciência e ensino de ciências”, publicadas em um programa de pós-graduação³, entre 2012 e 2016. No período analisado, foram defendidos 220 trabalhos, dentre os quais, os autores encontraram um total de vinte e três (23) teses e dissertações distribuídas em quatro categorias: história da ciência em materiais didáticos; história da ciência no ensino de ciências; trabalhos teóricos e filosóficos da história da ciência; e história da ciência na formação de professores. Com relação a esta última categoria, quatro teses, duas na modalidade ensino de química e duas na modalidade ensino de física, estavam, de alguma forma relacionadas à formação docente (PALMA; GUARNIERI; PANSERA, 2017, p. 409).

Apesar de se tratar de uma análise sobre a produção em um único programa de pós-graduação e contemplando um período restrito, os resultados obtidos mostram que o interesse nas pesquisas que envolvem a relação entre história da ciência e ensino de ciências está presente de modo não desprezível, uma vez que representam 10% do total de dissertações e teses do Programa

Assim, ainda que acompanhados de um número pequeno de historiadores, filósofos da ciência e pesquisadores em ensino de ciências, decidimos enveredar pela seara da história da ciência, com o propósito (ambicioso) de suprir algumas carências do sistema e fornecer meios para enriquecer e aprimorar as concepções sobre ciências de futuros professores.

² Palestra proferida pelo Prof. Dr. Agustín Adúriz-Bravo, docente da Universidade de Buenos Aires, na abertura do XIII EPIEC: Encontro do Programa Interunidades em Ensino de Ciências, realizado entre os dias 26 a 28 de março de 2018, na Universidade de São Paulo, SP.

³ Programa de pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências. Universidade de São Paulo.

Das questões a investigar

O grande desafio do país é fazer com que os investimentos realizados no ensino de ciências cheguem cada vez mais de forma homogênea à população e possam efetivamente melhorar a sua qualidade de vida⁴.

Em um cenário em que a ciência e tecnologia são tão importantes, como pensar o futuro do Brasil sem uma educação científica de qualidade? Ser hoje alfabetizado cientificamente e tecnologicamente é uma necessidade para enfrentar os desafios da vida moderna⁵.

Ao longo da preparação e fundamentação do projeto que originou esta tese, nos deparamos com um problema recorrente e documentado por inúmeros trabalhos na literatura: o conhecimento insuficiente e/ou imagens deturpadas por parte de estudantes e professores, sobre o processo do desenvolvimento científico.

Frente a essa situação, passamos a fazer coro com educadores e pesquisadores em ensino de ciências e nos questionar: “de que forma poderíamos contribuir para mudar esse cenário? Ou seja, o que fazer para tentar melhorar a formação de professores de biologia com relação à aprendizagem sobre ciências?

A despeito da diversidade metodológica e a fim de tentar encontrar soluções ou alternativas para amenizar tal situação, uma vez feita a opção pela história da biologia, restava determinar de que modo ela servisse não apenas como facilitadora da aprendizagem do conteúdo atual, mas, igualmente, como recurso de ensino e aprendizagem sobre a natureza da ciência.

Definido o objeto de pesquisa histórica, tratava-se de delinear o recorte do estudo sobre o que, de fato, seria investigado, com relação às “descobertas” referentes à reprodução assexuada em animais. Os critérios para o recorte de tão extenso contexto histórico teriam que ser fornecidos, então, por características específicas da ciência que se julgassem mais relevante trabalhar no caso em estudo.

Em outras palavras, a pergunta central da pesquisa empírica desta tese passou a ser:

De que forma, uma Sequência Didática (SD), que conjuga episódios da história da biologia e métodos de ensino por investigação, pode fomentar ou aprimorar concepções de natureza da ciência em licenciandos em biologia?

⁴ Representação da Unesco no Brasil. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/science-and-technology/science-education/>. Acesso em abril de 2018

⁵ PIETROCOLA, 2009. A educação científica e os desafios da sociedade atual. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/315885/mod_resource/content/1/educacaocientificamod9.pdf. Acesso em: abril de 2018

Para responder a essa pergunta, o passo inicial foi reexaminar os problemas históricos em foco, reais e autênticos, para deles abstrair quais os aspectos da ciência seriam abordados. Além disso, planejar estratégias de ensino e aprendizagem especialmente direcionadas à formação inicial de professores.

Desse modo poderíamos propor recursos didáticos como meios alternativos que pudessem contribuir em preencher as lacunas geradas pela ausência, em termos gerais, de história e filosofia da ciência nos cursos de licenciatura⁶. Se a educação científica é um dos caminhos que levam à igualdade social, dificilmente esse percurso seguirá adiante com ausência de bons norteadores. Portanto, consideramos importante todo e qualquer investimento na capacitação e formação docente, em especial, docentes que sejam, científica, histórica e filosoficamente informados.

⁶ Para citar apenas dois contraexemplos, o Curso de Ciências Biológicas do IB-USP possui uma disciplina de Filosofia da Biologia, assim como o mesmo curso oferecido pela USP de Ribeirão Preto, possui uma disciplina de História e Filosofia da Biologia, ambos os casos como disciplinas obrigatórias.

Organização da tese

A presente tese foi estruturada em duas partes principais.

A Parte I, destinada à pesquisa histórica, encontra-se subdividida em três capítulos. O primeiro capítulo apresenta as ideias gerais da pesquisa histórica, objetivos e os procedimentos metodológicos inerentes às investigações e estudos em história da ciência. Como resultado da pesquisa histórica, foram produzidos os capítulos dois e três.

O capítulo dois, intitulado “Charles Bonnet (1720-1793) e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento em pulgões”, disserta sobre os estudos do naturalista genebrês que forneceram evidências empíricas sobre a capacidade da multiplicação sem acasalamento em pulgões, modo de reprodução animal atualmente denominada “partenogênese”, e que não era conhecida até a primeira metade do século XVIII.

O capítulo três é reservado à apresentação dos estudos que levaram à identificação de outra forma de reprodução assexual até então desconhecida. Concomitantemente aos trabalhos de Bonnet, Abraham Trembley, na Holanda, conseguiu reunir evidências, mostrando que pólipos de água doce (Gênero *Hydra*) podiam se reproduzir por regeneração! Isto é, a reconstituição de partes do corpo, como as patas de uma lagosta, por exemplo, como se conhecia desde a Antiguidade, era capaz de algo muito mais complexo. A regeneração era capaz de produzir um novo organismo, inteiro. Além disso, Trembley também detalhou uma forma de reprodução nesses animais que era mais comumente atribuída às plantas, a reprodução por brotamento⁷.

Em ambos os capítulos são delineadas e discutidas as observações, experiências, bem como as implicações das “descobertas”, frente às teorias de geração animal da época e os impactos produzidos no para a ciência do século XVIII.

A segunda parte desta tese remete à pesquisa empírica, ou seja, o estudo que levou ao planejamento, validação, aplicação e avaliação da intervenção de ensino, fundamentada em uma Sequência Didática (SD).

A pesquisa empírica foi organizada em cinco capítulos:

O capítulo quatro abrange a fundamentação teórica apropriada para este estudo. Discorreremos sobre a associação entre história da ciência e ensino de ciências, na primeira seção. Na subseção seguinte abordamos as possibilidades da história da ciência na formação de professores. Além disso, discutimos os meios pelos quais a história da ciência pode auxiliar a

⁷ Aristóteles, em *De Generatione Animalium*, livro 1, cap. 1, 715^a 17-25, mencionou que além dos animais que se reproduzem por meio dos dois sexos, havia também os que eram produzidos por brotos de um animal adulto, assim como os que eram produzidos a partir de material em putrefação (ou seja, por geração espontânea). (MARTINS, 2015, p. 136).

compreensão da produção do conhecimento científico e, mais amplamente, dos demais aspectos da natureza da ciência.

Os três últimos itens do capítulo quatro são destinados à apresentação do referencial teórico e metodológico da pesquisa em ensino, a saber: o Ensino por Investigação; Sequências Didáticas e a Pesquisa Baseada em Design ou DBR (sigla em inglês, *Design Based Research*).

No capítulo cinco são apresentados os procedimentos, técnicas e materiais utilizados para o desenvolvimento das estratégias e recursos instrucionais dos protótipos da SD. As seções do capítulo incluem discussões de elementos de cunho teórico e prático utilizados no planejamento e construção, tanto das estratégias das aulas, quanto dos materiais instrucionais preparados para os ciclos iterativos da SD.

O sexto capítulo aborda os métodos e técnicas referentes à coleta e análise de dados. Discute-se sobre os procedimentos relacionados à pesquisa qualitativa e à triangulação de dados. São apresentadas técnicas de transcrição de áudios, observação participante, notas de campo e afins. Além disso, nas seções finais do capítulo, discorre-se sobre a construção e validação das rubricas, métodos aplicados à avaliação e análise dos dados coletados junto aos participantes da pesquisa empírica.

O capítulo sete é reservado à apresentação, análise e discussão do estudo etnográfico conduzido com os licenciandos participantes dos dois ciclos de prototipagem da SD. Nessa pesquisa, foi feito um levantamento sobre o perfil dos licenciandos, com foco maior sobre os fatores educacionais e de aprendizagem. A apresentação do perfil etnográfico é fundamental para que se possa estender os resultados obtidos a outros públicos, de modo a produzir o que a abordagem qualitativa designa como “generalização situada” (SIMONS et al., 2003).

O último capítulo desta tese se destina à apresentação dos resultados e discussão dos dados obtidos na SD. Por critérios de organização e devido ao volume de dados, o capítulo é desmembrado em dois tópicos principais, relativos à primeira e segunda iteração da SD. Em cada tópico são apresentados os processos de validação, organização e distribuição das aulas da SD. São, também, apresentados os dados coletados por meio das estratégias e materiais instrucionais aplicados em cada aula.

Simultaneamente, discutimos os resultados obtidos em cada iteração, com base no processo de triangulação de todas as fontes de dados. Ao final de cada tópico, mostramos a análise comparativa entre os dados coletados antes e após a condução da SD e discutimos as mudanças de concepções dos licenciandos.

Ademais, com relação à análise da pesquisa em ensino (DBR), concluímos cada tópico discutindo sobre alguns elementos inerentes à SD que, sob maior escrutínio, podem indicar

candidatos a Princípios de Design. Isto é, características que podem garantir a eficiência da SD, quando estendida a contextos similares de ensino.

O encerramento da tese discute as conclusões do autor referente à investigação conduzida ao longo do processo de doutoramento; seguida pela apresentação dos anexos, das referências utilizadas, fontes primárias, secundárias e demais trabalhos da literatura.

Os anexos mais longos, como as transcrições de áudios capturados ao longo das iterações, além dos recursos virtuais que compuseram os materiais instrucionais encontram-se organizados em um disco compacto (CD-ROM) distribuídos em pastas, com arquivos nomeados de acordo com cada tema, por exemplo: Sequência Didática, iteração I; Instrumentos de Coleta de dados e etc.

Importa ressaltar também que algumas versões dos Objetos Virtuais de Aprendizagem, estão em formato de arquivo executável, sendo necessária a permissão do proprietário/usuário do sistema operacional (Windows, Linux, Mac OS) para visualização.

PARTE I: A PESQUISA HISTÓRICA

CAPÍTULO 1 - A pesquisa histórica

1.1. Introdução

A presente seção visa apresentar o desenvolvimento e os resultados da pesquisa histórica. A partir da imersão em fontes primárias do século XVIII e fontes secundárias, publicadas por historiadores e especialistas nas temáticas investigadas, fruto de um trabalho minucioso, buscamos produzir um recurso textual histórico, contextualizado e detalhado.

Como resultado, foram desenvolvidos dois estudos de caso históricos, cuja abordagem temática remete àquilo que atualmente se conceitua como reprodução assexuada.

O primeiro episódio, aborda os estudos de reprodução em pulgões (afídeos), conduzidos pelo naturalista genebrês, Charles Bonnet (1720-1793). Por meio de contínuas e seriadas observações e experiências, Bonnet foi capaz de fornecer evidências empíricas a uma ideia que, desde o século XVI, era alvo de suspeita e especulação: a “multiplicação sem acasalamento” (posteriormente denominada, partenogênese) por esses insetos. A pesquisa de Bonnet levou à compreensão do ciclo reprodutivo dos pulgões, ao desenvolvimento de um novo conceito de geração animal, bem como a novas formas de observar a natureza e os modos pelos quais os seres vivos se perpetuam.

O segundo episódio aborda os estudos realizados por outro naturalista de Genebra: Abraham Trembley (1710-1784). Enquanto tutor dos filhos de um nobre inglês, Trembley investigou a natureza de uma diminuta criatura, até então, desconhecida por parte dos naturalistas da época - os pólipos de água doce (atualmente, gênero *Hydra*). Os resultados de suas pesquisas culminaram na compreensão das características morfológicas, fisiológicas e especialmente reprodutivas. Após variadas observações e experimentos, Trembley foi capaz de compreender que os pólipos possuem capacidade de se regenerar por completo, além de se reproduzir por brotamento.

1.2. Objetivos

Os objetivos da pesquisa histórica foram:

- 1) Investigar os estudos sobre a geração animal em pulgões, realizados por Charles Bonnet, no século XVIII;
- 2) Investigar os estudos sobre a natureza dos pólipos de água doce (hidras), conduzidos por Abraham Trembley, no século XVIII;
- 3) Investigar o contexto sociocultural e científico do século XVIII;

- 4) Produzir um material textual histórico sobre cada estudo de caso, contextualizado e detalhado, como subsídio ao professor durante a condução das atividades da SD. na aplicação da narrativa histórica como recurso didático da parte empírica desta tese (ou algo assim...)

1.3. Metodologia da pesquisa histórica

Como previamente mencionado, ainda que a pesquisa não se defina como um trabalho inteiramente inédito da história da biologia, buscamos seguir o rigor, por meio da leitura dos trabalhos de historiadores da ciência, a análise dos originais do século XVIII.

A escolha dos estudos de caso de Bonnet e Trembley foi definida após verificação das sugestões da historiadora da ciência, Lilian Martins (2005b) para o desenvolvimento de uma pesquisa histórica, a saber: delimitar o assunto, evitando os amplos ou excessivamente restritos; evitar temáticas demasiadamente exploradas; oferecer novos conhecimentos históricos, criticar ou retificar dados anteriores; realizar levantamento da historiografia existente; conhecer o assunto científico; ter interesse pessoal; escolher assunto atraente a historiadores e ao público-geral.

Algumas características que serviram como diretrizes para a redação dos capítulos históricos foram a de iniciar com uma situação-problema de interesse particular do pesquisador; formular uma questão sobre o assunto e construir ideias sobre o que se almeja saber; além de identificar e eleger as fontes relevantes ao problema formulado, a depender da natureza do tema, aconselha-se priorizar as fontes secundárias (KRAUGH, 1987, p. 128).

1.3.1. Das fontes históricas

Mas o que são as fontes de pesquisa histórica? Como se obtêm as informações pertinentes ao problema a ser investigado? Essas referências são classificadas em “fontes primárias” e “fontes secundárias”.

Fontes primárias são aquelas provenientes do tempo no qual as informações foram divulgadas e, como tal, possuem conexão direta com a realidade histórica (KRAUGH, 1987, p. 121). Isto é, consistem de materiais produzidos contemporaneamente ao assunto investigado; o intervalo de tempo entre o registro das fontes primárias e o que foi registrado deve ser o mais curto possível (LORENZ, 2009, p. 413). Eis alguns exemplos do que se consideram fontes primárias:

- ✓ Cartas, diários e notas pessoais, diários de laboratório, manuscritos, rascunhos de trabalhos científicos, livros científicos e não-científicos, autobiografias, artigos e livros científicos publicados, entre outros⁸.

Fontes secundárias, por outro lado, se configuram como materiais e registros escritos que são derivados de um período posterior ao objeto de investigação, porém, baseadas em fontes primárias. Por exemplo: biografias (não contemporâneas), obituários, reflexões retrospectivas, trabalhos de historiadores da ciência e outros trabalhos históricos (KRAGH, 1987, p. 127).

Além disso, se faz necessário realizar, também, o levantamento bibliográfico como trabalho introdutório à pesquisa histórica, pois permitem obter informações acerca de trabalhos científicos originais e de natureza não técnica; artigos de revisão; informações sobre traduções, em caso de língua estrangeira, etc. (IBID, p. 128).

Assim, pode-se conduzir tal análise preliminar do que já foi publicado sobre personagem a ser estudado por meio de materiais já consolidados no estudo da história da ciência, como o “Dicionário de Biografias Científicas” (GILLISPIE et al., 2008). Material que tem sido considerado o ponto de partida para a obtenção de informações sobre personagens históricos e assuntos que se deseja estudar, pois cada verbete foi escrito por historiadores da ciência.

Ademais, conforme indicado às pesquisas em história da ciência e conduzido no estudo histórico desta tese, o levantamento bibliográfico inicial foi baseado em arquivos anexados à base de dados *ISIS Current Bibliography*, da revista *Isis*, referência da área de história da ciência, tecnologia e medicina, fundada por George Sarton (1884-1956) em 1913, e vinculada à *History of Science Society* (HSS) também criada por Sarton em 1924⁹.

As buscas referentes aos objetos de estudo foram realizadas utilizando de palavras-chave específicas e por meio de quatro idiomas: Inglês, Francês, Espanhol e Português, a fim de aumentar a abrangência de resultados. Para a filtragem, foram inseridas as seguintes palavras-chave, bem como suas combinações (quadro 1):

Quadro 1. Combinações de palavras-chave para revisão bibliográfica

Charles Bonnet	Abraham Trembley
Partenogênese	Pólipos de água doce
Preformação	Hidras
Epigênese	Reprodução assexual
Reprodução assexual	Regeneração
Pulgões/ afídeos	Brotamento

⁸ Uma lista mais completa de exemplos de fontes primárias e secundárias pode ser encontrada nas páginas 122 e 123 do livro “Uma introdução à historiografia da ciência”, de Hegel Kragh, publicado em 1987.

⁹ Endereço para acesso: <http://isiscb.org/>

Outro fator importante, ainda com relação às fontes primárias, é a análise histórica crítica, isto é, averiguar com acurácia afim de estabelecer a autenticidade e confiabilidade da fonte; avaliar tanto a sua proximidade com a realidade histórica, quanto questões sobre a datação, localização e autoria (KRAGH, 1987, p. 130).

Embora possa gerar certa sensação de confiabilidade, por se tratar de um registro histórico original, é importante que se compare com outras fontes que abordem o mesmo tema e mesmo período histórico. Uma vez que tal informação presente nos registros é procedente da perspectiva do autor (IBID, 1987, p. 130).

A partir do levantamento, definimos que as obras do naturalista Bonnet: *Traité d'insectologie ou Observations sur les pucerons* (Tratado de insectologia ou Observações sobre pulgões) e Trembley: *Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes* (Memórias para servir a história de um gênero de pólipos de água doce com braços em forma de chifres), publicadas em 1745 e 1744, seriam os documentos que norteariam a pesquisa histórica.

Para colocar tais obras em seu contexto epistêmico, fontes primárias datadas da mesma época também referenciaram a redação dos capítulos históricos, tais como: *Memoires pour servir a l'histoire des insectes* (Memórias para servir à história dos insetos), do naturalista francês, René-Antoine Ferchault de Réaumur, obra em seis volumes publicados entre 1734 e 1742; *Nouvelles découvertes faites avec le microscope* (Novas descobertas feitas com o microscópio), obra do naturalista inglês John Tubberville Needham (1713-1781), publicada em 1747 e traduzida para o francês; *The microscope made easy* (O microscópio: facilitado), obra do naturalista Henry Baker (1698-1774) e publicada em 1757.

Buscou-se, também, comparar informações contidas nas referências que foram citadas nas fontes primárias¹⁰. Por exemplo, a obra publicada em 1739, pelo abade francês, Noël-Antoine Pluche (1688-1761) intitulada *Spectacle de la Nature* (O Espetáculo da Natureza), citada nos escritos de Bonnet; e a obra intitulada *Histoire de l'Université de Genève: L'Academie de Calvin 1559-1798* (A História da Universidade de Genebra - a Academia de Calvino de 1559-1798), publicada em 1900, do autor, Charles Bourgeaud.

Outra preocupação referente à natureza das fontes é a atenção dada durante à escrita e o significado linguístico original. Pode-se obter acesso a termos utilizados em épocas anteriores

¹⁰ Sempre que possível localizá-las, posto que muitas obras citadas nas fontes primárias utilizadas nesta tese são datadas do século XVIII e/ou XVII e não são de fácil acesso online ou nas bibliotecas das universidades públicas brasileiras.

por meio de websites como “Lexilogos”, um portal online que oferece acesso a dicionários e enciclopédias de séculos passados, além de atuais¹¹.

Para citar um exemplo relacionado às obras acima referidas, sobre os insetos, no século XVIII o termo “inseto” possuía uma conotação diferente da denominação atual, incluindo uma grande variedade de organismos. Segundo a *Enciclopédia ou Dicionário da Racional das Ciências, Artes e Ofícios*, inseto era definido como:

Se distinguem os animais desta natureza em grandes e pequenos; os grandes, são animais macios, [como] crustáceos e os moluscos; os pequenos são os insetos. Há mais espécies de insetos do que as espécies de peixes, aves ou quadrúpedes. [...]. Existem também diferenças na conformação entre os insetos, como em qualquer outro tipo de animais. [...] A pele de lagartas, vermes, entre outros é muito suave e muito fraca; algumas aranhas têm mais peles umas sobre as outras, como uma cebola. A pele de todos os insetos é porosa; em alguns - ela cai uma vez por ano, e em outros até quatro vezes. [...] há insetos que têm a pele muito dura [...] (DIDEROT; d’ALEMBERT, 1765, v.8, p. 781 *apud* PRESTES, 2007).

1.3.2. Da redação de um texto histórico

Após selecionar as fontes que permitiram orientar o desenvolvimento do estudo histórico, importa, da mesma forma, saber “qual” história escrever, os detalhes que são relevantes apontar e “como” essa história será contada. Por se tratar de um determinado assunto que já ocorreu, recomenda-se utilizar uma perspectiva *diacrônica*, ou seja, o episódio histórico deve ser analisado sob o escrutínio do que, de fato, ocorreu no passado. Deve-se desconsiderar eventos posteriores e sem implicância ao que se passou. Além disso, é importante que aquele que pesquisa o episódio coloque-se como um observador *no* passado e não apenas, *do* passado (KRAGH, 1987, p.90).

Entretanto, o pleno desprendimento de conhecimentos atuais durante a elaboração de qualquer estudo histórico é algo utópico, posto que se “está” no presente. O que se propõe é evitar aquilo que historiadores denominam de história *Whig*, ou seja, avaliar o passado estritamente sob o olhar de eventos do tempo presente (MARTINS, 2000, p. 40), emitindo juízos de valor sobre esse passado a partir do conhecimento aceito pela ciência atual

Assim, uma escrita adequada e contextualizada da história da ciência oportuniza a formação de imagens mais adequadas sobre o fazer científico, suas limitações e relações com outras esferas. Episódios históricos são capazes de elucidar os caminhos pelos quais ocorreram os sucessos e fracassos do esforço humano em busca da compreensão de fenômenos; identificar

¹¹ Termos de dicionários antigos e enciclopédias como *L’Encyclopédie*, podem ser encontrados em <http://www.lexilogos.com>. Site disponível apenas no idioma francês.

a contribuição de diferentes estudiosos e da cooperação entre eles, etc. (MARTINS, 2006a, p. 24).

Entre as grandes questões que permearam a historiografia da ciência no século XX, uma delas deve ser considerada aqui por sua estreita relação com a presente tese. Trata-se das chamadas abordagens *internalista* e *externalista* da história da ciência, caracterizadas, respectivamente, pelo enfoque nos aspectos conceituais e metodológicos da ciência e pelo enfoque no modo pelo qual a ciência e os cientistas são guiadas por seu contexto.

A visão externalista, como ficou conhecida a partir dos anos 1960, apesar de derivada de trabalhos dos anos 1930, de Boris Hessen, voltava-se a questões sociais, culturais, políticos, ideológicos que implicam no modo como a ciência interage com a sociedade (SCHUSTER, 1995, p. 221).

Embora tenha ocorrido um debate acirrado entre essas abordagens, especialmente até os anos 1980, dificilmente algum historiador da ciência realmente assumia, naquela época, e hoje, que apenas uma dessas abordagens, em seus extremos, é capaz de oferecer um retrato completo da ciência. Como discutiu Lilian Martins (1997), o trabalho do historiador da ciência deve abordar os aspectos que são relevantes para responder sua questão de pesquisa.

Assim, por exemplo, se se quer saber se uma dada teoria estava bem fundamentada em sua época, uma abordagem mais internalista é necessária; por outro lado, se a pergunta de pesquisa é relacionada a identificar, por exemplo, por que razão uma teoria bem fundamentada não foi aceita em sua época, o caminho a seguir é o da abordagem externalista.

Recentemente, para evitar que se subentenda que há uma coisa que é a ciência e outra que é a sua relação com a sociedade, especialmente entre os educadores da ciência, passou-se a referir às duas abordagens como a que enfatiza aspectos epistêmicos e não epistêmicos, refletindo o que de fato sempre foi admitido entre historiadores e filósofos da ciência, que esses dois fatores não são antagônicos, mas sim, se hibridizam e que, ambos, influenciam e são influenciados no processo de geração e desenvolvimento do conhecimento científico (SVETLOVA, 2014, p. 81).

A noção de ciência como possuindo todos esses aspectos, também aparece em trabalhos de filósofos da ciência (CARRIER, 2013; DIEKMANN; PETERSON, 2013). Robert Nola e Gürol Irzik (2011), por exemplo, têm proposto um modelo conceitual de ciência mais holística, abrangendo elementos de ambas as “lados” e acrescentando outros de valor similar. Ao assumir uma perspectiva científica integrativa, os autores alegam que determinados aspectos são indissociáveis, como as “estruturas de poder político”; “sistemas de financiamento”; “valores sociais”; “práticas profissionais”; “métodos e regras metodológicas”; “objetivos e valores”

dentro outros. Todos esses fatores confluem, se hibridizam e fazem parte do processo de geração do conhecimento científico (DAGHER; ERDURAN, 2016, p. 28).

Afiliada a trabalhos de história da ciência e de filosofia da ciência que consideram a ciência como uma construção humana em seu contexto histórico, social, político etc., esta tese se beneficia da discussão mencionada.

Os propósitos educacionais almejados, de promover aprendizagem de conteúdos históricos, revisitar conceitos científicos atuais e promover concepções fundamentadas da natureza da ciência, por meio de diferentes recursos didáticos variados, incluindo o de partir de um texto de história da ciência para elaborar uma *estória* da ciência tornaram-se operacionalizados por ampla literatura desenvolvida nas últimas décadas na área da educação científica. Foram propostas diferentes análises das características da ciência, de como agrupá-las, de quais seriam mais relevantes para o ensino na escola básica, etc. (MATTHEWS, 1994, 2009b; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; ALLCHIN, 2014a).

Com esse aporte, buscou-se, em ambos estudos de caso aqui analisados do episódio geral dos estudos de reprodução animal no século XVIII, contextualizar, de forma mais equivalente possível, aspectos que compuseram parte do cenário social mais amplo no qual os estudos foram realizados. Essa abordagem dissertativa possibilita ao leitor uma visão mais generalista, mais panorâmica, sobre o processo do fazer científico, evitando, assim, superestimar, seja o cientista, seja a sua “descoberta”.

Assim, como um dos objetivos dos capítulos históricos é fornecer um material de suporte mais detalhado e aprofundado, espera-se que o professor encontre aspectos da história e características da ciência variadas o bastante para então selecionar o que julgar mais relevante na realidade escolar em que atua.

CAPÍTULO 2 - Charles Bonnet (1720-1793) e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento em pulgões

Charles Bonnet, o filósofo e naturalista genebrês é considerado por historiadores da ciência como um expoente da história natural do século XVIII. Seus métodos e procedimentos cautelosos aplicados à “arte de observar” influenciaram trabalhos de vários naturalistas de seu tempo (SIGRIST, 1994; RATCLIFF; BUSCAGLIA, 1997; PRESTES, 2003, 2007).

Entretanto, Bonnet se estabeleceu na história da biologia devido ao fato de ter sido um ferrenho defensor e teórico da preformação, uma das concepções sobre a reprodução dos seres vivos. Como discutido pela historiadora Maria Elice Prestes (2003) Bonnet pretendia ser conhecido como o grande partidário da “preexistência dos germes”. Além de desejar que seu trabalho se destacasse por fornecer uma “lógica de uso ao naturalista”, trazendo contribuições metodológicas ao conhecimento dos seres vivos.

Todavia, seu prestígio como naturalista ocorreu de forma precoce, quando, aos 20 anos de idade, conseguiu apresentar evidências empíricas de um tipo excepcional de reprodução entre os insetos, a “partenogênese” natural em pulgões. Daí em diante, como observador e experimentador, investiu no estudo de temas variados, entre eles, a respiração de lagartas, a Anatomia e Fisiologia de plantas, a regeneração de vermes de água doce e etc. (PRESTES, 2003, p. 34).

Contudo, nesta tese vamos nos ater apenas às pesquisas que levaram o jovem estudante de filosofia, residente no Cantão da Suíça a sair do anonimato e entrar no rol dos importantes naturalistas do século XVIII.

Antes de adentrarmos nos estudos do naturalista, para entendermos, tanto as razões que levaram às “descobertas”, quanto os impactos promovidos, se faz necessário vislumbrar o momento histórico no qual elas ocorreram.

Consideramos delinear brevemente alguns aspectos necessários para melhor compreensão dos assuntos inerentes ao episódio, como algumas questões de âmbito teórico e filosófico sobre a geração dos animais; de âmbito das técnicas de pesquisa da época; e, por fim, da rede de comunicação dos acadêmicos entre si e com o público erudito.

2.1. Questões de âmbito teórico e filosófico sobre a geração animal no século XVIII

Aquilo que se costuma denominar “descoberta científica”, em geral, trata-se da identificação de algum fenômeno, até então, não descrito, não testemunhado e/ou não observado anteriormente. Porém, não observado com relação a que?

O senso comum, às vezes, remete à crença de que os fenômenos, eventos e objetos já existem na natureza e estão apenas aguardando uma “mente atenta” ser capaz de “descobri-los” (*Eureka!*), ou seja, de remover a sua cobertura.

Adota-se nesta tese a concepção de que toda observação é “carregada de teoria” (*theory-laden*), ou seja, que as observações realizadas pelos estudiosos são baseadas em pressupostos teóricos por meio dos quais eles olham para o mundo, selecionam em que devem concentrar sua atenção etc. Nesse sentido, se diz que o significado do que é observado depende do contexto teórico em que ocorrem (HANSON, 2018, p. 82).

De acordo com essa perspectiva, novas experiências ou observações são categorizadas e pré-condicionadas, ao passo que o processo de obtenção de conhecimento por meio da ciência sempre inclui a apropriação de conceitos provenientes de uma ou outra teoria (HEIDELBERGER, 2003, p. 138).

Isto posto, é importante discorrer sobre o contexto teórico de reprodução de seres vivos da época, no qual os naturalistas estavam inseridos e de que modo os resultados de suas pesquisas tiveram destaque para o conhecimento científico do século XVIII.

O pensamento hegemônico da filosofia natural até o século XVII sobre a geração dos seres vivos se baseava na ideia de que todos os organismos, vivos ou já existentes, eram obra da Criação Divina. Filósofos naturais e naturalistas da época se ocupavam em compreender de que maneira os organismos criados por Deus, desde os tempos imemoriais, continuavam a se perpetuar, tomando como objeto de estudo empírico as formas de geração dos seres vivos (BOWLER, 1989; LOVEJOY, 2001).

A partir do renovado interesse pela observação direta da natureza, no Renascimento, e da tradução das obras de filosofia natural de Aristóteles, especialmente sobre os seres vivos, considerava-se que a grande maioria dos animais era produzida por intermédio de um macho e de uma fêmea de acordo com o que hoje chamamos reprodução sexual. Réaumur denominava, o fenômeno de acasalamento entre indivíduos de sexo oposto de “Lei Geral” entre os animais (RÉAUMUR, 1734, p. 259). Porém, a forma de explicar a proveniência da prole variava significativamente.

Também desde a Antiguidade houve duas formas alternativas de interpretar de que modo os embriões eram formados, que, no século XVIII, consolidaram-se como as teorias da pré-formação e epigênese¹².

¹² Há uma ampla discussão sobre as relações entre pré-formação e epigênese no trabalho *Matter, Life, and Generation: Eighteenth-Century Embryology and the Haller-Wolff Debate*, em Shirley A. Roe (1981)

Segundo os adeptos da teoria da pré-formação, os “germes” (isto é, os embriões, em termos atuais) já existiam dentro dos corpos dos progenitores, apenas aguardando o momento para o seu desenvolvimento, sua produção (BOWLER, 1971, p. 223).

Para alguns, que defendiam a vertente ovista, o “germe” se encontrava formado no interior dos ovos, ou estruturas análogas, das fêmeas. Para outros, adeptos da concepção espermista (ou animalculista), alegavam a existência do “germe” no sêmen masculino.

Além disso, havia uma distinção entre ideias de pré-formação (o germe se formava no interior da mãe, para os ovistas, ou do pai, para os animalculistas) e uma mais radical, por assim dizer, de preexistência, segundo a qual os organismos existiam prontos dentro dos seus pais, avós, bisavós e assim em diante, desde as primeiras “sementes”, produzidas por Deus. Segundo a preexistência, a primeira fêmea de cada espécie continha o embrião embutido para a formação de todas as subsequentes gerações (ROGER; JACQUES, 1999, p. 266; RAMOS, 2009, p. 144).

No outro oposto, haviam os defensores da epigênese, teoria que postulava que as formas orgânicas se desenvolviam de forma totalmente nova, a partir da fertilização, com contribuições, portanto, ainda que variadas, do macho e da fêmea (RIEPPPEL, 1986, p. 333). Após a cópula, a matéria, que inicialmente aparentava ser homogênea, indiferenciada e desorganizada, se tornava heterogênea, diferenciada, complexa e organizada, formando um indivíduo vivo e funcional. Segundo a teoria, o ser não apenas se desenvolveria *de novo*, mas era realmente trazido à existência, por um processo que considerado como autodesenvolvimento (DETLEFSEN, 2006, p. 236).

Ao final do século XVII e início do XVIII, as ideias sobre a pré-formação foram mais amplamente aceitas, em parte, em resposta às explicações mecanicistas da epigênese, que pareciam prescindir da Criação divina, na medida em que presumiam a existência de princípios materiais de auto-organização. Se a matéria era capaz de formar corpos organizados, portanto seres vivos, qual seria, então, o papel de Deus, na criação? As ideias de pré-formação, assim como de preexistência, pareciam evitar tal tipo de implicação materialista (ROE, 1981, p. 8), defendendo a ideia de que todos os seres vivos foram criados ancestralmente e semeados por Deus no princípio do mundo (SPEYBROECK; WAELE; VIJVER, 2002, p. 14).

Claro que esses foram mais argumentos retóricos para antagonizar as duas teorias. Joseph Needham, por exemplo, adepto da epigênese, manifestou mais de uma vez sua fé na criação e argumentou que essa teoria não implicava em ateísmo. De qualquer modo, foi nesse cenário teórico-filosófico e religioso que os resultados dos estudos de Bonnet e Trembley se

disseminaram, ganharam notoriedade e trouxeram problemas de caráter metafísico e científico para a época.

Enquanto as pesquisas de Bonnet forneciam evidências consistentes sobre a capacidade dos pulgões se perpetuarem sem necessidade de cópula, os trabalhos de Trembley, além de mostrarem que pólipos se reproduziam sem qualquer tipo de acasalamento, iam mais além, os animais eram capazes de se regenerar completamente após seccionados e de se multiplicarem por brotos.

De uma perspectiva teórica do período, a multiplicação sem acasalamento, observada em pulgões, por Bonnet, parecia lançar evidências empíricas à preexistência (ovista) e, de lado oposto, especulava-se que o fenômeno de regeneração dos pólipos, apresentados por Trembley, fornecia suporte experimental aos pressupostos da epigênese.

A difusão dos microscópicos, a partir do século XVII, seguida de observações de estruturas, como os “ovos” das fêmeas e o sêmen masculino, amplificaram, ainda mais, as discussões sobre a geração. Ainda assim, os debates sobre as observações mesclaram-se a questões metafísicas e filosóficas (SMITH, 2006, p. 15).

A propriedade regenerativa dos pólipos parecia, favorecer ideias consideradas perigosas à época, pois pareciam exaltar as concepções materialistas. O filósofo francês e um dos defensores do materialismo, Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), em sua obra *L'homme machine*, (Homem máquina) convidou os leitores a considerar, do ponto de vista do ateísmo, alguém que se utilize dos pólipos de Trembley para discutir a autossuficiência da natureza: “não contém em si as causas que trazem a regeneração? ” As mesmas causas ocultas poderiam ter produzido toda a natureza. Deus era meramente uma explicação útil para “causas das quais somos tão incapazes e ignorantes” (VARTANIAN, 1950; DAWSON, 1991).

Todavia, apesar das evidências trazidas por Bonnet e Trembley, tanto as ideias sobre a preexistência quanto as concepções epigenéticas eram temas demasiado complexos, com argumentos filosoficamente sofisticados, mas em ambas as teorias, haviam incongruências que, por vezes, encontravam barreiras de difícil explicação.

Porém, o que nos é de particular interesse ao abordar o contexto teórico da época, é compreender que, independentemente de estarem “certas ou erradas”, as teorias serviram como diretrizes, como orientação às pesquisas e contribuíram para os estudos de reprodução, não somente dos naturalistas aqui retratados, mas para muitos outros durante todo o século XVIII e início do século XIX (BUSCAGLIA; DUBOULE, 2002, p. 7).

2.2. Dos recursos materiais e instrumentais

Outro fator que se deve considerar, com relação à produção de conhecimento sobre história natural no século XVIII, está relacionado aos os recursos materiais e instrumentais utilizados pelos naturalistas da época.

Antes disso, tanto a produção, quanto o uso de instrumental eram adotados em diversas atividades. Os instrumentos, às vezes, classificados como “ópticos”, “matemáticos” ou “filosóficos”, serviam às áreas como astronomia e filosofia natural, ou mesmo a atividades aplicadas, como topografia e navegação. Os instrumentos ópticos, por exemplo, empregavam a produção de lentes ou espelhos para o desenvolvimento de microscópios, telescópios e óculos. Instrumentos filosóficos, muitas vezes, eram usados em apresentações públicas ou na investigação de fenômenos naturais, incluindo magnetismo, eletricidade, atributos do ar e história natural (BAKER, 2012).

No período em que compreende as pesquisas de Bonnet e Trembley, a fabricação de instrumentos era realizada como em um empreendimento tradicional, baseada em artesanato, centrada em oficinas domésticas que consistiam em um mestre artesão supervisionando o trabalho de aprendizes, funcionários e membros da família. As habilidades, que geralmente faziam parte de um negócio de gerações, tinham como foco a manufatura de gêneros na área de óptica e vidraria, metalurgia e mecânica (HOPKINS, 2013).

Na época, Inglaterra e Holanda eram os principais representantes da tradição na produção de instrumentos voltados ao estudo da natureza. Em Londres, devido à influência da *Royal Society*, e na Holanda, devido, em grande parte, à Universidade de Leiden, onde se realizavam palestras sobre filosofia experimental desde 1695 (TURNER, 2010, p. 531).

Os microscópios, foram instrumentos que ganharam muita visibilidade entre os eruditos na época, inicialmente para fins recreativos. Após quase meio século de existência é que os microscópios passaram a ser utilizados como instrumentos para conhecer a natureza. Vários modelos de microscópios simples e, depois microscópios compostos, foram usados por naturalistas, em especial, para a observação nas áreas de mineralogia, zoologia, classificação de plantas e insetos (RATCLIFF; FOURNIER, 2007, p. 92). No século XVIII os microscópios apresentavam um poder de aumento do objeto observado semelhante ao dos microscópios óticos atuais, mas produziam aberrações cromáticas que só foram superadas no século XIX.

Outra prática que ocorria entre os naturalistas era a elaboração e adequação de instrumentos segundo suas necessidades. Como os artefatos não eram produzidos em larga escala, a ocorrência de encomenda de instrumentos “sob medida” era comum.

As manipulações e observações dos diminutos pólipos por Trembley, por exemplo, demandou um novo tipo de artefato que o permitisse visualizar o organismo e, ao mesmo tempo conduzir os procedimentos cirúrgicos. Diante dessa necessidade, ele solicitou a Jan van Musschenbroek (1687-1748), um conceituado fabricante de microscópios de Leiden, que construísse o microscópio conhecido como “porta lupa” (figura 1).

Figura 1: O microscópio “Porta-lupa” idealizado por Trembley. Na ilustração são representados o braço articulado do instrumento; na região central do círculo está posicionada a lente. Sobre o suporte, um recipiente de vidro utilizado para manter os insetos sob observação

Fonte: Ratclif e Fournier (2007, p. 93)

2.3. Da comunicação e financiamento das pesquisas

Em geral, aqueles que se dedicavam a investigar os fenômenos do mundo natural, via de regra, faziam parte da camada mais abastada da sociedade europeia do século XVIII. Em sua maioria, homens brancos, membros da aristocracia, nobres e herdeiros de grandes fortunas (DASTON, 1991, p. 370; ELLIS, 2016, p. 18).

Desse modo, os componentes desse estrato social podiam conduzir suas pesquisas com recursos próprios, além de patrocinar financeiramente quem desejasse contribuir, uma estratégia conhecida na época como “cultura de patronato”. Essas relações entre “patrões” e “clientes” possibilitavam aproximar pessoas de diferentes posições sociais e, assim, facilitar, tanto a produção, quanto a circulação de conhecimento (BURNETT, 2014, p. 1277).

O trabalho realizado pelos naturalistas, muitas vezes, requeria uma rede de colaboração que se expandia, não somente entre seus “pares” locais, mas também, entre naturalistas de nações distintas.

O estudo da natureza dos insetos, nas obras do naturalista francês René-Antoine Ferchault de Réaumur, envolvia a síntese de detalhes de comportamento, anatomia e função. As observações, experimentos e resultados obtidos por ele, geralmente eram trocados, doadas, questionadas, replicadas. Além disso, havia também a transferência de recursos materiais, instrumentos, recipientes, preparações, desenhos, espécimes (vivos e mortos), livros e cartas, e às vezes, os próprios observadores (TERRALL, 2010, p. 575).

Obviamente, toda essa logística era carregada de custos de envio, aquisição, entre outros itens. Entretanto, aqueles que almejavam obter e ampliar o nível de conhecimento sobre o universo natural, bem como divulgar o novo, se fazia necessário arcar com as despesas.

A menção à obra de Réaumur foi proposital, pois, além de se relacionar aos protagonistas dos episódios históricos apresentados nesta tese, ele foi um naturalista de comportamento generoso com relação à divulgação da ciência em seu tempo.

Qualquer um interessado no progresso da história natural, e que me julgar capaz de contribuir, podem me enviar presentes os quais eu receberei com apreciação; eu ficarei feliz em expressar publicamente, caso tenham a gentileza de me enviar insetos que lhes pareça incomuns, e que desejam que eu os estude (RÉAUMUR, 1734, p.51).

Esse fato pode ser verificado por meio da sua receptividade, tanto com relação à Bonnet, quanto Trembley. O primeiro, gozava de prestígio, pois era proveniente de alta classe aristocrática de Genebra. Trembley ao contrário, era, então, um jovem e desconhecido tutor, residente no interior da Holanda, sem posição social de relevância ou título de nobreza. Apesar disso, Réaumur não deixou de demonstrar interesse e responder as suas correspondências (RATCLIFF, 2005, p. 233).

Além da cultura de patronato, outra característica que contribuiu para a difusão do conhecimento erudito na época, foram as trocas de correspondências entre os naturalistas.

Tal fato pode ser observado por meio da expressiva quantidade de cartas trocadas entre os naturalistas Bonnet, Trembley e Réaumur, enquanto conduziam suas observações. Em uma correspondência enviada a Bonnet, por exemplo, Trembley ressalta a sua preocupação com relação aos estudos com pólipos, afirmando que não se trata apenas de tornar públicas suas descobertas para “dar prazer aos curiosos”, mas de “contribuir com alguma coisa ao progresso da História Natural” (PRESTES, 2003, p. 40).

Nos séculos XVII e XVIII, as cartas foram uma forma bastante comum de comunicação entre estudiosos e constituíam uma modalidade padrão de disseminação do conhecimento. As cartas eram um mecanismo pelo qual as ideias podiam ser examinadas durante seu desenvolvimento e novas análises poderiam ser sugeridas. Geralmente, as correspondências eram comunicadas em reuniões de sociedades, nos salões dos eruditos, em cafeterias; ou simplesmente eram encaminhados integralmente ou por extratos para outros acadêmicos (KRONICK, 2001, p. 29).

Mediante o uso do transporte por cavalos (em média 8 km/h) ou por barcos movidos a vento (15 km/h) (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2013, p. 15), dentro de poucas semanas, cartas poderiam ser enviadas e recebidas em toda a Europa, via combinação entre a remessa normal e a diplomática (HATCH, 2000, p. 263).

A praticidade da comunicação por cartas, ocasionou a criação das redes de correspondência que, associadas às academias eruditas que emergiram a partir do Renascimento, reforçaram os modos tradicionais de comunicação (livro impresso) e representaram uma inovação significativa (MCCLELLAN, 2008, p. 89). Além da transferência regular de informações, as remessas asseguravam também a troca de itens colecionáveis, espécimes e obras publicadas (LEONI, 2013, p. 507).

Assim, devido ao caráter rápido, barato e seguro, as cartas ganharam um nicho duradouro na troca de informações e comunicação (HATCH, 2000, p. 263). Durante todo o século XVIII, a troca de correspondência permaneceu sendo o meio mais comum de difusão de ideias, informações e “descobertas” relativo aos estudos em história natural.

Como já mencionado, muitas cartas eram publicadas pelas academias eruditas, como o *Journal des Sçavans* publicado em Paris em 1665, seguido no mesmo ano pela criação da *Philosophical Transactions* da *Royal Society*, em Londres. Essas publicações representaram um marco na organização da produção do conhecimento, a partir do século XVII. Contando com o patrocínio institucional, as sociedades científicas passaram a fornecer o principal meio para a publicação do conhecimento no século XVIII (MCCLELLAN, 2008, p. 90).

Esperamos, assim, que essa breve exposição contextual possa contribuir para uma leitura mais orientada sobre os estudos dos naturalistas e suas inter-relações com o momento sócio científico, cultural e religioso no qual ambos os naturalistas, Bonnet e Trembley, estavam inseridos.

Uma vez mais, devemos reafirmar que os capítulos apresentados nesta tese se tratam de uma abordagem restrita, tanto dos trabalhos dos naturalistas, quanto das pesquisas sobre reprodução animal aqui descritas.

2.4. Charles Bonnet, da formação às observações em história natural

Charles Bonnet (1720-1793) viveu em Genebra no século XVIII, então república independente¹³, e pertenceu a duas antigas famílias de magistrados. Seu pai, Pierre Bonnet (1681-1761) e seu avô materno, Charles Lullin (1669-1761), exerceram cargos de magistratura e foram representantes do conselho administrativo de Genebra. Seus ascendentes, portanto, eram membros da aristocracia política, possuindo posições sociais de destaque em Genebra (SAVIOZ, 1944, p. 183).

Charles Bonnet (1720-1793). Gravura por Johan Frederik Clemens, em 1779

Fonte: Wikipedia

Estabelecido nesse contexto familiar de magistrados, Bonnet estudou jurisprudência, se tornando doutor em Lei pela Academia de Genebra em 1743. Entretanto, apesar de possuir a formação em Direito, nunca desempenhou a profissão. Seu maior interesse foi a história natural, na qual ganhou reconhecimento e prestígio.

Para entender o que determinou a vocação de Bonnet pela história natural, foi necessário investigar o processo de sua formação e conhecer os fatos que motivaram tal interesse.

¹³ Genebra foi admitida à Confederação Suíça apenas em 1815, sob o nome de República e Cantão de Genebra (WIE, 1999, p. 142).

Ao longo deste capítulo, serão apresentadas algumas citações literais de Bonnet. Trata-se de trechos de cartas, uma delas enviada ao seu amigo, médico e naturalista Albrecht von Haller (1708-1777) em 1775, relatando detalhes de sua vida estudantil. Essa carta está publicada no livro *Histoire de l'Université de Genève* (História da Universidade de Genebra) (BORGEAUD, 1900, p. 564).

Outras citações foram extraídas de obras como: Memórias autobiográficas de Charles Bonnet de Genebra *Mémoires autobiographiques de Charles Bonnet de Genève* (Memórias autobiográficas de Charles Bonnet de Genebra) do historiador Raymond Savioz (1948) e *Science et Société à Genève au XVIIIe Siècle: L'Exemple de Charles Bonnet* (Ciência e Sociedade em Genebra no século XVIII: O exemplo de Charles Bonnet) do historiador René Sigris (1994). Há, porém, citações de autoria de Bonnet, retiradas de suas próprias obras, que serão mencionadas em diversos momentos desta tese.

Com relação aos primeiros anos de vida de Charles Bonnet, existem poucos dados registrados. O que se sabe de sua infância é que ele foi uma criança fisicamente frágil, afetado por uma deficiência auditiva (GROBER, 1990, p. 22). Viveu parte de sua infância e juventude na propriedade de seu pai em Thonex, uma pequena vila localizada em Savoie¹⁴, cerca de 1,5 Km de Genebra (BONNET, 1779, p. 388).

Filho único de Pierre Bonnet e Anne-Marie Lullin de Chateaufieux, Bonnet teve uma instrução e formação característicos de uma família aristocrata. Começou a realizar os estudos clássicos regulares no Colégio¹⁵ de Thonex, no entanto, não apresentou muita disposição em relação às matérias ensinadas.

Eu não compreendia nada dessa massa de regras gramaticais que meu professor me obrigava a decorar, de forma imperfeita e com grande dificuldade. Como eu não conseguia descobrir sozinho a razão dessas regras, nem compreender por meio dele (...) este sentimento, já muito doloroso, foi reforçado pela minha incapacidade de aplicá-las aos conteúdos estudados (BONNET, apud SIGRIS, 1994, p. 20).

Além do desinteresse pelas aulas no colégio, a sua precoce deficiência auditiva, motivo de “constantes brincadeiras e zombarias em classe” (BONNET apud SAVIOZ, 1944, p. 183), levaram seu pai a contratar um tutor particular para educá-lo em casa.

Seu professor, Sr. Laget, um jovem estudante de teologia, procurou minimizar o ensino de regras e fórmulas e procurou fortalecer as aptidões ao raciocínio, bem como desenvolver

14 Savoie era ducado europeu situado entre a França e Itália, limitado a norte pelo Lago de Genebra, tendo cerca de 30 léguas (~145Km) de norte a sul, e 25 léguas (~120 Km), de leste a oeste (DE JAUCOURT, 1751, p. 718).

15 *Le collège classique*, ou estudos clássicos regulares compreendiam seis anos de estudos (BUIOZ, 1864, p. 245).

nele os princípios da moralidade e do cristianismo (RIQUET, 1859, p. 4). Um dos materiais que serviu de referência para a sua formação foi o periódico *The Spectator* (O espectador) dos editores Joseph Addison e Richard Steele¹⁶ (SIGRIST, 1994, p. 20).

Todavia, apesar de identificar em Laget, um amigo, a infância de Bonnet foi, em grande parte, solitária e isolada (GROBER, 1990, p. 13).

Aos 15 anos, Bonnet ingressou na universidade de Genebra, então chamada, Academia de Genebra¹⁷, integrado ao *Auditoire de Belles-Lettres* (curso de Letras) sob os cuidados do professor e pastor Pierre Cromelin (1683-1739), a quem se referia como “um mestre cheio de doçura, amenidade e bom gosto” (BONNET apud BORGEAUD, 1900, p. 495).

Entre 1735 e 1736 nesse *Auditoire*, Bonnet estudou história antiga e moderna, geografia, gramática, mitologia, conheceu a literatura grega e latina¹⁸ (BORGEAUD, 1900, p. 493) e nutriu um interesse especial pelas obras de autores clássicos, como: Platão, Sófocles, Homero, Píndaro, Demóstenes, Virgílio, Horácio, Cícero, Tito Lívio, entre outros (RIQUET, 1859, p. 4). O seu encanto pela mitologia, poesia, sátiras e críticas presentes nessas obras se refletiram em diversos momentos, tanto em seus livros, quanto nas correspondências que enviou aos seus amigos, como será visto adiante neste capítulo.

Ao terminar os estudos no *Auditoire Belles-Lettres*, Bonnet foi admitido no *Auditoire de Philosophie* (curso de filosofia), onde frequentou, por dois anos, aulas de matemática, física, química e filosofia racional, ministradas pelos professores Gabriel Cramer (1704-1752) e Jean-Louis Calandrini (1703-1758).

Cramer, professor de matemática e filosofia, foi escolhido por Bonnet, também como seu guia. “Eu me liguei a ele e o consultava como um oráculo. Ele era muito gentil e bondoso comigo, um prelúdio de uma terna amizade que me honrou no futuro” (BONNET apud BORGEAUD, 1900, p. 565).

No decorrer dos estudos, Cramer, reconhecendo no jovem Bonnet, habilidades pela leitura, aconselhou várias obras. Entre os exemplares que versavam sobre física, estavam: *Entretiens physiques d'Ariste et d'Eudoxe* (Diálogos de física de Aristeu e Eudoxo) de Regnault

16 *The Spectator*, foi um periódico publicado em Londres, seis dias por semana, entre 1711 e 1712. Tratava de diversos temas, de comentários sobre modismos até críticas sobre moralidade e ética. Uma característica foi o fato de levar a filosofia para "fora de armários e bibliotecas, escolas e faculdades, para figurar em clubes, assembleias, mesas de chá e cafeterias" (THE SPECTATOR, 2014).

17 A Academia de Genebra se torna Universidade de Genebra em 1873, quando Carl Vogt (1817-1895), na cadeira de presidente da universidade, apresentou um projeto de reforma para o ensino superior. (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2009).

18 Segundo o regimento da Academia de Genebra da época, algumas atribuições dos professores de *Belles-Lettres* era ministrar duas horas de aula por dia, uma pela manhã e após o meio-dia, cinco vezes por semana, compreendendo o ensino de história, geografia e gramática. Eram lidos, também, autores e poetas gregos e latinos. (BORGEAUD, 1900, p. 493).

(1683-1762); *Théologie Physique* (Teologia Física) de Derham (1657-1735); e *Eléments de la Philosophie de Newton* (Elementos da Filosofia de Newton) de Voltaire (1694-1778) (BORGEAUD, 1900, p. 566).

As leituras de filosofia e lógica foram: *Entretiens sur la pluralité des mondes* (Diálogos sobre a pluralidade dos mundos) de Fontenelle (1657-1757) e *Logique de Port-Royal ou l'Art de penser* (Lógica de Port-Royal ou a Arte de Pensar) de Antoine Arnauld (1612-1694) e Pierre Nicole (1625-1695) (BORGEAUD, 1900, p. 566).

O que gerou o interesse de Bonnet por essas obras foi a sua inclinação aos estudos desses temas. “Eu já havia conhecido geometria, álgebra e física e poderia ter tido algum progresso, se meu gosto pela história natural não tivesse predominado” (Bonnet *apud* BORGEAUD, 1900, p. 566).

Além disso, essa literatura, a exemplo da obra de Fontenelle, também ajudou a fortalecer suas características como naturalista, “O Espírito de observação e de análise que um dia iria se desenvolver em mim, em nada difere daquele 'germe' do espírito da geometria presente nas descrições de Fontenelle” (Bonnet *apud* BORGEAUD, 1900, p. 566).

De fato, a admiração de Bonnet pela história natural começou antes de seus estudos de física e matemática.

Eu tinha meus 16 anos quando caiu em minhas mãos, por acidente, o primeiro volume do livro *Spectacle de la Nature* (*O Espetáculo na Natureza*)¹⁹. Eu abri a história da formiga-leão. Eu não li o livro. Eu devorei! Parece que cresceu em mim um novo significado ou novas faculdades [...]. A admirável engenhosidade da formiga-leão me impressionou muito. Eu confesso que temia algum exagero por parte do astuto historiador. [Pois] eu não conseguia me convencer que pudesse existir na natureza um animal pequeno tão industrioso. Eu estava desejoso de encontra-lo (BONNET *apud* SIGRIST, 1994, p. 20).

A história da formiga-leão pode ser considerada o estímulo inicial ao suscitar a curiosidade de Bonnet pelo universo da história natural. Como escreveria mais tarde, seu amigo Jean Senebier (1742-1809) “Charles Bonnet tornou-se um naturalista ao ler o Espetáculo da Natureza, quando nem suspeitava da existência de uma história natural” (SENEBIER *apud* PRESTES, 2006, p. 206).

19 Escrito pelo abade francês Noël-Antoine Pluche (1688-1761), a obra *Spectacle de la Nature*, publicada em sete volumes entre 1732 e 1750, foi uma introdução ao conhecimento científico da época, sob a forma de diálogo entre uma criança, a sua professora e seus pais. Considerado uma obra de divulgação científica, foi elogiado por Réaumur e Jean Jacques Rousseau quanto às suas qualidades educacionais. Sucesso imediato, a primeira tiragem foi esgotada logo após liberada para venda, além de ter sido falsificada – prática comum à época. Admite-se que foi um verdadeiro best-seller de seu tempo, tendo mais de 57 edições e traduzido em 25 idiomas (CHANSIGAUD, [s.d.]).

Foi, no entanto, por outra circunstância que seu gosto pela história natural se tornou objeto de observação, e posteriormente, estudo. Em um dia de aula de filosofia, Bonnet viu sobre a mesa do seu professor, Ami de la Rive (1692-1763), um livro que chamou a sua atenção.

Quando meu professor se ausentou por um instante, um movimento mecânico levou-me a abrir o livro; e caí acidentalmente em figuras que representavam diferentes espécies de lagartas em suas atitudes naturais. Eu me senti fortemente abalado. Ao procurar o título eu li: *Memoires pour servir a l'histoire des insectes* do naturalista francês René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) (BONNET apud BORGEAUD, 1900, p. 567).

Bonnet fazia menção ao primeiro volume, publicado em 1734, da obra de Réaumur, que contou com seis volumes, publicados entre 1734 e 1742.

Além da autoria da obra citada, Réaumur, nascido em La Rochelle, França, teve uma produção acadêmica foi muito mais extensa. Na Academia de Ciências de Paris, publicou mais de 60 memórias sobre temas que variavam da física à história natural, entre 1708 e 1742. Seus trabalhos como naturalista foram marcados pela observação dos organismos investigados e por uma criatividade experimental que orientou e inspirou a metodologia de vários naturalistas do século XVIII, entre eles o genebrês Charles Bonnet (PRESTES, 2008, p. 263).

Ao folhear as páginas da obra *Memóires*, Bonnet narrou: “Eu fiquei encantado ao ver como aqueles insetos, tão vulgares e desprezados, puderam ser enobrecidos de forma tão interessante e completa pela pena desse célebre acadêmico” (BONNET apud BORGEAUD, 1900, p. 567).

Movido pela curiosidade e interesse em conhecer melhor o livro, ao final daquela aula, Bonnet resolveu solicitar o empréstimo do livro ao seu professor De la Rive. Mas, o que ouviu foi:

“Por que você deseja esse livro? ” Disse Sr. De la Rive em tom repulsivo. “Leia o *Spectacle de la Nature!* ” “Eu já li e reli” replicou Bonnet. “Não importa, *Memórias* do Sr. Réaumur são muito eruditas para um estudante como você. Além disso, não posso dispor dele, pois pertence à Biblioteca Pública”. Disse Sr. De la Rive (BONNET apud BORGEAUD, 1900, p. 567).

Bonnet não mais insistiu com seu professor e esperou algumas semanas para ir à biblioteca pública tentar conseguir o livro. Ele descreveu a saga até ter em mãos um exemplar das *Memórias*. Bonnet contou que, ao pedir ao bibliotecário, foi recebido de forma pior do que seu professor. Segundo ele, não se emprestavam livros como esse a jovens estudantes. Apesar de Bonnet ter se comprometido a ter todo cuidado e devolver em alguns dias.

Algum tempo depois ele retornou, e desta vez, foi mais feliz. O bibliotecário cedeu o livro por algumas semanas.

Enfim, consegui o livro tão desejado; e que faria de mim um pequeno naturalista. Eu não apenas li o livro noite e dia com toda atenção que era capaz; mas também fiz muitas anotações, pois jamais poderia imaginar que um dia teria em mãos esta grande obra desse ilustre autor (BONNET *apud* BORGEAUD, 1900, p. 567).

Ademais, outro fator que pode ter influenciado a vocação de naturalista, foi o fato de ter passado os períodos de férias, no verão, na casa de campo de seus pais, em Thonex (SIGRIST, 1994, p. 133). Ao estar em contato direto com a natureza, Bonnet pôde explorar a sua curiosidade, fazendo inclusive, diversas observações e experiências, que serão relatadas adiante neste capítulo.

Passados dois anos no curso de Filosofia, Bonnet, com 19 anos de idade, precisou realizar os exames e escolher uma carreira. Ele estava inclinado a estudar física e história natural. Entretanto, a exemplo de seus antepassados, seu pai desejava que ele seguisse os estudos da jurisprudência, um cargo digno aos filhos de famílias nobres. Diante desse impasse, Bonnet teve que negociar e acabou cedendo, pois, seu pai permitiu que ele continuasse com as suas observações (já em prática, nesta época de sua vida), sob a condição de que estudasse, também, para a magistratura (SIGRIST, 1994, p. 22).

Aos 19 anos, Bonnet ingressou no curso de Direito da Academia de Genebra, onde passaria os próximos três anos. Sobre esse período, escreveu: “Lembro-me que era como ter trocado os Campos Elísios pelo Tártaro²⁰”, ressaltando a troca dos estudos em filosofia, física e observações em história natural por uma carreira que não possuía qualquer ambição.

Em 1743, Bonnet obteve o grau de Doutor em Lei pela Academia de Genebra. Em suas palavras é possível perceber a sua insatisfação: “Eu me vi finalmente fora de uma carreira que não havia sido feita para mim, e que eu entrei por respeito e vontade de um pai que não poderia recusar” (BONNET *apud* SIGRIST, 1994, p. 23).

Todavia, Bonnet jamais exerceu a profissão de advogado, preferiu dedicar-se aos estudos em história natural, filosofia e ao final da vida, em psicologia.

2.4.1 Charles Bonnet e a história natural

Esta sessão discorre sobre alguns eventos que, em maior ou menor grau, impactaram a escolha de Charles Bonnet pela história natural, especificamente as primeiras observações com insetos, objeto de curiosidade e interesse pessoal.

²⁰ Na mitologia grega, Campos Elísios seria um lugar onde os virtuosos repousariam com dignidade e descanso, após a morte. Por outro lado, o Tártaro seria um lugar como o inferno, de eterno sofrimento.

Como mencionado anteriormente, Charles Bonnet era um jovem estudante de filosofia, quando se envolveu com o mundo da história natural por meio da leitura das obras: *Espectáculo da Natureza* - especialmente com a leitura da história da formiga-leão²¹ (figura 2) - e *Memórias para servir a história dos insetos*.

A forma industriosa pela qual a larva da formiga-leão construía uma armadilha para capturar presas, a estrutura do animal e metamorfose que realizava para alcançar a idade adulta chamaram a atenção de Bonnet.

Figura 2. À esquerda, a ilustração retratada na obra “*O espetáculo da Natureza*”. As imagens superiores representam os estágios larvais do inseto. Abaixo, a armadilha construída para captura de presas. À direita, fotografias atuais do inseto. (A) estágio larval; (B), a armadilha e (C) a mesma espécie em maior detalhe.

Fonte: Esq: Pluche (1732, p.220). Dir (A) e (B), Wikipédia; (C) Flickr

Entretanto, Bonnet não se satisfaz em conhecer a formiga-leão apenas pela leitura, ele queria vê-la: “desejei ardentemente ver por mim mesmo, fatos que eu tenho lido e tão bem embelezados pelo historiador” (BONNET, 1779, p. 364).

No seu livro *Oeuvres d'Histoire Naturelle et de Philosophie* (Obras de História Natural e de Filosofia) publicado em 1779, Bonnet escreveu que não tinha ainda 17 anos de idade quando observou insetos primeira vez. “Em 1737 pude conhecer e ver com meus próprios olhos as interessantes particularidades da história da formiga-leão e fui forçado a reconhecer que não eram exageros do abade Pluche”. (BONNET, 1779, p. 365).

Porém, antes de ver os detalhes do inseto, Bonnet narrou, de forma bem-humorada, como se deu o encontro com a formiga-leão.

Eu busquei ao redor da minha casa de campo, foi inútil; eu não sabia caçar insetos. Eu já estava lamentando o meu infortúnio, quando um

²¹ Formiga-leão é um verme de seis pernas ou hexápode que devem se transformar numa mosca de quatro asas, sendo, portanto, colocado na sexta classe daqueles vermes que passam por transformação (RÉAUMUR, 1742). Atualmente, a superfamília myrmeleontidae compreende mais de 1700 espécies classificadas. São encontradas em quase todos os continentes. As larvas são abundantes em regiões onde o solo é árido e seco. Os adultos medem entre 10 e 70 mm (GILLOT, 2005, p.301)

amigo nascido em Languedoc [província francesa] veio me visitar nas férias. Eu perguntei a ele se conhecia ou se já havia visto uma formiga-leão. Ele respondeu que não conhecia nada parecido com isso e que também não era comum em sua província. Porém, ainda assim, me propôs ajuda e sugeriu procurarmos no jardim da casa de campo. [...] após algum tempo encontramos um inseto parecido com a formiga-leão. No entanto, para meu pesar, o inseto escapou a minha vista. Mas, como tinha aprendido a encontrá-lo, logo reparei minha perda. E não mais parei de observar (ROSTAND, 1966, p. 8).

Ao aprender como encontrar a formiga-leão, Bonnet capturou um exemplar e iniciou suas próprias observações. Não somente viu as particularidades da formiga-leão, mas também, consultou a publicação *Histoire du formica-leo* (História da Formiga-leão) de François Poupart (1661-1709), pois essa Memória serviu de base para a história descrita no livro *Spectacle*²² (BONNET, 1779, p. 364).

A princípio, Bonnet se restringiu a observar a estruturas destacadas na publicação de Poupart, particularmente o que o autor definiu como um órgão semelhante à fiandeira das aranhas. Conforme relatou: “é estranho que ele [Poupart] não tenha visto o órgão pelo qual o inseto produz o fio que lhe permite revestir o interior de seu pequeno casulo²³ [...]” (BONNET, 1779, p. 366).

Bonnet analisou esse órgão e percebeu algumas diferenças que não foram notadas pelo autor. Poupart observou que a fiandeira da formiga-leão estava localizada na parte de trás do inseto, limitando-se a aceitar e fazer uma analogia entre os dois insetos. Todavia, munido de uma lupa, Bonnet identificou os detalhes desse órgão e suas estruturas. Observou que o órgão - que chamou de um “ponto molde” - era, na verdade dois pontos (Figura X), ao contrário das aranhas e do que Poupart disse. Notou e descreveu tanto a quantidade e a coloração do que chamou de “pelos”, quanto a forma pela qual estavam distribuídos na parte posterior da formiga-leão (BONNET, 1779, p. 367).

Outra diferença que encontrou foi a quantidade de olhos que a formiga-leão possuía. Poupart identificou dois olhos, mas observando melhor, percebeu a presença de doze olhos e Bonnet (1779, p.369) escreveu:

A formiga-leão possui doze olhos que lhe parece servir muito bem. É ainda estranho que o sr. Poupart não soubesse, pois ele mesmo disse ter usado um bom microscópio. Como esses doze olhos lhe escaparam, se uma simples lupa seria suficiente para perceber?

22 François Poupart (1661-1709) foi um naturalista, anatomista e cirurgião nascido em Mans, na França. Com interesse particular pela história natural, observou hábitos e anatomia de insetos. Essas observações renderam trabalhos publicados na Academia de Ciências de Paris, entre eles a memória *Histoire du formica-leo* (História da Formiga-leão) (TEES, 1910).

23 A formiga-leão, como os demais insetos que fazem metamorfose, antes se transformam em ninfa e realizam a transformação em casulos, geralmente feitos de seda (RÉAUMUR, 1742, p. 367).

Bonnet fez muitas observações com a formiga-leão, identificando e descrevendo diversas estruturas anatômicas e hábitos no seu livro: *Obras de história natural e de filosofia*, publicado em 1779. Contudo, não é propósito desta tese delinear todo o seu trabalho.

O que se pretende nesta, e nas seguintes seções, é expor as observações iniciais e traçar um caminho que o levou da curiosidade juvenil ao prestígio como naturalista. Ademais, apontar os fatores que o motivou para o estudo dos seres vivos e do mundo natural.

2.4.2 Bonnet, Réaumur e a insectologia

As observações de Bonnet com a formiga-leão, foram o prelúdio de sua empreitada como naturalista. Porém, foi a leitura das *Mémoires* de Réaumur que instigou em Bonnet, a busca pela compreensão da natureza, por meio da história natural, levando-o do anonimato ao prestígio como naturalista.

Com 17 anos de idade, intercalando com os estudos em Direito, Bonnet começou a observar um tipo particular de lagarta descrita por Réaumur em sua obra. “Observei pela primeira vez em maio de 1737, e então pude ver aquilo que o Sr. Réaumur contou em detalhes [...]” (BONNET, 1779, p.13).

Foi, portanto, em 1738 que Bonnet observou uma espécie de lagarta, na qual Réaumur havia denominado de *livrée*²⁴ (Figura 3) e os fatos que ele constatou dessa experiência foram cruciais para introduzi-lo definitivamente no rol dos naturalistas da época.

Seguindo o padrão das observações anteriores, Bonnet realizou suas experiências e comparou com o que havia lido nas memórias, anotando os resultados e repetindo o procedimento, caso encontrasse alguma diferença.

A observação com a lagarta *Livrée* começou em abril de 1738, quando ele encontrou um ninho, feito de uma seda muito fina, semelhante a teia de aranha (figura 3b) preso aos galhos de um espinheiro. No interior desse ninho, Bonnet viu que havia pequenas lagartas, aparentemente recém-eclodidas. Ao olhar mais de perto, percebeu que seus corpos eram de um amarelo vivo, distribuídos em pequenos raios de cor preta, da cabeça à cauda (BONNET, 1779, p.14).

Para inspecionar melhor os acontecimentos com as lagartas, Bonnet cortou o galho contendo o ninho e levou para seu quarto, fixando-o em sua janela. Seu intuito era deixar as lagartas livres – “diferente do que faziam os naturalistas, ao confinar insetos em potes de vidro.

24 Denominada de lagarta “Livrée”, por Réaumur, são popularmente conhecidas como lagartas processionárias do pinheiro, (*Thaumetopoea pityocampa*) (DENIS; SCHIFFERMÜLLER, 1775). Insetos da família Notodontidae, constituem aproximadamente de 100 espécies catalogadas. (BATISTI, et al, 2015)

Assim ele garantiu que suas lagartas estivessem em um ambiente semelhante à natureza” (BONNET, 1779, p.14).

Após realizar as suas observações com a lagarta *Livrée*, Bonnet encontrou e registrou situações incomuns que não haviam sido percebidas por Réaumur. Por isso, decidiu escrever ao naturalista francês sobre as suas descobertas detalhando as diferenças e as peculiaridades encontradas.

Figura 3: Em (A), o frontispício do segundo volume da obra “Memórias”, de Réaumur, publicada em 1736. Em (B) ilustrações retratadas no mesmo volume, representando uma lagarta “Livrée” e um galho contendo um ninho. Em (C) foto atual das lagartas processionárias do pinheiro e em (D) um ninho dessas lagartas

Fonte: Figuras (A) e (B) Réaumur (1736, p.1 e p. 261). Figuras (C) e (D), Wikipédia

Os leitores de Réaumur sabiam que além da sua experiência como naturalista, era também um incentivador da prática de estudos em história natural. Réaumur reconhecia seus colegas, colaboradores e todos aqueles que o tinham submetido insetos, observações demais tipos de assistência (TERRALL, 2010, p. 573). Réaumur (1734, p.51) escreveu:

Qualquer um interessado no progresso da história natural, e que me julgar capaz de contribuir, podem me enviar presentes os quais eu receberei com apreciação; eu ficarei feliz em expressar publicamente, caso tenham a gentileza de me enviar insetos que lhes pareça incomuns, e que desejam que eu os estude. Eles tem somente que empacotá-los em pequenas caixas com o alimento necessário para a viagem e endereçá-los ao Conde d'Onsenbray,²⁵ diretor do Serviço Postal Real da França; dentro do primeiro envelope eles devem inserir um segundo

25 Louis-Léon Pajot (1678-1754), o Conde d'Onsenbray, seu amigo, a quem Réaumur menciona, além da posição como diretor do serviço postal francês, era um coletor de espécimes de história natural, de instrumentos científicos e membro honorário da Academia de Ciências de Paris. Em seu posto, ele facilitava as trocas de cartas e pacotes com espécimes vivos e preservados que eram remetidos à Réaumur, muitas vezes livre de taxas, assumindo, assim também seu “amor pelo progresso das ciências” (TERRALL, 2010, p.574)

com o meu endereço: eles podem ficar seguros que o pacote será fielmente e prontamente entregue.

O seu prestígio como naturalista e a sua posição acadêmica facilitava o estabelecimento de uma grande rede internacional composta por coletores desconhecidos, amadores e outros naturalistas. Minerais, invertebrados, pássaros, insetos vivos ou conservados eram remetidos de vários lugares do mundo à Réaumur, que escrevia instruções sobre métodos de preparação e conservação dos espécimes (RATCLIFF, 2005).

Contudo, ao instigar a curiosidade, atenção e interesse de seus amigos e associados em seus livros, Réaumur deixava explícita a inviabilidade de elucidar sozinho os estudos dos insetos. Essa empreitada dependia de recursos materiais e *input* intelectual provenientes de lugares diversos e diferentes pessoas. Réaumur confiava que o engajamento dos leitores, correspondentes e demais interessados poderia beneficiar e acelerar o conhecimento sobre a história natural. Ciente da complexidade de alcançar a completude da sua “insectologia”, ele almejava expandir tais conhecimentos apelando sempre para a atenção tanto ao incomum, singular, quanto ao útil ou nocivo (TERRALL, 2010, p. 575).

O interesse e abertura de Réaumur incorporadas ao ímpeto juvenil foram cruciais para que Bonnet se lançasse a essa rede, iniciando um comércio de correspondências entre ele e o célebre naturalista francês: “Foram essas observações que fiz em 1738, que possibilitaram trocar cartas com Sr. Réaumur [...] essas trocas duraram mais de 19 anos, ininterruptos [...]” (BONNET, 1779, p.12).

Além disso, das observações realizadas com as lagartas, responsáveis pela admiração de Réaumur, como escreveria mais tarde:

Seus talentos [de Bonnet] para as observações em história natural se manifestaram cedo; ele me deu o prazer de pensar que as minhas Memórias foram responsáveis por desenvolver nele esses talentos; ele era ainda um estudante de filosofia quando me enviou as suas observações que demandaram toda paciência e sagacidade dos mestres da arte de observar (RÉAUMUR, 1742, p. 319).

Charles Bonnet, portanto, galgava seus primeiros passos visando compreender o universo da história natural por meio da observação e experimentação com insetos, entre eles, os pulgões também foram foco de seu interesse e curiosidade.

2.4.3. O problema dos pulgões no século XVIII

A história natural dos pulgões (ou afídeos) foi apresentada na nona memória do terceiro volume da obra *Memoires pour servir a l'Histoire des insectes*, de Réaumur, publicada em 1737²⁶.

Em 69 páginas, Réaumur ofereceu detalhes e hábitos desse inseto que foi objeto de sua atenção e de outros naturalistas. Réaumur observou várias espécies de pulgões e definiu algumas características comuns, apesar de ter feito uma crítica ao termo:

O nome pulgão não deveria ter sido dado, pois em nada se assemelham àqueles insetos vívidos, ágeis e saltantes, como as pulgas. Nossos pulgões são insetos muito tranquilos, de caminhar lento e pesado [...] possuem seis longas e delgadas pernas que parecem não suportar o seu peso quando alcançam o tamanho final (RÉAUMUR, 1737, p. 284).

Em geral, são insetos pequenos, com umas espécies maiores do que outras, mas fáceis de distinguir por meio de uma lupa e reconhecer suas principais partes [...], algumas espécies ganham asas e se transformam em diversas espécies de mosquitos, que chamamos de pulgões alados [...]. Aqueles que não possuem asas, tem o corpo parecido com uma mosca sem asas (Figura 4) [...]. Todos têm duas antenas sobre a cabeça. Em algumas espécies elas são muito longas à frente da sua cabeça, outras as antenas ficam apoiadas sobre seus corpos; e em outras espécies as antenas são muito maiores do que o seu próprio comprimento. A maioria das espécies possuem dois cornos localizados na parte posterior e acima do corpo, porém muito mais curtos e mais grossos do que as antenas, lado a lado e com a mesma inclinação (RÉAUMUR, 1737, p. 283).

Os pulgões se diferenciam entre si por sua variedade de cores [...] há um grande número de verdes, distintos por sua tonalidade [...] há verdes-marrom, verdes-claro, verdes-limão, mas também existem pulgões marrom, preto, branco, cor de bronze, e cor de canela [...]. Ao que parece, para cada tipo de planta, há uma espécie de pulgão [...]. São insetos que vivem em sociedade e encontrados em grande número, unidos ao caule, as folhas e aos jovens brotos das plantas [...] essas partes são, por vezes, cobertas de pulgões (RÉAUMUR, 1737, p. 283).

Os pulgões se diferenciam entre si por sua variedade de cores [...] há um grande número de verdes, distintos por sua tonalidade [...] há verdes-marrom, verdes-claros, verdes-limão, mas também existem pulgões marrom, preto, branco, cor de bronze, e cor de canela [...]. Ao que parece, para cada tipo de planta, há uma espécie de pulgão [...]. São insetos que vivem em

26 Afídeos, popularmente conhecido como pulgões, são insetos da ordem hemíptera, que vivem de uma dieta de seiva de plantas. Atualmente compreendem aproximadamente 4700 espécies entre três famílias principais: Aphididae, Adelgidae e Phylloxerida. Todas as espécies conhecidas são ciclicamente partenogéticas, isto é, sazonalmente alternam entre uma ou várias gerações em que os ovos não fertilizados se desenvolvem em fêmeas, e uma geração sexual em que ovócitos deve ser fertilizado por um espermatozoide (DAVIS, 2012, p. 2)

sociedade e encontrados em grande número, unidos ao caule, as folhas e aos jovens brotos das plantas [...] essas partes são, por vezes, cobertas de pulgões (RÉAUMUR, 1737, p. 283).

Figura 4. Imagens representativas de pulgões observados por Réaumur, no século XVIII. “Fig 1”, uma ilustração lateral; “Fig 2” imagem mostrando a posição ventral e “Fig 4”, imagem lateral de um pulgão alado.

Fonte: Réaumur (1736, p. 493)

Esses insetos são armados com uma tromba fina (percebida somente com o uso de uma lupa) e as usam para picar a epiderme das folhas ou brotos e sugar um líquido do qual se alimentam [...]. A ação de picar e sugar, em vez de destruir essas partes das plantas, faz com que se tornem mais grossas, espessas e enrugadas (Figura 5) [...]. (RÉAUMUR, 1737, p. 283). Fato também afirmado por Bonnet: “ao observar algumas espécies de pulgões sobre as jovens folhas e brotos das plantas, notei que as folhas se enrolavam sobre si, e ocasionalmente formavam grossos tumores de aspecto monstruoso” (BONNET, 1745, p. 2).

Figura 5. Imagem representando tumores nas plantas habitadas pelos pulgões.

Fonte: Fonte: Réaumur (1736, p. 495)

Entretanto, apesar de os pulgões serem causadores de danos em vários tipos de plantas, o motivo maior de atenção dada a esses insetos foi outro - a incerteza sobre como esses animais se perpetuavam. A forma de geração dos pulgões (afídeos) vinha, há tempos, suscitando a curiosidade de naturalistas e eruditos, devido ao seu caráter singular.

Ainda no século XVII, o italiano, Giacinto Cestoni (1637-1718) havia atestado que pulgões podiam produzir descendentes sem fecundação, pois nunca tinham sido vistos copulando (PRESTES; MARTINS, 2014, p. 346).

Essa ausência de cópula forneceu motivos para o aparecimento de diversas suposições e tentativas de explicações para a geração dos pulgões. Johannes Goedaert (1617-1668)²⁷, estudioso dos insetos que se destacou por pinturas de insetos, considerou que os pulgões nasciam de “sementes líquidas” postas por formigas nas folhas das plantas. Essa dedução foi baseada na observação entre os dois animais que, segundo Goedaert, os pulgões alimentavam as formigas como “verdadeiras vacas” (PLATEAU, 1868, p. 20).

Em 1695, Antonie Philips van Leeuwenhoek (1632-1723) notou que folhas e brotos de cerejeiras e ervilhas, às vezes, possuíam um formato distorcido e amassado. Ao examinar minuciosamente, viu que essa má-formação era causada por pulgões. Leewenhoek tentou compreender a vida desses insetos e procurou por ovos, mas não os encontrou. Ao realizar um procedimento cirúrgico de abrir o corpo desses pulgões, ele observou com uma lupa, jovens insetos em miniatura, semelhantes às mães. Além disso, observou que um pulgão com apenas 15 dias de idade, poderia dar origem à 60 filhotes. Concluiu, portanto, que as fêmeas não fertilizadas eram vivíparas, notou que, nessas espécies, havia ausência de pulgões alados (PHILLIPS, 1903; MIAL, 1912).

Giacinto Cestoni (1637-1718) defendia, também, que os pulgões eram hermafroditas – a mesma espécie possuía ambos os sexos - porém não apresentou provas para essa afirmação (BARGAGLI, 1869, p. 264) Cestoni observou ainda que, tanto os pulgões com asas quanto os sem asas eram vivíparos, porém, suspeitava que eram duas espécies distintas que viviam juntas (RÉAUMUR, 1737, p. 325).

Por outro lado, Gabriel Phillipe de La Hire (1640-1718) escreveu que esses insetos se reproduziam por meio de ovos, como fazem as moscas comuns. Durante o inverno os pulgões se refugiavam em tocas e saindo na primavera para botar seus os ovos; observações publicadas na *Academie de Sciences de Paris*, em 1703 (RÉAUMUR, 1734).

27 Goedaert publicou, entre 1662 e 1667, três volumes da obra *Métamorphoses naturelles ou Histoire des insectes observée tres-exactement suivant leur nature & leurs propriétés* (Metamorfose natural ou história dos insetos observados na natureza e suas propriedades). O trabalho inclui os resultados de sua investigação sobre a metamorfose dos insetos, acompanhado por observações originais e algumas experiências realizadas por conta própria.

O alemão Johann Leonhard Frisch (1666–1743), então, diretor da Academia de Ciências de Berlim, ao observar variadas espécies de pulgões, considerou que os alados pertenciam ao sexo masculino e publicou uma *memória* reportando suas observações em 1711 (RÉAUMUR, 1737, p. 324).

Em 1724, o francês Claude-Joseph Geoffroy (1685-1752) escreveu uma *memória* discorrendo que a espécie alada de pulgões do ulmus (*puceron d'ormes*) era vivípara. Pois ao sequestrar essa espécie e observar o seu nascimento, notou que os filhotes possuíam a mesma forma da mãe, porém sem asas; um tempo depois esses filhotes se tornaram alados e também geraram filhotes. Era certo, por essas observações, que pulgões com asas produziam pulgões alados. E havia, aparentemente, casos em que alados produziam, por sua vez, pulgões [totalmente] sem asas - mas essa última questão ainda precisava ser confirmada (RÉAUMUR, 1737, p. 326).

As circunstâncias então apresentadas, levavam a supor que havia dois problemas que demandavam solução: (1) a forma de reprodução dos pulgões e (2) a existência de machos entre as espécies. Réaumur, ciente dessas suspeitas, se propôs a desvendá-las e questionou: “Qual seria, afinal, o sexo dos pulgões com asas, e qual a serventia desses na família dos pulgões”? (RÉAUMUR, 1737, p. 324).

Para tentar responder, Réaumur desempenhou a seguinte experiência: coletou alguns ramos de fava que continham pulgões do álamo (*Phloeomyzus passerinii*), coletou um único inseto, inseriu num recipiente de vidro e a lacrou. Após observar por alguns dias a espécie isolada, não obteve o resultado esperado, pois, segundo Réaumur, “essas espécies não entregam seus filhotes quando não estão à vontade” (RÉAUMUR, 1737, p. 326).

Mas, para se convencer que [esses pulgões alados] são vivíparos, basta pressionar suavemente próximo ao meio do ventre, forçando até que os pequenos corpos saiam pela parte de trás. Qualquer observador, usando uma lupa, que olhe os pequenos corpos, facilmente reconhecerá que os pulgões estavam formados e prontos para nascer (RÉAUMUR, 1737, p.326).

Após ter solucionado a questão da viviparidade nos pulgões, mas não a questão da necessidade ou não de acasalamento, ele se dispôs a investigar se pulgões alados concebiam pulgões não-alados; ou se concebiam apenas alados; ou se concebiam tanto um quanto outro²⁸.

2.4.4. Réaumur e a investigação do sexo em pulgões

28 O caso da ausência ou presença de asas numa mesma espécie de pulgão, hoje é conhecido como polifenismo. Isto é: quando um mesmo genótipo produz um fenótipo diferente sob efeito de uma condição ambiental específica (OGAWA; MIURA, 2014).

Para tentar elucidar o problema do sexo nos pulgões alados, Réaumur decidiu observar duas espécies: pulgão do pêssogo e pulgão do sabugueiro. Ele notou que haviam pulgões sem asas nos galhos do pessegueiro, sem que houvesse pulgões alados. Porém, ele observou nessas famílias, filhotes que posteriormente se tornaram alados. Percebeu também, noutro momento, multiplicar o número de pulgões (fêmeas) sem asas nas folhas de sabugueiro, onde antes haviam pulgões alados (RÉAUMUR, 1737, p.327). Ao se deparar com essa situação, escreveu:

Nós notamos até aqui, apenas fêmeas entre os pulgões; não achamos insetos aos quais nós podemos considerar como machos; seria, então, ambos os sexos reunidos, como encontrados em caramujos? Parece que ainda não é bastante, pois, vemos o acasalamento em caramujos; e no tempo que eu ou observei os pulgões, tanto alados quanto ou não alados, eu nunca percebi qualquer acasalamento (RÉAUMUR, 1737, p.327).

Já se sabia, por exemplo, que em abelhas melíferas, os acasalamentos ocorriam dentro da colmeia. No entanto, independente de todas as suas observações, tanto na natureza, quanto nos experimentos de isolamento, em momento algum foi percebido o acasalamento nessas espécies de insetos. O que levou outros naturalistas como Leeuwenhoek e Cestoni a acreditar que se tratavam de hermafroditas (RÉAUMUR, 1737, p. 327).

A dificuldade em responder o que acontecia e como esses insetos conseguiam se multiplicar permaneceu intrigando Réaumur, que presumiu:

O que é certo é que, se eles [pulgões alados] acasalam, é cedo, e o tempo do acasalamento seria, pelo menos, uma singularidade na história natural; [pois] os alados acasalariam antes da última transformação [muda ou ecdise]; por assim dizer, em sua infância (RÉAUMUR, 1737, p. 327).

Essa dúvida persuadiu Réaumur a pensar outras formas de experiências e observações para, tentar responder essa questão desafiadora.

2.4.5. Réaumur e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento

As observações anteriores, tanto sobre a viviparidade em pulgões alados e não-alados, quanto a ausência de machos entre eles, levaram Réaumur a desconfiar da possibilidade de que esses insetos se multiplicariam sem qualquer acasalamento – o que seria uma “exceção à regra”. Naturalista maduro e experiente, Réaumur elaborou um método para investigar se a multiplicação sem acasalamento era mesmo possível.

O procedimento era observar um pulgão (fêmea) que desse à luz a um filhote, coletar esse filhote recém-nascido e colocá-lo isolado, de alguma forma, que não tivesse contato com qualquer outro pulgão.

Réaumur, então, separou um recipiente de vidro, acrescentou terra e adicionou uma muda de repolho contendo duas ou três folhas. Sobre uma dessas folhas, colocou um pulgão recém-nascido. Feito isso, cobriu o vaso de vidro com uma gaze fina para bloquear o acesso a outros insetos e manter o ambiente nutrido de ar (RÉAUMUR, 1737, p. 329).

Entretanto, apesar de ter repetido essa experiência quatro ou cinco vezes, sempre acontecia algum acidente impedindo que o filhote alcançasse a idade de reprodução. Aquele que sobreviveu por mais tempo chegou ao nono dia, outros chegaram ao terceiro ou quarto dia antes de perecer (RÉAUMUR, 1737, p. 329).

Diante dessas tentativas malsucedidas, confessou “Se um único pulgão mantido isolado, conseguir produzir filhotes, isto [a geração] será sem acasalamento, ou deverá acontecer no ventre da própria mãe” (RÉAUMUR, 1737, p.330).

Os insucessos dos resultados obtidos, fizeram Réaumur abdicar à questão da reprodução e voltar a atenção aos aspectos comportamentais e anatômicos desses insetos. No entanto, o desafio permaneceu aberto a outros naturalistas dispostos a investigar a possibilidade da geração sem acasalamento em pulgões.

2.4.6. Charles Bonnet e as observações com pulgões

No verão de 1740, longe dos ambientes de Paris, Charles Bonnet, ainda um estudante de Direito, passava as suas férias na casa de campo de seus pais, em Genthod, Genebra. Enquanto lia o terceiro volume das *Memoires* de Réaumur, Bonnet encontrou a questão deixada em aberto por Réaumur e decidiu investigar o problema pessoalmente. “Animado pelo convite de Sr. Réaumur, comecei em 1740 a tentar essa experiência com o pulgão do carvão (Figura 6)” (Bonnet, 1745, p. 26).

Eram cinco horas da tarde, em Genebra, no dia 20 de maio de 1740 quando Charles Bonnet iniciou a experiência com um pulgão da fava²⁹, após ter engendrado um meio de mantê-lo isolado. “Certo de que o estava conduzindo como Diana, presa numa torre de marfim por ordem de Acrísio³⁰ (BONNET, 1745, p. 27)”.

Ele separou um vaso utilizado para o plantio de flores, no seu interior adicionou uma garrafa contendo água e, utilizando terra de jardinagem, preencheu o espaço entre o vaso e a garrafa. Nessa garrafa, colocou um pequeno ramo da planta evônimo ou *Fusain d'Europe* (*Evonymus europaeus*) contendo cinco ou seis folhas, após ter atentamente analisado cada uma

29 Pulgão da fava ou pulgão negro da fava (*Aphis fabae*, Scopoli, 1763)

30 Em muitos escritos de Bonnet aparecem analogias referenciando contos e mitos greco-romanos, reflexo da sua influência literária enquanto estudante. Conta a história que o oráculo de Apolo reportou ao rei Acrísio que um dia, o filho de Diana, (filha de Acrísio) poderia matá-lo. Temendo a profecia, Acrísio ordenou que Diana fosse aprisionada em uma torre de bronze para que não pudesse se casar nem ter filhos.

delas, certificando-se da ausência de qualquer outro pulgão. Feito isso, colocou sobre uma dessas folhas, um pulgão que viu nascer de uma mãe sem asas. Por fim, cobriu o pequeno ramo com outro recipiente de vidro um pouco menor, de maneira que a borda do pote ficasse disposta exatamente à superfície da terra contida no do vaso de flores (BONNET, 1745), garantindo que o pulgão recém-nascido permanecesse completamente isolado do meio externo (Figura 7).

Figura 6. Acima, ilustrações de pulgões observados por Bonnet. “Fig 1”, imagem de um pulgão da fava sem asas e “Fig 2” a mesma espécie, alada. Abaixo, fotografias atuais das mesmas de insetos representativos da mesma espécie.

Fonte: Imagem superior, Bonnet (1745, p. 285); imagem inferior, wikipedia.

Paciente, Bonnet registrou diariamente suas observações feitas de hora em hora e em intervalos menores, começando às 4 ou 5 da manhã e findando às 9 ou dez horas da noite (BONNET, 1745, p. 28). Naquele momento, seu pulgão tornou-se objeto único de sua atenção.

Procurou, também, se precaver de todos os problemas possíveis. Levou o experimento para seu quarto, onde podia analisar com mais frequência; quando não estava observando, guardava-o em um armário, evitando ao máximo a chance de outro inseto invadir o isolamento. Temendo que o sistema se tornasse um lugar inviável à sobrevivência do pulgão, aprendeu que regularmente precisava remover o copo de vidro para trocar o ar úmido formado pelos vapores de água, mas sem tirar os olhos de cada ação de seu pulgão (RÉAUMUR, 1742, p. 532).

Figura 7. Esquema elaborado para o isolamento do pulgão.

Fonte: Bonnet (1745, p. 292)

Como anteriormente comentado, os pulgões que Réaumur observou não conseguiram avançar além da segunda troca de pele, perecendo pouco tempo depois. Bonnet, por outro lado, descreveu que seu pulgão trocou de pele quatro vezes: nos dias 23 (com três dias de vida), 26, 29 e a última no 31 de maio, e detalhou, inclusive, a forma como o inseto se livrou da pele “velha”.

Utilizando as duas pernas traseiras, como ganchos, em um ato de “abraçar”, meu pulgão se esforçou para se pendurar no galho em que estava. Aos poucos, começou a se movimentar, [no interior de sua pele velha] movendo uma perna e depois todas as outras. Quando “suspenso” no ar, conseguiu abandonar a si mesmo. Um trabalho aparentemente muito rude, pois suas pernas não tiveram tempo para se fortalecer (BONNET, 1745, p.31).

Porém, ao longo da última muda que do pulgão, Bonnet temeu a morte do seu prisioneiro, e, portanto, a falha de seu experimento. Entre as causas que o preocupou, apesar da certeza do confinamento total e da impossibilidade de contato com qualquer outro inseto, foi ter notado que o pulgão parecia inchado e brilhante, aspecto similar àqueles pulgões que sofrem com vermes³¹ se alimentando em seu interior, além da ausência total de movimento. Todavia, reconheceu que se tratava apenas de uma mudança normal de pele (BONNET, 1745, p. 31).

Aos poucos o pulgão foi manifestando sinais de vitalidade. A posição de costas que estava permitiu verificar que seu ventre estava intacto [sem qualquer verme se alimentando dele]

31 O verme seria oriundo de um tipo de mosca (*Ichneumon*, família Ichneumonidae) que pica o pulgão ainda vivo e deposita os seus ovos no interior do seu corpo. Pouco tempo depois o ovo eclode, gerando um pequeno verme que vive à custa do pulgão, impedindo seu crescimento. Por fim, o verme se transforma em ninfa, em seguida em mosca, semelhante a que tinha dado à luz (Bonnet, 1745, p.9).

e observar o movimento de agitação das pernas, como se quisesse mudar de posição (BONNET, 1745, p.31).

Bonnet retomou suas observações e percebeu que a troca de pele havia trazido uma pequena mudança na cor do seu pequeno prisioneiro. Peculiar aos pulgões da fava, a cor roxo escuro, quase negra e aveludada se fez notar. Reparou, também, ao olhar com o uso de uma vela, a presença de seis pontos brilhantes localizados num tipo de depressão, na lateral do corpo do pulgão. Para se convencer da quantidade desses pontos, posicionou o inseto sob a luz do sol, no entanto, a luz era refletida, apagando os pontos brilhantes (BONNET, 1745, p.31). A localização e tamanho desses pontos se situavam entre a cabeça e o “chifre³²” do pulgão.

A observação desses pontos levou Bonnet a suspeitar que poderiam ser os órgãos da respiração ou “estigmas” (BONNET, 1745, p.33). Pois, há exemplos de insetos que possuem tubos, ligeiramente diferentes, que são usados para a respiração (NEWPORT, 1836, p. 529). Contudo, por hora, não levou adiante qualquer observação que sustentasse a sua suposição.

Considerou também investigar um comportamento que Réaumur atentou ocorrer em pulgões sobre folhas de ameixa. Os pulgões se agitavam, abaixando e levantando a parte posterior do corpo, movendo as quatro patas traseiras e mantendo apenas as duas primeiras em contato com a superfície da folha (RÉAUMUR, 1737, p. 296). O que Bonnet percebeu, observando o pulgão aprisionado, é que esse movimento servia para auxiliar a remoção tanto do líquido adocicado que produzia quanto de excrementos (BONNET, 1745, p. 36).

Ao longo do processo de crescimento do seu pulgão, Bonnet registrou e publicou o que julgou pertinente conhecer.

2.4.7. Bonnet e os estudos sobre a multiplicação sem acasalamento

O que vem a seguir, é o que Bonnet chamou de “os fatos mais interessantes da vida de nosso solitário [pulgão]” (BONNET, 1745, p. 38).

Ele elaborou um meio de isolamento e conseguiu fazer com que um único pulgão sobrevivesse às quatro mudas e atingisse a forma adulta. O propósito dessa experiência foi averiguar se um inseto era capaz de ser “suficiente a si mesmo”, isto é, se a multiplicação, independente de acasalamento era realmente possível. Se tal suspeita se concretizasse, seria, em parte, um suporte empírico a favor da teoria da preformação, ao menos, no que concerne à corrente ovista.

32 Sobre o corpo do inseto, a uma pequena distância do ânus, existem dois pequenos chifres, paralelamente. Porém, muito mais curtos e mais grossos do que as antenas. São como tubos que liberam um líquido adocicado que as formigas procuram (BONNET, 1745, p.12).

Bonnet conseguiu, sob seus cuidados, obter um “pulgão perfeito” em regime de isolamento total. E no dia 01 de junho de 1740 toda a sua paciência e dedicação foram recompensados:

Era cerca de sete horas da noite quando vi, com grande contentamento e satisfação que ele [o pulgão] deu à luz; e eu pensei em dar-lhe um nome: *Pucerone*³³. A partir deste dia, até o vigésimo primeiro, a fêmea gerou 95 filhotes, todos bem saudáveis, a maioria deles vieram ao mundo sob meus olhos [...] Seria, então, uma estranha exceção à regra? [Pois], do avestruz à menor mosca que temos observado, sabemos que a multiplicação é constantemente feita com a ajuda de ambos os sexos (BONNET, 1745, pp. 24-39).

À exceção de poucos nascimentos, representados por um asterisco (figura 8), Bonnet listou a geração da maioria dos 95 filhotes em uma tabela organizada em dia e hora de nascimento de cada.

Figura 8. Tabela com dia e hora de cada nascimento de pulgões. Dados das primeiras observações de Bonnet

TABLE des jours & heures auxquels sont nés les Pucerons qu'enfanta depuis le premier Juin jusqu'au 21. inclusivement, celui qui depuis sa naissance avoit été tenu dans une parfaite solitude.				Jours de Juin.	Nombre des Pucerons nés dans chaque j.	Nombre des Pucerons nés chaque matin, & les heures de leur naissance.	Nombre des Pucerons nés chaque après-midi, & les heures de leur naissance.
1.	1. Puc.	0.P.	A 7.h. $\frac{1}{2}$...1.P. 9.....1.P.	8.	8. Puc.	A 5. h. $\frac{1}{2}$...2.P.* 9.....1.P. 9. $\frac{1}{2}$...1.P. 10.....1.P.	A 12. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 2. $\frac{1}{2}$...1.P. Vers le soir.1.P.
2.	10. Puc.	A 5. h....2.P.* 6.1.P. 6. $\frac{1}{2}$...1.P. 7. $\frac{1}{2}$...1.P. 8. $\frac{1}{2}$...1.P. 8. $\frac{1}{2}$...1.P.	A 12. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 1. $\frac{1}{2}$...1.P. 6. $\frac{1}{2}$...1.P.	9.	4. Puc.	A 6. h. $\frac{1}{2}$...1.P.* 11.....1.P.	A 1. h....1.P. 10. $\frac{1}{2}$...1.P.*
3.	7. Puc.	A 10. h....1.P. 11.....1.P.	A 3 h....1.P. 4.....1.P.* 4. $\frac{1}{2}$...P. 6.....1.P. 9.....1.P.	10.	3. Puc.	A 10. h. $\frac{1}{2}$...1.P.	A 1. h....1.P.* 4. $\frac{1}{2}$...1.P.
4.	10. Puc.	A 5. h....3.P.* 6.1.P. 6. $\frac{1}{2}$...1.P.	A 12. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 1. $\frac{1}{2}$...1.P. 6.....1.P. 9.....2.P.*	11.	6. Puc.	A 6. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 7. $\frac{1}{2}$...1.P. 10.....1.P.	A 5. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 6. $\frac{1}{2}$...1.P. 7. $\frac{1}{2}$...1.P.
5.	8. Puc.	A 5. h....4.P.*	A 1. h....1.P. 2. $\frac{1}{2}$...1.P. 6. $\frac{1}{2}$...1.P. 7.....1.P.	12.	1. Puc.	A 6. h....2.P.*	A 12. h. $\frac{1}{2}$...1.P.
6.	5. Puc.	A 6. h....3.P.*	A 12. h. $\frac{1}{2}$...1.P. 1. $\frac{1}{2}$...1.P. 2. $\frac{1}{2}$...1.P.	13.	1. Puc.	A 11.....1.P.	0.P.
7.	4. Puc.	A 5. h....1.P.* 10.....1.P.	A 7. h....1.P. 10.....1.P.*	14.	4. Puc.	A 6. h....3.P.* 7. $\frac{1}{2}$...1.P.	0.P.
				15.	5. Puc.	A 5. h....3.P.* 8.....1.P.*	A 10. h....1.P.*
				16.	6. Puc.	A 5. h....3.P.* 9. $\frac{1}{2}$...1.P. 10. $\frac{1}{2}$...1.P.	A 6. h....1.P.*
				17.	3. Puc.	A 7. h....1.P.	A 3. h....1.P. 9.....1.P.*
				18.	2. Puc.	A 6. h....1.P. 10.....1.P.*	0.P.
				19.	2. Puc.	A 5. h....1.P.	A 4. h. $\frac{1}{2}$...1.P.
				20.	0. Puc.	0.P.	0.P.
				21.	2. Puc.	0.P.	A 7. h. $\frac{1}{2}$...2.P.*
				SOMME TOTALE. 95. PUCERONS.			

Fonte: Bonnet (1745, pp 40-41)

A organização dos resultados numa tabela contendo os dias, horas, números de pulgões nascidos antes e após o meio-dia e a preocupação de registrar o menor dos detalhes, salienta o

33 Pulgão ou afideo, na língua francesa é traduzido como *puceron*.

perfil criterioso nas observações de Bonnet. Do ponto de vista metodológico do século XVIII, pode-se considerar que se tratava de uma novidade na “lógica de uso naturalista”, tanto que, por sua singularidade, Réaumur julgou digno de mérito publicar as tabelas e narrar a experiência no sexto volume de sua obra *Mémoires* (RÉAUMUR, 1742, p. 534).

2.4.8. As evidências da multiplicação sem acasalamento

Após a sua “descoberta” Bonnet resolveu comunicar os detalhes dessa experiência à Réaumur, na Academia de Ciências de Paris.

Vale reiterar que, desde os 18 anos, Bonnet já enviava cartas à Réaumur (TORLAIS, 1959), expondo as observações que fazia com insetos. Portanto, ele conhecia bem seu trabalho e não hesitou em reportar a observação do pulgão à Academia.

Seguro da satisfação que as observações de Sr. Bonnet fariam à Academia [de Ciências de Paris], logo comecei a ler a sua carta datada de 13 de julho [1740] em que estavam os detalhes [das observações]. Ficou aparente para toda a Academia que o Sr. Bonnet tinha tomado as precauções e cuidados, até mesmo além daquilo que se atrevera a desejar. Alguns membros acreditaram que ele não havia deixado escapar nada, como conta a fábula de Argos³⁴, por esclarecer cada passo de seu pulgão. No entanto, consideraram que uma única experiência, apesar de muito bem-feita, não era o suficiente para eliminar toda dúvida sobre um ato contrário a uma lei geral, que parecia estabelecida pelo apoio unânime dos fatos até então vistos. Há muitos exemplos de circunstâncias que escaparam aos olhos perspicazes e atentos. A Academia, portanto, não poderia ajudar, mas desejou que o mesmo experimento fosse repetido pelo Sr. Bonnet, muitas vezes, e com as mais diferentes espécies de pulgões que fosse possível (RÉAUMUR, 1742, p. 537).

A excepcionalidade do evento levou Réaumur a remeter o achado a outros três “excelentes observadores” (RÉAUMUR, 1742, p. 29) para que repetissem a experiência e assegurassem a sua veracidade: o francês Gilles-Augustin Bazin³⁵ (1681-1754); o genebrês (e parente de Bonnet) Abraham Trembley (1710-1784) e o holandês Pierre Lyonnet (1708-1789), este último, segundo Réaumur (1742, p. 538), “um dos mais perspicazes observadores de insetos”.

Bazin deu início às observações no dia 29 de julho de 1740, após presenciar um pulgão fêmea dar à luz a vários filhotes sobre uma folha de papoula e coletar um dos pulgões³⁶ recém-

34 Argos, ou Argus Panoptes, segundo a mitologia grega foi um gigante de 100 olhos o qual Hera deu o trabalho de vigiar uma das amantes de seu marido (“Argus, Greek mythology”), [s.d.]).

35 Gilles-Augustin Bazin, médico e naturalista em Strasbourg (França), amigo e correspondente de Réaumur, realizou observações em diversos domínios científicos. No campo da história natural, publicou trabalhos com observações de insetos, principalmente abelhas, como na obra: *Abrégé de l’histoire des insectes, pour servir de suite à l’Histoire naturelle des Abeilles* (1747- 1751). *Breve história dos insetos, Memórias para servir a História Natural das Abelhas* (KLEIN, 1967).

36 *Aphis papaveris* (FABRICIUS, 1777). Uma característica dessa espécie é a rapidez de seu crescimento. O pulgão da papoula atingia seu crescimento em menos de sete dias, cerca de quatro dias a menos que o pulgão do carvão (observado por Bonnet

nascidos. Rapidamente ele separou esse filhote e colocou sobre outra folha da mesma planta, depois de verificar a ausência de outros pulgões. Em um recipiente de vidro com água, ele mergulhou a “cauda” da folha (pecíolo), e sobre a superfície da água ele acomodou cuidadosamente o limbo contendo o pulgão recém-nascido. Bazin então inseriu esse artefato dentro de outro pote um pouco maior, selando este último com um papel amarrado à borda (RÉAUMUR, 1742, p. 539). Ao contrário de Bonnet, não se preocupou com a umidade produzida pelos vapores de água dentro do vaso, pois havia observado esses insetos no jardim sob forte névoa e não pareciam sofrer (RÉAUMUR, 1742, p. 539).

Na manhã do dia 07 de agosto, Bazin observou que o pulgão que havia isolado deu à luz a sete pulgões. Além de repetir a experiência com a mesma espécie, também observou pulgões da roseira e obteve o mesmo sucesso (RÉAUMUR, 1742, p. 539).

Na Holanda, o jovem Abraham Trembley, que trabalhou como tutor dos filhos de um conde britânico e hábil na arte de observar insetos foi também convidado por Réaumur a repetir a experiência de Bonnet.

Trembley começou a observação com dois pulgões do salgueiro, recém-nascidos no dia 28 de setembro de 1740. Munido com dois pequenos galhos de salgueiro contendo algumas folhas, destituídas de outros insetos, ele colocou um filhote em cada galho. Dentro de um tubo de vidro, aberto em ambas as pontas, ele inseriu o galho com o pulgão, alojou o tubo no interior de um recipiente maior que conservava um pouco de água ao fundo. Com um chumaço de algodão, Trembley cobriu a ponta externa do tubo para evitar a entrada de outros pulgões (figura 9), repetindo o mesmo processo com o outro tubo.

Entretanto, o outono frio da Holanda não favoreceu o crescimento desses insetos. Esse empecilho obrigou Trembley a trocar várias vezes os galhos em que os pulgões se alimentavam. Passados quase dois meses, no dia 25 de novembro ele presenciou o nascimento em um dos seus pulgões e três dias depois, em outro. Apesar de continuarem a nascer, a proximidade do inverno influenciou a regularidade da taxa de geração entre eles (a cada dez dias).

Lyonnet foi outro naturalista holandês que também empreendeu observações para confirmar a multiplicação sem acasalamento. Ele seguiu mecanismos de isolamento semelhante aos anteriores, colocando filhotes de pulgões de espécie diferentes (roseira e salgueiro) em potes de vidros e folhas para alimentá-los, e o cobriu com outro recipiente. Dias depois, Lyonnet observou o nascimento de filhotes perfeitos (RÉAUMUR, 1742, p. 541).

na primeira experiência). O que reduz o tempo para observação e os riscos de morte do próprio inseto. Além disso, são insetos que permanecem por muito tempo no mesmo lugar (RÉAUMUR, 1742, p. 538).

Figura 9. Mecanismos de isolamento de pulgões. De cima para baixo e da direita para esquerda: as quatro primeiras imagens ilustram o método de sequestração e isolamento elaborado por Bonnet; as figuras 5 e 6, o esquema idealizado por Trembley. As ilustrações dispostas verticalmente no canto esquerdo representam as espécies de pulgões observadas por Lyonnet. As três últimas figuras representam o mecanismo de isolamento e observação desenvolvido por Bazin. Note que, diferentemente dos moldes atuais, as ilustrações da história natural do século XVIII não seguiam um padrão de ordenamento.

Fonte: Réaumur, (1742, p.568)

2.4.9. As evidências contrárias à multiplicação sem acasalamento

Enquanto os naturalistas convidados por Réaumur observavam várias espécies de pulgão e presenciavam nascimentos de filhotes sem qualquer acasalamento, uma nova circunstancia foi identificada e o debate sobre total ausência cópula entre esses insetos voltou a ser tema de atenção.

Em outubro de 1740, Bonnet repetiu, mais uma vez, uma série de observações com a espécie de pulgão do carvalho. Como de praxe, isolava os insetos e os mantinha em seu quarto. Nesse experimento, Bonnet coletou de um galho contendo quatro ou cinco indivíduos maiores e um menor, com asas.

Durante as suas observações, Bonnet notou que o pulgão menor (com asas) estava posicionado sobre outro, em uma atitude semelhante à cópula. Esse evento o intrigou, e, ao

tomar uma lupa e remover o pote de vidro que mantinha os pulgões isolados, ele observou e detalhou, nesse e nos dias que se seguiram, a maneira como o pequeno pulgão alado se instalava sobre as fêmeas em isolamento.

Se anteriormente não havia nenhum registro de presença de machos entre a família de pulgões, nesse momento, foi possível suspeitar:

[...] eu acho que vi, pelo menos, os prelúdios de um acasalamento. Eu não duvido que o pulgão alado não seja um macho: tudo parecia indicar, especialmente a sua pequenez e sua agilidade, acompanhado de uma inquietude que lhe parecia natural. Tais características dificilmente forneceriam indicações ambíguas (BONNET, 1745, p. 129).

Para assegurar que não se tratava de um caso isolado, a observação foi repetida com mais indivíduos entre o final de outubro e o início de novembro de 1740, sempre identificando as mesmas atitudes que encontrou na observação anterior. Munido de instrumentos como lupa de aumento Bonnet conseguiu distinguir “na extremidade do ventre do pulgão [alado] um pequeno corpo carnudo, longo, curvo e de coloração branca; provavelmente o órgão da geração” (BONNET, 1745, p, 132).

Mas, a proximidade do inverno em Genebra trazia consigo baixas temperaturas e Bonnet não conseguiu perceber qualquer movimento de cópula com o passar dos dias. No entanto, como se sabia, por analogia, em geral, os eventos de acasalamento insetos ocorriam na primavera ou verão, época de temperaturas mais elevadas.

Assim, a fim de induzir o processo de cópula e minimizar a ação do frio sobre esses insetos, Bonnet elaborou a seguinte experiência: aquecer de forma branda uma pequena panela de cozinha, colocando sobre ela sete fêmeas e um macho (ou o que ele suspeitava ser). Após horas de observação, ele verificou quatorze tentativas e três acasalamentos verdadeiros (com duração de certo tempo e separação lenta e gradual) com uma única fêmea. O pequeno pulgão macho alado ainda conseguiu realizar cópula com outras fêmeas cerca de cinco ou seis vezes no mesmo espaço de tempo (BONNET, 1745 p. 134).

Quanta diferença entre esse [pulgão], macho tão viril, tão ardente, e aqueles machos tão frios e tão indiferentes como os da abelha rainha. Mas que contraste admirável quando refletimos sobre a conduta da Natureza. Ela queria que houvesse apenas uma abelha fêmea para muitos machos. (...). Porém, estabeleceu que seria o contrário com nossos pulgões; há muito mais fêmeas do que machos, mas é preciso apenas um deles para cumprir o desejo de perpetuar a espécie. Ela, portanto, deu à abelha rainha o mesmo ardor [do pulgão macho] e deu às fêmeas dos pulgões a indiferença dos zangões (BONNET, 1745, p. 135).

Bonnet conduziu séries contínuas de observações que demandaram tempo até que, por fim, os resultados obtidos evidenciaram a favor do acasalamento entre esses insetos. Ou seja, tais dados geraram contribuições empíricas relevantes às questões previamente postuladas por Réaumur - se haveria e qual seria a serventia de machos nessa espécie de insetos.

Entretanto, já era início do inverno em Genebra e as condições climáticas, por vezes, dificultaram o expediente das observações. A despeito das adversidades, Bonnet seguiu com os estudos para tentar compreender o porquê da necessidade de acasalamento, uma vez que a mesma espécie também se reproduz sem cópula. Para isso, ele conduziu uma nova série de observações: isolar algumas fêmeas de pulgões que haviam copulado e aguardar “com demasiada impaciência” (BONNET, 1745, p. 139) até que alguma gerasse filhotes. Mas o que ele presenciou não foi o que esperava acontecer.

Em vez de pulgões vivos, minhas fêmeas deram à luz a Fetos, que se pareciam tão perfeitamente com ovos comuns que era difícil não se enganar. Todos perfeitamente unidos. Mesmo sob o microscópio eu não notei nenhuma diferença. Sua cor era avermelhada, seu tamanho era menor do que aqueles [filhotes] dessa espécie quando nascidos vivos. Eles estavam colados sobre o galho e dispostos de forma adjacente uns aos outros, como ovos de uma quantidade de outros insetos. Eu contei entre doze e quinze desses Fetos (BONNET, 1745, pp. 139-140).

Para Bonnet, esse novo dado era digno de maior atenção, uma vez que parecia uma situação ainda mais anômala. Assim, ele investigou o processo de nascimento desses fetos, descrevendo tanto as ações promovidas pela fêmea durante o ato da concepção, quanto as peculiaridades do feto. Entre os aspectos observados, por exemplo, ele notou que a estrutura macia e elástica da membrana do feto ao ser concebido mudava ao longo de um tempo, tornando-se mais rígida e de coloração diferente. (BONNET, 1745, pp. 147-150).

Diante dessas observações, Bonnet (1745, pp. 153-157) conjecturou algumas explicações:

- 1 – Fetos seriam pulgões abortados: devido à desproporção de tamanho dos insetos nascidos em tempo normal e esses considerados fetos. A suposição era baseada no frio, um fator que teria impedido os fetos de alcançarem o tamanho normal quando comparados àqueles nascidos numa estação mais favorável.
- 2 – Fetos seriam casulos: Considerando a forma exterior dos fetos e os cuidados tomados pela fêmea, ao depositá-los, eles poderiam ser um tipo de casulo em que os pulgões estariam adormecidos até a chegada da primavera.
- 3 – Fetos seriam ovos verdadeiros: ao comparar as estruturas depositadas (fetos) pelos pulgões nas folhas das plantas, imaginou que poderiam ser como ovos de lagartas.

No que se refere ao último ponto, cabe discutir que, outros dois naturalistas, convidados por Réaumur a confirmar as observações, seguiram os estudos com esses insetos e, assim como Bonnet, chegaram a conclusões equivalentes. Enquanto Bonnet realizava suas observações no Cantão da Suíça, Trembley e Lyonnet, carreavam estudos sobre reprodução em pulgões, na Holanda.

Abraham Trembley, primo e correspondente de Bonnet, desde junho de 1740 estava envolvido com estudos sobre outro organismo³⁷. Intrigante e pouco conhecido entre os estudiosos da época, os pólipos de água doce foram objetos de curiosidade e estudos minuciosos por Trembley durante os quatro anos que se seguiram.

Desse modo, tão logo Bonnet suspeitou da presença de ovos na espécie observada, em dezembro de 1740 ele escreveu a Trembley: “As fêmeas também oferecem a singularidade de produzir, às vezes, pulgões vivos, e outras vezes, fetos, que são dispostos lado a lado, assim como as borboletas fazem com seus ovos”. Trembley retornou, em janeiro do ano seguinte: “O que você me conta sobre os fetos, são características que podemos observar aqui também” (DAWSON, 1987, p. 93).

Devido à particularidade dessas novas observações, os três naturalistas continuaram a investigar se os tais “fetos” poderiam ser interpretados como ovos, à luz do conhecimento de reprodução animal da época. Em carta endereçada a Bonnet, Trembley escreveu em 1742:

“Quando caminhávamos pela floresta de Sorvgliet, o senhor Lyonnet e eu, observamos alguns corpos oblongados e de cor marrom posicionados sobre um tronco de um carvalho, muito parecidos com aquilo que o senhor alegou ser fetos de pulgões. Porém, o senhor Lyonnet acreditou ser ovos. Subitamente, ele se convenceu que esses corpos eram ovos verdadeiros e coletou alguns para analisar, dos quais ele disse ter visto alguns pulgões emergirem; e seriam daqueles que pertencem às grandes espécies descritas por Mr. Réaumur em uma de suas memórias” (DAWSON, 1987, p. 93).

Contudo, Bonnet seguiu suas investigações, talvez motivado pela carta de Trembley, e em novembro de 1742, em mais uma série de observações, ele isolou um pequeno galho de carvalho contendo um aglomerado de “ovos” de pulgões e encaminhou para seu quarto, posicionando o galho sobre o seu armário.

Além disso, aproveitando o calor do dia (entre 18 e 20 °C aferido pelo termômetro de Réaumur) ele capturou 12 pulgões e os posicionou junto ao galho com os ovos, a fim de verificar se esses espécimes iriam botar alguns ovos. Ao fim de novembro ele havia percebido que os ovos estavam todos murchos e os pulgões estavam mortos, sem produzir nenhum filhote

³⁷ Ver capítulo seguinte

ou ovo. Exceto um “que havia dado à luz a um feto bastante grande, mas que não era possível distinguir qualquer parte” (BONNET, 1745, p. 197).

Bonnet tentou novamente essa experiência, buscando galhos que contivesse esses “ovos singulares” (BONNET, 1745, p. 199). Ao encontra-los, ele tomou o cuidado de extrair desse galho uma pequena parte onde os ovos estavam presos e isolou numa pequena garrafa de vidro, “eu carreguei essa pequena garrafa no bolso por mais de um mês, tendo o cuidado de mantê-la a noite, sob o meu travesseiro” (BONNET, 1745, p. 199). No entanto, a experiência não produziu o resultado esperado, novamente, os ovos ganharam um aspecto murcho e achatado.

Em uma nova tentativa, realizada no mês de maio de 1743, a perseverança de Bonnet foi recompensada:

Eu finalmente tive a satisfação de observar pequenos pulgões nascidos de ovos. Eles estavam mortos por falta de alimento, mas pude reconhecê-los e com o auxílio de uma lupa pude examinar todas as partes próprias desses insetos. Eu verifiquei que eles eram sensivelmente menores do que os pulgões dessa espécie que nascem vivos do ventre de suas mães e que o seu número era consideravelmente menor do que o número de ovos. Portanto, nossos pulgões são uma espécie de inseto que possuem a propriedade de se multiplicar sem acasalamento, e ainda se juntam àqueles seres que são simultaneamente *vivíparos* e *ovíparos*. Como o grande e o pequeno não alteram em nada a natureza das coisas, esta última maravilha não é menos admirável daquela que seria oferecida por um gato ou qualquer outro quadrúpede [...] (BONNET, 1745, p. 199–200).

Bonnet, em Genebra, e o naturalista Pierre Lyonnet, na Holanda, conseguiram compreender o ciclo de reprodução dessa espécie de pulgões do carvalho e consideraram que são *vivíparos* na primavera/verão e *ovíparos* no outono/inverno.

O reconhecimento de um organismo capaz de se reproduzir de forma tão versátil trouxe à tona questões antigas a respeito dessa dicotomia na geração de alguns insetos.

No quarto volume de suas *Memórias*, Réaumur discutiu o caso da mosca de duas asas que se reproduzia por viviparidade, mas, que havia casos de espécies de moscas semelhantes que também eram geradas por meio de ovos³⁸.

Anos antes de Réaumur, o naturalista Francesco Redi (1626-1697) que havia observado o comportamento na mesma espécie de moscas, conjecturou sobre a possibilidade de que “se algumas espécies de moscas que põem ovos, não poderiam, em certas circunstâncias darem à luz a filhotes vivos? [...] ou se um aumento do calor do ar não poderia fazer eclodir os vermes dos corpos das mães? [...]” (RÉAUMUR, 1738, pp. 403-404).

³⁸ Devido à ausência de menção ao tipo ou nomenclatura referente à mosca citada por Réaumur, não foi possível identificar qual a espécie referida. Além disso, o termo “mosca” pode não ter o mesmo significado do que atualmente se denomina.

O fato observado por Bonnet veio ao encontro da questão postulada por Redi, no século anterior. Ao certificar-se da ocorrência de ambas as formas de reprodução em uma única espécie, alegou: “eu não ficaria surpreso se soubesse que foi observado uma espécie de mosca ovípara que às vezes põe ovos de forma ordinária e que às vezes é capaz de eclodir pequenos filhotes vivos. Eu até sinto uma grande inclinação para prever que ainda vamos descobrir isso” (BONNET, 1745, p. 202).

Entretanto, a identificação da capacidade de autoperpetuação presente nos pulgões suscitou em Bonnet uma questão de caráter teórico bastante pertinente à época:

Este é um sentimento, geralmente, bem recebido pelos Físicos, que [antes de nascer] os filhotes de animais vivíparos estão, primeiramente, contidos em ovos: [será que] o resultado da descoberta dos nossos pulgões do carvalho não a confirmaria isso? (BONNET, 1745, p. 202).

É possível, assim, que os estudos sobre a reprodução em pulgões, conduzidos por Bonnet o levaram a se enveredar posteriormente, nos caminhos filosóficos relativos às grandes questões que rodeavam o imaginário dos eruditos da época: compreender a origem e perpetuação dos seres vivos.

Isto posto, cabe considerar que todas as observações conduzidas por Bonnet, ao longo de quatro anos, foram organizadas e detalhadas no seu livro intitulado *Traité D’Insectologie* (Tratado de Insectologia) (figura 10), divididos em dois volumes na mesma obra.

A primeira parte, composta por 293 páginas, particionadas em 21 observações (o que podemos considerar como capítulos), abordaram os seus estudos com os pulgões: observações anatômicas, comportamentais, reprodutivas, as relações “ecológicas”, descrições de espécies observadas e etc. A segunda parte destinou-se às observações e experimentações com organismos denominados “vermes de água doce³⁹” e suas capacidades de regeneração, parcial ou total. Foram 32 observações e séries paralelas de experimentações, realizadas com variados tipos de “vermes”, desde anatomia à fisiologia desses organismos, discriminadas em tabelas, ilustrações.

A obra, desenvolvida em formato narrativo, estilo comum aos textos de história natural da época, é um misto daquilo que hoje podemos considerar como ciência, com um toque poético. Pleno de detalhes descritivos, a obra traz também elementos considerados inovadores à época, como tabelas, a preocupação do autor em apresentar o papel da replicação e variação experimental, o cuidado ao referenciar trabalhos de outros autores, descrever minuciosamente

³⁹ De acordo com a descrição presente na obra de Bonnet, os “vermes” podem se enquadrar como espécies da família Annelidae: poliquetas, oligoquetas, tais como minhocas, provavelmente planárias.

os procedimentos, materiais e instrumentos utilizados, a fim de possibilitar a replicação experimental por outros naturalistas ou eruditos interessados no assunto.

Figura 10. Frontispício da obra *Tratado de Insectologia*, de Charles Bonnet, publicado em 1745. A primeira parte abordando os estudos sobre os pulgões e a segunda, sobre os vermes de água doce

Fonte: Bonnet (1745)

São aspectos que o historiador da ciência, René Sigrist (2001) definiu como “retórica da prova”, ou seja, a reunião de todos os elementos necessários, a fim de convencer ou persuadir a sociedade de eruditos da época acerca da confiabilidade dos fenômenos observados.

Em suma, trabalhos de naturalistas como Réaumur, Bonnet, Trembley, Lyonet, Lazzaro Spalanzani, Jean Senebier e outros contemporâneos consolidaram a observação e a experimentação, marcados pela atenção descritiva, pelas regras procedimentais pela elaboração e difusão de um léxico próprio, entre outros, como método de estudo empírico dos seres vivos no século XVIII (PRESTES, 2003).

2.4.10. Considerações gerais

Das observações realizadas pelo naturalista holandês Leeuwenhoek, no século XVII, àquelas conduzidas por Réaumur, no século seguinte, dentre prováveis outros naturalistas e amadores esclarecidos anônimos e/ou não registrados pela história, todos, de certa forma, contribuíram para o conhecimento sobre a história natural dos pulgões.

Entretanto, uma leitura descuidada deste capítulo pode gerar uma interpretação (equivocada, diga-se) de que o naturalista genebrês, Charles Bonnet, no século XVIII, foi o principal, senão, único, responsável pelas “descobertas” das formas de reprodução e ciclo de vida desse gênero de insetos.

De fato, não se pode negligenciar os aspectos relevantes de Bonnet que, definitivamente, cooperaram e refletiram em seus estudos com pulgões, tais como: suas motivações pessoais pelo assunto, persistência, o processo criativo e imaginativo, paciência, o conhecimento sobre estudos anteriores e contemporâneos, a troca de informações e colaboração com outros naturalistas.

O trabalho sistemático conduzido por Bonnet, que o levou à identificação da capacidade da perpetuação sem acasalamento em pulgões, deveu-se mais a sua obstinação e paciência do que algo que se poderia chamar de “genialidade” (Dawson, 1987, p. 6).

Eu não apenas observava de hora em hora, a começar às quatro ou cinco horas da manhã, e parando apenas às nove ou dez horas da noite, mas também o fazia várias vezes na mesma hora, sempre com o auxílio de uma lupa, de modo a observar com maior exatidão e me instruir das ações mais secretas de nosso pequeno solitário (BONNET, 1745, p. 28).

Ainda que o jovem naturalista de Genebra seja digno de mérito por idealizar e desenvolver um mecanismo de sequestração viável para o isolamento de pulgões (SIGRIST, 2001, p. 427), é importante destacar que se tratava de um aprimoramento metodológico, tendo como base, os trabalhos de Réaumur, e não uma inovação experimental. Apesar da criatividade de Bonnet, pode-se inferir, contudo, que seus métodos foram reflexo da forma como Réaumur apresentava e descrevia seus próprios procedimentos.

Ao apropriar-se do conhecimento, em especial, nas obras de Réaumur e ao combiná-lo com suas próprias ideias durante as observações e experimentos, Bonnet foi capaz de fornecer dados, até então, inéditos, sobre a história natural dos pulgões. A nomeação como correspondente da Academia de Ciências de Paris foi um reconhecimento da comunidade de estudiosos à seriedade e dedicação com a qual o recém Doutor em Lei, conduziu seu trabalho.

O seu *Traité d'insectologie* contempla, em sua primeira parte, 220 páginas, compreendendo as séries de “21 observações” realizadas com diversas espécies de pulgões, detalhando aspectos morfológicos, comportamentais, além de evidências empíricas sobre o ciclo reprodutivo presente nesse gênero de insetos.

Bonnet estava, assim, consciente das suas “descobertas”, sobre o fenômeno da perpetuação sem acasalamento em pulgões. Todavia, ele também sabia que os “fatos” observados necessitavam da maior quantidade de evidências possíveis, a fim de eliminar quaisquer dúvidas e/ou contradições acerca dos seus estudos.

Para isso, ao longo de sua obra, o naturalista apresentou de forma narrativa e detalhada, as repetidas séries de observações e experiências, os resultados obtidos, os problemas encontrados e as soluções metodológicas. Segundo, Sigrist (2001, p. 437), essa posição refletiu

o seu distanciamento dos ideais baconianos, em cujo cerne estava a realização de um experimento crucial, único.

Pode-se identificar esse afastamento por meio das inúmeras séries de experimentações, pela variação e quantidade de espécies utilizadas, pelo controle conduzido em cada observação, o cuidado ao retratar o mais fielmente possível a descrição do que era observado, auxiliado por aprimoramentos metodológicos como tabelas, ilustrações, citações a outros autores, bem como trechos de seus diários de observação.

No entanto, antes mesmo de serem divulgados na sua obra, *Traité d’Insectologie*, de 1745, os estudos de Bonnet com os pulgões (após corroborados por outros naturalistas), ganharam destaque no sexto volume das *Memoires pour servir a l’Histoire des insectes* de Réaumur, publicado em 1742 (RÉAUMUR, 1742, pp. 530-542).

Outro ponto que merece uma breve discussão - ainda que não seja tema específico desta tese - é o fato de Bonnet não ter se limitado apenas às observações com afídeos, mas pela temática reprodução em outros organismos, por exemplo, a recém identificação (na época) da capacidade de regeneração completa em pólipos de água doce, estudos conduzidos pelo também genebrês, Abraham Trembley.

Bonnet, assim como muitos naturalistas da época, ficaram receosos num primeiro momento, pois a formação de novos e completos seres após seccionado diversas vezes, trazia implicações de cunho filosófico/teológicos delicados, por exemplo, a ideia de materialismo animal (CHEUNG, 2006; SMITH, 2006).

A despeito das questões teóricas e movido pela curiosidade de “ver” tais fenômenos relatados por seu conterrâneo, em paralelo com suas observações com pulgões, Bonnet realizou diversas experiências de cortes em várias espécies de “vermes”⁴⁰ a fim de encontrar padrões similares aos pólipos.

Porém, diferente dos pólipos observados por Trembley, que pareciam apenas “tubos vazios com grânulos que se colorem pelo alimento”, os vermes utilizados nas experiências de Bonnet eram mais “complexos”, pois possuíam vísceras como coração, estômago, intestino e outras partes facilmente distinguíveis (BONNET, 1745, vol. 2, p. 6 *apud* PRESTES 2007, p. 312).

Do mesmo modo como conduziu as suas observações com pulgões, Bonnet descreveu de forma minuciosa as suas experiências de regeneração com os vermes. Esses estudos foram

40 Bonnet baseou-se nas descrições detalhadas de Trembley e conduziu novos experimentos com animais encontrados em lagos ao redor de Genebra. Seus experimentos foram feitos com espécimes de vermes aquáticos segmentados que não possuíam pernas e de tamanho mais significativo. (Prestes, 2007)

apresentados ao longo de 262 páginas que compõem o segundo volume do seu *Traité d’Insectologie*, de 1745, intitulado: *Observations Sur Quelques Espèces De Vers D’Eau Douce, Qui Coupés Par Morceaux, Deviennent Autant D’Animaux Complet* (Observações sobre algumas espécies de vermes de água doce, que cortada em partes, se tornam um animal completo).

As observações de Bonnet, com pulgões e com vermes de água doce, bem como os estudos de Trembley com os pólipos foram de suma importância para a compreensão da geração animal no século XVIII. Essas “singularidades” da história natural fomentaram novas investigações sobre a “economia” (fisiologia) animal, além de incentivar a busca por seres que também compartilhasse desse mesmo elemento. Conforme escreveu Réaumur no prefácio do sexto volume de suas “Memórias”:

Tudo o que passa durante o progresso de cada reprodução ou, pelo menos, o que pode ser visto, merece ser relatado no longo prazo. Essas novas produções podem servir para esclarecer o mistério da natureza, tão escondido e tão interessante para nós, sobre a geração dos animais (RÉAUMUR, 1742, p. 76).

Os trabalhos de regeneração realizados com vermes, foram continuados por outros naturalistas, como o italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799). Nos anos de 1760, seguindo os estudos descritos na obra *Considerations sur les corps organizes* (Considerações sobre os corpos organizados) (BONNET, 1762), Spallanzani conduziu diversos experimentos sobre reprodução, entre eles os estudos de regeneração de cabeças de caramujo, ensaios publicados em 1768 (PRESTES, 2007, p. 315).

Os cuidados procedimentais e experimentais de Bonnet continuaram servindo de inspiração e orientação para muitos naturalistas do século XVIII.

De fato, Bonnet teve a intenção de escrever um tipo de tratado sobre procedimentos metodológicos em ciência, mas não avançou no assunto. Porém, foi seu estudante e amigo, Jean Senebier, quem deu seguimento ao projeto e publicou, em 1802 a obra *Essais sur l’art d’observer et de faire des experiences* (Ensaio sobre a arte de observar e realizar experiências) ((BUSCAGLIA; DUBOULE, 2002, p. 8).

Sua preocupação, não apenas com a metodologia de laboratório (*Cabinet*), mas também com a forma clara de reportar e relatar os dados obtidos, com precisão semântica de detalhes, sem dúvida, contribuíram de maneira significativa ao processo do fazer científico relacionado à história natural na época.

CAPÍTULO 3. Animais, Plantas ou Animais-Planta? Os estudos de Abraham Trembley (1710-1784) e os pólipos de água doce

Diferente de seu conterrâneo Charles Bonnet, os relatos biográficos de Trembley são bem menos numerosos. A maior parte das informações sobre o início da sua vida e que se julgou relevante apresentar nesta seção foram retiradas da obra do historiador, John R. Baker, publicada em 1952, sob o título “Abraham Trembley de Genebra: Cientista e Filósofo (1710-1784)” (*Abraham Trembley of Geneva: Scientist and Philosopher 1710-1784*).

A obra de Baker tem sido considerada um dos registros mais concisos sobre a vida e dos trabalhos do naturalista genebrês e demasiadamente citada por outros autores como: Virginia P. Dawson (1984, 1987), Silvia Lenhoff e Howard Lenhoff (1984, 1986, 1989b), Marino Buscaglia (2002), Mark Ratcliff (RATCLIFF, 1995, 2013, 2004, 2012; RATCLIFF; FOURNIER, 2007), Maria Elice B. Prestes (PRESTES, 2003; PRESTES; MARTINS, 2014), que se debruçaram sobre os trabalhos de Trembley, os quais são, também, referenciados nesta e nas próximas seções.

Além disso, os estudos de Trembley com as hidras, descritos nas seções seguintes foram extraídos da sua própria obra, publicada em 1744, em Leiden, intitulada *Mémoires, pour servir a l’histoire d’un genre de polypes d’eau douce, à bras en forme de cornes* (Memórias para servir a história de um gênero de um pólipos de água doce com braços em formas de chifres).

3.1. Abraham Trembley (1710-1784)

Nascido em 03 de setembro de 1710, na então República de Genebra, Abraham Trembley foi membro de uma família burguesa⁴¹. O quinto filho de Anne Lullin (1676-1748) e Jean Trembley (1674-1745), um oficial militar. Seu pai ocupou vários cargos políticos importantes até se tornar Síndico⁴² em Genebra. (STAHL-GRETSCH, 2012)

No que se refere à formação educacional, Trembley estudou Filosofia na Academia de Calvin entre os anos de 1726 e 1730 (BIBLIOTHÈQUE DE GENÈVE, 2015) - hoje Universidade de Genebra. Sob orientação dos professores Gabriel Cramer (1704-1752) e Jean-Louis Calandrini (1703-1758), defendeu uma tese em matemática sobre cálculo infinitesimal em 1731 (PRESTES; MARTINS, 2014). Antes de finalizar o curso de Filosofia, Trembley

⁴¹ 41 A população de Genebra era dividida num rígido sistema de classes sociais: “Cidadãos” gozavam de todos os direitos políticos; “Burgueses”, a primeira geração de Cidadãos, possuíam direitos políticos, mas não eram elegíveis para todas as funções. Um filho de Burguês poderia se tornar Cidadão; “Estrangeiros”, autorizados a ficar na cidade por curto tempo, sem direitos políticos, privados e matrimoniais; “Habitantes”, estrangeiros permitidos, com situação familiar e financeira estáveis, podiam residir e exercer algumas atividades na cidade, sem direitos políticos; “Nativos”, descendentes de Habitantes, sem direitos políticos e; “Sujeitos”, habitantes das regiões rurais, sem direitos políticos (STAHL-GRETSCH, 2012).

⁴² Por ano, eram eleitos quatro Síndicos que, em nome dos cidadãos de Genebra possuíam atribuições político-administrativas, judiciais, militares e de controle das finanças públicas (FAVET, 1998, p. 29).

iniciou estudos em Teologia. Porém, com sua saúde debilitada após ter sido acometido por varíola, não pode dar seguimento às funções eclesiásticas, nas quais acreditava ser sua vocação.

Abraham Trembley (1710-1784). Gravura por Ambroise Tardieu (1788-1841), após descrição de Johan Clemens

ABRAHAM TREMBLEY
(Philosophe et Zoologiste),
Correspondant de l'Académie des Sciences
Membre de la Société royale de Londres.
Né à Genève le 8 Septembre 1710.
Mort à Genève le 11 Mai 1784.

Fonte: Smithsonian Museum: <https://library.si.edu/image-gallery/73187>

Ao terminar os estudos, Trembley iniciou a busca por trabalho remunerado, posto que seu pai tendo uma família numerosa e uma fortuna modesta, seria incapaz de fornecer-lhe independência financeira absoluta. Além disso, em 1733, devido a uma revolta popular ocorrida em Genebra, seu pai, oficial militar, foi enviado para o exílio e a situação financeira da família declinou ainda mais (DAINTITH, 2009, p. 760).

Diante dessa situação, Trembley decidiu abandonar sua pátria e emigrou para a Holanda, aos 23 anos de idade. Provavelmente tal opção tenha sido devido às conexões que seu pai possuía naquele país (BAKER, 1952, p. 11).

O prestígio da Universidade de Leiden nas carreiras de medicina e filosofia experimental, atraiu muitos estudantes provenientes da Europa Protestante. Para aqueles jovens de origem familiar mais modesta, o trabalho de tutor era vantajoso. Pois, além de possibilitar a continuidade dos estudos, era permitido ao tutor de um filho jovem de um nobre, acompanhar as aulas na universidade, afim de garantir o domínio de cada lição, e consultar diretamente com seus professores (DAWSON, 1991, p. 311).

Assim, a viagem para Leiden, na Holanda, tinha como objetivo trabalhar como tutor dos filhos de Johan Hendrik (1683-1745), Conde de Wassenaar. Contudo, circunstâncias impediram que realizasse essa tarefa. Restava ao jovem Trembley retornar à Genebra, mas ele não queria ser um fardo para a família e, a despeito das dificuldades que encontraria, decidiu permanecer na Holanda.

Trembley permaneceu em Leiden e conseguiu se manter economicamente, ministrando aulas de literatura (*belles-lettres*) e filosofia.

Baker (1952, p.12) discorre que, embora tenha tido uma vida tranquila e retirada, por meio de sua formação acadêmica, Trembley criou estreitas relações com professores renomados da Universidade de Leiden, como, Willem Jacob s'Gravesande (1688-1742), matemático, astrônomo e físico; Hieronymus David Gaubius (1704-1780), professor de química e Bernard Siegfried Albinus (1697-1770), professor de anatomia e cirurgia. Relações essas, que tiveram profundas implicações nos trabalhos que Trembley realizaria mais tarde.

Todavia, a despeito dessas amizades, Trembley viria a produzir os seus maiores feitos na área da história natural, graças a outro personagem.

Curador da Universidade de Leyden, o Conde William Bentinck (1704-1774), um anglo-holandês, residente em Haia, provavelmente conhecedor das competências do jovem Trembley, convidou-o para garantir a educação de seus dois filhos. Assim, ao final de 1736, Trembley se mudou para a mansão dos Bentinck, em Sorgvliet, região localizada a pouco menos de três km de Haia (RATCLIFF, 2004b, p. 556).

A sua estadia, no entanto, não durou muito tempo. No ano seguinte, 1737, a pedido do Conde d'Aldembourg, padasto de Bentinck, Trembley foi remanejado a prestar serviços de tutoria ao jovem príncipe de Hesse-Hambourg, sobrinho de d'Aldembourg, em Varel, na Alemanha. Enquanto esteve conduzindo seus trabalhos de tutoria na Alemanha, Trembley realizou a leitura dos primeiros volumes⁴³ da obra do renomado naturalista francês, Réaumur, *Memoires pour servir a l'Histoire des insectes* (TREMBLEY, 1787, p. 12).

Réaumur foi um naturalista de destaque a sua época, devido à sua motivação pessoal, alinhada à prática científica e à busca pela difusão do conhecimento. Seus cuidados e minúcias referentes à observação direta dos organismos investigados e pela criatividade nos procedimentos experimentais, serviram de inspiração e orientação metodológica a muitos naturalistas e amadores eruditos do século XVIII (PRESTES, 2008, p. 264).

43 Possivelmente os volumes lidos por Trembley tenham sido aqueles publicados em 1734, 1736 e 1737, mas não se pode afirmar com convicção se foram todos.

Foram essas leituras que suscitaram no jovem imigrante tutor, o interesse por observar e investigar a natureza, em especial, a história natural dos insetos.

No início de 1739 Trembley conduziu as primeiras observações com uma larva de besouro⁴⁴ que se alimentava de materiais de lã. No verão desse mesmo ano, ele voltou a atenção para os insetos aquáticos. Nos registros de uma observação não publicada, Trembley escreveu uma pequena memória descrevendo os hábitos e comportamentos de um inseto aquático “notonecta” - *Notonecta glauca*, (Linnaeus, 1758) (SCHWARTZ, 2012, p. 80).

Além disso, ele começou a estudar e comparar diversas mariposas comuns e foi nessa época que Trembley deu início à elaboração de estratégias de armazenamento e manutenção de espécimes vivos, criando ambientes propícios à sobrevivência dos insetos coletados (BAKER, 1952, p.18).

Quando Trembley partiu para a Alemanha, os filhos de William Bentinck ainda eram muito novos e não demandavam de um tutor. Porém, passados dois anos, Antoine, com seis anos e Jean Bantinck, com três anos, naquele momento requeriam os serviços de Trembley e Bentinck solicitou o seu retorno (STOTT, 2012, p. 87). Em outubro de 1739, Trembley retorna à mansão dos Bentinck, em Sorvgliet.

3.1.1. Trembley e os pólipos de água doce

Os anos em que Trembley passou atuando como tutor particular permitiram-no conquistar bastante experiência e apreço pela tarefa de educar. Fato que pode ser evidenciado por meio da obra que publicaria 40 anos mais tarde, intitulada *Instructions d'un père à ses enfans sur la nature et sur la religion* (Instruções de um pai a seus filhos sobre a natureza e sobre a religião) (TREMBLEY, 1779).

Trembley preparava os objetos para o estudo dos seus pupilos utilizando-se de métodos variados na elaboração de lições de escrita e pronuncia em francês, inglês e em latim simples. Sem negligenciar, claro, o conhecimento das obras do Criador por meio da observação de suas criaturas – o estudo da história natural. Para isso, ele estimulava o interesse e a curiosidade dos meninos passando boa parte do tempo ao ar livre. A observação a olho nu de uma comunidade de insetos, sementes em germinação, ou o arranjo de uma colmeia, a observação ao microscópio e mensurações com termômetros eram algumas das técnicas adaptadas para trabalhar conceitos de lógica, matemática, religião e história natural (STOTT, 2012, p. 88).

⁴⁴ Pelos registros descritos por Trembley, o inseto observado seria a espécie *Attagenus pello*, (Linnaeus, 1758) (BAKER, 1952, p. 17). Popularmente conhecido como besouro do carpete, esse inseto possui distribuição cosmopolita. Em seu estágio larval alimenta-se de lã, pele seca, restos de insetos e outros materiais de origem animal (PEACOCK, 1993, p.53).

Desse modo, a história natural formou parte essencial dos ensinamentos que Trembley ofereceu aos seus dois jovens pupilos. A sua preocupação também abrangia a instrução religiosa e a formação de caráter. Portanto, o aperfeiçoamento dos poderes de observação por meio de estudos da intrincada arte da natureza forneceria evidências sólidas da mão de um Criador. O estudo da história natural, assim, tornava-se um antídoto contra qualquer ideia ateísta que seus estudantes pudessem formar (DAWSON, 1991, p. 312).

Como muitos eruditos amadores que se cativaram pelos estudos de Réaumur em história natural, Trembley não se restringiu apenas às suas leituras, mas também à observação e a experimentação com insetos, ainda que de modo simples.

A partir dessa inclinação pessoal, no início do verão de 1740 Trembley e seus jovens alunos estavam nos jardins da residência em busca de insetos aquáticos nas valas e lagoas artificiais. Tudo aquilo que lhes parecia interessante foi coletado para posteriormente, realizarem uma investigação mais cautelosa. Em seu gabinete pessoal no interior da mansão dos Bentinck, havia sobre o peitoril da janela, muitos recipientes de vidro onde Trembley mantinha os espécimes capturados.

Eu notei diversos animais pequenos sobre as plantas que tinha retirado de um fosso; eu coloquei algumas dessas plantas dentro de um grande recipiente de vidro e guardei sobre o peitoril da janela; em seguida eu me ocupei em observar aqueles insetos confinados. Logo percebi um grande número deles, muitos eram comuns, mas a maioria deles eram desconhecidos para mim. Um espetáculo novo, oferecido por aqueles pequenos animais acabou por excitar a minha curiosidade (TREMBLEY, 1744, p. 7).

Ao observar com mais atenção todos aqueles pequenos organismos com o auxílio de uma lupa, ele encontrou diminutos seres que se assemelhavam a vegetais. “ Na primeira vez que eu observei esses pequenos objetos, eu os tomei por plantas parasitas, que crescem sobre outras plantas. [...] Foi a forma desses pólipos, sua cor verde e sua imobilidade que me fizeram assim” (TREMBLEY, 1744, pp 8-9).

Mas ao tomar o recipiente e sacudi-lo suavemente, ele viu os organismos se contraírem, aparecendo nada além de pequenos pontos verdes e ao olhar novamente com uma lupa, percebeu que aqueles pontos começaram a se estender até tomarem o seu formato inicial, evento que aguçou ainda mais a sua curiosidade de observá-los acuidade. Com constância de observações, Trembley conseguiu perceber também que aqueles estranhos organismos verdes aparentemente tinham um tipo movimento voluntário que era independente do fluxo da água no interior do vaso de vidro, fato que o levou a pensar na possibilidade de serem animais, não plantas (DAWSON, 1987, p. 98).

Essas contrações e todos os outros movimentos que os vi fazer, revelaram fortemente em mim a ideia de um animal. Eu pude compará-los aos caracóis e outros "insetos" que têm a capacidade de se contrair e estender. [...], no entanto, eu não decidi absolutamente nada a favor da natureza animal desses seres. [Uma vez que] a sua forma e cor verde ainda me impressionavam (TREMBLEY, 1744, p.10).

Passados alguns dias, Trembley notou outra característica que reforçou a sua suspeita da natureza dessas criaturas – a capacidade de locomoção semelhante a alguns vermes – de “ponta-cabeça” (figura 11). Esse fator decretou a sua opinião acerca daqueles organismos. Para ele, os organismos verdes eram, de fato, animais.

Todavia, ao final de setembro de 1740, enquanto Trembley e os meninos realizavam a inspeção nos frascos sobre o peitoril, ele percebeu que em um deles a maioria das criaturas verdes estavam agrupadas no lado iluminado pela luz do sol. Mais uma vez a sua curiosidade foi aguçada e ele se questionou se tal fato seria apenas mero acaso ou esses organismos teriam algum tipo de propensão pela área iluminada (TREMBLEY, 1744, p. 11). Se assim o fosse, orientação em direção à luz é outra característica de plantas. Com essa nova dúvida em mente, Trembley voltou a pensar na natureza vegetal desses organismos.

Figura 11. Da direita para a esquerda (Fig. 1 a 4; e Fig. 6 a 9), ilustrações representando a forma de locomoção dos pólipos. De ponta-cabeça e por cambalhotas, respectivamente

Fonte: Trembley (1744, prancha 3)

A fim de averiguar se as criaturas possuíam algum tipo de propensão à luz, Trembley tomou uma simples ação: girou o recipiente de vidro, mantendo os organismos agrupados à sombra. No dia seguinte, ele notou que criaturas migraram de volta para o lado iluminado pela luz solar! Isso o deixou bastante intrigado, mas não foi suficiente para convencê-lo. Então, ele

elaborou um experimento um pouco mais sofisticado para apurar se, de fato, era a luz solar que atraía aqueles organismos.

Para isso, tomou um dos frascos de vidro, acrescentou alguns espécimes e envolveu o recipiente com uma cobertura de papelão, tendo apenas um orifício que permitia a passagem de luz. Durante o dia, em intervalo de tempos, Trembley girava a cobertura de papelão e percebia que os organismos “buscavam” sempre a parte do orifício que permitir a luz entrar, concluindo, portanto, que esses organismos possuíam, sim, algum tipo de sensibilidade à luz solar (TREMBLEY, 1744, pp. 66-67).

Frente a esse fato novo, ele decidiu se aprofundar no estudo dessas estranhas criaturas, que hora se comportavam como animais, hora como plantas.

Conforme as observações se tornavam mais contínuas e precisas, não levou muito tempo até perceber que entre os espécimes, havia diferenças na forma e número de “braços” desses organismos. Trembley pensou que esse número desigual de “braços” poderia estar, de alguma forma, relacionado aos galhos e raízes das plantas.

Eu percebi que nem todos indivíduos das espécies que eu observei tinham números iguais de “braços”. Eu tinha razão para acreditar que nada havia de anormal nessas diferenças. Embora eu não tivesse encontrado qualquer dificuldade em aceitar essas diferenças entre os organismos de uma única espécie de animais, eu comparei esses “braços” aos galhos e raízes de plantas e pensei que esses corpos organizados pudessem ser plantas sensitivas (TREMBLEY, 1744, p.13).

Induzido por essa nova característica sobre a natureza vegetal desses organismos, Trembley realizou outro experimento: cortar um desses organismos ao meio, transversalmente (figura 12).

Eu pensei que se duas partes do mesmo organismo vivessem após serem separadas, tornando-se cada, um organismo perfeito, era óbvio que esses corpos organizados seriam plantas. Contudo, como eu estava mais inclinado a acreditar que eram animais, eu não esperei obter muito sucesso com esse experimento, eu esperei a morte das criaturas (TREMBLEY, 1744, P.13).

Figura 12. Pólipos seccionados transversalmente em três partes a fim de verificar o evento de regeneração

Fonte: Trembley (1744, prancha 5)

Então, no dia 25 de novembro de 1740, Trembley procedeu o experimento de cortar um daqueles diminutos seres ao meio.

Após cortá-lo, ele separou cada metade num pequeno prato de vidro contendo uma mínima quantidade de água, de forma que pudesse observar com o uso de uma lupa. Instantes após o procedimento de corte, ambas as partes se contraíram, parecendo nada além de dois grãos verdes. Porém, no mesmo dia, os pedaços começaram a se estender e foram facilmente distinguíveis, uma continha os “braços” e a outra apenas a parte do “corpo”. Com o passar dos dias, Trembley notou que as partes começaram a não apenas se estender, mas também realizavam vários tipos de movimentos que pareciam ser voluntários.

No dia 04 de dezembro de 1740, nove dias após ele ter cortado, o resultado dessa experiência o deixou ainda mais confuso. Ambas as partes cortadas se transformaram em dois seres perfeitos, sendo impossível diferenciá-los!

Minha experiência foi mais bem-sucedida do que eu esperava. Mas, após ver esses resultados eu pude concluir positivamente que esses organismos eram plantas. E plantas que nascem por *brotamento*. Porém, eu tinha observado os movimentos que aqueles seres inteiros, e até mesmo as suas partes que se reproduziram faziam, e isso reforçou em mim a ideia de serem animais. Esses movimentos pareciam muito espontâneos, bem diferentes de plantas e comuns a uma infinidade de animais que conhecemos (TREMBLEY, 1744, p. 16).

Um assunto que começou como uma simples lição de história natural para os pupilos de Trembley, tornou-se um dilema no qual ele se debruçou para tentar solucionar e desvendar - a natureza desses organismos: planta ou animal?

Trembley não era um estudioso em história natural, era mais um amador esclarecido e suas experiências foram frutos de atenção e criatividade, acima de tudo. Entretanto, ciente de que não tinha conhecimento erudito sobre o assunto e diante desse aparente dilema encontrado apresentado pelos resultados das suas observações, ele não sabia mais para onde seguir. Assim, ele decidiu procurar ajuda de alguém que pudesse lançar luz ao seu problema - quando resolveu escrever a Réaumur.

3.1.2. Comunicação entre Trembley e Réaumur

À frente da Academia de Ciências de Paris, o renomado naturalista francês, René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) realizou estudos nas diversas áreas, como a física (desenvolvimento termômetro), processos industriais (pesquisas de produção de aço, vidro e cerâmica) e história natural (PRESTES, 2003).

Em relação à história natural, Réaumur foi considerado um investigador interdisciplinar. Desde os primeiros anos na Academia ampliou seu interesse realizando uma série de estudos

neste tema, tais como: formação de pérolas em bivalves; anatomia e fisiologia de plantas e animais, especialmente em "insetos"; locomoção de caracóis e estrelas do mar; regeneração em crustáceos; descargas elétricas em algumas espécies de peixes; produção de teias de aranhas, entre outros (PRESTES, 2003). Entretanto, a sua obra mais divulgada e conhecida foi *Memoires pour servir a l'Histoire des insectes* (lida, avidamente por Trembley), um conjunto de livros publicados em seis volumes entre os anos de 1737 e 1742.

A despeito do período de isolamento em Sorgvliet, Trembley sempre manteve contato com outros estudiosos da época, por meio de trocas de cartas com seu primo Charles Bonnet e com o experiente naturalista Pierre Lyonnet (LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 34).

A propósito, Bonnet foi o primeiro a ser comunicado por Trembley sobre a identificação dos pólipos. Ao receber a notícia, Bonnet o aconselhou a se corresponder com Réaumur, descrevendo sobre o seu achado (RATCLIFF, 2012, p. 427).

Em dezembro de 1740, Trembley enviou uma carta a Réaumur detalhando tudo que havia feito até então. Nessa carta, ele submeteu um rascunho desenhado do organismo (Figura XX), alegando que não sabia o que era, questionando se já havia sido descoberto e afirmou que continuaria a estudar como se não estivesse⁴⁵ (DAWSON, 1987).

Em resposta à carta de Trembley, Réaumur, em janeiro de 1741, reportou estar curioso acerca daqueles corpos organizados. Porém, assim como Trembley, ele estava mais inclinado a acreditar que eram animais, não plantas. Ao se referir às observações realizadas por Trembley, Réaumur escreveu:

De acordo com as suas últimas observações, você parece decidir que esses seres são plantas. Mas plantas caminham? É mais fácil imaginar que plantas aquáticas podem se mover, com relação às plantas terrestres, ou mesmo que plantas aquáticas se movem em direção à luz ou ao calor, assim como plantas terrestres em cavernas que conduzem a si mesmas em direção às frestas buscando a luz do sol. Mas o que me intriga é saber que as suas plantas caminham no vidro (RÉAUMUR, 1741, apud TREMBLEY, 1744, p?).

Todavia, Réaumur não pôde tirar maiores conclusões sobre o problema de Trembley, apenas inferiu com base nas descrições enviadas por carta. Para que pudesse verificar com mais cautela, Réaumur solicitou o envio de alguns espécimes “se você tiver bastante desses pequenos corpos para poder privá-lo de alguns, talvez pudesse me permitir vê-los, enviando alguns deles dentro de pequena garrafa com água por meio do postal”⁴⁶ (RATCLIFF, 2004b, p. 559).

⁴⁵ Anton van Leuwenhoek, numa carta enviada à *Royal Society* em 25 de dezembro de 1703 havia descrito esse organismo como um animal e a sua forma de reprodução por brotos, no entanto não avançou nas investigações. (DAWSON, 1987).

⁴⁶ Correspondência trocada entre Réaumur e Trembley. Trechos originais reproduzidos em Dawson (1987, pp 100-101)

Imediatamente, Trembley respondeu a carta de Réaumur e enviou, em 16 de fevereiro de 1741, uma garrafa de vidro contendo cinquenta espécimes. No dia 27 de fevereiro, contudo, ao recebê-los, comunicou que chegaram todos mortos, provavelmente devido ao excesso de cuidado ao selar a garrafa com um tipo de cera espanhola, privando os organismos de ar. Réaumur também sugeriu que reenviasse novos organismos, mas que lacrasse com cortiça em vez de cera (RATCLIFF, 2013, p. 107).

Seguindo o conselho de Réaumur e preocupado com a questão da logística durante o percurso de envio dos organismos para Paris, Trembley desenvolveu uma simulação buscando assegurar a sobrevivência dos pequenos seres verdes. Ele isolou pouco mais de três espécimes em uma garrafa maior, selada com cortiça e conduziu uma viagem a cavalo de aproximadamente 40 km. Após esse teste experimental, os organismos pareciam bem, e assim Trembley despachou os indivíduos para a viagem até para Paris (RATCLIFF, 2004b, p. 559).

Uma semana depois, Réaumur recebeu as criaturas vivas, e naquela mesma noite “durante uma hora e meia e sob a luz de velas” ele repetiu os experimentos descritos por Trembley (DAWSON, 1987, p. 104).

Após ter realizado todas os procedimentos descritos por Trembley, Réaumur concluiu que esses corpos organizados eram, de fato, animais, excluindo qualquer possibilidade de ser alguma espécie de planta. Ao consultar Bernard de Jussieu (1699-1777), naturalista francês especialista em organismos marinhos e conhecedor de espécies de pólipos, Réaumur decidiu classificar os organismos de Trembley no Reino Animal e dar-lhe o nome de “pólipos”, devido à semelhança com polvos marinhos (TREMBLEY, 1744, p.133).

3.1.3. Um animal que brota? A forma “incomum” de reprodução dos pólipos

As observações e experiências realizadas com os pólipos possibilitaram que Trembley identificasse a capacidade de regeneração completa desses seres. Fenômeno, no mínimo, intrigante, posto que tal ocorrência era de conhecimento apenas em espécies do reino vegetal.

Entretanto, o jovem naturalista admitiu que esse evento de multiplicação por cortes seria uma forma “artificial” de reprodução. Até o momento, ainda que mediante contínuas e atentas observações, ele ainda não havia notado algo que pudesse sinalizar sobre a sua forma natural de reprodução.

Contudo, de dezembro de 1740 a fevereiro de 1741 Trembley direcionou especial atenção para tentar encontrar a maneira natural de reprodução desses organismos. Mas não obteve êxito. Nada do de comum que poderia reconhecer como reprodução havia acontecido

entre os seus pequenos organismos. Ao final de fevereiro de 1741, a sua paciente conduta foi, finalmente, “agraciada” com algo que valeria a pena investigar.

Em um dos recipientes nos quais armazenava espécimes ele observou, na parede de um dos frascos, um indivíduo que possuía uma pequena excrescência, um ponto verde escuro, quase imperceptível a olho nu, na lateral da extensão do seu corpo.

Essa excrescência, embora pequena, atraiu toda a minha atenção, pois eu nunca havia notado isso em nenhum outro pólipos, embora já tivesse observado muitos deles. (...) A fim de evitar confundi-lo com outros no mesmo recipiente, eu o coletei e isolei outro pote de vidro. Por sorte, ele se prendeu na lateral do vidro, de forma que pudesse observá-lo bem com uma lupa. (...). Após ter observado diversas vezes, eu pude notar uma similaridade entre o ponto verde-escuro e o organismo no qual estava anexado (...) assim, eu comecei a suspeitar que essa excrescência poderia, talvez, se tornar um pólipos (TREMBLEY *apud* BAKER, 1952, p, 79).

Trembley acompanhou continuamente esse fenômeno. Munido com uma “forte lupa”, ele procurou detalhar todos os eventos que seu “pólipos-broto” realizava. A quantidade de crescimento diário; numerava a quantidade de “braços” nascidos; os movimentos produzidos. Então, passados quase vinte dias desde que tinha observado a excrescência, “eu o vi se separar do corpo da sua mãe, entre às 10 e 11 da manhã, do dia 18 de março de 1741” (TREMBLEY 1744, *apud* BAKER, 1952, p. 80).

A demasiada atenção dada a esse curioso fenômeno, reside no fato de que Trembley, apesar de já observar esses seres desde julho de 1740, ele nunca havia visto “uns sobre outros”. A despeito de ter admitido que havia percebido indivíduos com vários outros anexados a eles. Contudo, para se assegurar se eles realizavam (ou não) algum tipo de acasalamento, “eu confinei diversos espécimes em pequenos espaços para ver se eles se posicionavam uns sobre outros. Eu nunca vi isso” (DAWSON, 1989, p, 105).

Estaria Trembley testemunhando outro organismo que excede à regra geral da reprodução sexuada?⁴⁷ Ou esses corpos organizados seriam vegetais, afinal? Uma vez que nascimento por brotos era considerado característica de plantas.

Mais uma vez, Trembley decide submeter outros espécimes, junto com o relato dessa sua primeira observação a Réaumur, que já havia admitido em cartas anteriores a natureza animal dos pólipos. Todavia, essa nova característica da reprodução por brotos, trouxe novas dúvidas (ao menos para Trembley) acerca dessas criaturas.

Diferentemente do evento reportado sobre a regeneração dos pólipos, Réaumur não pareceu se convencer dos relatos enviados por Trembley sobre a perpetuação por brotamento:

47 Nesse momento Trembley já estava ciente das evidências experimentais obtidas pelo seu primo, Charles Bonnet, sobre a perpetuação sem acasalamento em pulgões, em junho de 1740. Posto que ambos se comunicavam frequentemente acerca das suas investigações conduzidas.

O que você observou é extremamente curioso, mas pode-se suspeitar que você não tenha notado todas as minúcias. Se o filhote, ou ovo no qual o pólipó acabou de produzir, se anexou por si, assim como as lagostas escondem seus ovos sobre a cauda, isso [o ovo] poderia ser visto unido ao corpo da mãe, e quando começasse a crescer, seria notado, da mesma maneira como acontece em plantas. Talvez o próprio corpo da mãe-pólipó possa fornecer nutrientes para o recém-nascido. Essas são dúvidas dignas de serem investigadas (RÉAUMUR *apud* DAWSON, 1987, pp, 107-108).

Há alguns fatores relevantes que fundamentaram a ressalva de Réaumur com relação às observações de Trembley sobre essa ideia de reprodução por brotos. A primeira é que, mesmo com as fortes evidências empíricas a favor da multiplicação sem acasalamento, em pulgões, obtida por Bonnet, o assunto ainda era tratado com cautela entre os naturalistas, pois mais observações e experimentos ainda estavam sendo conduzidos por outros estudiosos, a fim de verificar e estender o fenômeno.

Além disso, pode-se especular que o ceticismo de Réaumur sobre esse fenômeno, bem como sua sugestão pela presença de um ovo, tenha sido proveniente de sua posição preformista.

A exemplo de muitos naturalistas do século XVIII, Réaumur aderiu aos conceitos provenientes da teoria da pré-formação. Entretanto, como um experiente observador da natureza, sua forma de aceitar os pressupostos teóricos estava longe de ser simplista ou ausente de empirismo. Mesmo admitindo a universalidade da herança por meio da geração sexuada (ABOU-NEMEH, 2014, p. 158), Réaumur desconsiderava que os seres vivos seriam fruto da simples ideia de encaixamento (*emboîtement*).

Ele acreditava, portanto, haver uma forma mais sofisticada da pré-formação, principalmente após seus experimentos sobre a regeneração de patas de crustáceos e reiterada pela regeneração completa dos pólipos de água doce (DINSMORE, 1991, p. 94). Ou seja, como partidário da pré-formação, ele estava fortemente inclinado a esperar que, essas criaturas, sendo animais, deveriam se perpetuar por meio de algum mecanismo de acasalamento.

Todavia, ao contrário de Réaumur e de Bonnet, Trembley não parecia estar preocupado com os vieses filosóficos resultantes de suas observações. Seu lado pragmático aparentava ser sustentado apenas por aquilo que ele parecia ver. De modo que ele não encontrou razões para desacreditar no fenômeno de brotamento dos pólipos. Contudo, talvez pelo fato de estar isolado dos centros acadêmicos, isso tenha motivado a descrever todos os detalhes técnicos de seus experimentos para permitir que outros repetissem e corroborassem suas observações (BUSCAGLIA; DUBOULE, 2002, p. 7).

Desse modo, a fim de responder às dúvidas de Réaumur sobre o brotamento dos pólipos, Trembley novamente faz uso do procedimento de isolar o organismo para observação. Então, ao final de fevereiro de 1741, ele inicia novas séries de observações:

Eu observei com uma lupa um pólipo verde fixo na lateral do vaso onde eu mantinha outros que eu não estava empregando em nenhuma experiência particular. Eu percebi, sobre seu corpo, uma pequena excrescência de um verde escuro. Por menor que fosse, essa excrescência chamou minha atenção porque eu não havia visto nada semelhante antes sobre qualquer pólipo, ainda que já tivesse observado um grande número deles [...]. Com receio de confundi-lo com os diversos outros, eu o tirei e o coloquei à parte, em outro vaso. [...] Comecei a supor que essa excrescência devia ser um pólipo. [...] Foi isso, sobretudo, que me fez pensar que a excrescência que eu observei, era um pólipo jovem que teria sido originado de um outro (TREMBLEY et al., 1744, p. 151–152).

Desde então, Trembley manteve-se atento à cada detalhe dessa excrescência e cerca de quase três semanas após, ele testemunhou o momento em que o jovem pólipo se destacou da mãe (figura 13). “O pólipo está pronto para se separar de sua mãe, estava ligado a ela somente por um ponto. É muito fácil imaginar como essa separação é feita (TREMBLEY et al., 1744, p. 156).

Dada à particularidade dessa nova circunstância, Trembley se ocupou em observar cada detalhe, antes, durante e após o nascimento de um novo pólipo. Repetiu a mesma observação de forma seriada. Analisou cada movimento dos novos organismos, comparando com os animais adultos. Teve o cuidado e enumerar e comparar a quantidade de “braços” dos pólipos recém destacados com outros mais maduros. Isolou e observou os pólipos jovens e notou que possuíam o mesmo padrão comportamental dos demais.

Figura 13. As imagens representam os estágios de progressão do crescimento do broto observado por Trembley. A “Fig. 1”, à direita, ilustra um pólipo-mãe e dois brotos em estágios distintos (c) e (e). A “Fig. 2”, à esquerda, a representação de um pólipo-mãe e um broto prestes a se destacar. As letras (a) e (b) indicam as estruturas do broto, cabeça e base, respectivamente.

Fonte: Trembley (1744, p. 284. Prancha 10)

Entretanto, Trembley não se manteve no âmbito das observações. Sua audácia experimental foi além, pois decidiu investigar a fundo as suspeitas de Réaumur sobre a possibilidade de existência de algum tipo de ovo preso à mãe pólipos.

Pode-se alegar, talvez, que os jovens pólipos não saíam realmente dos corpos dos mais velhos; ao contrário, apenas ovos, ou pequenos pólipos, tenham sido depositados e fixados em sua pele, e lá permanecem à medida que crescem. É uma suspeita, que pode naturalmente ser formada por aqueles que não examinaram o organismo por si mesmo, e que também podem entrar na mente daqueles que o examinam pela primeira vez. [...]. Então eu não negligencieei nada, decidi por fazer os experimentos mais decisivos para entender de que forma os jovens estão ligados às mães (TREMBLEY et al., 1744, p. 159–160).

Um dos experimentos de Trembley consistiu em coletar um pólipo contendo um broto e conduzir um procedimento cirúrgico. Ele selecionou um espécime cuja excrescência ainda estava bem prematura, e com bastante diligência, ousou seccionar e remover do corpo do pólipo mãe.

Com o intuito de verificar se “estômago” da excrescência tinha comunicação direta com o do pólipo originário, Trembley conduziu uma abertura, de maneira que pudesse observar o caminho entre um e outro, caso houvesse algum entre o estômago do pólipo e sua cria. Com uma tesoura com ponta afiada, ele cortou os dois organismos e “com ajuda de uma lupa”, percebeu que a abertura do corpo do pólipo original se encontrava diretamente com a abertura do corpo do jovem (Figura 14). Como de praxe, Trembley realizou o procedimento várias vezes e obteve o mesmo resultado (TREMBLEY, 1744, p. 162).

Figura 14. “Fig. 5” e “Fig. 6” ilustram um buraco de comunicação entre o broto e o pólipo-mãe, a partir da perspectiva interna e externa. A “Fig. 9” e “Fig. 10”, representam o broto seccionado, em tamanho “real” e aumentado, respectivamente.

Fonte: Trembley (1744, p. 278. Prancha 8)

Outro aspecto que merece destaque é o fato de que, com as contínuas coletas para suas pesquisas, em abril e maio de 1741, Trembley havia identificado outras duas espécies de pólipos de água doce: *Hydra vulgaris* e *Pelmatohydra oligactis* (figura 15) (BAKER, 1952, p.34).

Apesar de atualmente ser conhecida a capacidade de endossimbiose nas três espécies encontradas por Trembley, a espécie *Hydra viridissima* é mais resistente a longos períodos de inanição do que as demais (BOSCH, 2012; ISHIKAWA et al., 2016). Assim, a segunda e terceira espécie realizam a captura e ingestão de alimentos de forma muito mais intensa e frequente.

Figura 15. Da esquerda para a direita: “Fig. 6”, ilustração da espécie *Hydra vulgaris*, ao lado a fotografia da espécie real. A “Fig. 1”, aglomeração de indivíduos da terceira espécie, *Pelmatohydra oligactis*, com tentáculos mais finos e longos. À direita, fotografia espécie real.

Fonte: Trembley, 1744, pp. 278-284. Prancha 8, 9 e 10. Fotografias, fonte: Nature Picture Library, por Kim Tayloe e Jan Hamrsky, respectivamente.

3.1.4. Pólipos de água doce: dos aspectos anatômicos e fisiológicos da digestão

Depois de coletar e cultivar as espécies recém encontradas, ainda em maio de 1741, ao observar um indivíduo da segunda espécie, ele suspeitou que pudesse estar testemunhando o processo de alimentação: “Eu não sabia o que pensar estar vendo: não ousei decidir se o pólipó devorava a centopeia ou se a ela se inseria voluntariamente nos intestinos do pólipó para alimentar-se, ou para alojar os seus ovos, ou suas crias” (TREMBLEY, 1744, p.81).

Ao analisar fenômeno pouco tempo depois, devido à transparência do corpo dos pólipos, Trembley percebeu que a centopeia que havia entrado no interior do organismo havia se tornado nada mais do que uma massa matéria amorfa. Ao empreender o mesmo rigor metodológico de suas observações anteriores, ele coletou indivíduos da mesma espécie, isolou em pequenos pratos de vidro, junto com centopeias para servir de alimento. Trembley foi apto a observar detalhadamente o processo de ingestão das centopeias pelos pólipos.

Se restava a Trembley, alguma incógnita com relação à “animalidade” desses organismos, pode-se dizer que esse novo evento a afastou significativamente. No contínuo se seus expedientes, Trembley foi levado a admitir que: “não tinha mais razões para duvidar que os pólipos eram animais vorazes” (TREMBLEY, 1744, p.82).

Contudo, Trembley seguiu investigando todos os aspectos que envolviam o fato recém identificado. Ele isolou quantidades expressivas de ambas as espécies e foi capaz de perceber a

forma como os pólipos conduzem às presas para o interior do “estômago”. Observou a maneira pela qual os indivíduos estendem os seus “braços” em direção ao alimento.

Identificou a maneira pela qual os pólipos abriam uma extremidade, na parte interior aos tentáculos, que lhe serve de boca, como era capaz de dilatar o “tubo” que Trembley denominou ser o estômago e como fazia para caberem ali as presas de tamanho significativamente maiores. “Se um pólipo estiver com fome, e se tiver um bom tamanho, pode engolir facilmente uma dúzia de pulgões [...] quando totalmente pleno, pode-se verificar que a sua base estará alargada, devido à quantidade de pulgões ingerido” (TREMBLEY, 1744, p. 95).

Além disso, apesar do tamanho diminuto daquele animal, após vê-lo alimentando-se tantas e tão variadas vezes, pode reconhecer algumas funções anatômicas das espécies observadas (PRESTES; MARTINS, 2014, p. 356).

Nesse momento, Trembley já havia investido longos períodos em suas pesquisas com pólipos, e após certificar-se (ao menos momentaneamente) da natureza animal dos pólipos e perceber a necessidade de alimentação, ele desenvolveu mecanismos de captura e cultivo de animais para servir como fonte de alimento para os pólipos.

Ciente que com a proximidade do inverno, a quantidade de pulgões iria naturalmente reduzir, Trembley iniciou a busca por outros animais que servissem de alimento para seus pólipos.

Descobri, no fundo da água diversos vermes [...]. Assim que os vi, apressei-me em usá-los para alimentar meus pólipos, e assim, substituir os pulgões que já possuía em pequenas quantidades e as centopeias, que tinha encontrado apenas em pequena quantidade e com muito sacrifício. Eu peguei alguns desses vermes e os entreguei aos pólipos, que os comeram (TREMBLEY, 1744, p. 98).

Seguro de que teria como nutrir seus pólipos, Trembley coletou, cultivou e seguiu conduzindo testes com diversos pequenos organismos que encontrava, a fim de prover a viabilidade e manutenção dos seus estudos. Entre os suprimentos fornecidos para seus pólipos, Trembley utilizou larvas de libélulas e de moscas, além de partes diminutas de animais maiores, como lesmas, peixes, partes de carnes bovina e de carneiro (TREMBLEY, 1744, p. 101).

Todavia, o ato de observar a alimentação desses pequenos organismos suscitou em Trembley outras questões referentes ao seu comportamento. Ao refletir sobre o fato de como esses animais agiriam na natureza, Trembley questionou: “Os pólipos saberiam como escolher os lugares mais populosos ou direcionam seus passos para o lado e apenas por sorte? ” (TREMBLEY, 1744, p. 109).

Trembley já havia percebido que, de alguma forma, os pólipos tinham alguma propensão a buscar os lados mais iluminados dos vasos de vidro, nos quais eram mantidos em isolamento. Dessa forma, ele também especulou que, talvez, esses animais pudessem “sentir” e localizar as suas presas.

Deve-se ressaltar que com o avanço das suas pesquisas, Trembley também havia se perguntado se esses organismos teriam algum tipo de órgão similar aos olhos de animais mais complexos. Sem negligenciar qualquer parte dos pólipos, ele investigou usando lupas e microscópicos e não observou nada que pudesse ser comparado com olhos (TREMBLEY, 1744, p. 111).

As suas seguidas séries de observações acerca da alimentação dos pólipos, levaram-no a perceber diversos comportamentos, e a partir daí, levantar a seguinte questão: “quando os pólipos estão afixados em algum lugar, eles não têm outro recurso a não ser estender os seus “braços”, e esperar que um animal se depare com ele; ou então, teriam eles a sensação de ver sua presa, e ao vê-la estariam direcionando seus braços para onde elas estão?” (TREMBLEY, 1744, p. 109).

Devido à anatomia dos muitos braços da terceira espécie identificada por Trembley, ele a elegeu para conduzir um novo experimento a fim de tentar responder a sua pergunta de investigação. Para tal, ele isolou alguns indivíduos e desenvolveu um expediente diferente dos sistemas anteriormente apropriados.

Ele elaborou um procedimento para manter um espécime em suspensão e com corpo posicionado de forma invertida, para baixo na água. Para isso, ele conseguiu enlaçar o organismo a um barbante preso ao topo do recipiente de vidro. Desse modo, o fio servia como substrato para fixação do pólipo (figura 16). Dessa forma, o corpo do pólipo estava imobilizado, mas seus braços eram livres e desenovelados e aptos a capturar as presas (TREMBLEY, 1744, p. 111).

Essa experiência, repetida de forma seriada, forneceu evidências empíricas para que Trembley pudesse compreender que, de alguma maneira, esses pequenos organismos possuíam algum tipo de sensibilidade e atração com relação às presas. No entanto, não foi capaz de avançar além desse ponto.

As observações sobre o processo de captura e ingestão pelos pólipos permitiram Trembley identificar, também, os movimentos de peristaltismo e visualizar como as matérias digeridas por essas criaturas se espalhavam por toda a extensão do “estômago”, bem como para os braços desses animais. “Parecia que cada braço era formado por um tubo, havendo algum tipo de comunicação entre esses braços e o estômago do pólipo” (TREMBLEY, 1744, p. 125).

Os tipos de organismos utilizados como fonte de alimento para os pólipos, como pedaços de lesmas e “vermes chatos” facilitaram a visualização do percurso da matéria no interior dos corpos dos pólipos. Trembley observou que a matéria avermelhada existente nos intestinos dos “vermes chatos” era sugada pelo estômago dos pólipos e espalhada por todo o seu corpo.

Figura 16. Ilustração de um pólipo da terceira espécie observada por Trembley (*Pelmatohydra oligactis*). Na parte superior, um fio de barbante servindo como substrato para o espécime. Os fios mais finos e compridos representam os “braços” do pólipo. As três imagens menores, entrelaçadas aos “braços” representam as presas capturadas pelo pólipo.

Fonte: Trembley (1744, p 189)

Contudo, até esse momento, as observações de Trembley focaram no âmbito anatômico dos pólipos. De fato, Trembley especulou que a matéria que se distribuía pelas conexões por meio dos “tubos” formados pelo corpo dos pólipos poderia ser sua fonte de nutrição. Entretanto, “De que modo esse suco nutritivo atravessa a pele que serve como barreira desses tubos? Como se espalha para todas as partes? E como isso contribui para a nutrição e crescimento dos pólipos?” (TREMBLEY, 1744, p. 125).

Nota-se, portanto, que Trembley estava preocupado em compreender, em profundidade, o comportamento fisiológico desses organismos. Afinal, em coro com Réaumur, ele também estava fortemente inclinado a admitir a natureza animal dessas criaturas. Mas, para afastar-se da esfera especulativa, Trembley armou-se do maior número de procedimentos experimentais e observacionais que conseguiu realizar.

A fim de investigar o papel dos “sucos nutritivos” para a nutrição dos pólipos⁴⁸, Trembley empreendeu séries contínuas de experimentos, com os mais diversos materiais possuindo variadas tonalidades de coloração, de modo que ele pudesse visualizar mais facilmente a distribuição nos pólipos. Por exemplo, alimentou os pólipos com pedaços de uma aranha aquática, que produzia uma coloração avermelhada, utilizou pulgões verdes que geravam uma coloração sensivelmente esverdeada; realizou infusão composta por pedaços de pétalas de flores de cores distintas.

Todos os resultados indicaram que a coloração dos pólipos estava diretamente relacionada com o tipo de alimento obtido. Entretanto, essas observações não forneceram quaisquer pistas sobre o problema levantado por Trembley: “como esse suco colorido se espalha pela pele dos pólipos? Estariam dentro de vasos e se dispersariam por esses vasos para todo o corpo?” (TREMBLEY, 1744, p. 131).

Porém, Trembley já havia observado com auxílio de lupa e de um “bom microscópio” toda a estrutura morfológica dos pólipos e não havia notado qualquer presença de algo similar a esses vasos.

A pele que envolve o estômago dos pólipos, que forma esse saco aberto em ambas as extremidades, é a própria pele dos pólipos. Todo o animal configura-se em uma única pele, disposta em forma de um tubo ou de uma tripa [...]. Quando se abrem outros animais, lagartas e diferentes tipos de vermes, encontramos diferentes vasos; mas abrindo os Pólipos, encontramos absolutamente apenas um, enquanto os Pólipos [...] todo esse Animal parece formar apenas um vaso (TREMBLEY, 1744, p. 52).

Se por um lado, Trembley não identificou qualquer vaso percorrendo corpo dos pólipos, por outro, ele observou diversos grânulos que estavam preenchidos pela matéria colorida cujos pólipos haviam absorvido e que teriam passado através do estômago.

Tal fato, em vez de lançar respostas, gerou mais dúvidas e Trembley questionou se esses grânulos, os quais denominou de *glândulas* ou *vesículas*, possuíam algum tipo de sucção, de forma que serviria como meio de absorção dos sucos coloridos (TREMBLEY, 1744, p. 132).

Durante todo o percurso de suas investigações, Trembley sempre esteve respaldado no conhecimento e na literatura disponível à época. O seu contato com célebres acadêmicos da Universidade de Leiden, as constantes trocas de cartas com Réaumur, Lyonnet, Bonnet e beneficiado pelo sistema comum de patronato (RATCLIFF, 2005; BURNETT, 2014), possibilitaram o recebimento, tanto de livros, quanto de materiais e instrumentos.

⁴⁸Trembley realizou as experiências de coloração utilizando, principalmente, os pólipos da terceira espécie, com os braços mais finos e compridos, devido à maior transparência de seus corpos, com relação às demais espécies.

Assim, a fim de tentar elucidar a questão da digestão dos pólipos, Trembley buscou suporte teórico na obra de um naturalista que investigou a história natural de organismos marinhos, o livro intitulado *Histoire physique de la mer. Ouvrage enrichi de figures dessinées d'après le naturel* (História física do mar. Trabalho enriquecido de figuras desenhadas a partir do natural), publicado em 1725 pelo naturalista italiano Luigi Marsigli (1658-1730).

Marsigli alegava que algumas plantas marinhas possuíam glândulas ou vesículas externas capazes de absorver nutrientes, quando em contato com a água do mar ou em soluções de “sucos nutritivos”. Baseado nessa hipótese, Trembley mergulhou alguns pólipos em uma infusão de suco nutritivo. Pois, conforme ele já presumiu, não observou qualquer mudança significativa (TREMBLEY et al., 1744, p. 254; LENHOFF; LENHOFF, 1986).

A busca pela compreensão do processo de absorção de nutrientes dos pólipos o levou a conduzir um dos seus experimentos mais laboriosos: virar um pólipo do avesso. Inspirada em suas diversas observações, a ideia desse experimento foi fruto da hipótese:

Se ou grânulos ou vesículas que estão na superfície exterior da sua pele estiverem mais próximas do suco nutritivo, então elas se preencheriam primeiro; e talvez o pólipo poderia ser nutrido tão completamente quanto os sucos passarem para as vesículas que povoam a parte interna das paredes do estômago [...]. Ao retornar um pólipo, a superfície externa da sua pele formaria as paredes do estômago (TREMBLEY, 1744, pp. 254-255).

A partir dessa conjectura, Trembley decidiu tentar retornar um pólipo do avesso. “Assim como se faz com uma luva, ou os dedos de uma luva” (LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 154). Contudo, dada a precisão do procedimento, suas primeiras tentativas foram frustradas. Em 1742, porém, ao elaborar um expediente mais simples, Trembley conseguiu realizar o procedimento e assim o descreveu:

Eu comecei fornecendo um verme ao pólipo [...] quando o estômago do pólipo estava bastante inchado, eu iniciei o procedimento. Eu posicionei um pólipo com o estômago bem cheio em uma gota de água na palma da minha mão esquerda. Então, usando pequeno fio de pincel, eu pressionei a parte posterior do pólipo. Dessa forma eu empurrei o verme que estava dentro do estômago contra a boca do pólipo, na qual foi forçada a abrir. Ao pressionar um pouco mais com meu fio de pincel, eu fiz com que o verme emergisse parcialmente da sua boca e ao se estender, eu esvaziei a parte posterior do estômago. A saída do verme através da boca do pólipo faz com que ela se amplie consideravelmente. Com o pólipo nessa condição, eu o guiei para fora da gota de água cuidadosamente, sem fazer com que ele se desarranjasse, forçando o pólipo a se contrair e abrindo a sua boca ainda mais, lembrando que o verme ainda está ocupando o espaço e mantendo sua boca aberta. A seguir, utilizando uma cerda de javali, não demasiadamente pontiaguda, eu segui a pressionar a parte posterior do pólipo, fazendo com que a certa inserisse no estômago, até que ele estivesse completamente do

avesso. Ao final, é possível observar que o pólipo encontra-se envelopado pela cerda, de modo que a sua parte interior está totalmente exposta” (TREMBLEY et al., 1744, p. 256–257; LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 156).

Após esse complexo (e quase inacreditável) procedimento, a fim de evitar que o seu pólipo voltasse à posição natural ele enlaçou parcialmente seus braços, sua parte posterior, e à fim de prevenir que tocasse nas paredes do recipiente ele o isolou para observações (figura 17).

Trembley, então passou a observar todos os movimentos do pólipo do avesso. Com relação a sua hipótese sobre o problema da nutrição, descreveu ter observado o pólipo ter capturado e ingerido um verme, dois dias após a operação. “De fato, eles se alimentavam tanto, ou mais, do que aqueles que não haviam sido invertidos” (LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 160).

Figura 17. Ilustração de um pólipo em isolamento após ter sido amarrado e isolado em um recipiente de vidro. As linhas representadas pelas letras (a) e (c) mostram o fio de barbante no qual o pólipo foi amarrado. No centro da imagem, (a) e (b), ilustram a parte axial e basal do pólipo, respectivamente. (f) e (h) a superfície da água na borda do recipiente de vidro

Fonte: Trembley (1744, p. 385)

Além disso, Trembley desejou que outros certificassem o seu procedimento experimental, “a despeito de sua estranheza” (TREMBLEY et al., 1744, p. 264). Para isso, solicitou que outros naturalistas tentassem replicar a inversão dos pólipos. Além de seu amigo, o holandês Pierre Lyonet, o naturalista Jean-Nicolas-Sébastien Allamand (1713-1787), também naturalista holandês e Bernhard Siegfried Albinus (1697-1770), um anatomista alemão que vivia na Holanda. Todos eles puderam testemunhar, repetir e certificar-se da veracidade da

inversão do pólipo conduzida por Trembley (TREMBLEY et al., 1744, p. 265; DAWSON, 1987, p. 124).

Ao que tudo parece indicar, Trembley foi um naturalista demasiado curioso e possuidor de extrema acurácia e perspicácia experimental. Ele desejou conhecer a fundo a natureza desses organismos. As últimas páginas da sua obra original descrevem a sua ânsia em expor, de forma retoricamente e detalhadamente narrada, as minúcias desse intrigante animal.

Não satisfeito em ter cortado os pólipos das mais distintas formas e invertido outros, eu quis explorar se esses mesmos experimentos seriam bem-sucedidos no mesmo pólipo; eu cortei um pólipo transversalmente em dois, e quando ambas as metades se tornaram dois pólipos inteiros, eu os inverti. Eu pude vê-los se alimentar e se multiplicar normalmente. Em outro experimento, eu seccionei dois pólipos invertidos, que foram originados de duas metades de um único pólipo [...] (TREMBLEY et al., 1744, p. 265).

3.1.5. Pólipos de água doce: a reprodução por brotamento

A investigação da forma de digestão dos pólipos foi mais uma tentativa ou critério que Trembley utilizou para tentar enquadrar essas criaturas, seja no reino animal, seja no reino vegetal. Todavia, com base nos conhecimentos da época, esse critério não se mostrou ser significativo a ponto de, definitivamente, classifica-lo como um animal ou vegetal.

Além da comparação com as vesículas ou grânulos discutidos por Marsigli, Trembley buscou respaldo em outro referencial de renome no século XVIII. Professor da Universidade de Leiden, Herman Boerhaave (1668-1738) desempenhou trabalhos relevantes na área de química e digestão. A sua obra *Elementae Chimie*, publicada em 1732, trouxe contribuições consideráveis para a história natural.

Nessa obra, em especial, o autor admitiu que, em certos casos, uma forma de distinguir animais de plantas, seria por meio da forma de absorção de nutrientes. Enquanto plantas extraíam nutrientes de raízes externas, animais, por outro lado, eram compostos por “vasos lácteos”, ou raízes internas, responsáveis pela absorção e distribuição dos nutrientes pelo corpo (TREMBLEY et al., 1744, p. 307; DAWSON, 1991, p. 191).

Como previamente abordado, Trembley não identificou quaisquer dessas estruturas, tanto aquelas descritas por Marsigli, quanto as definidas por Boerhaave. Ademais, as evidências obtidas em suas variadas e extensas observações lhe permitem ousar admitir: “O que observamos na segunda memória [de seu livro] a respeito da maneira como os pólipos se alimentam, são provas de que [pólipos] são animais, segundo a definição do senhor Boerhaave. Apesar de toda autoridade desse habilidoso naturalista, eu duvido que haja pessoas que sejam capazes de discordar” (TREMBLEY, 1744, p.307).

Entretanto, havia outro fator do conhecimento de Trembley que, além da curiosidade natural, pode tê-lo motivado a empreender tamanho afinho nas investigações. A “incomum” forma de perpetuação desses organismos.

Nos salões da Academia de Paris e entre os eruditos da sociedade europeia, já circulava a notícia da capacidade de multiplicação sem acasalamento dos pulgões, identificada pelo seu parente, Charles Bonnet.

Apesar de todas as evidências favoráveis acerca da regeneração total dos pólipos, Trembley foi ponderado com relação à perpetuação por brotamento. Afinal, diferentemente dos pulgões, secularmente conhecidos, a popularidade dos seus pólipos entre os eruditos era recente.

Desse modo, ele decidiu investigar mais a fundo o que chamou de “fecundidade dos pólipos”. Trembley realizou novas séries de experiências e observações na primavera, outono e inverno. Se preocupou em mensurar e indicar a influência da temperatura da água na geração dos brotos. A fim obter mais evidências, Trembley isolou filhotes recém separados das mães, de todas as espécies que mantinha em cultivo. “Eu comecei a isolar os brotos, de geração em geração, até à sexta” (TREMBLEY, 1744, p.171).

Além de observar, Trembley teve o cuidado de descrever a quantidade de brotos separados em cada dia, em um intervalo de 45 dias. Ao final desse tempo, Trembley observou que, vinte brotos são gerados, no intervalo de um mês (TREMBLEY, 1744, p.174).

Diante de todas essas observações, ele começou a refletir sobre a possibilidade de estar testemunhando mais um organismo capaz de exceder à regra da reprodução animal da época.

Ao examinar os pólipos que se alimentavam nos vasos de vidro, eu ficava sempre atento a todos os movimentos, a fim de verificar se não ocorreria entre eles algo de análogo aquilo outros animais se utilizam para fecundar. Porém, apesar de todos os cuidados que tomei e do grande número de pólipos que observei, eu jamais notei algo parecido. Isso me fez pensar que talvez os pólipos fossem como os pulgões, que, segundo a descoberta que se fez recentemente, são todos mães e se multiplicam sem cópula (TREMBLEY, 1744, p.190).

Contudo, frente a essa aparente novidade, Trembley não pode deixar de desconsiderar uma questão já bastante conhecida entre os naturalistas. O fenômeno praticamente imperceptível de reprodução que ocorre nas flores de plantas, entre pistilos e estames.

Ao pensar sobre esse fato, Trembley foi levado a pensar que, talvez, seus pólipos fossem capazes de estar realizando esse tipo de reprodução “invisível”. Uma vez mais, ele se apropriou de procedimentos experimentais para verificar a hipótese.

Aquilo que serve para fertilizar as Plantas, sendo muito secreto, e até mesmo imperceptível na maioria, das vezes, me veio à mente, que talvez os Pólipos pudessem se assemelhar às plantas a esse respeito. Foi

muito difícil, para não dizer impossível julgar se havia, de fato, tal semelhança entre os pólipos e as plantas (TREMBLEY, 1744, p. 191).

Trembley desconfiou que talvez os braços e a cabeça dos pólipos pudessem contribuir para a fecundação. Para averiguar isso, ele isolou oito pólipos-mãe que possuíam brotos em estágio prematuros. Trembley então cortou a cabeça desses pólipos-mãe e à medida que voltavam a crescer, ele repetia o procedimento de corte. Desse modo, ele pode evitar qualquer comunicação entre os brotos e o pólipo-mãe. Trembley notou que, durante todo o tempo, os brotos cresceram normalmente, capturaram alimento e se destacaram do pólipo-mãe. Ele também isolou esses mesmos brotos recém destacados e eles foram capazes de se multiplicar normalmente e gerar novos filhotes idênticos (TREMBLEY, 1744, p.192).

A fim de verificar se os filhotes poderiam fecundar um ao outro, Trembley isolou uma mãe que continha dois brotos. Após coleta-los, ele cortou ambas as cabeças dos filhotes, evitando qualquer comunicação. Os brotos permaneceram crescendo normalmente e, depois de isolados, eles continuaram a se multiplicar. Por fim, para saber se poderia haver algum tipo de fecundação externa, tanto de sua própria mãe, quanto de outro pólipo exterior, ele seccionou um broto que era apenas um ponto, isolou em um recipiente e, pouco a pouco, o broto cresceu e, como os demais, foi capaz de se multiplicar.

Frente a todas essas observações, Trembley admitiu que “se ocorre algum tipo de “autofecundação” ela se faz de maneira imperceptível” (TREMBLEY, 1744, p.193). Ademais com base em toda a sua pesquisa, Trembley ressaltou:

Se não fomos capazes de descobrir como os pólipos são fecundados, pelo menos aprendemos que eles não o fazem como a maioria dos animais que conhecemos; e que, conseqüentemente, constituem uma exceção à chamada regra geral, aquela que admite não haver fecundação sem acasalamento; Regra essa, que já foi desmentida de maneira muito notável, pela descoberta feita há alguns anos sobre os pulgões (TREMBLEY, 1744, p. 194).

Nota-se, portanto, que mesmo após todas as suas contínuas séries de observação, Trembley é cauteloso ao não afirmar, mas sim, inferir a partir das suas pesquisas, que os pólipos seriam uma nova exceção à regra da reprodução sexuada.

3.1.6. Pólipos: vivíparos! E... ovíparos?

Atualmente é reconhecido que as espécies de hidras estudadas por Trembley possuem distintos ciclos de perpetuação: as formas mais comuns são a reprodução por brotos e por regeneração. Porém, ainda que em menor frequência, são capazes de se autofecundar por

hermafroditismo e de realizar reprodução sexuada, desenvolvendo óvulos e esperma (BOSCH, 2012; SCHAIBLE et al., 2017).

No tocante à reprodução sexuada, Trembley admitiu que, em momento algum durante suas investigações, foi possível observar quaisquer fenômenos relacionado à fertilização, seja interna, externa, ou mecanismos análogos à cópula. Entretanto, ele não deixou de especular sobre possibilidade de existência de ovos nos pólipos.

A sua suspeita foi proveniente de uma observação de diminutas excrecências esféricas presas à parede externa dos pólipos, de coloração branca e amarelada (Figura 18). Trembley afirmou ter notado que essas excrecências permaneciam um tempo anexadas ao pólipo, mas que logo se desprendiam, caíam no fundo do recipiente e não se tornavam coisa alguma.

Figura 18. À esquerda, “Fig 2”, ilustração da espécie *Hydra vulgaris* e os corpos esféricos observados por Trembley, representados pelas duas letras (e). À direita, a fotografia da mesma espécie contendo diversos ovos presos ao corpo.

Fonte: Trembley, 1744, p. 285. Prancha 10. Fonte: Iowa State University. Department of Ecology, Evolution, and Organismal Biology (EEOB). Acesso em: <https://www.eeob.iastate.edu/faculty/DrewesC/htdocs/hydra-go.htm>

Contudo, Trembley alegou ter observado uma vez, que no exato lugar onde havia caído uma excrecência, havia um pólipo aparentemente malformado e suspeitou que, talvez, tenha sido originado da excrecência (TREMBLEY, 1744, p.196). Diante da suspeita, Trembley tentou observar com mais atenção.

Por isso, é necessário repetir essas observações, a fim de julgar com mais precisão o que acontece com os pequenos corpos esféricos em questão. Mas ao supor que eles se transformem em pólipos, eu não sei se poderíamos olhar para eles como ovos, ou como pólipos que acidentalmente assumem uma forma esférica, e então perecem, ou atingem o estado perfeito de pólipo. [...] Se, de fato, fossem ovos de

pólipo, esses animais seriam ovíparos e vivíparos (TREMBLEY, 1744, p. 197).

Após ter observado diversas vezes, Trembley não conseguiu observar nenhum pólipo eclodindo desses corpos esféricos. Além disso, ele suspeitou ser algum tipo de doença, pois os pólipos tentavam remover esses corpos, usando seus próprios braços. Ele observou e descreveu que os corpos esféricos possuem formas distintas em cada espécie isolada.

Entretanto, no campo especulativo, pode-se inferir que Trembley estava observando um estágio do ciclo de reprodução assexual dos pólipos. Três dos quatro grupos formados pelo gênero *Hydra*, observado por Trembley, são capazes de se reproduzir de forma sexuada, formando gônadas, óvulos e espermatozoides. Se a fertilização for bem-sucedida, o ovo produz uma teca, se destaca do corpo do animal e tende a cair no sedimento. Em seguida, eclode e se desenvolve, seja em uma nova linhagem genética ou um clone (SCHAIBLE et al., 2017, p. 239).

Em geral, a reprodução sexuada é limitada a períodos de tempo distintos e curtos, a depender da resposta a mudanças nas condições ambientais, incluindo variações de temperatura, foto período e/ou disponibilidade de alimentos (KALISZEWICZ, 2011, p. 150).

Desse modo, ainda que tenha sido incapaz de “confirmar” suas suspeitas acerca da presença e função dos ovos nos pólipos observados, Trembley deixou esse legado que, possivelmente, deve ter sido investigado por outros naturalistas e ou interessados no assunto.

Ademais dos experimentos de fecundidade dos pólipos, Trembley refez e séries coordenadas muitas das experiências de regeneração, a fim de testar a vitalidade desses organismos, ou como se denominava “economia animal” (TREMBLEY, 1744, p.53).

Ele utilizou de variados expedientes cirúrgicos, seccionando animais longitudinal e transversalmente em várias partes do pólipo. Além disso, ele ousou realizar intervenções experimentais ainda mais radicais, como “vestir” um pólipo dentro de outro, cortar, implantar e produzir hidras com sete e oito cabeças implantar em outro pólipo. “Eu vi essas Hydras se alimentarem ao mesmo tempo em todas as suas bocas” (TREMBLEY, 1744, p. 246).

Desde o princípio de suas observações, uma preocupação se sempre acompanhou Trembley foi tentar identificar a natureza dos pólipos – o dilema animal ou vegetal. Apesar de sua forte inclinação em classifica-lo como animal, o naturalista evitou negligenciar qualquer pista que lançasse dúvidas acerca da sua suposição.

Todavia, o seu interesse ia para além de nomear e classificar, como era bastante comum nos estudos da época. Ao contrário, baseado em uma tradição de experimentadores, Trembley almejou conhecer o funcionamento, da morfologia à fisiologia desses organismos. Ao estudar,

sistematicamente, repetindo e variando observações e experimentos, ele foi apto a evidenciar seu modo de perpetuação: brotamento, regeneração natural e artificial, acompanhar e entender os hábitos alimentares e processos digestivos, locomoção, entre outros aspectos (PRESTES; MARTINS, 2014, p. 366).

Com base nesse extenso conjunto de evidências, Trembley considerou que os pólipos deveriam ser identificados como animais simples, contrariamente à ideia de animais-plantas, ou zoófitos, como se denominavam os seres “intermediários. Com relação a isso, ele escreveu:

A fim de ser capaz de decidir que um corpo organizado não é nem um animal, nem uma planta, mas deva ser localizado numa classe intermediária entre animais e plantas; a fim de ser capaz de decidir, eu digo que seria necessário conhecer precisamente todas as propriedades as quais tanto animais, quanto plantas estariam suscetíveis. Como temos visto, nós estamos muito longe deste conhecimento, somente quando alcançarmos tais conhecimentos é que poderemos criar novas classes de corpos organizados. Enquanto esperamos isso, é muito mais natural considerar os Pólipos e outros corpos organizados que tem recebido o nome Zoófitos, como animais; animais que tem mais similaridades com plantas do que com outros [animais] (TREMBLEY, 1744, p. 308).

Como se pode perceber, o trabalho do naturalista genebrês Abraham Trembley é de uma extensão, no mínimo, surpreendente, dada a qualidade da narrativa apresentada, dos detalhes fornecidos, do cuidado experimental e metodológico, da conduta como observador atento e preocupado com “fatos” em contraposição a especulações.

O conjunto completo dos seus estudos, foram publicados em 1744, em Leiden, na Holanda, por meio da sua obra intitulada “Memórias para servir à história de um gênero de pólipos com braços em forma de chifres” (figura 19).

Até aqui, portanto, discorremos basicamente sobre a parte “científica”, isto é, procedimental, empírica e metodológica dos estudos de Trembley. Na seção a seguir, discutiremos, brevemente, sobre as implicações que os seus resultados produziram para a ciência e os reflexos de sua pesquisa para o contexto sociocultural da época.

Figura 19. Frontispício do livro de Trembley, publicado em 1744, na Holanda. Note que, na autoria, Trembley é apresentado como membro da *Royal Society*, uma honraria concedida dois anos após suas pesquisas e contribuições à história natural.

3.1.7. Os pólipos: dos fossos à fama – considerações gerais

Muito antes da divulgação de sua obra, Trembley já havia iniciado uma longa troca de cartas com Réaumur. Desde o final de 1740, quando Trembley identificou a incomum e desconhecida capacidade regenerativa desses organismos, ele solicitou auxílio ao renomado naturalista francês.

Não obstante, longe de exaltar as qualidades do jovem naturalista, é digno de nota mencionar que, uma das suas contribuições de maior impacto para a história natural da época foi o desenvolvimento de um eficiente sistema de envio de organismos vivos para longas distâncias.

Após uma tentativa frustrada de enviar os pólipos de Haia, na Holanda, até Paris, em fevereiro de 1741, Trembley empenhou-se em criar formas mais viáveis para a submissão dos espécimes. Na segunda vez, ele obteve êxito e ao confirmar a propriedade inusitada da regeneração dos pólipos, Réaumur julgou digno de apresentar esse fenômeno à Academia de Ciências de Paris, após permissão de Trembley (VARTANIAN, 1950, p. 262).

Tão logo as primeiras apresentações foram conduzidas na Academia de Paris, bem como nos salões dos nobres eruditos, as notícias sobre a “maravilhosa habilidade” de regeneração dos pólipos se espalharam. Nos anos seguintes à “descoberta” de Trembley, estudiosos e eruditos,

dedicados ou não, aos estudos da história natural desejaram conhecer de perto essas criaturas (PRESTES; MARTINS, 2014, p. 362).

Assim, ambos, os pólipos e Trembley se tornaram alvo de fama, mas também de crítica, controvérsias e, certamente, ceticismo. Afinal, um fenômeno de tamanha raridade não seria facilmente aceito na sociedade da época. A alegação de um organismo capaz de se regenerar tantas vezes quanto necessário; que possuía sete, oito cabeças, todas aptas a se alimentar, definitivamente suscitava pensamentos que beiravam mais a ficção do que a realidade (RATCLIFF, 2012, p. 428).

Para tentar convencer e persuadir os que queriam conhecer por si mesmo as habilidades de regeneração dos pólipos, Trembley desenvolveu uma “estratégia de generosidade”. Segundo Ratclif (2004b, p. 556), um dos principais fatores para o sucesso de Trembley foi a sua capacidade de desenvolver meios eficientes para o envio seguro dos pólipos para os grandes centros eruditos da Europa no século XVIII.

Tal “estratégia” consistia no envio de sistemas vivos, os quais eram compostos por três itens: Em garrafas apropriadamente acondicionadas, eram inseridos (1) os pólipos, bem como (2) o ambiente propício, para manutenção da preservação e fornecimento de alimento específico e (3) instruções contendo informações detalhadas, tanto para a conservação do sistema, quanto para a replicação dos experimentos (RATCLIFF, 2004b, p. 565).

Desse modo, ao enviar os espécimes e as instruções para a reprodução experimental, Trembley estava consciente de que a sua atitude permitiria que as “propriedades maravilhosas” dos pólipos poderiam ser acessadas por qualquer pessoa, independentemente do lugar de origem. No entanto, a sua estratégia, aparentemente altruísta, era, do mesmo modo, arriscada.

Antes mesmo da publicação da sua obra, Trembley havia enviado cartas e espécimes, informando das suas descobertas, em 1743, ao então presidente da Royal Society, Sir Martin Folkes (1690-1754). Folkes, então, distribuiu entre os parceiros da sociedade londrina, a fim de que eles replicassem os experimentos.

Contudo, entre esses membros, o naturalista Henri Baker, ao ter acesso as cartas e às informações detalhadas por Trembley, conduziu os seus próprios experimentos e publicou, em novembro de 1743, um diário com seus resultados, intitulado *An Attempt towards a Natural History of the Polype* (Uma tentativa referente à história natural dos pólipos). Nitidamente, uma tentativa de antecipar os achados de Trembley, configurando-se como um caso clássico de plágio. O que, obviamente não foi bem recebido por Folkes e pelos demais parceiros da Sociedade (LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 6; RATCLIFF, 2012, p. 428).

A despeito do incidente, os esforços de Trembley foram internacionalmente reconhecidos e, ainda em novembro de 1743, ele foi condecorado com a Medalha Copley, uma das mais importantes honrarias da ciência na época.

Nós não somos menos sensíveis à sua grande candura, à prontidão e disponibilidade que você tem mostrado, não apenas em transmitir-nos resumos fiéis de seus próprios experimentos, mas também de enviar-nos os próprios Insetos, pelos quais nós temos sido capazes de examinar e ver com nossos próprios olhos a Verdade e os Fatos surpreendentes que você anteriormente identificou e reconheceu (FOLKES, 1743 apud RATCLIF, 2004).

Apesar do conteúdo extenso presente neste capítulo, sem sombra de dúvidas, cobrimos uma parte bastante singela dos estudos de Trembley. De fato, haveria, ainda, muito mais a ser explorado⁴⁹.

Porém, se almeja nesta tese, aprofundar toda a sua pesquisa. O foco principal foi discutir os elementos que forneceram evidências empíricas e teóricas relativas à construção e apresentação de um novo conceito de perpetuação animal no século XVIII.

Nosso intuito foi desenvolver um estudo histórico detalhado, a fim de apresentar uma narrativa em nosso idioma, bem referenciado, que sirva como suporte contextualizado para abordagens de ensino de conteúdo conceitual sobre modos de reprodução animal. Mas principalmente, que venha a subsidiar o ensino de aspectos de natureza da ciência, amplamente distribuídos ao longo do episódio aqui retratado.

Dos conteúdos conceituais da biologia atual que julgamos importante ensinar na escola básica, o episódio histórico aborda duas modalidades de reprodução assexual animal – reprodução por brotamento e regeneração; Taxonomia – critérios de classificação animal/planta.

Dos elementos de natureza da ciência⁵⁰, de maneira geral, pode-se apontar que o trabalho de Trembley permite discutir a natureza e o papel dos experimentos científicos (replicação, variação, controle de variáveis, tamanho amostral, etc.); a relação entre observação e inferência; a observação guiada por teoria; o papel da colaboração entre cientistas; as influências do contexto sociocultural; a fraude e a má conduta em ciência; as motivações pessoais; o papel da criatividade e imaginação; etc.

Além disso, ao se propor uma Sequência Didática orientada por episódios da história da biologia, é fundamental manter o compromisso metodológico de um aprofundamento histórico,

⁴⁹ No trabalho de Sylvia e Howard Lenhoff (1986, p.14) há uma longa tabela descrevendo as principais contribuições científicas, encontradas na obra “Memoires” respectivas à cada área ou disciplina. Para citar alguns exemplos das grandes áreas, incluem: Filosofia da ciência, História Natural, Taxonomia, Morfologia, Biologia do desenvolvimento, Biologia comportamental, Ecologia, Fisiologia, etc.

⁵⁰ A temática Natureza da Ciência será discutida de forma mais ampla na seção do referencial teórico desta tese.

a fim de evitar equívocos historiográficos, como a emissão de juízo de valor com base no conhecimento atual; apresentar os estudiosos como heróis, mitificados; tratar a ciência como desconectada do seu contexto sociocultural; supervalorizar a pesquisa empírica em detrimento da teórica, considerar que apenas os estudos experimentais constituem o conhecimento científico.

Por se tratar de uma pesquisa de doutorado, a contribuição deste trabalho, reside na busca pelo equilíbrio, trazendo uma “inovação” que caminhe entre a história da ciência e o ensino de ciências, na tentativa de preencher um nicho de essencial importância, mas tão pouco explorado nos nossos cursos de formação docente – o ensino de como a ciência funciona, ou, em outras palavras, da natureza da ciência.

PARTE II – A pesquisa empírica

CAPÍTULO 4 – Fundamentação teórica

4.1. História da Ciência e Ensino de Ciências

“Sir Isaac Newton descobriu a gravidade quando uma maçã lhe caiu sobre a cabeça”. “Galileu Galilei mirou o telescópio para o céu e derrubou a teoria geocêntrica (e foi preso por isso)”. “Arquimedes de Siracusa gritou *eureka* em sua banheira, quando descobriu o princípio de empuxo”. “Gregor Mendel descobriu a genética quando estudava ervilhas em um mosteiro”. “Charles Darwin, em Galápagos, percebeu que os seres vivos mudam ao longo do tempo e descobriu a teoria da evolução” (NUMBERS; KAMPOURAKIS, 2015).

Esses são alguns dos mitos que dominaram e ainda dominam o imaginário de estudantes e professores de ciências, pela simples razão de que, infelizmente, assim foram propagados em obras didáticas e, hoje em dia, assim são difundidos em sites da internet.

Historiadores da ciência sabem que tais mitos, ou anedotas, não passam de interpretações não fundamentadas sobre o passado das ciências. Assim, por exemplo, a noção de senso comum de que a descoberta científica ocorre de modo repentino e fortuito é, no mínimo, uma simplificação excessiva de um empreendimento muito vasto e complexo.

Embora abordagens sociológicas sobre a história das ciências tenham explorado estudos de caso em que se pode identificar um “golpe de sorte” em uma pesquisa, uma “serendipidade”, o achado ou descoberta daí derivado não é resultado de pura sorte, mas sempre associada a grande dose de conhecimento (MERTON; BARBER, 2004).

Entre vários outros aspectos, na maior parte das vezes, as chamadas “descobertas” nas ciências ocorrem como resultado de ações diligentes que envolveram conhecimentos desenvolvidos não por um, mas, vários cientistas.

Assim, uma primeira meta almejada para o desenvolvimento de episódios da história da ciência para o ensino é a de combater esses relatos míticos sobre o fazer científico. Todavia, isso ainda era pouco para responder à pergunta que orientou o autor da presente tese, em coro com historiadores da ciência (MARTINS, 2006b; CHANG, 2016) e pesquisadores em ensino de ciências (MATTHEWS, 1989b; ADÚRIZ-BRAVO, 2011; ALLCHIN, 2014a): *Por que história da ciência no ensino?*

Afinal, muitas teorias defendidas no passado foram sofreram alterações significativas. Outras, foram substituídas por teorias novas. Então, por que investir na inserção para os alunos de ciências, de conhecimentos que não são mais aceitos, ou por que esperar que os professores reconheçam que isso tenha alguma importância?

A resposta pode parecer incomum, atípica, surpreendente, mas é exatamente devido ao caráter inconstante e mutável do conhecimento científico e da ciência como um todo, que a sua história se torna uma atraente estratégia para o ensino.

Qualquer narrativa histórica da ciência, assim como da história em geral, é uma construção afetada pela historiografia e pela concepção de ciência do historiador. Além disso, ao contar os eventos que ocorreram com algo ou alguém, em determinado espaço e tempo, os textos históricos são determinados pela escolha do objeto de investigação e pelas perguntas que o historiador procura responder. O relato histórico produzido mostra a atividade científica recheada de problemas, dúvidas, incertezas, reviravoltas, fins de linha, mudanças no plano de pesquisa, conclusões provisórias, entre outros aspectos.

Certamente não é dessa história da ciência que estamos tratando. Mas de qual, afinal? E como ela pode se configurar como um recurso útil e eficiente para a aprendizagem?

Antes de prosseguir diretamente à tentativa de responder essas questões, pode-se aproveitar reflexões de uma discussão paralela, ou quem sabe mais ampla, sobre o papel da história da ciência para a própria ciência.

4.1.1 Funções da História da Ciência na ciência

Em uma recente exposição, o historiador da ciência Hasok Chang (2017) retoma discussão que vem norteando suas pesquisas, sobre as funções da história da ciência para a própria ciência. Pretendendo uma apresentação sistemática de suas ideias sobre o tema, o autor inicia retomando a tradicional, e em muitos sentidos ultrapassada distinção interna-externa da história da ciência.

Chang propõe retomar a distinção por uma outra perspectiva, por sua utilidade em chamar a atenção para esse aspecto que considera estar sendo negligenciado pelos historiadores da ciência, que é o de discutir se o passado da ciência pode ajudar a melhorar o conhecimento científico atual.

Nesse ponto, Chang ressalva que há, contudo, uma “tradição venerável” de esforços voltados para usar a história da ciência para melhorar o ensino de ciências (CHANG, 2017, p. 93). O autor remete-se às iniciativas de meados do século XX, de James Conant e Gerald Holton, às intensas pesquisas do Grupo Internacional de História e Filosofia da Ciência no Ensino (IHPST, na sigla em inglês) e ao trabalho específico dos estudos de caso de Douglas Allchin.

A presente pesquisa deriva exatamente dessa “tradição” referida por Chang e será discutida a seguir, à luz das reflexões de Chang sobre o papel da história da ciência na própria ciência que precisa ainda ser apresentado.

Concebendo a história da ciência internamente, em suas vertentes de pesquisa e de educação, Chang propôs uma subdivisão de suas funções em duas grandes linhas, uma que chamou “ortodoxa” e outra que chamou “complementar”. A função ortodoxa da história da ciência possível é a de obter uma *compreensão mais profunda* do conhecimento científico atual, entendendo seus conceitos de forma mais sutil e assegurando melhor seus resultados. Outra função ortodoxa da história da ciência, para Chang, é a de ensinar sobre os métodos científicos. Por outro lado, a função complementar da história da ciência, que o autor reconhece como menos usual e mais controversa, é a de *gerar e aprimorar* conhecimento científico, onde a própria ciência fracassou.

É por essa função complementar, de gerar e aprimorar conhecimento científico atual, que o autor advoga a inclusão de disciplinas de história e filosofia da ciência nos cursos de formação, salientando ao menos três subdivisões principais das funções que a história da ciência poderia cumprir:

- (1) Consciência crítica: compreender a história, aprender de que maneira os cientistas passaram a aceitar o que hoje é ortodoxo da ciência, pode ajudar nossa compreensão da ciência do presente. Mas, também permite revelar que, conceitos e evidências atualmente aceitas, são fruto de decisões passadas contingentes e que poderiam ter ocorrido de maneira diferente.
- (2) Recuperação: a história possibilita recuperar um conhecimento do passado que foi esquecido ou negligenciado. Apesar de o autor assumir que essa concepção se torna difícil quanto referente a teorias passadas que, por razões distintas, caíram em desuso, ele defende sua viabilidade para o aspecto experimental. Pois o julgamento próprio pode ser mais independente quando se depara pessoalmente com os próprios fenômenos.
- (3) Extensão: a partir de um conhecimento recuperado do passado é possível estendê-lo a outras perspectivas. Afinal, a maioria dos procedimentos experimentais recuperados, permite gerar novas perguntas, as quais podem ser investigadas por experimentos posteriores. O que remete à própria natureza da ciência experimental.

É com base na função de “recuperação” ocasionada pela replicação de experimento histórico que a SD proposta na presente tese desenvolveu a estratégia de ensino por investigação para licenciandos de biologia. Por meio de replicação física de observações e experimentos de Trembley e de Objeto Virtual de Aprendizagem, abrangendo parte das observações e experimentos de Bonnet, pretendeu-se que o tema da reprodução animal, fosse revisitado pelo foco teórico da geração animal no século XVIII. E conforme será apresentado no capítulo de

resultados, pode-se reiterar a previsão de que, por meio da replicação desses experimentos históricos, os estudantes se capacitaram a formular novas perguntas, ou seja, abrindo novas investigações.

4.1.2 Funções da história da ciência no ensino de ciências

Como mencionado por Chang, nas últimas décadas, uma farta e dinâmica literatura tem expresso pesquisas teóricas e empíricas sobre os benefícios, e dificuldades, da utilização da história e filosofia da ciência no ensino⁵¹. Entre os benefícios comumente citados, selecionamos três (MATTHEWS, 1994; MARTINS, 2006b; CHANG, 2016) diretamente relacionados à presente pesquisa:

- ✓ Facilita a compreensão dos conceitos e métodos científicos atuais. Entender que a ciência não é fruto de “um método científico”, universal, mas de vários métodos, em grande medida, concatenados ao objeto de investigação. Cientistas criam hipóteses partindo de ideias, às vezes, sem fundamento, por meio de analogias vagas. Possuem concepções ao fazerem suas observações e experimentos. Desenvolvem teorias provisórias, às vezes contraditórias e defendendo argumentos frágeis. Ou seja, a história da ciência mostra que o desenvolvimento de um conhecimento científico é complexo, é diligente e não segue nenhuma fórmula infalível;
- ✓ Conecta o desenvolvimento do pensamento individual (seja como concepções prévias dos estudantes, seja como conhecimentos de senso comum) com o desenvolvimento das ideias científicas;
- ✓ Neutraliza ou oferece um contraponto ao cientificismo e dogmatismo comumente ressaltados em manuais de ensino de ciências

Além desses benefícios, ressaltam-se outros das reflexões do historiador da ciência de Roberto de Andrade Martins (1998; 2006b), para quem a história da ciência no ensino de ciências pode:

- ✓ Inter-relacionar ciência, tecnologia e sociedade: episódios históricos permitem mostrar que a ciência não é um empreendimento isolado, ao contrário, é parte de um contexto histórico, cultural, humano, influenciando e sendo influenciado pela sociedade;

⁵¹ Ainda que assumindo a parcialidade que uma tentativa de listar contribuições à área de interface da história e filosofia da ciência na educação científica, nas últimas décadas, julgou-se pertinente mencionar aqui, ao menos, os trabalhos que guiaram de um modo ou outro a presente pesquisa: (ACEVEDO-DÍAZ; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2016; ALLCHIN, 2014b, 2014a; DAGHER, 2014; EL-HANI, 2006a; FOUAD; MASTERS; AKERSON, 2015a; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2016; GARCÍA-MARTÍNEZ; IZQUIERDO AYMERICH, 2014; HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012a; JARDIM; GUERRA, 2017; KENDIG, 2013; KIM; IRVING, 2010; MELLO, 2009; MOURA; SILVA, 2014; SCHEID; FERRARI, 2008; SILVA; PRESTES; MARTINS, 2010), .

- ✓ Promover a compreensão das relações sócio científicas: episódios históricos permitem abranger o processo social e gradual da produção científica, formando, assim, uma visão mais próxima de seus procedimentos e suas limitações. Isso tende a subsidiar a formação de senso crítico e desmitificar a ciência.

4.1.3. Dificuldades da História da Ciência no ensino de ciências

Apesar do entusiasmo que tem levado ao desenvolvimento de grande variedade de estratégias e materiais instrucionais e das evidências favoráveis coletadas em estudos empíricos, a utilização da história e filosofia da ciência e ensino não está isenta de problemas, dificuldades e críticas. Ao contrário, tais questionamentos existem desde as primeiras iniciativas de inserir a história da ciência no ensino (RUDWICK et al., 1957; SIEGEL, 1979; PUMFREY, 1991).

Outra vez, não se trata de fazer um levantamento exaustivo dos problemas já discutidos na literatura, mas de trazer alguns exemplos que se relacionaram mais diretamente com esta pesquisa.

Entre as críticas apontadas para os usos de história e filosofia da ciência, a literatura destaca os problemas relacionados à preparação docente (MONK; OSBORNE, 1997), escassez de materiais e recursos confiáveis (BYBEE; POWELL; ELLIS, 1991), histórias com ênfase em distorções da ciência e de cientistas (MARTINS, 2001, 2007; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; PUJALTE et al., 2014a), pseudo-histórias (ALLCHIN, 2004), estudos historiográficos enviesados pela ciência do presente, o chamado whiggismo (MAYR, 1990; MARTINS, 2006c; GALISON, 2008).

Alertada por tais obstáculos é que a presente pesquisa buscou trabalhar junto à formação de professores, desenvolvendo uma SD para licenciandos de biologia, produzindo materiais instrucionais tanto teóricos (narrativas), quanto práticos (replicações de experimentos históricos), de episódios da história da biologia que evitassem as distorções sobre o desenvolvimento da ciência e do papel dos cientistas, afastando-se das pseudo-histórias e do whiggismo.

Outra esfera de dificuldade reside na necessidade de maior diálogo entre especialistas em história e filosofia da ciência e educadores (ERDURAN; DAGHER, 2014).

A Sociedade Internacional de História, Filosofia e Ensino de Ciências (IHPST), mencionada acima, tem justamente se dedicado a oferecer dois fóruns para essa integração, em termos de reuniões e publicações (PRESTES; CALDEIRA, 2009). A IHPST começou a congrega esses especialistas em 1989, em encontros mundiais e, a partir de 2010, em Maresias,

SP, Brasil, também em encontros regionais⁵². O segundo fórum da IHPST concretizou-se no periódico *Science & Education*, fundado por Michael Matthews, em 1992.

Essa comunidade de investigadores provenientes de áreas diferentes, mas reunidos pelo interesse comum de promover o ensino contextual da ciência, tem desenvolvido quadros teóricos fundamentados, estudos de caso, diretrizes epistemológicas e metodológicas de pesquisa, além de proposição de metas e perspectivas futuras no campo da história, filosofia e sociologia da ciência no ensino de ciências.

Em paralelo, ou fomentada por essas iniciativas, tem ocorrido a formação de grupos de pesquisa constituídos por um corpo de especialistas dessas áreas, comprometidos a tornar as ideias originárias de campo, compatíveis umas com as outras, alicerçadas na História e Filosofia da Ciência e Ensino, com o objetivo de adaptar, ideias, pesquisas e abordagens de ensino em diretrizes de ensino aplicáveis, de fácil compreensão e disseminação (SEROGLOU; ADÚRIZ-BRAVO, 2012, p. 768).

Assim, apesar dos obstáculos e da utopia de um mundo ideal que fomentasse todos os aspectos necessários para alcançar o melhor nível de otimização, os trabalhos em história da ciência e ensino vem sendo produzidos, almejando sempre facilitar o processo de ensino aprendizagem dos estudantes, bem como potencializar a formação docente

4.1.4. História da ciência e a formação de professores

Há anos, educadores e pesquisadores em ensino de ciências têm buscado investigar as concepções dos estudantes sobre ciências. Desde então, os resultados apresentados têm sido deveras preocupantes, pois, independentemente do nível de ensino, os alunos têm mostrado concepções ingênuas, parciais ou distorcidas, sobre as práticas que envolvem o fazer científico (DRIVER, 1989; ABELL; SMITH, 1994; GIL PÉREZ et al., 2001; SMITH et al., 2013; HODSON, 2014b).

De acordo com alguns autores, uma parcela significativa dessa problemática recai sobre as deficiências curriculares e políticas educacionais (ROBERTS; ÖSTMAN, 1998; KRASILCHIK, 2000; MARTINS, 2005a; ERDURAN; WONG, 2013; GARCÍA-CARMONA; CRIADO; CAÑAL, 2014), refletindo na formação do professor e impactando diretamente na aprendizagem de seus estudantes (FERNÁNDEZ et al., 2002; CAPPS; CRAWFORD, 2013; MULVEY; BELL, 2016; PAVEZ et al., 2016).

Nesse sentido, devido, também, aos argumentos destacados nas seções anteriores, a história e filosofia da ciência tem sido utilizada como estratégia alternativa, a fim de tentar contornar essa questão e contribuir para a melhoria do ensino *de e sobre* ciências na formação docente (EL-HANI, 2006a; MARTINS, 2007; PRESTES; CALDEIRA, 2009; ADÚRIZ-BRAVO, 2011; RUDGE et al., 2012). Devidamente articuladas às práticas de ensino, a história e a filosofia da ciência podem ser um mecanismo eficiente para preparação dos professores, bem como para a superação do ensino dogmático, que ainda perdura na educação científica (DELIZOICOV; SLONGO; HOFFMANN, 2011, p. 8841).

Para os pesquisadores em ensino de ciências Breno Arsioli e Cibele Silva (2014), uma forma de aplicar a história da ciência na formação de professores é por meio de o que eles denominam “abordagem multicontextual”. A proposta é a de utilizar episódios da história da ciência para contemplar tanto os conteúdos conceituais (contexto científico), quanto os aspectos epistemológicos, sociológicos, culturais, sócio científicos e afins (contexto metacientífico).

Segundo os autores, tal abordagem se justifica pela urgência na preparação de professores com atitudes críticas e transformadoras, capazes de compreender de forma ampla as relações entre ciência e contexto no qual se desenvolve. Competências tais, que podem ser fomentadas por meio da história da ciência, pois, ao promover uma visão crítico-transformadora do licenciando, aproximando-o dos percursos históricos de um conhecimento científico, é possível fazê-los apreender uma posição analítica e ativa em relação aos produtos da ciência (MOURA; SILVA, 2014, p. 337).

Esta pesquisa filia-se a um desses grupos, no Laboratório de História da Biologia e Ensino (LaHBE) do Instituto de Biociências da USP. No laboratório, vem sendo realizadas pesquisas que desenvolvem, aplicam e avaliam propostas de ensino de ciências e biologia utilizando episódios históricos moldados pelo ensino por investigação e integrados a sequências didáticas.

Com essa agenda, são propostas estratégias e materiais instrucionais de episódios da história da biologia sob a forma de jogos eletrônicos, narrativas históricas, narrativas históricas virtuais, roteiros de análise de conteúdo histórico em materiais didáticos, roteiros de atividades dirigidas em classe, roteiros de replicação de experimentos históricos, trabalho com fontes originais da história da biologia (LaHBE)⁵³. A produção didática, desenvolvida em dissertações de mestrado e teses de doutorado, tem focado em elaborar uma robusta pesquisa histórica, além de buscar convergir e introduzir algumas das atuais metodologias de ensino de ciências.

⁵³ Conforme site do LaHBE, disponível em www.lahbe.ib.usp.br

Das contribuições produzidas pelo LaHBE, pode-se destacar a dissertação de Souza (2014), cuja temática abordava estudos de caso históricos sobre os trabalhos do naturalista Alfred Russel Wallace, sobre a classificação de palmeiras, durante a sua viagem ao Brasil, voltada ao ensino de HC no ensino fundamental. Silva (2013) abordou, em sua dissertação, a aplicação de replicações de experimentos históricos, baseados em trabalhos de Darwin sobre a dispersão de sementes, destinado a estudantes do Ensino Fundamental. A dissertação de Durbano (2012) se propôs a conduzir um levantamento sobre aspectos de NdC, junto a estudantes de graduação em Ciências Biológicas.

Esta pesquisa também teve parte de seu desenvolvimento, em particular, com respeito à análise dos dados coletados na pesquisa empírica, junto ao Grupo de Epistemologia, História e Didática das Ciências (GEHyD), dirigido por Agustín Adúriz-Bravo, na Universidade de Buenos Aires, também tem investido na utilização da história da ciência, com o propósito de aprimorar e enriquecer a formação inicial e continuada de professores.

Entre as estratégias desenvolvidas, aplicadas e disseminadas pelo GEHyD se destacam a elaboração e avaliação de narrativas históricas curtas (*short stories*) (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO; ESTANY, 2002; ADÚRIZ-BRAVO, 2008, 2009, 2011, 2015; CHION; MEINARDI, 2013; LOZANO; BAHAMONDE; ADÚRIZ-BRAVO, 2016). A proposta dos trabalhos visa o ensino de um ou poucos aspectos relacionados ao fazer científico (natureza da ciência) tendo como suporte, episódios históricos construídos em formato de narrativa. São textos curtos, compostos por 2 a 10 páginas, desenvolvidos em prosa simples, evitando citações originais e com o objetivo de problematizar e discutir, tanto elementos científicos, quanto meta-científicos (ADÚRIZ-BRAVO, 2011, p. 199).

Por exemplo, no trabalho de Lozano, Bahamonde e Adúriz-Bravo (2016) discutiu-se o episódio histórico referente à construção de um modelo de membrana celular no século XIX, com o intuito de abordar o aspecto relativo à carga teórica do cientista, vinculada à observação. De acordo com os autores do estudo, ao debater a questão referente à carga teórica inserida nas observações científicas, permite-se desafiar um preconceito equivocadamente estabelecido de "descoberta" como a atividade central da pesquisa científica. Além disso, é possível considerar aquilo que atualmente se julga como mais apropriado, o pensamento de que fatos científicos são construídos em uma interação laboriosa e elaborada entre o mundo e as ideias (LOZANO; BAHAMONDE; ADÚRIZ-BRAVO, 2016, p. 54).

Contudo, Adúriz-Bravo (2011, p. 198) assume os desafios e coerentemente destaca que ele, seu grupo, assim como muitos professores de ciências não possuem expertise em história

da ciência, logo, são dependentes desses profissionais, em especial, aqueles que se dedicam ao ensino de ciências.

Isto posto, em harmonia com os pesquisadores mencionados nesta seção (e outros), acredita-se estar contribuindo com iniciativas de formação docente, especialmente em relação à compreensão dos elementos e contextos que abarcam o desenvolvimento do conhecimento científico. Características tais que, contemporaneamente, têm sido conceituadas como “Natureza da Ciência”.

4.1.5. História da Ciência e Natureza da Ciência

Previamente, mencionou-se que o desenvolvimento do conhecimento científico envolve aspectos intrínsecos à ciência, como as práticas e métodos utilizados pelos cientistas, mas também fatores meta-científicos, isto é, sua relação com a tecnologia, sociedade, cultura, política, economia, etc.

Conforme documentos e currículos educacionais de vários países, a compreensão plena desses aspectos, bem como sua inter-relação é fundamental para obtenção de uma educação científica adequada (ALLCHIN, 2014b, p. 23).

Desse modo, espera-se que os cidadãos possuam um nível de conhecimento suficiente a ponto de compreender os desafios da ciência na sociedade e a sua interação. Portanto, no que diz respeito à educação científica, a meta é subsidiar aos estudantes a capacidade de compreender como as pesquisas científicas são conduzidas, identificar e se apropriar dos conhecimentos por ela produzido; ademais, ser aptos a desenvolver argumentos fundamentados e de refletir sobre a tomada de decisões sobre questões científicas (KAMPOURAKIS, 2016, p. 667).

Em suma, para obter tais nível de competências, se faz necessário compreender os aspectos que integram a “Natureza da Ciência” (NdC)⁵⁴. Independente da conceituação, às vezes se referindo como "práticas científicas", ou "ideias sobre ciência", "como a ciência funciona", a proposta central da sua abordagem para o ensino de ciências é fomentar a compreensão sobre a ciência, a fim de auxiliar os estudantes, como cidadãos e consumidores na sociedade contemporânea, serem capazes de participar responsavelmente na tomada de decisões pessoais e sociais (ALLCHIN, 2014b, p. 24).

Apesar de, em geral, haver consenso com relação a tais propósitos, uma questão conflituosa que tem produzido debate na comunidade de educadores em ciência é saber quais aspectos de natureza da ciência são importantes contemplar no ensino de ciências

⁵⁴ A literatura internacional se apropria do acrônimo NOS (*Nature of Science*) para se referir à Natureza da Ciência.

(LEDERMAN et al., 2002; ALLCHIN, 2011; MATTHEWS, 2012; DAGHER; ERDURAN, 2014).

Cabe destacar, contudo, que NdC tem sido tema de pesquisa no ensino de ciências há várias décadas⁵⁵. A literatura tem apontado uma diversidade de abordagens e de aspectos de NdC a serem trabalhados nos diferentes níveis de ensino e culturas escolares.

Segundo resultados obtidos em revisões da literatura, a partir da década de 1990 até o ano de 2017, a maior quantidade de citações em trabalhos publicados se referia à “visão consenso” de NdC e às versões do questionário VNOS⁵⁶, ambos frutos de pesquisas em grande parte iniciadas por Norman e Judith Lederman, no Instituto de Tecnologia de Illinois, EUA (CHANG; CHANG; TSENG, 2010; DENG et al., 2011; AZEVEDO; SCARPA, 2017).

Essa denominação de “visão consenso” vem sendo usada por críticos do trabalho de Lederman e seus colaboradores. A principal objeção reside em que Lederman selecionou sete aspectos da ciência para trabalhar na sala de aula, indicando-os como não sendo objeto de grande discussão na filosofia da ciência.

O mais importante da proposta de Lederman, que seus críticos parecem muitas vezes ignorar, é que a sua proposta se fundamenta em promover ensino por investigação de aspectos da natureza da ciência que, adotados em conjunto, constituem um quadro bastante amplo de como a ciência funciona. Lederman jamais afirmou serem esses os únicos aspectos das ciências, em termos epistemológicos; mas ressalta a maior facilidade de introduzi-los na formação de professores e nas práticas de ensino das ciências. A lista de Lederman é formada pelos sete aspectos descritos a seguir (LEDERMAN et al., 2002, p. 502):

- 1) A natureza provisória do conhecimento científico. Ou seja, embora duradouro e confiável, o conhecimento científico nunca é absoluto ou certo. Assim, fatos, teorias e leis, todos estão susceptíveis a mudanças.
- 2) Distinção entre observação e inferência. Enquanto observações são declarações descritivas sobre fenômenos naturais, diretamente acessíveis aos sentidos (ou via extensão desses) nos quais observadores podem chegar a um algum consenso; as inferências são alegações sobre fenômenos não diretamente acessíveis aos sentidos.

⁵⁵ Outra vez, assumindo os riscos que uma lista não exaustiva pode oferecer, mencionamos aqui ao menos os trabalhos com os quais a presente tese procurou dialogar: ABD-EL-KHALICK; BELL; LEDERMAN, 1998; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; ABELL; SMITH, 1994; ADÚRIZ-BRAVO, 2007; ALLCHIN, 2013; BRADFORD; RUBBA; HARKNESS, 1995; DUSCHL; GRANDY, 2013; ERDURAN; DAGHER, 2014; LEACH et al., 1997; LEDERMAN, 2007, 1992; MATTHEWS, 2012; MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998.

⁵⁶ O questionário denominado “Visões sobre Natureza da Ciência” (VNOS - *Views of Nature of Science Questionnaire*) é constituído por um conjunto de instrumentos de levantamento de concepções sobre NdC (VNOS, versões A, B e C). Instrumentos compostos por questões abertas que contemplam aspectos específicos de NdC discutidos na presente seção. O questionário é descrito em totalidade no artigo em *Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science* (LEDERMAN et. al 2002)

Isto é: no sentido de que só pode ser acessado ou aferido por meio de manifestações ou efeitos.

- 3) Conhecimento científico é carregado de teoria. Os arcabouços teóricos, disciplinares, as crenças, conhecimentos prévios, o estilo de treinamento e expectativas são fatores que, de fato, influenciam o trabalho científico. São questões diretamente envolvidas nos problemas investigados pelos cientistas e impactam a forma como eles observam e interpretam os dados coletados.
- 4) O papel da criatividade e imaginação dos cientistas. O conhecimento científico é fruto de observações da natureza. No entanto, é dependente da imaginação e criatividade humanas. Não se trata de um empreendimento ordenado e programado, mas sim, envolve a invenção de explicações e entidades teóricas, demandando altos níveis de criatividade por parte dos cientistas.
- 5) O caráter social e cultural do conhecimento científico. Como um empreendimento humano a ciência e cientistas estão envolvidos em um contexto sociocultural, político, econômico, etc.
- 6) Teorias e leis científicas. Teorias científicas são sistemas de explicações bem fundamentados e internamente consistentes. Leis são declarações descritivas de relações entre fenômenos observáveis. São tipos distintos de conhecimento, teorias não se transformam em leis e vice-versa.
- 7) Mito do Método Científico. A ideia baseada na crença da existência de um procedimento protocolar, seguido por todos os cientistas. Apesar do fato da observação, comparação, aferição, teste, especulação, criação de ideias e ferramentas conceituais, teorias e leis, não há aquilo que se denomina de sequência única de atividades (prescritas ou não) que resultem, seja em soluções infalíveis, respostas funcionais ou válidas, seja em conhecimentos certos ou verdadeiros

As sete características propostas por Lederman passaram a ser utilizadas por grande número de pesquisadores em educação, , com o intuito de conduzir investigações empíricas, atreladas à construção de questionários de pesquisa, sobre concepções de ciências de diferentes públicos (estudantes de diferentes idades e níveis de ensino, professores da educação básica, cientistas) (AKERSON; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004; MCCOMAS, 2008; RUDGE; HOWE, 2009; TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009; MILLER et al., 2010a; DURBANO, 2013).

As críticas à agenda de Lederman variam bastante (IRZIK; NOLA, 2011; MATTHEWS, 2012; ALLCHIN, 2013; DUSCHL; GRANDY, 2013; HODSON, 2014a). Independentemente

do teor de discordância, esses autores consideram que o principal problema está em que a proposição de uma lista de aspectos da natureza da ciência, especialmente uma lista enxuta como a de Lederman, tende a restringir e limitar a complexidade da natureza do conhecimento científico (KAMPOURAKIS, 2016, p. 56). Em função disso, esses autores propuseram abordagens mais abrangentes.

Michael Matthews (MATTHEWS, 2012, p. 15–16) afirmou que os “Lederman’s seven” (as Sete características da ciência de Lederman) são insuficientes para tratar dos fatores que envolvem a prática científica na educação científica. Por isso, além de sugerir uma mudança conceitual de “Natureza da Ciência” para “Características da Ciência”, ele propõe acrescentar à lista de Lederman os seguintes demais aspectos:

- 8) O papel da experimentação em ciências;
- 9) O papel da idealização;
- 10) O papel dos modelos científicos;
- 11) Valores e questões sociocientíficas;
- 12) O papel da matemática (matematização);
- 13) Tecnologia;
- 14) Explicação;
- 15) Visão de mundo e religião;
- 16) Escolha teórica e racionalidade;
- 17) Feminismo;
- 18) Realismo e construtivismo.

Por outra perspectiva, Dagher e Erduran (2016) elaboraram uma visão distinta para o ensino de NdC, com base na proposta dos filósofos da ciência, Irzik e Nola (2011, 2014), denominada Abordagem de Semelhança Familiar (*Family Resemblance Approach*).

Segundo as autoras, a proposta, direcionada ao ensino de ciências, visa apresentar características de NdC que exibem similaridades e se sobrepõem nas várias disciplinas científicas. Isso pode ser útil na compreensão de ciências, pois apesar de todas as subdisciplinas compartilharem várias características comuns, nenhum fator específico pode ser usado para definir um domínio como científico ou para demarcá-lo de outras disciplinas. Como exemplo, eles mencionam o fato de que muitas disciplinas científicas compartilham práticas como observar, inferir e coletar dados. No entanto, a forma como uma disciplina se apropria das técnicas de observação, por exemplo, pode ser bastante variável (DAGHER; ERDURAN, 2016, p. 150).

Desse modo, a visão de semelhança familiar tem como objetivo consolidar os aspectos de cunho epistêmicos, cognitivos e sociais da ciência, mas de forma integral, flexível, descritiva, mas não prescritiva (figura 20).

Figura 20. Círculo “Abordagem de Semelhança Familiar”.

Fonte: Traduzido de Dagher e Erduram (2016, p. 28)

A proposta, portanto, busca apresentar uma imagem da ciência como um sistema holístico, dinâmico e abrangente, com várias influências. Componentes dos sistemas epistêmicos e sociais interagem uns com os outros, aumentando ou influenciando a atividade científica.

Por fim, merece destaque, especialmente porque foi mais diretamente utilizada na presente tese, a proposta de “ciência integral” de Douglas Allchin (2003). A visão de natureza da ciência integral (*Whole Science*) se caracteriza pela ênfase em trabalhar aspectos que refletem na *confiabilidade* do conhecimento científico. As ideias de Allchin se distanciam portanto das abordagens anteriores ao considerar que o foco da confiabilidade é mais relevante na escola, do que a discussão sobre a natureza, ou seja, sobre a definição de ciência (ALLCHIN, 2013, p. 20).

A sua concepção de Ciência Integral, tem como objetivo criar um equilíbrio entre os fundamentos da confiabilidade e os limites do fazer científico. Para Allchin, o ensino de NdC deve proporcionar estratégias para que o estudante saiba identificar, diferenciar e compreender o papel das evidências para o conhecimento científico.

Desse modo, mesmo que esse estudante não tenha expertise em ciências, ele será capaz de interagir, minimamente, com especialistas; será apto a reconhecer evidências concretas de falsas; apreciar os limites, bem como os fundamentos das alegações científicas. Isto é, será

capaz de olhar de forma crítica para aquilo que se denomina de científico (ALLCHIN, 2011, p. 522). Nas palavras do próprio autor:

Pode-se denominar de Ciência Integral, todo o espectro de NdC, sensível às dimensões de confiabilidade na prática científica. Ciência Integral, do mesmo modo que comida integral, não exclui os ingredientes essenciais. Essa abordagem suporta uma compreensão mais saudável. De forma análoga, os professores devem desencorajar uma dieta baseada na “ciência escolar”, altamente processada e refinada. Bem como evitar as listas curtas ou truncadas de aspectos de NdC, pois são insalubres para a compreensão da ciência (ALLCHIN, 2013, p. 25).

O que o autor conceitua na citação de “dimensões de confiabilidade da ciência”, são aspectos que julga pertinente abordar com relação à natureza da ciência, descrito em forma de um inventário, dividido em três principais dimensões: “Observacional”; “Conceitual” e “Sociocultural” (figura 21).

Figura 21. Inventário parcial das dimensões de credibilidade da ciência

Observacional	Observações e medições	<ul style="list-style-type: none"> • Acurácia, precisão • Papel do estudo sistemático (versus anedotas) • Compleitude da evidência • Robustez (acordo entre diferentes tipos de dados)
	Experimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentos controlados (uma variável) • Estudos cego e duplo-cego • Análise estatística de erro • Replicação e tamanho amostral
	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Novos instrumentos e sua validação • Modelos e organismos modelos • Ética da experimentação com sujeitos humanos
	Padrões de raciocínio	<ul style="list-style-type: none"> • Relevância da evidência (empirismo) • Informação verificável versus valores • Papel da probabilidade na inferência • Explicações alternativas (Resultados inesperados) • Correlação versus causação
Conceitual	Dimensões históricas	<ul style="list-style-type: none"> • Consiliência com a evidência estabelecida • Papel da analogia, pensamento interdisciplinar • Mudança conceitual • Erro e incerteza • Papel da imaginação e síntese criativa
	Dimensões humanas	<ul style="list-style-type: none"> • Espectro das motivações para fazer ciência • Espectro das personalidades humanas • Confirmação do papel/viés de crenças prévias • Percepções de risco baseadas em evidências versus emocional
	Instituições	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboração e competição entre cientistas

Sociocultural		<ul style="list-style-type: none"> • Formas de persuasão • Credibilidade • Revisão pelos pares e resposta a críticas • Resolução de desacordos • Liberdade acadêmica
	Vieses	<ul style="list-style-type: none"> • Papel das crenças culturais (ideologia, religião, nacionalidade, etc.) • Papel do viés de gênero • Papel do viés racial ou de classes
	Economia/financiamento	<ul style="list-style-type: none"> • Fontes de financiamento • Conflito de interesse
	Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Normas para manipular dados científicos • Natureza dos gráficos • Credibilidade de periódicos científicos e da mídia de notícias • Fraude ou outras formas de má conduta • Responsabilidade social dos cientistas
	Fonte: Allchin (2013, p.24)	

O inventário, ainda que parcial, visa abranger aspectos relevantes, desde protocolos e controles experimentais, destacando o papel das análises estatísticas e raciocínio teórico, até as formas de credibilidade, conflitos de interesses, preconceitos de gênero, a influência de contextos econômicos e as mídias que veiculam temas sobre ciência.

Desse modo, por meio da integração entre os aspectos dessas dimensões é possível mostrar aos estudantes algumas questões que emergem no cotidiano sócio-científico, como: “de que maneira o conhecimento científico é produzido e transmitido? O que garante a confiabilidade em cada etapa da pesquisa científica? O que deve ser analisado e considerado confiável, quando os próprios cientistas discordam entre si? O que justifica as mudanças de consenso científico? Como dados científicos são gerados?”; etc. (ALLCHIN, 2011, p. 519, 2013, p. 4).

Entretanto, alcançar um entendimento pleno a fim de responder essas e outras questões equivalentes, requer um alto nível de sofisticação, referente à interpretação de evidências científicas. Principalmente porque o mesmo conjunto de dados pode ser analisado sob diferentes prismas, gerando explicações diversas (HODSON, 2014b, p. 2551).

Por essa razão, Allchin propõe olhar para o inventário, considerando sempre a integração entre as múltiplas dimensões e os aspectos que as constitui. Essa perspectiva permite aproximar o estudante do que, de fato, acontece durante o desenvolvimento do conhecimento científico. O papel da gênese histórica, as inter-relações sociais, os valores e crenças pessoais dos cientistas, aspectos meta-científicos tais que, normalmente, tendem a impactar tanto quanto as práticas, ditas, científicas.

Isto posto, convém esclarecer de que modo a “Ciência Integral”, proposta por Douglas Allchin, “apreendida” e adequada pelo autor da tese, se manifesta em termos práticos no ensino de ciências.

Entre as estratégias utilizadas para o ensino de NdC, três delas têm se difundido entre os educadores, devido à eficácia e ao caráter contextual: abordagens de ensino por investigação; casos contemporâneos e casos históricos (BELL et al., 2003; ADÚRIZ-BRAVO, 2009; DENG et al., 2011; RUDGE et al., 2012; ALLCHIN, 2013, 2014a; CAPPS; CRAWFORD, 2013; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2016).

Convencidos que todas as propostas têm sua validade e relevância, buscou-se atentar aqui, apenas aos casos históricos, tema da presente tese.

Ao longo das seções anteriores, foi dedicado expor, de maneira generalista, o papel da história da ciência, suas características e os meios pelos quais ela pode ser aplicada ao ensino de ciências. No entanto, cabe discutir como a história da ciência e a natureza da ciência (integral) podem dialogar com o intuito de aprimorar a educação científica.

Uma das principais razões para a utilização da história no ensino é o seu caráter motivacional (HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012a; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2012; ALLCHIN, 2014a).

Casos históricos, inevitavelmente ilustram as dimensões históricas e humanas da ciência. Ao contextualizar eventos ocorridos, é possível conectar conceitos científicos, por vezes, abstratos, a preocupações, valores e emoções humanas. Assim, a história contextualiza e, portanto, motiva a ciência. Ao desenvolver bons casos históricos, não importa se o fenômeno discutido possa ter acontecido em algum outro lugar do mundo ou em uma época distante. Histórias bem elaboradas são convincentes, atraentes, pois a ciência é um esforço humano. Portanto, conduzido por e para pessoas reais (ALLCHIN, 2013, p. 31).

Além dos aspectos emocionais, a contextualização por meio da história permite que os estudantes vislumbrem como novas ideias emergem: às vezes, fruto de confusão, ambiguidades, às vezes, ainda que raro, de *insights* repentinos, às vezes gradualmente e com demasiada dificuldade (MARTINS, 2006c).

O percurso do desenvolvimento de um conhecimento científico, muitas vezes possibilita compreender valores como distintivos, e apreciar como isso tende a influenciar a ciência, seja por meio de financiamento de pesquisa, as perguntas que são levantadas, as teorias que foram desenvolvidas e derrubadas, os modos de observação e interpretações possivelmente tendenciosas dos resultados

Contudo, quando se enfatizou que a história da ciência pode promover a aprendizagem de NdC, de que aspectos estamos falando, afinal? Quando dizemos que NdC envolve questões sociais ou culturais, o que isso significa, de fato?

A história, em geral, tende a reviver casos autênticos, que ocorreram dentro de uma realidade. Desse modo, as relações sociais constituem a prática cotidiana, incluindo, as interações entre a comunidade científica.

Assim, com relação à dimensão social da ciência, pode-se mencionar a relevância da comunicação científica (publicações de artigos, troca de correspondências, intercâmbio institucional, congressos e reuniões científicas, etc.). Ademais, a questão da persuasão e organização de evidências, o papel da revisão por pares, ou seja, a crítica, agindo como um sistema de controle de checagem, com o intuito de identificar e isolar erros, concepções e proporcionar conclusões mais fundamentadas (ALLCHIN, 2013, p. 38).

Como produto cultural, a ciência também impacta diretamente a vida da sociedade. Ao contemplar os fatores econômicos, políticos, éticos, questões de gênero, além de conteúdo conceitual, pode-se promover a compreensão da imagem pública da ciência, bem como os aspectos que aumentam (ou não) a confiabilidade científica. Nesse sentido, exemplos da história podem ilustrar como conceitos e eventos científicos impactam as atitudes culturais, visão de mundo, o papel da tecnologia e sua influência na indústria, trabalho, estilos de vida. Se admitirmos que, até mesmo as concepções e dogmas religiosos, visões gênero, raça e etnia tendem a afetar o desenvolvimento da ciência, podemos alegar, sem dúvida, que a ciência é um produto cultural (IBID, pp.38-39).

Entretanto, como ferramenta educacional, as potencialidades da história da ciência vão além da mera aplicação como pano de fundo ou um acessório para engajar os estudantes à aprendizagem. A história é o mecanismo, tanto para o professor, quanto para o estudante pensarem mais profundamente sobre o que a ciência significa.

Desse modo, a fim de envolver os estudantes de maneira ativa à aprendizagem, a associação entre história da ciência e abordagens de ensino por investigação tem se mostrado um caminho bastante propício (ABD-EL-KHALICK et al., 2004; KLASSEN, 2007; METZ; STINNER, 2007; CHANG, 2011; HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012a; ALLCHIN, 2014a).

Contudo, pode parecer uma ideia contraditória, tentar unir história e investigação, pois a finalidade de uma difere significativamente de outra. Enquanto a história tem seu final conhecido, portanto, fechado, a investigação visa ser um procedimento aberto, com múltiplas possibilidades de resultado. De que forma, então, esses dois extremos podem se conciliar?

Como já ressaltado em alguns momentos, nosso propósito em utilizar episódios da história da ciência não reside na apresentação de fatos, datas ou na celebração de grandes “descobertas” ou exaltação do cientista. Mas sim, direcionar os problemas autênticos e perguntas que ocorreram em contextos históricos, contrapondo a visão de “ciência pronta” e fomentando a ideia de “ciência em formação” (LATOURE, 1987).

Ironicamente, a ideia é usar o passado, por meio de aspectos de NdC, para subsidiar o a compreensão de ciência do presente. Mas, para isso, as estratégias ou recursos didáticos devem ser apresentados em uma perspectiva que permita com que ações e pensamentos dos cientistas se façam acessíveis. Os educadores precisam reavivar a sensação do presente, a fim de dar sentido aos eventos no contexto histórico. Pois, analisar a “ciência em formação” do passado é compreender a ciência do presente, que também, encontra-se em construção (ALLCHIN, 2014a, p. 11).

Nesse sentido, a história tem dupla função para a educação em ciências: para o professor/instrutor, fornece uma trajetória investigativa que logrará uma solução conhecida ou atual, logo, provendo uma conclusão estável ao processo de investigação. Para os estudantes, motiva a investigação por meio da problematização com questões históricas autênticas, ilustrar como os cientistas trabalham e possibilitar momentos de reflexão sobre NdC.

4.2. Estratégias e materiais de ensino

A fim de contemplar explicitamente a história da ciência no ensino, esta tese fez uso de recursos didáticos associados a abordagens investigativas, tais como a replicação (física) de experimentos históricos, objetos virtuais de aprendizagem e narrativas históricas.

Experimentos científicos históricos (ou contemporâneos), são, em sua essência, procedimentos de investigação, pois permitem ressaltar aspectos de NdC referentes às competências das práticas e métodos científicos, tais como: o papel da observação e inferência, relevância do controle de variáveis, manipulação de dados, replicação amostral, coleta de interpretação de evidências, proposição de hipóteses, explicações, dúvidas, etc. (HOTTECKE, 2000; CAVICCHI, 2003, 2008; CHANG, 2008; RIBEIRO JUNIOR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012a; KENDIG, 2013; JARDIM; GUERRA, 2017).

Narrativas históricas, por outro lado, são recursos textuais ou verbais, que objetivam narrar eventos ocorridos em um dado momento da história, envolvendo pessoas, lugares e fenômenos⁵⁷ (NORRIS et al., 2005). Entretanto, apesar desse caráter aparentemente descritivo,

⁵⁷ No capítulo metodológico desta tese há uma discussão mais ampla e detalhada sobre o papel das narrativas históricas para o ensino de NdC.

é possível criar um ambiente de investigação, interrompendo a história e adicionando questões de investigação. Seja por meio dos problemas históricos dos cientistas, seja por meio da proposição de novas perguntas.

Assim, uma narrativa histórica deve concentrar-se em eventos históricos chave, oportunizando a inserção de questões de investigação e convidando, instigando e motivando a participação dos estudantes. Com isso, a história se desdobra em uma série de ocasiões de sucesso para a aprendizagem de ciências e sobre NdC (ALLCHIN, 2014a, p. 4).

A interrupção, assim, tem como função principal fomentar um “apetite pela investigação”, não apenas um “apetite narrativo” para conhecer mais sobre a história (ROACH; WANDERSEE, 1995; NORRIS et al., 2005).

Embora o desfecho, as soluções e os resultados conceituais de um episódio histórico possa ser atualmente conhecido, a virtude da narrativa e das questões de interrupção é mostrar que, a partir de uma pergunta de investigação, caminhos variados podem ser seguidos. Nesse sentido, os estudantes podem sugerir outras soluções, distintamente do percurso histórico original, e alcançar resultados similares.

Com relação a esse ponto, alguns cuidados merecem atenção, pois quanto maior o nível de abertura da investigação, maiores as possibilidades de respostas. Isso pode ser um fator desfavorável, pois os estudantes podem se sentir desencorajados se suas respostas não alcançarem uma solução viável ou esperada (ZION; MENDELOVICI, 2012, p. 385).

Para contornar ou evitar esse tipo de contratempo, conhecer o episódio histórico em profundidade é de fundamental importância. Pois, além de definir a trajetória de investigação, elaborar e propor as perguntas, o professor pode cercar e definir os problemas por meio de fronteiras bem delineadas.

Essas barreiras, podem ser o próprio contexto histórico, a investigação é predefinida em seu contexto original; a ciência deve ser apresentada como um processo em construção, logo, a solução é desconhecida e incerta. O instrutor, ou professor, por conhecer a história, pode antecipar algumas das respostas, como uma investigação guiada.

A ideia, assim, é possibilitar que os estudantes experimentem o fazer científico no “lugar de cientistas relevantes do passado”, reconheçam e enfrentem problemas históricos autênticos, em seu contexto original, não apenas se preocupando em conhecer a resposta certa, historicamente significativos e dados originais, abandonando o privilégio de já saber a resposta certa. Quando bem escolhido e desenvolvidos, episódios históricos tem um grande potencial de ressaltar situações problemáticas e, assim, introduzir questões epistêmicas (e não epistêmicas),

sobre como o conhecimento científico é desenvolvido e como (ou porque) ele passa a ser aceito como confiável (ALLCHIN, 2014a, p. 10–12).

Isto posto, a partir dessas estratégias e referenciados pela visão de “Ciência Integral”, a história se configura como recurso versátil, tanto para o ensino de ciências como sobre ciências. Como ferramenta docente, o professor pode identificar concepções prévias dos estudantes, além de acompanhar o processo de aprendizagem de conceitos. De fato, em um cenário histórico, esses três elementos - conteúdo, competências e noções de NdC estão totalmente integrados.

Em suma, o uso da história como arcabouço, em um contexto de ensino e aprendizagem, pode-se conceber a Ciência Integral como uma síntese: ensinando conceitos científicos, simultaneamente estimulando competências e práticas científicas, além de subsidiar a compreensão e reflexão sobre natureza da ciência (ALLCHIN, 2013, p. 39).

Por essas razões, todo este estudo foi estruturado na história da ciência, com o propósito de fomentar e aprimorar a concepção de ciências na formação inicial de professores. O passo inicial, portanto, foi desenvolver uma pesquisa histórica detalhada e aprofundada sobre a temática escolhida. Investimos na literatura original (fontes primárias), em fontes secundárias de historiadores da ciência que se debruçaram sobre os estudos dos naturalistas, bem como em estudos contemporâneos que pudessem complementar, em especial, os conteúdos conceituais.

4.3. Ensino por Investigação

Devido ao caráter polissêmico do termo “investigar” em ensino de ciências, cabe esclarecer de *que* investigação se está argumentando e em quais níveis esse mecanismo (ou abordagem didática) foi enfatizado nas estratégias e recursos didáticos da SD.

Considerou-se apropriado aos desígnios educacionais deste trabalho, a concepção de investigação científica proposta por Adúriz-Bravo, cujo acesso foi facilitado e aprofundado no período de estágio no exterior junto a seu grupo de pesquisa em Buenos Aires⁵⁸.

Segundo o autor, o sentido etimológico da palavra “investigar”, significando “seguir traços” ou de forma mais concreta, “pegadas”, do ponto de vista didático e para o ensino de ciências, pode ser mais frutífero, uma vez que realça o caráter de solução de problemas e de natureza da ciência baseada em evidências. A investigação pode estar intimamente conectada à ideia de evidência: quando se realiza ciência, os cientistas produzem ou obtém, via distintos métodos, elementos que os ‘convencem’ a favor da compreensão do mundo real. A proposição

⁵⁸ Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE-CAPES), estágio sanduíche realizado na Universidade de Buenos Aires, no período de março a setembro de 2017. Fonte financiadora: CAPES

de investigação para a educação científica, portanto, se define como a coleção, estruturação e uso de evidências que suportem uma visão científica de um fenômeno natural (ADÚRIZ-BRAVO, 2015, p. 18)⁵⁹.

Em ambos os episódios históricos apresentados nesta tese se nota, claramente, de que forma novos conceitos de reprodução animal puderam ser construídos. Foi possível identificar os primeiros indícios de uma mudança conceitual frente a um arcabouço teórico já consolidado. Se pôde perceber como as relações entre os naturalistas e a sociedade erudita da época interviam e influenciaram as pesquisas; destacar as dificuldades e o papel da criatividade, imaginação (e paciência) na elaboração e preparação de procedimentos metodológicos, muitos deles, inovadores para a época. Foi possível ver os esforços de outros observadores da natureza que não tiveram o mesmo êxito.

Entretanto, apesar de todos esses elementos históricos narrarem os eventos ocorridos, seriam esses os únicos caminhos para chegar às “descobertas” das reproduções partenogenéticas e por brotamento? Naturalistas anteriores a Bonnet já havia suspeitado da multiplicação sem acasalamento insetos, mas não foram capazes de mostrar o fenômeno empiricamente. A apresentação experimental de tal fato seria o suficiente para aclamar Bonnet como “descobridor”? Quais razões para tanto empenho de Trembley em seus estudos com os diminutos organismos verdes? Teria sido a identificação das hidras um papel do acaso? Quais seriam as consequências para um fracasso do mecanismo de isolamento usado por Bonnet? Todas essas perguntas remetem à retrospectiva histórica, ao processo de investigação e a algum aspecto de natureza da ciência.

Independentemente de tais perguntas serem balizadas pelo roteiro histórico, são indagações abertas, com variadas possibilidades de resposta. Com relação aos propósitos do ensino baseado em investigação, isso motiva os estudantes a raciocinar amplamente. Se por um lado, o descarte dos riscos da responsabilidade de respostas “certas” gera ambientes descontraídos e de maior contribuição a ricas discussões, por outro, a incerteza permite fomentar a compreensão de que o conhecimento científico é uma construção que se apropria de caminhos justificáveis a partir dos recursos disponíveis (ALLCHIN, 2012a, p. 1269).

4.3.1. Os “5E”

Como abordagens investigativa, buscou-se adequar as estratégias e materiais da SD ao modelo instrucional dos “5E” (figura 22).

⁵⁹ A referência mencionada é proveniente de capítulo de livro em desenvolvimento intitulado: *Contributions to the nature of science: Scientific investigation as enquiry, modelling, and argumentation*. A citação foi acrescida com permissão do autor.

Figura 22. Os “5E” das s fases de investigação em ensino de ciências

Fonte: Bybee e colaboradores (2006)

As “fases”, compiladas por Bybee e colaboradores (2006), são diretrizes que visam orientar na preparação de atividades e estratégias de ensino com viés investigativo.

O primeiro “E”, atenta sobre a importância do “engajamento” e motivação dos estudantes. A proposição de um problema ou fenômeno intrigante são formas de envolver os estudantes. Além disso, as atividades devem conectar conhecimentos prévios e expor possíveis concepções equivocadas, a fim de balancear o desequilíbrio cognitivo.

A fase a seguir remete à “exploração” das ideias dos estudantes. Nesse momento é essencial que as atividades subsidiem experiências concretas, oportunizando a formulação de conteúdos conceituais e procedimentais. O professor (instrutor) deve mediar a atividade, permitindo que os alunos tenham tempo e oportunidade para investigar objetos, materiais e situações sobre os fenômenos investigados. Durante a atividade, deve haver momentos para o estabelecimento de experiências para posterior formalização e discussão.

Após o processo de exploração, os estudantes são levados a “explicar”. É a fase de esclarecimento dos conhecimentos, processos e habilidades. Nesse momento, o professor tem um papel maior na intervenção, mediando uma discussão, partindo inicialmente das explicações propostas pelos dos estudantes e avançando em direção às argumentações científicas mais formais.

Se a fase de “explicação” possibilitou uma aprendizagem significativa, os estudantes serão aptos a aplicar ou transferir os conceitos/processos/habilidades. A fase de “elaboração” deve, portanto, fomentar aos estudantes a extensão do que foi discutido em situações similares. Desse modo, é possível identificar se o estudante compreendeu apenas superficialmente durante a experiência exploratória ou se, de fato, ocorreu uma aprendizagem significativa. Além disso, recomenda-se propiciar momentos de interação entre os estudantes, a fim de promover debates do que foi compreendido, bem como receber retorno de outras pessoas próximas ao seu próprio nível de compreensão.

Por fim, apesar de seu uso político pedagógico, a fase de “avaliação” é a chance de estruturar e consolidar o que aprenderam via retorno positivo por parte dos professores. Avaliações informais podem ser conduzidas ao longo de todo o processo de investigação. Porém, ao final, o professor também deve administrar avaliações formais a fim de determinar o nível de compreensão de cada aluno.

Isto posto, a partir do referencial, as estratégias e materiais instrucionais (descritos nas seções seguintes) desenvolvidos para a SD puderam contemplar todas as fases do modelo de investigação. A figura 23 ilustra como algumas das fases se ajustaram às atividades.

Figura 23. Fases de investigação em cada etapa da atividade de replicação física de experimento histórico

Cabe ressaltar, porém, que apesar de o modelo orientar sobre as fases de investigação, nem todas precisam ser contempladas em uma única atividade. A vantagem de se trabalhar com atividades sequenciais é a possibilidade de reforçar e reiterar o aprendizado por meio de novas situações. Isto é, oferecer aos estudantes a chance de “elaborar” e estender o conhecimento adquirido em contextos similares.

Além disso, as SDs possuem como característica distintiva seu papel dual, pois propõem facilitar o processo de ensino e aprendizagem de tópicos específicos, ao mesmo tempo em que se tornam objeto de pesquisa em si (MÉHEUT; PSILLOS, 2004a, p. 515). Em ambas as circunstâncias é possível abordar a fase de “avaliação” - diagnosticar o aprendizado dos estudantes por meio das atividades de ensino, bem como avaliar todo o processo da SD, identificando os aspectos positivos e os pontos que necessitam de revisão e refino.

Nas seções a seguir, serão apresentados os materiais instrucionais da SD, bem como as discussões dos procedimentos subjacentes às abordagens investigativas aplicados.

4.4. Sequências Didáticas

O termo Sequência Didática (SD) tem sido designado como uma estratégia de ensino que é, simultaneamente, objeto de pesquisa de intervenção e um produto educacional. (MÉHEUT; PSILLOS, 2004a, p. 515). Uma característica que distingue as SDs de programas curriculares comuns, é o fato de essa estratégia focar no processo de ensino e aprendizagem de um ou poucos tópicos (conteúdo); por meio de sequências de atividades empiricamente validadas e com duração de poucos dias, tendo previamente estabelecido os objetivos iniciais e finais (PSILLOS; KARIOTOGLOU, 2015, p. 14).

Além disso, há acordo entre pesquisadores em ensino de ciências de que uma SD não deve (ou não deveria) ser concebida por meio de apenas uma tentativa de produção (*one-shot*) (LEACH; SCOTT, 2002; MÉHEUT, 2007; RUTHVEN et al., 2009; WALLIN; WEST, 2013).

O desenvolvimento de uma Sequência Didática demanda de um procedimento iterativo, ou seja, a realização de várias aplicações, por meio de processos cíclicos e progressivos. Desse modo, é possível obter dados empiricamente validados, coletados de contextos reais de ensino, por meio da participação direta de professores e estudantes. O processo de iteração possibilita, identificar, e, assim, readequar possíveis aspectos incongruentes e deficientes da SD. Cada iteração tende a aprimorar os objetivos e contribuir para o refino dos processos ou produtos (atividades). Análise, readequação e avaliação ocorrem durante ou após cada implementação (DIMITRIS PSILLOS; KARIOTOGLOU, 2015, p. 24).

São esses métodos que fornecerão as diretrizes do desenho, do conteúdo e da estrutura de uma SD. À medida que as iterações ocorrem, produtos ou princípios (de *design*) podem ser parcialmente ou mesmo totalmente elaborados. Além disso, a revisão de uma SD, geralmente considera um aspecto elementar: a complexidade do contexto de sala de aula, que, normalmente, não é possível reconhecer durante a preparação inicial da SD (IBID, pp. 26-27).

Ademais, a implementação iterativa de uma SD fornece evidências a fim de produzir não apenas um produto educacional qualificado, mas, também, novos conhecimentos na área da pesquisa em ensino (COUSO, 2014a, p. 53).

Portanto, para a elaboração e validação da SD, buscou-se seguir (parcialmente) os critérios estabelecidos nos trabalhos de Artigue (2002) e Méheut e Psillos (2004), sintetizados no quadro 3.

A construção do primeiro protótipo da SD, assim, foi delineada abordando os critérios da Dimensão Epistemológica: nos interessava investir no ensino de aspectos de NdC, a fim de promover concepções mais adequadas sobre o fazer científico. A gênese do problema, bem como a compreensão dos estudantes, conforme previamente discutido, reside no fato de os

licenciandos possuírem visões distorcidas, fortemente arraigada em ideias empírico-indutivistas da ciência, desconectada do contexto histórico, social, cultural, etc. (FERNÁNDEZ et al., 2002).

Quadro 2. Critérios de elaboração e validação de Sequências Didáticas

Critérios <i>a priori</i>			Critérios <i>a posteriori</i>	
Dimensões			Validação	
Epistemológica	Psicocognitiva	Didática	Interna	Externa ⁶⁰
Conteúdo a serem aprendidos; Problemas a serem solucionados; Gênese histórica	Características cognitivas do estudantes, relacionadas à compreensão do assunto	Restrições institucionais (programas, cronogramas, currículo, carga horária, etc.)	Análise dos efeitos da SD em relação aos objetivos de aprendizagem propostos.	Análise comparativa: testes antes e após para comparação dos efeitos da SD em relação ao ensino tradicional

Fonte: Artigue (2002) e Méheut e Psillos (2004)

Ao propor essa intervenção de ensino, procurou-se ajustar as estratégias e a sequência das aulas ao contexto real, de modo que, tanto o tempo, quanto espaço para aplicação da SD não interferisse no andamento do programa das disciplinas de instrumentação didática.

A validação interna foi conduzida de forma contínua ao longo da aplicação dos protótipos. Cada atividade, discussão, ou material instrucional passou pelo crivo de análises independentes, para identificar aspectos positivos com relação aos objetivos de aprendizagem. Ademais, por meio dos ciclos de iteração, foi possível refinar as inconsistências identificadas e promover melhorias para aplicações futuras.

Por fim, parte da validação (interna) foi impossibilitada de se realizar, devido à escassez de materiais abordando o ensino de NdC no molde “tradicional” desenvolvidos e aplicados com licenciandos em Biologia. Apesar de a comparação ser importante para “mensurar” a qualidade das SDs, frente aos demais métodos comumente utilizados na prática docente (SARMENTO et al., 2013a), a ausência desse tipo de abordagem nos permite reiterar a relevância deste trabalho, ao tentar preencher uma lacuna em um nicho ainda pouco explorado, mas de fundamental necessidade para a formação docente.

4.5. Pesquisa Baseada em Design (DBR)

Ao considerar que a Sequência Didática aqui elaborada tende a ser, tanto produto educacional, quanto objeto de pesquisa em ensino, faz-se necessário elucidar e descrever os métodos utilizados para conduzir, investigar e avaliar o objeto de estudo.

⁶⁰ O autor da tese admite que, devido à ausência de disciplinas e estratégias voltadas ao ensino de Natureza da Ciência para o público-alvo desta tese, não foi possível realizar o critério de validação externa. Isto é, a comparação da SD com as estratégias de ensino tradicionalmente abordadas em salas de aula.

Nos últimos anos, estudos relacionados ao desenvolvimento de SD para o ensino de ciências constataram que a utilização da Pesquisa Baseada em Design ⁶¹ (DBR) tem proporcionado uma conexão eficaz entre pesquisa e prática (DESIGN BASED RESEARCH COLLECTIVE, 2002; LEACH; SCOTT, 2002; GARCÍA-MARTÍNEZ; IZQUIERDO AYMERICH, 2014; DIMITRIS PSILLOS; KARIOTOGLOU, 2015; KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

A Pesquisa Baseada em Design (DBR) é um referencial teórico-metodológico sistemático, porém flexível, que visa orientar a práticas educacionais por meio de ciclo de análises iterativos, desenho, desenvolvimento e implementação. Baseado na inter-relação entre pesquisadores e profissionais de ensino, o DBR deve ser conduzido em contextos reais, com o intuito de produzir princípios de design e propor teorias de ensino e aprendizagem (DESIGN BASED RESEARCH COLLECTIVE, 2002; WANG; HANNAFIN, 2005). O DBR, portanto, constitui-se de:

Desenhar objetos de pesquisa contemplando a idealização e desenvolvimento de uma intervenção didática, tais como; programas, estratégias de ensino-aprendizagem e materiais instrucionais, produtos e sistemas, visando alcançar soluções para um problema educacional complexo. Desse modo, a partir das análises, almeja-se avançar no conhecimento sobre as características específicas referentes ao desenvolvimento dessas intervenções e dos critérios que favoreceram o processo de aprendizagem, gerando, ao final, conceitos e teorias (AKKER et al., 2013, p. 15).

Desse modo, para o desenvolvimento de um recurso estruturado por meio do DBR, sugere-se contemplar os critérios (DESIGN BASED RESEARCH COLLECTIVE, 2002, p. 5; WANG; HANNAFIN, 2005):

- 1) O objetivo elementar deve ser a elaboração de materiais ou ambientes de aprendizagem e a proposição de [conceitos ou] “prototeorias” [novos conhecimentos] que conduzam a melhorias no processo de ensino e aprendizagem;
- 2) Tanto o desenvolvimento do recurso didático, quanto a pesquisa em si, devem ser conduzidas por meio de ciclos contínuos de projeto (ciclos de prototipagem), execução, análise, redesenho e refino;
- 3) A pesquisa deve levar à proposição de conceitos, ou em maior nível, a teorias que permitam partilhar características relevantes para futuros profissionais e projetistas educacionais;

⁶¹ Alguns autores diferenciam entre *Design Based Research* (DBR) ou *Educational Design Research*. No entanto, apesar da terminologia, todos compartilham características equivalentes.

- 4) Além disso, a pesquisa deve descrever e elucidar como os desenhos propostos funcionam (ou não) em ambientes autênticos e reais de aprendizagem. A ideia é focar nas interações que aprimorem a compreensão sobre os mecanismos de aprendizagem, não somente documentar o sucesso ou fracasso do produto final.
- 5) Proposição e elaboração de *princípios de design*, isto é, características sensíveis ao contexto e de importância prática para, tanto para o material em si, quanto para extensão a outros projetos e professores.

A despeito da relevância particular de cada etapa, no tocante ao último ponto, os princípios de design, são os elementos mais sensíveis do desenvolvimento de estudos por meio do DBR.

Pois, a meta é abordar problemas complexos em contextos reais em colaboração com profissionais; integrar e identificar princípios de design hipotéticos intentando oferecer soluções plausíveis para tais problemas; bem como e conduzir uma pesquisa rigorosa e reflexiva, para testar e refinar ambientes, recursos e estratégias de aprendizagem inovadoras, e, por fim, definir novos princípios de design (AMIEL; REEVES, 2008, p. 34).

Assim, cabe esclarecer com mais detalhes o que são e como obter os princípios de design a partir do referencial teórico metodológico do DBR.

O processo de desenvolvimento cíclico e iterativo do DBR almeja projetar intervenções viáveis e eficazes, ao analisar cuidadosamente as sucessivas versões (ou protótipos) em contextos específicos. Assim, a partir do processo de análise e reflexão, é possível extrair ou propor princípios de design, com o propósito de produzir intervenções inovadoras e bem adequadas à prática educacional.

Desse modo, a fim de conjecturar os princípios de design, van den Akker (1999), propôs o seguinte formato:

“Se você quer projetar uma (intervenção de design X) para o (propósito ou função Y) no (contexto Z), devido aos (argumentos P, Q) é aconselhado que...[‘**princípios de design**’]”

A partir dessa proposta, os objetivos da SD foram propostos o modelo configurado no quadro 3.

Quadro 3. Modelo DBR para elaboração de princípios de design da SD

Variáveis	Componentes
Intervenção X	SD que conjuga episódios da história da biologia e ensino por investigação
Propósito ou função Y1	Promover concepções adequadas de aspectos da Natureza da Ciência
Propósito ou função Y2	Desenvolver estratégias de ensino-aprendizagem contextualizadas e centradas nos estudantes (licenciandos) como agentes participantes ativos
Contexto Z	Disciplinas voltadas à formação inicial de professores de Biologia
Argumento P	Necessidade de promover uma compreensão significativa sobre ciências

Argumento Q	Importância de propor estratégias alternativas para o ensino de NdC reprodução assexual animal.
--------------------	---

Fonte: (AKKER, 1999; AKKER et al., 2007; SARMENTO et al., 2013b)

Assim, como rege o referencial da pesquisa em design, tendo sido conduzidas iterações, o pesquisador ou grupo de pesquisa, baseado nas análises dos dados, pode concluir que, se os "resultados obtidos" estiverem próximos dos "resultados pretendidos", existe uma boa margem de confiança acerca da eficácia dos princípios de design, ao menos, *in loco*. Além disso, os princípios de design podem ter sua eficiência expandida, a depender da quantidade de iterações conduzidas, ou seja, se tiverem sido validados por meio de intervenções bem-sucedidas, em contextos similares e com número maior de participantes (AKKER et al., 2013, p. 33–34).

Todavia, seja pesquisa, seja desenvolvimento de produto, a credibilidade do referencial DBR se ampara em preceitos consolidados nas investigações em ensino, a saber: a pesquisa baseada em design, em geral, se apropria de métodos variados para coleta de informação; o processo de iteração tende a produzir volumes significativos de dados de feedback; a análise em contextos reais de ensino (salas de aula), pode ser considerada um mecanismo de validação, pois fornece evidências obtidas diretamente de professores, alunos, grupo de design durante a implementação; a possibilidade de estender a inovação projetada. Com relação ao último aspecto, é mais conveniente discutir à luz de uma pesquisa transferível, ou seja, a capacidade de aplicar os resultados alcançados (princípios de design) de um contexto para outro similar (JUUTI; LAVONEN; MEISALO, 2016, p. 43).

A meta última da Pesquisa Baseada em Design, portanto, é construir uma estreita conexão entre uma pesquisa no âmbito educacional e os problemas relacionados ao processo de ensino e aprendizagem apresentados em contextos reais. Como metodologia de pesquisa em ensino, a particularidade do processo de iterativo [de protótipos] que visa avaliar um produto ou uma intervenção, mas preocupa-se em refinar sistematicamente o objeto e pesquisa, ao mesmo tempo em que produz princípios de design [elementos conceituais e teóricos], a fim de orientar estudos e propostas semelhantes (AMIEL; REEVES, 2008).

Diante do exposto, das referências analisadas, das qualidades inerentes ao DBR e sua compatibilidade com Sequências Didáticas, nos pareceu oportuno fundamentar o desenvolvimento da nossa intervenção por meio dessa proposta metodológica, pois, ademais de oferecermos um produto a ser utilizado e estendido a contextos de formação inicial de professores, buscou-se compreender e identificar as características (princípios de design) concernentes à eficiência de dita intervenção.

CAPÍTULO 5. Desenvolvimento das estratégias e recursos

5.1. Planejamento e construção da Replicação “física” de experimento histórico

Ademais das narrativas históricas, outra estratégia utilizada para abordar história da ciência no ensino é por meio da replicação de experimentos históricos. Ou seja, revisitar observações e/ou experiências conduzidas por cientistas do passado que, de alguma forma, contribuíram para o avanço de conhecimentos científicos.

Segundo Hasok Chang (2011, p. 320–321) a tipologia dos experimentos históricos é definida de acordo com os objetivos propostos:

Replicação *histórica* – quando se pretende desenvolver o experimento em contextos mais próximos do original quanto, possível. Contudo, tanto historiadores, quanto educadores estão cientes dos limites que essa prática implica. Pois há diversos elementos que interferem na replicação histórica exata, como a estabilidade semântica, termos linguísticos que sofreram alterações e traduções. Nem sempre se consegue combinar com exatidão os instrumentos e métodos antigos descritos nos documentos históricos. Além disso, mesmo que haja preservação de materiais e instrumentos utilizados, é impraticável recriar com fidedignidade absoluta o ambiente no qual os cientistas do passado trabalhavam.

Replicação por *extensão* – apesar de não ser considerado, especificamente, um tipo de replicação, o termo remete à ideia de que novos conhecimentos podem ser gerados a partir do fenômeno observado. Essa questão reside na curiosidade natural de intervenção da natureza em buscar entender o que aconteceria se....? Isto é, novas perguntas e dúvidas sempre podem surgir de um procedimento experimental, seja ele histórico, seja uma variação de experimento atual.

Replicação *física* – nesse caso, detalhes fiéis ao experimento original são secundários, pois o que, de fato, importa, é a caracterização do fenômeno observado, não a replicação exata, no senso histórico. Para esse tipo de replicação, permite-se usar quaisquer instrumentos e procedimentos convenientes que auxiliem na recriação do fenômeno investigado. Todavia, a replicação física não é uma versão inferior da replicação histórica; são apenas estratégias com metas distintas.

Enquanto a replicação histórica constitui essencialmente um meio de pesquisa do historiador da ciência e a replicação por extensão interessa ao cientista, a replicação física é a mais recomendável para o ambiente escolar. Assim, os protótipos de replicação desenvolvidos para a SD desta tese configuram-se como replicação “física” de experimento histórico, em que

o “roteiro” experimental se baseou em um conhecimento do passado, mas os instrumentos e materiais foram adaptados por recursos modernos.

5.1.1. Replicação de experimento histórico, investigação e NdC

Com o intuito de desenvolver concepções fundamentadas sobre a natureza da ciência e subsidiar habilidades de investigação científica, a estratégia de replicação de experimentos históricos tem se apresentado como um recurso bastante oportuno (CAVICCHI, 2008; KENDIG, 2013).

Ao optar pela realização da replicação física de experimento histórico, foi possível explorar os conteúdos conceituais de reprodução assexual em hidras (brotamento) e, simultaneamente, abordar aspectos de NdC ligados as práticas/habilidades científicas e abordar as fases de investigação no ensino de ciências (quadro 4).

Para contemplar as fases de investigação e os aspectos de NdC, a atividade da replicação histórica seguiu as diretrizes de uma “investigação guiada”. Ou seja, a pergunta de investigação é fornecida e orientada pelo instrutor, mas a coordenação de coleta, manipulação e interpretação de dados, exploração, experimentação, comunicação e discussão ficam a cargo dos estudantes (HODSON, 2014b, p. 2536).

Quadro 4. Fases do processo de ensino por investigação e aspectos de NdC abordados em cada etapa.

		Fases	Definição	Aspectos de NdC
Discussão	Comunicação e reflexão	Orientação	<ul style="list-style-type: none"> • Inserção do problema • Engajamento à curiosidade 	Motivações para fazer ciência
		Conceitualização	<ul style="list-style-type: none"> • Envolvimento às hipóteses/questões baseadas em teoria 	Observação carregada de teoria
		Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> • Concluir, comparar e inferir a partir de hipóteses 	Observação e inferência Imaginação e criatividade
		Discussão	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de resultados • Comunicando com os pares • Controle do processo de aprendizagem • Atividades reflexivas 	Colaboração entre cientistas Revisão por pares

Fonte: Pedaste e colaboradores (2015, p. 56).

A orientação aos alunos foi organizada em comandas contendo instruções sobre os itens a serem considerados na atividade:

- ✓ Ideias/métodos de observação
- ✓ Proposição de hipóteses e/ou explicações do fenômeno
- ✓ Elaboração de desenho experimental
- ✓ Métodos de comunicação, divulgação e persuasão de resultados

Com base nas evidências levantadas para responder ao problema, os estudantes podem compreender, via experiência autêntica, as etapas de investigação, como se organizam e interpretam dados a fim de suportar um dado conhecimento científico (ALLCHIN; ANDERSEN; NIELSEN, 2014, p. 465).

Além disso, como elemento metodológico, a investigação guiada por meio de um episódio histórico, também beneficia a abordagem “explícita e reflexiva” para o ensino de NdC (KHISHFE; ABD-EL-KHALICK, 2002; NUR; FITNAT, 2015; PAVEZ et al., 2016). Desse modo, a investigação guiada na SD desta tese foi “explícita”, porque intencionalmente declarou, nas instruções da atividade, quais aspectos se almejou abordar e discutir, como, por exemplo, o papel da teoria na interpretação de uma observação. Foi também “reflexiva”, porque concedeu aos estudantes a oportunidade de analisar e discutir as respostas à luz de perspectivas distintas e complementares: os conhecimentos prévios, conteúdo científico e de natureza da ciência (KHISHFE; ABD-EL-KHALICK, 2002, p. 555).

Por esses meios, os referenciais teóricos e metodológicos utilizados no desenvolvimento da SD favoreceram a produção de um recurso em consonância com os propósitos educacionais contemporâneos (DUSCHL; GRANDY, 2013).

Estes propósitos são expressos pelo investir na elaboração de propostas de ensino ativas e centradas no estudante, tendo o professor como mediador de conhecimento (ARMBRUSTER et al., 2009a; CONNELL; DONOVAN; CHAMBERS, 2016). Ao desenvolver recursos e estratégias que correlacionem todas as dimensões do fazer científico, isto é, os aspectos históricos, filosóficos, sociais, políticos, culturais e da prática científica, é possível explorar tais propósitos (DAGHER; ERDURAN, 2016).

Como meta da educação científica, o intuito é subsidiar uma compreensão informada de ciências, para formar estudantes e cidadãos capazes de participar de maneira responsável na tomada de decisões pessoais e coletivas sobre questões cotidianas que guardam algum tipo de relação com as ciências (ALLCHIN, 2014b, p. 17).

5.1.2. Dos recursos instrumentais e materiais da replicação

Apesar de a replicação física admitir a utilização de recursos alternativos, optou-se por fornecer materiais relativamente simples e ou de baixo custo (à exceção dos microscópios). Além disso, em ambas as replicações, foi enfatizado que, apesar da “simplicidade” instrumental, o naturalista conseguiu conduzir pesquisas sérias, obtendo resultados relevantes, dando destaque aos aspectos históricos da experimentação.

Os materiais e instrumentos disponibilizados para a atividade de replicação física, fornecidos pelo doutorando, foram compostos por:

- ✓ Microscópio óptico monocular - aumento máximo 400X
- ✓ Lupa de mão – aumento máximo 8X
- ✓ Pipeta plástica descartável
- ✓ Placa de Petri descartável
- ✓ Estilete
- ✓ Tesoura
- ✓ Pinça de metal

Além dos materiais, os organismos utilizados na atividade de replicação foram obtidos e cultivados pelo doutorando, conforme descrito no item a seguir.

Pólipos de água doce (ou hidras): cultivo e manutenção

Os organismos utilizados na replicação são representantes da mesma espécie inicialmente identificada pelo naturalista Trembley, no século XVIII – hidras verdes, da espécie *Chlorohydra viridisima* (figura 24).

As hidras, os mais representativos Cnidaria de água doce, são organismos comuns em corpos de água doce de todos os continentes, exceto na Antártida. A espécie, em geral, possui entre 2 e 3mm de comprimento. Sua aparência verde é devido à relação simbiótica com a alga verde *Chlorella vulgaris*. São organismos estritamente carnívoros, com alimentação baseada em pequenos crustáceos (cladóceros e copépodes), além de larvas de insetos e anelídeos. Sua forma de reprodução mais comum é por meio de brotamento assexuado (MASSARO; ROCHA, 2008).

Figura 24. Exemplar de *Hydra viridissima*.

Fonte wikipedia

A estrutura anatômica das hidras é constituída por tubo digestivo terminado no pólo oral pela abertura da boca/ânus rodeada por um anel composto por tentáculos, e no pólo aboral por um disco basal. A biologia celular de um único espécime possui de 50.000 a 100.000 células,

povoada por células-tronco de origem epitelial intersticial, ectodérmica e epitelial endodérmica (TOMCZYK et al., 2015).

Esses organismos, em geral, são encontrados em ambientes de água doce com baixa agitação e baixo índice de contaminação, tais como, pequenos lagos, lagoas. Apesar de sua ampla distribuição ecológica, não foi possível encontrar espécimes ao longo das explorações prévias. Portanto, os primeiros organismos obtidos foram provenientes de doação.

Inicialmente, recebemos nove organismos (dos quais quatro morreram), doados pelo Prof. Dr. André Carrara Morandini, do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências da USP e professor da disciplina Zoologia de Invertebrados. Os organismos doados foram isolados, a fim de propiciar a reprodução e aumentar o número de indivíduos para a realização da prática.

O cultivo e manutenção desses organismos é relativamente simples e não apresenta muitas dificuldades. O ambiente foi composto por um aquário do tipo beteira, contendo 600 ml de água mineral filtrada, algas e microrganismos (Cladocera *Ceriodaphnia silvestrii*) como fonte de alimento para as hidras, obtidos junto ao Laboratório de Zoologia de Invertebrados da USP.

O sistema foi mantido a temperatura entre 18 e 22 °C, por um fotoperíodo de 12 horas luz e 12 horas no escuro, por meio de uma lâmpada fluorescente de 10w (800 lux) (MASSARO; ROCHA, 2008). Após 78 dias, tempo entre a coleta e a aula da atividade de replicação, a taxa de crescimento dos espécimes ocorreu segundo o gráfico 1.

Ao final da primeira iteração, em setembro de 2015, o autor tentou manter o cultivo dos espécimes, mas os poucos restantes não sobreviveram. É difícil afirmar um motivo, talvez tenha havido algum tipo de contaminação, excesso de luminosidade, calor, estresse hídrico. Desse modo, foi necessário obter novos organismos para a realização da segunda iteração da SD que ocorreria no ano seguinte.

Devido à escassez desses organismos no laboratório do departamento de Zoologia, o técnico responsável sugeriu a captura e coleta das hidras nos espelhos d'água do próprio Instituto de Biociências da USP. Para esse procedimento foram utilizadas duas placas de vidro transparente (60cm X 25cm) que serviram como armadilha. Uma delas foi mergulhada parcialmente em um dos fossos do edifício conhecido como “Sobre as Ondas”, Departamento de Botânica. A outra, em um pequeno lago artificial, localizado nos fundos do prédio André Dreyfus, também no IB.

Gráfico 1. Taxa de crescimento populacional dos espécimes de hidra verde durante o tempo de cultivo, do dia 28 de maio ao dia 09 de agosto de 2015. Após quase 80 dias, os organismos atingiram uma população de aproximadamente 30 indivíduos.

Depois de 15 dias, o doutorando (no papel do naturalista Trembley), munido com uma lâmina de micrótomo (mas poderia ser qualquer lâmina fina) e recipientes transparentes para coleta, fez a raspagem do material orgânico aderido às placas. Um dia após, apenas o recipiente cuja amostra foi obtida do lago do prédio André Dreyfus continha espécimes de hidras verde. Devido à expressiva quantidade de espécimes coletados, foi desnecessário o controle do número de indivíduos no sistema artificial, sendo mantido, somente, a manutenção de troca de água e fonte de alimento. De fato, foi necessária a remoção e devolução aos lagos, de organismos dos aquários, a cada semana, dada a alta taxa de reprodução.

5.1.3. Construção da Narrativa Histórica

Após a elaboração dos textos históricos, deu-se início ao processo de “recontextualização”, ou seja, adaptação do conteúdo obtido na pesquisa histórica aos propósitos educacionais, conforme será discutido em mais detalhe na próxima seção.

Dentre as possibilidades, optou-se neste estudo, pela elaboração de narrativas históricas - ou “histórias científicas” (ADÚRIZ-BRAVO, 2011), ou ainda, “estudos de caso históricos” (ALLCHIN, 2013).

No que tange à definição, pode-se dizer em amplo senso que uma narrativa seria “algo que pretende contar uma história, seja qual for o gênero” ou “o ato de contar a alguém, algo que ocorreu” (JAHN 2001 & HERRENSTEIN-SMITH 1981 *apud* METZ et al. 2007, p. 315).

No entanto, a elaboração de uma narrativa requer certa diligência, em especial aquelas que visam alcançar objetivos educacionais. Norris e colaboradores sugerem pontos essenciais

a serem seguidos. Eles serviram como orientação para o desenvolvimento das narrativas desta tese, a saber:

- ✓ “Eventos-chave” - são ocorrências particulares que cobrem atores particulares em um lugar e momento específico; em geral estão cronologicamente relacionados, e envolvem temas/assuntos que são unificados e interconectados.
- ✓ “Narrador” - é o responsável por conduzir a narrativa; é quem determina o ponto e propósito da história; é quem irá selecionar a sequência de eventos de forma que se ajustem ao todo de forma significativa e compreensível.
- ✓ “Tempo passado” - se refere ao tempo dos eventos já ocorridos da narrativa. Todavia, é permitido manipulação do tempo, se necessário, tanto em forma de linguagem quanto dos eventos.
- ✓ “Leitor (ou ouvinte)” - é quem irá interpretar o texto como uma narrativa, em geral, abordando-a com certa expectativa e antecipações apropriadas. (NORRIS et al., 2005, p. 545)

Além desses fatores, há outros propostos por outros autores que, combinados, auxiliaram a aprimorar e enriquecer o recurso, tais como:

- ✓ “Apetite pela narrativa” - o desejo criado nos leitores (ou ouvintes) de querer saber mais sobre o que irá acontecer; baseado em diversas possibilidades, permitindo-os criar possibilidades de antecipações e gerando suspense (METZ, 2007).
- ✓ “Estrutura” – Narrativas, em geral, seguem um padrão de “recontagem de eventos” (van PEER; CHATMAN, 2001 apud NORRIS, 2005) estruturados em dado tempo. Essa associação, todavia, não necessita ser ordenada e inflexível. Em prol de criar um ambiente de maior envolvimento com o leitor, permite-se que o narrador manipule a ordem e duração dos eventos, utilizando de estratégias como: recapitulações, avanços; antecipações, e afins. Portanto, normalmente, boas narrativas começam com desequilíbrios, cujos protagonistas tentam reajustar. Em geral, essas tentativas levam a mais complicações, apresentam os contratempos, as crises geradas e, por fim, podem alcançar sucesso ou insucesso.

Além disso, outras possibilidades como os “espaços em branco” ou incógnitas, são características que visam auxiliar a mobilização e/ou imaginação de leitores, favorecendo a oportunidade de múltiplas interpretações e mantendo o interesse pela história (ISER, 1980 *apud* NORRIS 2005).

- ✓ “Caracteres ou personagens” – apesar de ser possível admitir que uma história possa ser contada pela ação de seus eventos, por exemplo, a história do sistema solar ou da evolução biológica, alguns autores (COHEN; SHIRES 1988; MCEWAN; EGAN 1995 *apud* NORRIS 2005) salientam que a presença de atores e/ou personagens (fictícios ou não) almeja a introdução de elementos éticos, aproximação e humanização em uma narrativa, uma vez que os personagens são responsáveis pelos efeitos de suas próprias ações.
- ✓ “Propósito” – esse é um fator relevante, pois pode-se pensar, em um primeiro momento, que o objetivo de uma narrativa seja simplesmente entreter ou divertir o leitor. Contudo, seu papel pode ser um pouco mais significativo, a saber: uma narrativa pode “fomentar a compreensão do mundo natural e do mundo humano”; “acomodar algo que é novo dentro daquilo que nos é familiar”; “histórias permitem carrear a imaginação e a sensação de experiência de outros”; “narrativas possuem uma forte dimensão retórica, propondo-se a transmitir conhecimentos, sentimentos e valores e crenças” (TILLEY, 1992; WITHERALL’S, 1995; PHELEN, 1996; *apud* NORRIS, 2005, p. 543). Assim sendo, se apropriadamente elaborada, narrativas podem incluir elementos que humanizam a história, questões éticas, sociológicas, filosóficas e políticas, cujos aspectos tendem a aumentar o interesse e motivação do leitor (METZ, 2007).

Cabe destacar, também, que os elementos acima não se configuram como *diretrizes obrigatórias* para o desenvolvimento de uma narrativa, mas sim, como guias, que visam auxiliar a estruturá-la.

Narrativas históricas: do texto de história da ciência à recontextualização

Na presente seção, serão apontadas as características que nos possibilitaram realizar a “recontextualização” dos resultados da pesquisa histórica para os propósitos educacionais.

Como anteriormente exposto, os capítulos históricos desta tese são frutos de uma pesquisa detalhada que buscou seguir rigor metodológico da área de história da ciência, baseado em fontes primárias e secundárias relevantes ao tema abordado. A despeito do cuidado metodológico e da acurácia durante as buscas por informações originárias de fontes confiáveis, há de se reconhecer que alcançar a plena “objetividade” é utopia.

Do mesmo modo que qualquer outro profissional envolvido com a ciência, o trabalho de um historiador da ciência, não está imune às suas crenças e/ou *background* de conhecimentos. Seja de forma implícita ou, até mesmo, explícita, qualquer narrativa histórica espelha as concepções pessoais de seu autor. (KRAGH, 1987; CANGUILHEN, 1997; MARTINS, 2005).

Portanto, deve-se manter uma certa vigilância, a fim de se evitar com que as concepções particulares sejam expressas durante a construção de narrativas, revelando juízos de valor, tecendo comentários pessoais, e assim, comprometendo a visão de ciência e seus processos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 36).

Isto posto, a questão que demandou mais atenção e cautela, foi entender de que maneira a “história” poderia ser contada a distintas audiências, sem perder a sua essência e originalidade. Sabe-se das dificuldades existente para levar à sala de aula, especialmente do ensino básico, o conhecimento acadêmico produzido referente à história e filosofia da ciência (ou epistemologia, de onde provêm, originalmente, as discussões de NdC). O conhecimento acadêmico invariavelmente se transforma, ao cruzar os contextos de produção original para o campo da educação científica (KROGH; NIELSEN, 2013, p. 2).

Esse fenômeno de transformação foi definido por Yves Chevallard como “Transposição Didática”. Durante o percurso de “didatização”, o saber escolar passa por um processo de “descontemporalização”, desvinculando-se de seu momento histórico; “descontextualização”, pelo qual é exilado do contexto no qual foi produzido; e “despersonalização”, que, após compartilhado e divulgado, perde seu produtor (ou produtores), ideia essa que se agrega ao processo de produção social do conhecimento. (MARANDINO, 2004).

Por outra via, a chamada “recontextualização” proposta por Basil Bernstein (1996; LEITE, 2004), constitui na manipulação de um conhecimento científico, partindo de sua própria gênese e adaptando-o aos espaços escolares.

Como escapa da descontextualização da transposição didática, o conceito de recontextualização parece mais adequado para o tratamento de episódios da história da ciência, uma vez que extraída de seu contexto, perde sua própria identidade.

Ao considerarmos, que a dinâmica da recontextualização é pertinente ao processo de construção dos saberes educacionais, coube investigar os mecanismos que favoreceram a reelaboração dos episódios históricos, tornando-os adequados para o ensino *de* ciências e *sobre* ciências.

Narrativas históricas, história e investigação

Como previamente ressaltado, os objetivos principais deste estudo foram os de utilizar episódios da história da biologia a fim de facilitar a aprendizagem de conhecimentos científicos atuais e promover concepções informadas sobre como a ciência funciona. O público alvo selecionado foi o de professores de biologia em formação.

Em outras palavras, o conteúdo histórico foi abordado como tendo uma função instrumental, de estratégia metodológica mais do que inclusão de conteúdo histórico em si. Este não constituiu objetivo substancial da proposta de aprendizagem, mas sim, agiu como um veículo a conduzir a compreensão dos aspectos que estão, “implícitos” em seu enredo (ADÚRIZ-BRAVO, 2008).

Mesmo assumindo a perspectiva instrumental sobre o episódio histórico, persistiu o desafio de saber como realizar a manipulação didática do passado sem que houvesse perda da acuidade histórica. Ou seja, como ajustar a história da ciência em um “conto” ou “caso” histórico (KLASSEN, 2007, p. 337).

A fim de garantir acurácia histórica, e evitar a pseudo-história, deve-se posicionar a narrativa em seu contexto original, fazendo “justiça às fontes originais e interpretação histórica”, pois a história, quando bem introduzida, permite apresentar o “fator humanização do processo científico” (*Ibid.* p.339). Além disso, são consentidos certo grau de flexibilidade narrativa e licença poética. Porém, é indispensável que os detalhes imaginados sejam “consistentes com o registro histórico original” (KLASSEN, 2007; ADÚRIZ-BRAVO, 2011).

Essas características, além de motivarem os estudantes, podem ilustrar quem são os cientistas e como eles conduzem seus trabalhos, de modo distinto daqueles ambientes estereotipados, comumente apresentados em anedotas históricas (PUJALTE et al., 2014b). Do mesmo modo, é importante ter cautela e evitar utilizar a história como mero cenário, enfeite, ou como uma lista de eventos cronologicamente ordenados, como uma “crônica” (NORRIS et al., 2005, p. 538).

Assim sendo, procurou-se retratar os estudos de Bonnet e Trembley como oportunidades para viabilizar um ensino “recontextualizado” da ciência, buscando oferecer uma visão panorâmica, histórica, da construção do conhecimento científico, para além dos conteúdos conceituais.

Oferece-se, com esse tipo de narrativa, a chance de os futuros professores (e por consequência, seus estudantes) compreenderem a ciência como sendo flexível, mutável, humanizada, determinada ou dependente de teorias, e, ao mesmo tempo, um empreendimento coletivo, colaborativo, bem estruturado e com capacidade de predição de fenômenos e confiável.

Dessa forma, episódios da história da biologia cuidadosamente escolhidos e bem preparados podem proporcionar a introdução de situações-problema que permitem abordar questões epistêmicas, em particular, aquelas relacionadas ao desenvolvimento do conhecimento científico e como ele vem a ser aceito como confiável pela comunidade científica (ALLCHIN, 2013, p. 20).

De que maneira, entretanto, as questões epistêmicas, situações problemas e aspectos da natureza da ciência podem ganhar “destaque” nas narrativas históricas? Que características a história necessita para ir além do fator motivacional e se configurar como um objeto significativo de aprendizagem?

Apesar de haver algum dissenso, há uma quantidade expressiva de trabalhos na literatura especializada em ensino de ciências evidenciando que a conjunção da história da ciência com estratégias baseadas em investigação pode promover resultados significativos à aprendizagem de NdC. (BYBEE; POWELL; ELLIS, 1991; MATTHEWS, 1994; MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998; CAVICCHI, 2003, 2008; MCCOMAS, 2008; RUDGE; HOWE, 2009; ALLCHIN, 2012a; TOLVANEN et al., 2014; ADÚRIZ-BRAVO, 2015).

Desse modo, se faz relevante discutir as diretrizes utilizadas como referencial às estratégias baseadas em investigação.

Narrativas históricas: interrompendo e indagando a história

Aulas que tratam de episódios históricos partilham uma característica comum às aulas tradicionais, expositivas, de ciências. Nos dois casos, o professor conhece o desfecho, conhece a formulação do conceito ou teoria que tem a intenção de ensinar. Nos dois casos, esse conhecimento sobre o ponto de chegada, bem como sobre o percurso dos eventos, confere segurança a quem está conduzindo a aula (ALLCHIN, 2014a, p. 13).

O mesmo não ocorre no ensino por investigação. Lançando questões para os estudantes, o professor terá que estar preparado para lidar com o imprevisto e com aspectos levantados pelos alunos que ele pode não ter parado para pensar antes. Sob uma perspectiva investigativa, o professor não apresenta o conhecimento “pronto”, acabado, e do qual já se conhecem todos os seus elementos contextuais. Mas como é possível então, ensinar episódios históricos de modo investigativo? Como provocar e instrumentalizar os estudantes a procurarem eles próprios definirem os caminhos investigativos para resolver uma dada questão, se o episódio histórico já contém essas respostas? Douglas Allchin discute isso em termos de uma tensão entre a história conhecida do que chegou ao conhecimento atual e as questões abertas aos alunos para que proponham modos de respondê-las.

Para explorar essa tensão, entre a questão aberta de investigação e a sua solução historicamente dada, Allchin propõe que as narrativas históricas sejam interrompidas pelo que ele denominou *think questions*, “paradas para pensar”.

Tal tipo de interrupção nas narrativas históricas já haviam sido discutidas por outros autores, como, por exemplo, Don Metz (2007, p. 6). Metz propôs quebrar, interromper

momentaneamente a história por meio de pequenas vinhetas (questões abertas), de modo a criar um ambiente para que os estudantes desenvolvam competências, por exemplo, de realizar inferências e predições.

É importante destacar também que ao problematizar a narrativa, mostra-se uma história que não é linearmente reconstruída. Os estudantes podem lidar com a situação-problema baseando-se em suas próprias ideias, ou seja, investigando por si mesmos (ALLCHIN, 2014a).

Ao permear a narrativa com questões-problema, a ideia é permitir que os estudantes contemplem o contexto das “descobertas” não como um passo-a-passo, mas como um enredo com possibilidades distintas para alcançar os resultados. Lançando uma pergunta metacientífica em meio à narrativa, o professor concede tempo para que os estudantes, em grupo, proponham respostas e em seguida, coletivamente, discutam as perspectivas metodológicas que cada tipo de resposta poderia abrir para a pesquisa em curso, que limitações técnicas poderia enfrentar, etc.

Em geral, são apontadas soluções que se aproximam daquela que foi efetivamente adotada no episódio histórico. Mesmo que nada parecido seja aventado pelos alunos, após esgotada a discussão sobre as perspectivas teóricas e metodológicas de cada solução aventada nos grupos, o professor, enfim, revela qual foi o desfecho histórico. Só então retoma a narrativa até a próxima parada para pensar. A figura 25 é uma representação esquemática de Douglas Allchin para esse processo.

Figura 25. Representação esquemática de trecho de um episódio histórico. Os pontos pretos representam as perguntas. As setas ilustram as possibilidades de resposta. A linha vermelha representa a trajetória do percurso original, as respostas que foram historicamente propostas pelo investigador e aceitas pela comunidade científica.

Fonte: Allchin (2014)

A despeito dos debates filosóficos acerca da posição das perguntas no processo da produção do conhecimento científico, é incontestável assumir a relevância do seu papel

(BUNGE, 2016, p. 25). Ao admitir que as perguntas também são condutoras da dinâmica da atividade científica ao longo da história, a proposição de estratégias que auxiliem os estudantes a refletirem sobre tal ponto parece viável e pertinente (MÁRQUEZ; ROCA, 2006, p. 64).

Desse modo, a inclusão de métodos que envolvem perguntas e investigação vem ganhando bastante espaço no ensino de ciências (DODDS, 2010; KAWALKAR; VIJAPURKAR, 2011; ZION; MENDELOVICI, 2012; VALE, 2013; COUSO, 2014b).

Contudo, a proposição de perguntas deve estar de acordo com os objetivos traçados, e no caso da presente pesquisa, com os propósitos de investigação provocados pelas narrativas. A fim de fomentar momentos de discussão explícita e reflexão acerca de elementos de NdC, as questões das “paradas para pensar” das narrativas históricas desenvolvidas nesta tese foram elaboradas segundo os princípios norteadores as características descritas no quadro 5.

Quadro 5. Características e princípios para a elaboração de perguntas de investigação

Grau de abertura	<i>Pergunta aberta</i> – tem como característica a motivação do estudante, a busca pela informação e a reelaboração de ideias próprias. Em geral possui múltiplas respostas e pode promover a ‘produção’ de conhecimento e a aquisição de pensamento criativo.
Objetivo da pergunta	<i>Pessoal e/ou conceitual</i> – perguntas do tipo “O que você acha/pensa sobre [...]?” , em geral, centram-se no conhecimento pessoal, favorecendo a aprendizagem, uma vez que se permite contestar com conhecimentos-prévios e a ideia “correta”. Por outro lado, questões: “Como/o que acontece...” mobilizam conhecimentos conceituais diretos, a resposta “correta”.
Necessidade contextual	<i>Contexto histórico/cotidiano/sócio-científico</i> - A inserção de uma pergunta em um contexto auxilia ao estudante a situar o problema para além do fator avaliação/teste. Um contexto bem delineado pode servir como elemento motivador e incentivador à comunicação de respostas mais elaboradas.
Indícios teóricos ou conceituais	É ideal que a pergunta conduza minimamente o nível de resposta desejada. Para isso é importante remeter ao marco teórico que se pretenda alcançar, a fim de evitar respostas variadas, ainda que não necessariamente errôneas.
Clareza	A pergunta deve ser elaborada de forma concisa e clara. Deve haver coerência sobre o que deseja questionar, ou seja, o estudante precisa identificar se necessita descrever, argumentar, definir, explicar, etc.

Fonte: Tort e Bargalló (2006).

Para critérios de exemplificação, foi destacado na questão “Think (7)”, inserida na narrativa histórica sobre os estudos de Trembley, os elementos mencionados no quadro 5.

THINK (7): Quais as possíveis explicações para o ceticismo de Réaumur com relação ao brotamento nos pólipos? O que o teria motivado a não aceitar que um animal pode ser gerado por meio de brotamento? O que você faria para convencê-lo acerca das suas observações e a confiabilidade dos seus dados?

É uma pergunta aberta, no sentido que possibilita múltiplas respostas; o objetivo abrange os dois aspectos, pessoal e conceitual, posto que centra nos conhecimentos pessoais do aluno, bem como mobiliza aspectos conceituais, tais como o papel das crenças e vieses dos cientistas.

Possui elementos contextuais, o período histórico do século XVIII. A pergunta, apesar de aberta, fornece indícios conceituais, ou seja, aspectos de NdC relativo ao papel do conhecimento prévio dos cientistas. Por fim, a pergunta é clara, no sentido que solicita aos estudantes argumentar, explicar e convencer sobre as observações conduzidas.

Como se pode perceber pelo teor das recomendações acima, elas não constituem um protocolo rígido, final, para a elaboração de perguntas. Mas são critérios sobre os quais se deve avaliar cada pergunta elaborada, a fim de que o processo de ensino e aprendizagem alcance o êxito almejado.

Narrativas históricas e a “Ciência Integral”

As “paradas para pensar” são interrupções propositais que visaram abordar tanto aspectos de natureza da ciência, quanto elementos da própria investigação científica. Apesar de diferentes abordagens (ALLCHIN, 2011; IRZIK; NOLA, 2011; DAGHER; ERDURAN, 2014) admitirem a existência de uma inter-relação entre esses dois quesitos, para os objetivos educacionais da SD elaborada neste estudo, decidiu-se por explicitar e distinguir esses fatores nas perguntas inseridas nas narrativas.

O referencial teórico utilizado para elaboração dos “momentos para pensar” foi a abordagem que Douglas Allchin denominou *Whole Science*, “Ciência Integral” (ALLCHIN, 2013). Por essa perspectiva, se buscou apresentar, portanto, não os aspectos sob os quais a ciência se desenvolve, mas os aspectos que geram confiabilidade à prática científica. Ou seja, sua proposta se distancia das que foram construídas sob a perspectiva ontológica, propondo seja o ensino da natureza da ciência, seja das características da ciência, seja em listas restritas, seja em listas mais abrangentes. Apresentadas como definidoras da ciência, tais características, entre outros problemas, correm o sério risco de induzir os alunos a memorizá-las ao invés de refletir sobre elas.

Allchin defende e incentiva propostas que apresentem a interação entre os vários componentes do fazer científico enquanto geradores da confiabilidade e dos limites do conhecimento científico.

A fim de ilustrar algumas possibilidades de interação com aspectos de NdC, a ideia de “Ciência Integral” é estruturada nas “Dimensões de Confiabilidade da Ciência”, a saber: dimensão “Observacional”, dimensão “Conceitual” e dimensão “Sociocultural” (quadro 6). O inventário (parcial) oferece opções de alguns elementos que compreendem a prática científica do ponto de vista de cada uma das dimensões (Allchin, 2013, p. 24).

Quadro 6. Aspectos de natureza da ciência fornecidas pelo inventário da confiabilidade da ciência. Em caixa-alta as “dimensões”; em itálico, algumas “subdimensões” imbricadas entre elas. O quadro ilustra apenas os aspectos de NdC em cada dimensão que foram trabalhados nas paradas para pensar das narrativas de Bonnet e Trembley.

OBSERVACIONAL	CONCEITUAL	SOCIOCULTURAL
<i>Observações e medições</i>	<i>Dimensões históricas</i>	<i>Instituições</i>
Acurácia, precisão	Mudança conceitual	Colaboração e competição entre cientistas
<i>Experimentos</i>	<i>Dimensões humanas</i>	<i>Comunicação</i>
Replicação e tamanho amostral	Papel da imaginação e síntese criativa	Fraudes ou condutas inadequadas

Fonte: Resumo do quadro apresentado por Allchin (2013, p. 24).

Nas narrativas históricas, esses fatores foram “adicionados” e, portanto, “interpretados” à luz do que se presumiu ter ocorrido no passado. Inevitavelmente, por trás do historiador e de sua análise, há uma tendência a “julgar” ou “deduzir” os eventos que “mais se aproximam” daquilo que, de fato, aconteceu (MUNSLOW, 2016, p. 105).

Isso significa que, tanto os “momentos para pensar”, quanto os aspectos de NdC referenciados nas perguntas poderiam ter proposições distintas, de acordo com a interpretação (ou do interpretador) do episódio histórico.

5.2. Objeto Virtual de Aprendizagem: Planejamento e construção dos protótipos

Nas últimas décadas, a utilização de meios técnicos usados para tratar a informação e auxiliar na comunicação, chamados Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), vêm sendo feita também no campo educacional. Segundo alguns autores, tem se mostrado uma ferramenta eficaz no que concerne ao processo de ensino e aprendizagem (VALENTE, 1993; MCFARLANE; SAKELLARIOU, 2002; OLIVER, 2003; WEBB; COX, 2004; ENG, 2005; GIORDAN, 2005; SANGRÀ; GONZÁLEZ-SANMAMED, 2010; LIVINGSTONE, 2012).

Outros autores apontam para a ausência de evidências dos benefícios das TICs e enunciam as dificuldades encontradas na sua implementação (PELGRUM; LAW, 2003; POSTHOLM, 2007). A ausência de consensos é esperada, em parte, por tratar-se de um domínio bastante novo. Embora derivado da chamada revolução informacional da segunda metade da década de 1970, o termo foi usado pela primeira vez em 1997, em documento do sistema educacional britânico (STEVENSON, 1997).

Outro fator que explica o conhecimento sobre os benefícios reais do uso das TICs no ambiente educacional decorre da demanda de pesquisa empírica que ofereça evidências sobre o uso de uma enorme variedade de recursos que são desenvolvidos como TICs, tais como: vídeos, simulações, softwares, animações gráficas (LIN; ATKINSON, 2011; RUTTEN; VAN JOOLINGEN; VAN DER VEEN, 2012; BERÇOT et al., 2013), websites, plataformas interativas, jogos e similares (VOGEL et al., 2006; CHAVES-GONZÁLEZ et al., 2007;

SANFORD et al., 2007; WHITE; BOLKER, 2008; HOBAN; BERTORELLE; GAGGIOTTI, 2012; SABOURIN et al., 2012).

Nesta tese, tomou-se a opção de desenvolver um produto que integrasse história da ciência e tecnologia computacional em uma categoria ampla de materiais instrucionais que se convencionou chamar Objeto de Aprendizagem (OA). Por definição, um OA é qualquer entidade, seja digital ou de qualquer natureza, cujo propósito seja o suporte à aprendizagem de qualquer conteúdo (WILEY, 2002, p. 8).

Dentro do espectro dos OA, encontram-se os Objetos Virtuais de Aprendizagem⁶² (OVA), exemplificados por conteúdo instrucional multimídia, softwares instrucionais, eventos suportados por tecnologia, sistemas de ensino à distância, inteligência artificial, ambientes virtuais de aprendizagem, plataformas virtuais de ensino (Moodle) (WILEY, 2002, p. 7; NASCIMENTO, 2007) e mais recentemente, aplicativos para plataformas móveis, como smartphones e tablets (PAULINS; BALINA; ARHIPOVA, 2015; SUNG; CHANG; LIU, 2016).

Inserido nesse contexto, o Objeto Virtual de Aprendizagem que faz parte da SD desenvolvida e analisada nesta tese, intitulado “O enigma dos pulgões”, buscou integrar características presentes tanto nas narrativas históricas, quanto nas replicações físicas de experimento histórico. Em outras palavras, o OVA “O enigma dos pulgões” teve o objetivo de criar um ambiente de investigação por meio de problemas históricos e oferecer simulação virtual de experimento histórico.

A decisão de criar um recurso virtual para simular os estudos de Bonnet, não repetir o formato da replicação com as hidras, é decorrente, principalmente, do fator tempo. Ademais das justificativas já mencionadas no capítulo metodológico, a realização de observações e/ou experimentações sobre a reprodução de pulgões, duraria, em média 20 dias, tempo de maturação sexual desses insetos (DAVIS, 2012, p. 451). Tal fator, inviabilizaria sua realização “física” em salas de aula tradicionais.

Cabe destacar, também, que, antes da aplicação com os licenciandos, o protótipo foi objeto de “validação indireta” em apresentação oral no Encontro Internacional de História, Filosofia e Estudos Sociais da Biologia (ISHPSSB), em Montréal, Canadá, em julho de 2015. Alguns comentários dos presentes puderam ser posteriormente incorporados à versão e aprimorados para a intervenção na SD.

⁶² Há alguns repositórios divulgados pelo Ministério da Educação, no Brasil. Tais como Rede Internacional Virtual de Educação (RIVED), plataforma exclusiva para distribuição de Objetos Virtuais de Aprendizagem e; o Portal do Professor e o Banco Internacional de Objetos, sítios online que disponibilizam OA, como áudio, vídeo, imagem, relatórios de experimento, mapas, etc.

Nesse sentido, com base no episódio histórico dos estudos de reprodução em pulgões, por Bonnet, foram elaborados dois protótipos do objeto virtual⁶³.

5.2.1. Objeto Virtual de Aprendizagem: protótipo I

O primeiro protótipo (anexo 1 – CD-ROM) foi desenvolvido com o software Adobe Flash® Profissional, programa destinado à criação de softwares, jogos, simulações e animações gráficas devido à sua interface intuitiva e ferramentas de programação de alto nível.

Nessa versão, construída em 2015, procurou-se criar um ambiente de apresentação do problema de investigação historicamente contextualizado, isto é, a dúvida sobre o modo de reprodução dos pulgões de naturalistas do século XVIII. Para isso, simulou-se um cenário composto por imagens representativas do ambiente natural, ilustrações de insetos. Além disso, foram inseridos trechos dos trabalhos originais dos naturalistas envolvidos com o estudo em questão, esquemas de ferramentas e instrumentos⁶⁴ utilizados pelos naturalistas (figuras 26 e 27).

Os objetivos de ensino do OVA alinharam-se aos objetivos gerais da SD da presente tese, (promover conhecimentos históricos específicos, revisitar conceitos dos tipos de reprodução animal sob a perspectiva de sua aplicação didática e promover concepções informadas sobre a NdC).

O primeiro protótipo focou mais no 1º e 3º objetivos, conteúdo histórico e alguns aspectos de NdC, mais relacionados às práticas experimentais, tais como, levantamento de hipóteses e o papel da carga teórica na observação, além de motivar o estudante a refletir sobre a ciência da época.

Todavia, o desafio de reunir em um mesmo objeto virtual, história da ciência, natureza da ciência e questões de investigação não foi uma tarefa trivial, remetendo a vários pré-protótipos, versões, ciclos de redesign até a obtenção do primeiro protótipo lançado à avaliação. O OVA foi colocado em fase *beta*⁶⁵ de testes, diretamente com o público-alvo destinado.

⁶³ Um terceiro protótipo do objeto virtual foi desenvolvido e validado com pesquisadores e professores da Universidade de Buenos Aires, Argentina, durante o doutorado sanduíche, realizado pelo autor da tese, em 2017. A versão, atualmente no idioma espanhol, será traduzida ao português e aplicada em situações futuras. O protótipo encontra-se no anexo 7, do CD-ROM que acompanha esta tese.

⁶⁴ O autor desta tese foi desenvolvedor e designer, e criou toda a arte do layout, ilustrações e colorizações artificiais do objeto virtual.

⁶⁵ Essa fase de validação é discutida em totalidade na seção 8.1.3.5 do capítulo resultados e discussão.

Figura 26.. Interfaces do primeiro protótipo do Objeto Virtual de Aprendizagem. Layout ilustrando um trecho e ilustrações de pulgões, extraídos de fonte primária. No canto inferior, legendas descrevendo eventos e inserindo a questão de investigação: problema histórico.

Figura 27. Simulação de um cenário de experimentação, com ilustrações de materiais e instrumentos (interativos) e inserção de pergunta de NdC sobre aspectos da prática de investigação científica da época.

5.2.2. Objeto Virtual de Aprendizagem: protótipo II

A produção do segundo protótipo, em 2016, sofreu grandes mudanças, tanto com relação à apresentação do estudo histórico, quanto à parte de design. A principal razão das alterações de design foi a de evitar o engessamento do objeto virtual, pois a plataforma de desenvolvimento utilizada no 1º protótipo demanda um nível intermediário de conhecimento em design e em linguagem de programação. Esse nível de conhecimento especializado seria uma barreira inconveniente para que o OVA pudesse ser estendido, readequado, adaptado por professores aos seus respectivos contextos de ensino.

Assim, a segunda versão foi desenvolvida com um recurso mais simples e tradicional, o programa da Microsoft “Power Point®”, uma ferramenta de ampla distribuição e compatibilidade com diversos sistemas operacionais e plataformas digitais e já bastante usual nos diferentes ambientes educacionais

Quanto às mudanças no conteúdo histórico, o protótipo dois (Anexo 2 – CD-ROM) foi repaginado seguindo mais de perto a estrutura e características de narrativa histórica. Foi inserido um volume maior de conteúdo textual histórico, incluídos hiperlinks informativos, novas perguntas de NdC no formato de interrupção da narrativa e a criação de campos interativos de resposta para as questões de NdC (figuras 28 e 29).

Como procedimento metodológico de utilização do protótipo, a validação com os licenciandos foi conduzida por uma aula expositiva dialogada, com momentos de interrupção para discussão das perguntas de NdC. Em novas iterações, onde houver infraestrutura disponível, é possível hospedar o protótipo virtual em um website, habilitando um acesso em tempo real e por download, o que gera maior liberdade aos alunos.

Figura 28. Interface do segundo protótipo do Objeto Virtual. Slide contendo imagens históricas do século XVIII para contextualizar e criar um ambiente de imersão. Abaixo, as legendas formatadas em estilo narrativo, com estilo de linguagem mais livre, dando ênfase aos eventos e momentos históricos investigação de Bonnet.

Figura 29. Interface do segundo protótipo do Objeto Virtual. Exemplo de pergunta de NdC, interrompendo a história. O espaço cinza, abaixo da pergunta, trata-se de um campo de resposta interativo com o objetivo de coletar as respostas dos estudantes em tempo real.

CAPÍTULO 6 – Métodos e técnicas de coleta e análise dos dados

6.1. Abordagem qualitativa

As seções deste capítulo visam apresentar, discutir e interligar os referenciais metodológicos adotados para o desenvolvimento e aplicados das técnicas e instrumentos de coleta de análise de dados durante as iterações da SD. Os resultados obtidos serão discutidos no capítulo 8, após a apresentação dos dados etnográficos dos participantes, no capítulo 7.

Devido ao caráter focal e restrito do desenvolvimento e avaliação da SD, bem como o número reduzido do público-alvo, recomenda-se que a opção mais adequada são métodos de análise de cunho ou abordagem qualitativa (KORTLAND; KLAASSEN, 2010).

Apesar da abrangência do termo, pode-se considerar um estudo qualitativo como:

Um conjunto de práticas materiais e interpretativas que visam fornecer significados aos discursos (individuais ou coletivos) por meio de uma série de representações. A pesquisa qualitativa implica descrever e analisar rotinas e momentos significativos nas vidas dos indivíduos, para tal, o pesquisador pode optar pelas abordagens: estudos de caso; relatos de experiência pessoal; introspecção; grupos focais; histórias de vida; entrevistas; artefatos diversos; textos e produções culturais; textos observacionais, históricos, interacionais e visuais. Desse modo, cada uma dessas práticas de “coleta” de dados torna o mundo visível e significativo (DENZIN; LINCOLN, 2005; MINAYO, 2012).

Entretanto, no que corresponde à esfera educacional, as pesquisas qualitativas têm fornecido importantes contribuições, permitindo avançar no conhecimento de estratégias de ensino e aprendizagem, processos institucionais e culturais, de socialização, e do cotidiano escolar (ANDRÉ; GATTI, 2008, p. 9).

As pesquisas qualitativas tendem a envolver a relação entre o contexto educacional, o professor e alunos, com o objetivo de promover melhorias ao processo de ensino a aprendizagem, além de permitir identificar e corrigir falhas e problemas (LÜDKE; ANDRE, 2013).

O rigor desse tipo de pesquisa reside na interconexão entre distintos métodos de coleta de dados que conversam entre si, denominado processo de triangulação, a partir da observação direta (ou indireta), da análise documental, de entrevistas, gravações, captura de imagens, notas de campo e afins. Contudo é importante atentar que o ato de observar, deve ser, o máximo possível, despidido de juízo de valores. A fidedignidade, portanto, deve estar condicionada à observação conduzida de forma controlada e sistemática (BELEI et al., 2008; LÜDKE; ANDRE, 2013).

6.2. Pesquisa participante e observação participante

A aplicação dos ciclos iterativos da SD foi realizada, principalmente, pelo autor da presente pesquisa, com o auxílio das docentes que, gentilmente, cederam espaços de suas

disciplinas para intervenção. Desse modo, o instrutor se configura como “pesquisador participante”.

Sob o prisma do DBR, o pesquisador participante se ajusta ao referencial metodológico, pois é ele o responsável pelo gerenciamento total do processo, da ideia inicial até a implementação em contextos reais de ensino. Suas funções constituem o desenvolvimento do design didático, a formação e instrução aos professores, condução de testes e avaliações. Por isso, o pesquisador precisa estar consciente das abordagens didáticas acerca do tema elegido, da literatura de referência e corpo teórico a ser aplicado. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 6).

Além disso, devido à imersão no campo de estudo, o instrutor também cumpriu a função de “observação participante”. Isto é, o processo pelo qual o pesquisador é capaz de aprender sobre os fenômenos investigados no ambiente natural, observando e participando dessas atividades (KAWULICH, 2005). Esse tipo de processo pode incluir: observação, conversas individuais e coletivas, entrevistas de vários tipos, *check lists*, questionários e/ou instrumentos de coleta de dados, bem como métodos discretos.

A observação participante é caracterizada por ações como ter uma atitude aberta, sem julgamento, estar interessada em aprender mais sobre os outros, estar ciente da propensão para sentir o choque cultural (quando existente) bem como estar atento e isento aos erros ou preconceções por parte dos observados (DAAS; MCBRIDE, 2014, p. 15)

6.3. Análise de Conteúdo

Devido à característica majoritariamente discursiva dos dados obtidos nesta pesquisa, entre as técnicas utilizadas para o tratamento dos dados foi a Análise de Conteúdo (BARDIN, 1973).

Segundo a autora, trata-se de um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando a obter indicadores que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção, por meio de procedimentos sistemáticos de descrição do conteúdo das mensagens (BARDIN, 1977, p.43). Portanto, esse tipo de análise procura identificar padrões e categorizá-los por meio do discurso do comunicador. Esse conjunto de técnicas possui as etapas retratadas na figura 30.

Figura 30. Etapas da análise de conteúdo

Fonte: Adaptado de Bardin (1977)

O *corpus* de dados coletados e analisados sob o escrutínio da Análise de Conteúdo foi constituído por:

- ✓ Respostas aos instrumentos aplicados antes e após a SD
 - VNOS-C (pré-teste)
 - Questionário contextualizado (pós-teste)
- ✓ Respostas às questões das atividades e estratégias de ensino
 - Replicação física de experimento histórico
 - Objeto Virtual de Aprendizagem
 - Narrativas históricas
- ✓ Transcrições das gravações capturadas durante as atividades;
- ✓ Notas de campo coletadas pelo instrutor ao longo das aulas da SD

Após reunir o material, foi dado início à fase de leitura flutuante, momento de contato direto e intenso com o material coletado (CAVALCANTE; CALIXTO; KERR PINHEIRO, 2014, p. 16), seguida da separação e organização dos dados obtidos.

A primeira etapa foi a realização das transcrições de áudio das discussões dos grupos durante as atividades de “replicação” e “narrativa histórica”. Com o material transcrito, selecionou-se os trechos para preparação das unidades de registro e categorização.

Durante a etapa da exploração do *corpus* coletado, o pesquisador é levado a interpretar e inferir categorias (expressões ou palavras-chave) em função das quais o conteúdo de uma fala será organizado (CÂMARA, 2013). Algumas categorias *a posteriori* foram elaboradas a fim de enquadrar as falas dos estudantes aos objetivos da atividade, conforme será apresentado no capítulo 8.

Os critérios definidos pela Análise de Conteúdo também foram importantes para a interpretação e classificação das respostas dos participantes da SD à luz das rubricas previamente estabelecidas (ver seção 6.6). Nesse ponto, foram decodificadas as expressões ou termos-chave e comparados com o referencial teórico selecionado para discussão de conteúdo histórico, científico, de aspectos de NdC e práticas de investigação científica.

6.4. Instrumentos de coletas de dados (pré e pós teste)

Da primeira iteração.

A fim de investigar as concepções sobre aspectos de NdC dos participantes da pesquisa foram utilizados questionários distintos em cada iteração da SD.

Na primeira iteração (pré-teste) antes da aplicação da SD, foi administrado uma das versões do “Questionário sobre Visão da Natureza da Ciência, formulário C (*Views of Nature of Science VNOS-C*)” instrumento amplamente utilizado em pesquisas para identificação de aspectos da Natureza da Ciência, tanto com professores em formação, quanto em serviço (LEDERMAN et al., 2002; EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004; LEDERMAN, 2007; TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009; DENG et al., 2011; MULVEY; BELL, 2016; AZEVEDO; SCARPA, 2017).

Todavia, empregou-se na primeira iteração da SD, uma versão simplificada (anexo 6), adaptada no estudo de Rudge e colaboradores (2012)⁶⁶.

Essa versão, composta por perguntas abertas, abrangeu os seguintes aspectos de natureza da ciência:

- a. O papel das teorias científicas;
- b. O papel dos experimentos;
- c. O papel da carga teórica na observação e inferência⁶⁷;
- d. O papel da criatividade e imaginação na investigação científica;

As respostas coletadas pelo VNOS-C, em geral, são classificadas segundo o nível de concepção dos respondentes. Cabe esclarecer, porém, que não houve critérios específicos para adoção das terminologias, apesar de haver partidários na literatura. Há estudos em que tais visões são definidas como “informada/ingênua”(LEDERMAN et al., 2002; ABD-EL-KHALICK, 2012); ou “sofisticada/não sofisticada” (RUDGE et al., 2012) e “adequada/inadequadas” (EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004; LEDERMAN, 2007; DENG et al., 2011).

Sem entrar no âmbito etimológico, em maior ou menor grau, todas soam como juízo de valor. De todo modo, nesse momento de primeira análise, a escolha assumida por “Adequada”; “Parcialmente adequada” e “Inadequada” pareceu ser de interpretação menos agressiva.

Entretanto, para critérios de comparação após a intervenção, o instrumento de coleta de dados (pós-teste) foi um questionário contextualizado (anexo 7). Ou seja, com o intuito de

⁶⁶ Esse questionário foi traduzido inicialmente pelo doutorando e revisado por outros dois estudantes de pós-graduação com fluência em inglês.

⁶⁷ De fato, o que esse item se propõe a abordar é a questão da influência do background teórico em todo o processo de investigação científica, da observação à análise de dados, especulações, levantamento de hipóteses, inferências, etc. Termo conhecido como “*Theory-laden*”, ou carregado de teoria.

verificar as alterações de concepções dos licenciandos com relação aos aspectos de NdC, optou-se pela elaboração e validação de um instrumento distinto, baseado na temática abordada na primeira iteração da SD.

A elaboração e validação desse instrumento ocorreu em colaboração entre o doutorando, a orientadora e duas pesquisadoras do LaHBE. Após alguns ciclos de validação baseados em itens propostos na seção 6.6 desta tese, obteve-se a versão final administrada aos licenciandos. Apesar desse instrumento divergir do VNOS-C em estrutura e temática, as questões propostas abordaram os mesmos aspectos de NdC: O papel das teorias científicas; O papel dos experimentos; papel da carga teórica na observação e inferência; e papel da criatividade e imaginação na investigação científica; porém, contextualizadas aos eventos históricos ressaltados na SD.

Ao desenvolver esse instrumento, almejou-se, também fomentar o aprendizado sobre conteúdo histórico, conforme objetivos previamente traçados.

Da segunda iteração

A coleta de dados referentes ao conteúdo histórico, científico, aspectos de NdC e práticas de investigação ocorreu ao longo de todas as etapas das iterações da SD. Contudo, a fim de contemplar os objetivos da pesquisa em ensino de ciências, foram administrados dois testes distintos na segunda iteração, a fim de verificar as alterações causadas pela intervenção didática.

Esses testes tiveram como objetivo diagnosticar as concepções dos estudantes, antes de iniciarmos a segunda iteração e constatar quais (ou se) foram os impactos para a aprendizagem de NdC nesse grupo de professores em formação, por meio de um pós-teste.

Após processo de refino e readequação dos instrumentos de coleta de dados, definiu-se alterar os questionários com relação à primeira iteração da SD⁶⁸.

Para a segunda iteração, foram elaborados dois instrumentos estruturados com métodos de análises mistos, contendo tanto questões abertas quanto fechadas. A temática abordada nos questionários foi baseada em casos autênticos, envolvendo situações reais.

O teste realizado antes da intervenção (pré-teste) foi constituído por um instrumento baseado em um caso histórico focando nas pesquisas do médico e sanitarista Carlos Chagas (1879-1934) que levaram à identificação e descrição do ciclo da tripanossomíase (ou Doença de Chagas) (Anexo 8).

⁶⁸ A discussão referente a essa alteração é conduzida na seção 8.7 desta tese, referente aos princípios de design.

Esse instrumento já havia sido validado e aplicado na disciplina de “Natureza da Ciência e Ensino por Investigação”, ministrada pelas professoras Maria Elice B. Prestes e Daniela Scarpa, no curso de Ciências Biológicas, IB-USP, durante o primeiro semestre de 2016. O pós-teste, contudo, passou por rodadas de validação com professores e estudantes de pós-graduação em ensino de ciências e educação, conforme diretrizes delineadas na seção 6.6, desta tese.

Composto por quatro questões, sendo duas abertas, uma fechada e uma desmembrada em 11 assertivas baseadas no fragmento do caso histórico, com opções de resposta no estilo escala de Likert⁶⁹.

Contudo, como nosso intuito foi averiguar se o uso de episódios históricos fomenta a compreensão bem informada de aspectos de NdC, nada mais apropriado do que inserir esses licenciandos em um contexto real e contemporâneo.

Na mesma linha e afim de padronizar o instrumento de coleta de dados, o questionário administrado após a intervenção (pós-teste) estruturado de forma similar, porém, abordando um caso contemporâneo, sobre a temática, então em voga na época da aplicação, Zika vírus e microcefalia (Anexo 9).

Cabe destacar que os questionários pré e pós teste tiveram uma “dupla função”: (1) diagnosticar as concepções prévias dos licenciandos acerca de alguns aspectos de NdC e; (2) verificar se a intervenção de ensino, via SD, promoveria mudanças da compreensão e aprendizagem dos elementos intrínsecos ao fazer científico.

Por essa razão, apesar de alguns dos aspectos de NdC ressaltados nos questionários pré e pós-teste, não terem sido explicitamente contemplados na SD, a inserção deles nos instrumentos teve como objetivo averiguar se os licenciandos seriam capazes de estender o que aprenderam durante a SD a situações equivalentes, como rege a aprendizagem significativa.

6.5. Métodos de transcrição

Uma parte significativa dos dados da SD (em especial na segunda iteração) foi obtida por meio da captura de áudio das discussões promovidas pelos licenciandos ao longo das atividades. Todavia, para dar sentido e comunicar e interpretar as evidências, foi necessário realizar o processo de transcrição das gravações.

De fato, apesar de ser um método extremamente rico para a geração de dados, é também, um processo laborioso e exaustivo, pois requer atenção e demasiado tempo (HAGENS; DOBROW; CHAFE, 2009).

⁶⁹ Análises baseadas em escalas de Likert o respondente sinaliza o seu grau de concordância com relação à assertiva. Os graus variam de discordo totalmente à concordo totalmente

Além disso, é importante ressaltar que o pesquisador precisou alocar tempo para revisar as transcrições em busca de precisão. O que consistem em escutar as gravações e simultaneamente ler as transcrições, parando quando necessário e inserindo correções ou modificações. O fato de verificar as transcrições é imprescindível como processo de validação dos dados (TRACY, 2013, p. 180).

Outro fator que merece destaque é o processo de codificação do material transcrito. Para tal, deve se utilizar meios simbólicos para representar, por exemplo, aspectos da entonação, tom terminal, acentuação e alongamento, pausas, vocalizações não-verbais, qualidade da voz (fatores emocionais), segmentos fonéticos, trechos inaudíveis ou incertas, ruídos ambientais e duração (LAPADAT; LINDSAY, 1998, p. 5).

Assim, as transcrições de áudio coletadas na SD foram codificadas de acordo com as orientações fornecidas na obra *Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact* (TRACY, 2013, pp. 179-180). O quadro 7 ilustra símbolos, definições e exemplos extraídos das transcrições que foram realizadas na presente tese, e serão utilizados na apresentação de resultados no capítulo 8.

Quadro 7. Exemplos de símbolos utilizados para codificar as transcrições.

Símbolo	Função	Exemplo
<i>Itálico</i>	Ênfase	O difícil é não ser <i>presentista</i> .
(.)	Pausa breve (< 2s)	coleta da espécie pra análise (.) usar os equipamentos
((palavras))	Comentário do transcritor	((aluno descrevendo a resposta)) observar durante um período de tempo
Exclamação !	Fala emotiva/animada	Ah, que gracinha! Olha ele aqui! Ele é tão bonitinho!
hhh	Risadas/suspiro audível	Isso é um caule! Hhh
[...]	Omissão de palavras	[...] É, eu acho que retirada dele da Royal Society
//	Omissão de múltiplas sentenças	//devido a sua capacidade de locomoção//Trembley decidiu cortar esse organismo em duas partes
[comentário adicional]	Palavras/sentenças para esclarecimento	Acho que ele [organismo] vai escorregar [da lâmina]

6.6. Rubricas: estratégias e materiais instrucionais – desenvolvimento e validação

Ao propor diagnosticar a compreensão dos licenciandos acerca das práticas/habilidades científicas; aspectos de natureza da ciência e, em menor escala, conteúdos conceituais relativos à reprodução assexuada, foi necessário desenvolver métodos que garantissem a confiabilidade da avaliação e análise dos dados.

Para essa tarefa, optou-se pela utilização de *rubricas*. O termo remete a qualquer instrumento de avaliação que determine o conjunto de critérios analisados e forneça as explicações para os referentes níveis de gradação ou qualidade (HAFNER; HAFNER, 2003; ANDRADE, 2005).

Como uma abordagem alinhada aos propósitos da educação, rubricas são ferramentas que buscam "comunicar expectativas", pois fornecem *feedback* contínuo. (ANDRADE; DU; WANG, 2008)

Diversos estudos têm apontado que a utilização instrucional de rubricas é benéfica à aprendizagem dos alunos (ANDRADE; DU; WANG, 2008; TANG; COFFEY; LEVIN, 2015), bem como servir de facilitador para trabalho docente e gerar retorno positivo a ambos, docente e estudante, quando combinado aos métodos de avaliação formativa (ALLEN; TANNER, 2006). Além disso, com relação ao nosso interesse particular, o uso de rubricas pode gerar maior robustez às análises de desempenho referentes às habilidades, práticas e conhecimento de e sobre ciências (TIMMERMAN et al., 2011; STONE, 2014).

Isto posto, o desenvolvimento das rubricas propostas para as atividades da SD seguiu alguns dos critérios estabelecidos pela literatura (MOSKAL; LEYDENS, 2000; REDDY, 2007; WOLF; STEVENS, 2007; REDDY; ANDRADE, 2010), conforme descrito no quadro 8.

Quadro 8. Critérios para o desenvolvimento das rubricas dos materiais instrucionais da SD

Critérios de avaliação	São os indicadores ou diretrizes previamente definidos, isto é: conteúdos ou processos considerados na atividade. Esses elementos permitem conceituação e definição de padrões, em especial, áreas complexas como como pensamento crítico, resolução de problemas. No caso da SD: os aspectos de NdC, habilidades científicas
Definições de qualidade	Nível de detalhamento daquilo que se espera de um estudante, a fim de mostrar habilidade, proficiência ou critério para atingir um nível específico, (adequado, parcialmente adequado ou inadequado). A importância desse “grau de domínio” reflete na capacidade de argumentar e discernir uma resposta satisfatória de insatisfatória.
Estratégia de pontuação (<i>scoring</i>)	Trata-se da criação de escala (pontuação ou nivelamento) para interpretar os classificar a compreensão de processo; conteúdos habilidades, etc. São esquemas de pontuação descritiva, elaborado por professores/avaliadores a fim de orientar a análise, seja de produtos, seja de processos voltados aos estudantes.

Fonte: (MOSKAL; LEYDENS, 2000; REDDY, 2007; REDDY; ANDRADE, 2010; WOLF; STEVENS, 2007)

Entretanto, em prol de averiguar a qualidade das rubricas e garantir sua confiabilidade, antes da aplicação com os usuários finais (licenciandos) foi necessário submetê-las ao processo de validação. Isto é, o acúmulo de evidências que pretendam suportar inferências (MOSKAL; LEYDENS, 2000).

A validação das rubricas foi realizada por meio das etapas:

✓ *Revisão e comparação de rubricas na literatura de referência*

Trata-se da primeira etapa, uma ampla revisão da literatura antes e durante a construção das rubricas, a fim de combinar os critérios estabelecidos e triangular com os objetivos propostos. Se houver número significativo de correspondência entre os critérios analisados, pode-se alegar que são comumente aceitos em questões e temas equivalentes (TIMMERMAN et al., 2011; BROOKHART; CHEN, 2015).

✓ *Consulta a especialistas em conteúdo e didática*

A fim de identificar possíveis incongruências, se faz necessário conduzir consultas recursivas com especialistas da área (conceitual, educacional e/ou ambos). Dos aspectos dignos de atenção, destacam-se: “adequação da linguagem”; “concisão”; “originalidade”; “contexto teórico”; “adequação aos objetivos”. Em geral, essa é uma etapa cíclica, a fim de alcançar o melhor grau de consenso entre especialistas e pesquisador (HAFNER; HAFNER, 2003; REDDY; ANDRADE, 2010).

✓ *Níveis de gradação ou performance (score)*

Esse é um dos quesitos mais discutíveis no desenvolvimento de rubricas. A quantidade de níveis é interdependente dos objetivos de avaliação. Em geral, as rubricas possuem de três a seis níveis de gradação. Quanto menor o número de níveis, maior a confiabilidade e a eficiência em pontuar o desempenho. No entanto, mais níveis, menor a confiabilidade na pontuação e mais tempo e trabalho serão necessários para uma decisão final. Porém, se a meta for proporcionar feedback para melhoras de desempenho do aluno, níveis de gradação em maiores quantidades (critérios de desempenho) podem favorecer para maior especificidade (WOLF; STEVENS, 2007, p. 7).

✓ *Evidências referentes ao conteúdo (validade)*

Esse aspecto remete de que forma as respostas de um estudante à questão (ou instrumento) refletem o seu conhecimento sobre a área de conteúdo. Por exemplo, em uma rubrica cuja as perguntas estejam inconsistentes ou complexas, pode-se mensurar equivocadamente, as habilidades de compreensão de leitura dos alunos, em vez de seu conhecimento de conteúdo. O avaliador, portanto, pode concluir erroneamente a falta de conhecimento específico, quando, de fato, houve falha de compreensão e interpretação da questão (MOSKAL; LEYDENS, 2000, p. 2).

✓ *Evidências referentes ao construto*

Construtos, nessas circunstâncias, pode se referir ao processo de raciocínio. Apesar de intrínseco ao indivíduo, esse processo pode ser parcialmente retratado via resultados ou explicações. A análise de uma resposta correta, porém, isolada em uma rubrica, não fornece evidências convincentes da natureza do processo de raciocínio indivíduo. Desse modo, quando o propósito é compreender o raciocínio, tanto o produto (resposta) como o processo (explicação) devem ser examinados. Além disso, nessa etapa pode-se estender, se desejado, outros quesitos, como resolução de problemas, criatividade, processo de escrita, atitudes, etc. (IBID, p. 3).

Ademais, a depender da abrangência de análise (*scoring*), as rubricas podem ser classificadas em “analítica” e/ou “holística”. “Rubricas analíticas” se apropriam de critérios

mais refinados e específicos para estabelecer mais de uma medida dos níveis acerca de uma tarefa específica. Devido ao seu grau de detalhamento, esse tipo de rubrica é mais conveniente a espaços restritos e focais, atividades em sala de aula. Ao contrário, “rubricas holísticas”, visam obter informações mais generalizadas ou agrupadas que fornecem descrições mais amplas. Nesses casos, o avaliador ou professor conduz um olhar mais indistinto sobre a qualidade do desempenho. São rubricas recomendadas para diagnósticos em grande escala, dada a sua praticidade e acurácia (ALLEN; TANNER, 2006; JONSSON; SVINGBY, 2007).

Assim sendo, foram seguidos esses procedimentos para construir e validar as rubricas fornecidas neste estudo, como serão apresentadas no capítulo 8.

Todavia, a despeito dos esforços, dos ciclos de validação e dos referenciais teóricos, é pouco provável que as análises e interpretações finais estejam isentas das preconcepções, “ruídos” e subjetividade do pesquisador (PESHKIN, 1994; CARL RATNER, 2002; TRACY, 2013).

CAPÍTULO 7 – Estudo etnográfico

7.1. Dos aspectos institucionais

Este capítulo foi destinado à caracterização do público-alvo, licenciandos participantes das iterações da SD. Na primeira parte, será apresentado os dados referentes aos licenciandos que participaram da primeira iteração, realizada no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Na segunda, os licenciandos participantes da segunda iteração, na Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP, campus Diadema.

Para seguir os trâmites legais da pesquisa com seres humanos, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética do Instituto de Biociências da USP e ao Comitê de Ética e Pesquisa do Ministério da Saúde (Plataforma Brasil), obtendo aval positivo e registro sob número CAAE 57132416.9.0000.5464. Além disso, todos os participantes da pesquisa assumiram compromisso legal e desobrigado, perante firma do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 1), administrado antes da intervenção.

Com o intuito de caracterizar o perfil dos licenciandos e de subsidiar a análise da pesquisa sobre a aplicação da SD, foi aplicado um questionário sócio etnográfico⁷⁰ (anexo 2). O instrumento foi validado previamente com alunos matriculados na disciplina “Estágio com Pesquisa em Ensino de Biologia” do IB-USP, ministrada pelas Profs. Dr^{as} Maria Elice Prestes e Rosana Louro da Silva. O instrumento foi respondido por cinco alunos que se voluntariaram a colaborar com o pesquisador. Algumas anotações desses estudantes foram úteis para que fossem feitas reformulações nas instruções de algumas questões abertas que estavam possibilitando interpretações ambíguas.

7.2 Análise etnográfica: público alvo do protótipo I

Os participantes da primeira iteração da SD foram estudantes do sexto período, regularmente matriculados no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, IB-USP. A primeira iteração da SD ocorreu durante a disciplina optativa livre Estratégias para o Ensino de Genética e Biologia Evolutiva, coordenada pela Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes, durante o ano de 2015.

Antes do início da primeira iteração da Sequência Didática, foi administrado um questionário sócio etnográfico, com objetivo identificar o perfil do público-alvo participante da pesquisa. O instrumento contemplou itens fechados (múltipla escolha) cujas perguntas

⁷⁰Esse instrumento foi elaborado a partir de questionário utilizado na pesquisa em andamento de Anna Cassia de Holanda Sarmento, sob orientação da Profa. Dra. Claudia Sepúlveda e co-orientação do Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani na UFBA (comunicação da autora).

remetiam à investigação do perfil socioeconômico dos participantes, como estado civil, número de filhos, escolaridade dos pais, situação financeira e fonte de renda e trabalho, instituição de formação da educação básica e opção pela carreira docente. As perguntas abertas foram destinadas à pesquisa de opinião, voltada à identificação das dificuldades e/ou problemas relacionados ao processo de ensino aprendizagem; as disciplinas preteridas e preferidas; as fontes de busca para informação científica e as metodologias de ensino e aprendizagem conhecidas. As categorias apresentadas nos gráficos foram criadas com base nas respostas mais citadas pelos participantes.

Participaram inicialmente do preenchimento dos questionários um total de 15 alunos. Porém, o número de participantes de todas as etapas da Sequência Didática ficou restrito a dez estudantes.

Tabela 1. Perfil socioeconômico dos licenciandos e grau de escolaridade dos pais. 1ª iteração da SD. Os dados são relativos ao: tempo de estudo, literatura, formação inicial e opção pela carreira de biologia.

*Em salários mínimos											
Estado civil	N	Filhos	N	Irmãos	N	Residência	N	Escolaridade	pai	mãe	
Solteiro	13	Nenhum	13	Um	9	Pais/parentes	12	Fund. 1	2	3	
Casado	2	Um	2	Dois	4	Cônjuge/filhos	2	E.M.	4	2	
				Três	1	Outros	1	Graduação	8	8	
				Quatro	1			Pós-Graduação	1	2	
Situação financeira				N	Situação de trabalho		N	Renda familiar*		N	
Sem renda e auxílio do governo				1	Não trabalho		7	Até 1.5		1	
Sem renda e auxílio da família				7	Eventualmente		3	1.5 a 3		1	
Renda e auxílio da família				3	Até 20h/semanais		4	3 a 4.5		2	
Renda e sem auxílio				4	40h/semanais ou mais	1	4.5 a 6			4	
								6 a 10		3	
								10 a 30		4	
Livros lidos/ano				N	Horas de estudo/semana		N	Formação inicial		N	
Nenhum				1	Nenhuma		1	Todo Educ. Pública		4	
1 ou 2				4	1 a 3		3	Todo Educ. Privada		9	
De 3 a 5				5	4 a 7		3	Maior parte Educ. Priv.		2	
De 6 a 8				2	8 a 12		7				
Mais de 8				3	Mais de 12		1				
Escolha por Ciências Biológicas				N							
Mercado de trabalho				2							
Influência familiar				1							
Valorização profissional				1							
Vocação				8							
Outro				3							

Os dados apresentados na tabela 1 mostram que os participantes da primeira iteração são, em maioria solteiros e sem filhos, residem e são financeiramente dependentes dos pais. A família possui renda acima de cinco salários mínimos/mês. A metade admite destinar mais de

oito horas de estudo/semana. A maioria desses participantes é proveniente de educação privada e optaram pela carreira docente por vocação.

As três questões abertas, aparentemente antagônicas do questionário se justificam pelo fato de diagnosticar se as respostas seriam corroboradas ou alteradas. Como observado nos gráficos (2), (3) e (4) a maior parte dos estudantes manteve suas posições e, segundo as respostas, tanto a facilidade, quanto a dificuldade para aprender está relacionada ao interesse pelo assunto.

Tal percepção da inter-relação entre motivação e aprendizagem reflete certa regularidade entre estudantes, seja da escola básica, seja do ensino superior (MARBACH-AD et al., 2009; DUNLOSKY et al., 2013). Assume-se, portanto, a responsabilidade de aprender às motivações e interesses particulares sobre o assunto específico. Em segundo lugar, os licenciandos delegam os problemas de aprendizagem como responsabilidade dos docentes, conforme as categorias: “didática do professor”; “dinamismo (ou falta de)”; “aulas expositivas”. Há, todavia, um número significativo de estudos que investigam o papel de métodos de aprendizagem ativa e ensino contextualizado a fim de aumentar o interesse e reduzir as dificuldades dos estudantes (PERIN, 2011; ABDEL MEGUID; COLLINS, 2017)

Quando questionado sobre as disciplinas mais apreciadas (gráfico 5), os licenciandos elegeram: Genética e Zoologia, seguida por Fisiologia e Ecologia e, em contrapartida, Botânica é a disciplina mais rejeitada por esse grupo. Essa questão foi relevante para a pesquisa, pois a a ideia foi tentar identificar se a correlação entre temática conceitual abordada nos episódios históricos e a estima por disciplinas afins faria alguma diferença nos resultados.

Sobre as fontes de referências científicas (gráfico 6), a maioria citou a “internet” como fonte de informação principal, seguida das revistas, tanto de divulgação quanto periódicos, livros e em menor número, as bibliotecas. Nota-se, assim, que esse grupo está seguindo a tendência contemporânea da influência dos meios das tecnologias da informação e comunicação (KLUCEVSEK; BRUNGARD, 2016). Caberia, porém, investigar se essa propensão está sendo acompanhada por um senso crítico com relação às informações consultadas (JULIEN; BARKER, 2009; WALRAVEN; BRAND-GRUWEL; BOSHUIZEN, 2009).

A última questão (gráfico 7) procurou explorar os métodos e estratégias de ensino conhecidas pelos licenciandos. Não nos surpreendeu que a maioria tenha citado as aulas expositivas como a mais comum. Esse fato dado parece corroborar a padronização de estratégias em vários níveis de ensino (SCHMIDT et al., 2015). Entretanto, pode-se perceber que, apesar da forte presença das aulas expositivas, há menções às aulas investigativas, debates,

usos de recursos multimídias como alternativas ao ensino “tradicional”, o que vem ao encontro de estudos recentes sobre a implementação de metodologias ativas e interativas ao ensino (YAKOVLEVA; YAKOVLEV, 2014; SHIRANI BIDABADI et al., 2016).

Apesar de tratar-se de uma pesquisa local e com uma amostra restrita, é possível considerar que as respostas desses licenciandos retratam padrões bastante regulares no que tange as metodologias e estratégias que permeiam o processo de ensino e aprendizagem na área das ciências naturais, e ousar afirmar, nas demais áreas.

Gráfico 2. Respostas à questão: “Eu tenho dificuldade para aprender quando...”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos.

Gráfico 3. Respostas à questão: “Eu tenho facilidade para aprender quando...”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos.

Gráfico 4. Respostas à questão: “Quais os problemas que dificultam o processo de ensino-aprendizagem?”.
Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

Gráfico 5. Respostas à questão: “Quais disciplinas do curso de Ciências Biológicas você mais gosta? E quais menos gosta?”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

Gráfico 6. Respostas à questão: “Em que meios de informação e comunicação você busca informações relacionadas à ciência?”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

Gráfico 7. Respostas à questão: “Quais foram as metodologias ou estratégias de ensino que você conseguiu identificar (até agora) no curso?”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

7.3 Análise etnográfica: público alvo do protótipo II

A segunda iteração da SD foi conduzida com estudantes do curso de licenciatura em Ciências Modalidade: Ensino de Biologia, regularmente matriculados na UNIFESP, campus Diadema, no ano de 2016. A segunda iteração da SD foi conduzida durante a disciplina “Prática Pedagógica em Biologia I”, coordenada pela Profa. Dra. Ana Maria Gouw.

O questionário sócio-etnográfico foi adaptado para uma versão online (anexo 3), a fim de otimizar o tempo das aulas da SD. Na apresentação da primeira aula foi solicitado aos licenciandos que preenchessem os campos e submetesse as respostas, encaminhada para o e-mail do doutorando.

Doze licenciandos enviaram as respostas, sendo que apenas dez foram selecionados como amostra, pois participaram de todas as aulas da SD.

A amostra total foi composta por licenciandos de dois turnos: vespertino e noturno. Contudo, foi evitado segregar os participantes, pois havia uma flexibilidade entre os turnos. Ou seja, licenciandos matriculados no período vespertino participavam das aulas noturnas e vice-versa.

O perfil dos licenciandos participantes da segunda iteração se assemelham aos da primeira em alguns aspectos, tais como o estado civil, na qual a maioria dos licenciandos é solteiro, sem filhos e são dependentes financeiramente da família. Contudo, a maior parte desses estudam e trabalham, foram em instituições públicas durante a educação básica e destinam menos horas de estudo extra acadêmicas, quando comparados aos licenciandos da primeira iteração. Porém, também optaram pela carreira docente, devido a vocação pessoal.

Tabela 2. Perfil socioeconômico dos licenciandos e grau de escolaridade dos pais. 2ª iteração da SD. Os dados são relativos ao: tempo de estudo, literatura, formação inicial e opção pela carreira de biologia. *Em salários mínimos

Estado civil	N	Filhos	N	Irmãos	N	Residência	N	Escolaridade	Pai	Mãe	
Solteiro	8	Nenhum	9	Nenhum	4	Pais/parentes	9	E.F 1	3	6	
Casado	2	Um	1	Um	3	Cônjuge/filhos	3	E.M.	6	3	
Divorciado	2	Três	1	Dois	1			Graduação	3	2	
		Quatro	1	Três	3			Pós-graduação		1	
				Quatro	1						
Situação financeira				N	Situação de trabalho			N	Renda familiar*		N
Sem renda e auxilio da família				5	Não trabalho			3	Até 1.5		2
Renda e auxilio da família				3	Eventualmente			3	1.5 a 3		2
Renda e sem auxilio				4	Até 20h/semanais			1	3 a 4.5		1
					De 21 a 39h/semana			1	4.5 a 6		4
					40h/semanais ou mais			3	6 a 10		3
Livros lidos/ano (extracurricular)				N	Horas de estudo/semana			N	Formação inicial		N
1 ou 2				2	1 a 3			5	Todo E. Pública		10
de 3 a 5				7	4 a 7			3	Todo E. Privada		2
Mais de 8				3	8 a 12			1			
					Mais de 12			3			
Escolha por				Ciências Biológicas							N
Mercado de trabalho				1							
Influência familiar				2							
Valorização profissional				1							
Vocação				7							
Baixa concorrência para acesso				1							

Como na primeira iteração, foi arguido aos participantes do segundo protótipo da SD, na opinião deles, as razões que facilitavam e dificultavam o processo de ensino aprendizagem (gráficos 8 e 9). As categorias representadas nos gráficos representam as respostas mais mencionadas.

Como se pode notar, para esse grupo de licenciandos, tanto o interesse particular, quanto os métodos e estratégias utilizados pelos professores são os principais fatores que tendem a impactar no processo de aprendizagem.

A fim de corroborar a opinião dos participantes do estudo, além dos critérios específicos, procurou-se levantar quais os motivos ou problemas que dificultariam a aprendizagem (gráfico 10).

Gráfico 8. Respostas à questão: “Eu tenho facilidade para aprender quando...”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos.

Gráfico 9. Respostas à questão: “Eu tenho dificuldade para aprender quando...”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos.

Gráfico 10. Respostas à questão: “Quais os problemas que dificultam o processo de ensino-aprendizagem? ”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

Mais uma vez, a categoria mais mencionada se refere à prática docente, ou seja, à falta de diversidade metodológica. Na opinião desses estudantes, os professores focam de maneira excessiva no que se denomina, aula tradicional, constituída por aulas expositivas, pouco dialogadas e meramente descritivas.

Contudo, parece haver uma contradição na opinião desses licenciandos. Pois, quando questionados sobre os métodos e recursos didáticos conhecidos, as suas respostas foram bastante diversas, descrevendo um número significativo, seja de estratégias, seja de recursos instrucionais, seja de metodologias de ensino, como pode ser observado no gráfico 11.

De fato, as aulas expositivas ganham destaque, seguidas de aulas práticas e estratégias de ensino por investigação.

A fim de verificar se haveria algum tipo de correlação entre as disciplinas preferidas, a temática da nossa SD e o desempenho dos licenciandos, inserimos uma questão abordando as disciplinas preferidas e preteridas, realizadas ao longo da graduação. No gráfico 12 são apontadas as disciplinas mais desejadas e as menos desejadas.

Nota-se, assim, que as disciplinas mais bem cotadas no gosto desses licenciandos foram, Genética, Zoologia, seguida de Ecologia. A disciplina de Botânica, assim como na primeira iteração, segue como destaque negativo.

Ao final do questionário sócio-etnográfico, foram acrescentadas duas novas questões. A primeira indagava sobre experiências prévias referentes a cursos ou disciplinas que abordavam o assunto História e Filosofia da Ciência ou Natureza da Ciência.

Quatro licenciandos responderam nunca ter tido contato com o assunto e sete alegaram já terem realizado disciplinas voltadas à história da ciência. Dentre esses que tiveram, foram mencionados como cursos e/ou disciplinas: História das Ciências; História e Filosofia da Astronomia; História, Ciência e Cultura.

Por fim, questionou-se sobre as experiências prévias e/ou atuais com relação à prática docente. Dos doze que responderam, seis admitiram já terem sido professores do Ensino Fundamental, Técnico e Médio e os outros seis afirmaram jamais terem atuado como professores de qualquer seguimento.

Após a caracterização do perfil dos licenciandos que participariam deste estudo, foi dado início à segunda iteração da SD, e assim como na primeira aplicação, intentou-se identificar o nível de conhecimento desses alunos com relação aos aspectos do fazer científico, ou seja, sobre a natureza da ciência. Que visões sobre o fazer científico esses futuros professores possuem? Quais ideias sobre natureza da ciência estão cognitivamente amalgamadas e possíveis de serem perpetuadas? Essas foram algumas das perguntas levantadas que serviram como orientadoras deste trabalho.

A seção seguinte, “Resultados e Discussão” fornecem algumas respostas a essas questões e detalham de que modo a SD foi administrada, validada e avaliada.

Gráfico 11. Respostas à questão: “Quais foram as metodologias ou estratégias de ensino que você conseguiu identificar (até agora) no curso?”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números

Gráfico 12. Respostas à questão: “Quais disciplinas do curso de Ciências Biológicas você mais gosta? E quais menos gosta?”. Categorias baseadas nas respostas discursivas dos licenciandos. Números absolutos

CAPÍTULO 8 - Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos da pesquisa empírica desta tese. Naturalmente, a pesquisa histórica realizada também é um resultado, já apresentado nos capítulos 3 e 4 da Parte I da tese. Portanto, nos tópicos a seguir serão discutidos os resultados obtidos com a aplicação da SD e seus produtos educacionais, isto é, os protótipos da Sequência Didática e os dados obtidos durante o ciclo de iterações.

O capítulo está dividido em dez seções sendo as cinco primeiras para a primeira iteração e as cinco últimas para a segunda iteração. Ao final da apresentação de cada iteração, serão discutidos os respectivos *princípios de design* e as respectivas justificativas que os sustentam.

Na apresentação dos resultados de cada iteração, serão destacadas as modificações realizadas na SD, ou seja, o que caracteriza o processo de refino durante a prototipagem de acordo com a Pesquisa Baseada em *Design*. No processo de refino são identificadas as três categorias de ações, as manutenções, supressões e acréscimos, e sobre o que elas incidiram, sejam os recursos, as estratégias, os textos, as comandas de atividades etc.

Tais alterações não somente permitidas, mas recomendadas, pois a legitimação dos *princípios de design* é procedente precisamente desse processo de remodelagem e reestruturação da Sequência Didática.

Importa reiterar que todas as transições ocasionadas aos materiais educacionais da SD são justificadas no decorrer das subseções, a fim de furtar-se a quaisquer interpretações equivocadas, sejam elas embasadas em autoridade ou desconectadas do referencial teórico.

8.1. Planejamento, desenvolvimento e validação: protótipo I

O planejamento e desenvolvimento do primeiro protótipo da SD foi realizado entre o último semestre de 2014 e o primeiro semestre de 2015, resultante de contínuas discussões entre orientando, orientadora, bem como em reuniões LaHBE, com colaboração dos membros do grupo de pesquisa e de professores do ensino básico.

Baseado nos pressupostos teóricos do DBR, o doutorando, como coordenador da pesquisa, propôs o primeiro desenho da SD e apresentou ao grupo de pesquisa. Após discussões sobre as estratégias e materiais, chegou-se ao consenso de propor uma sequência que tivesse como foco central, o engajamento por meio de atividades centradas nos estudantes (licenciandos).

A partir desses objetivos, decidimos ajustar e validar as estratégias/materiais:

- ✓ Replicação física de experimentos históricos;
- ✓ Objeto virtual de aprendizagem;

- ✓ Narrativas históricas.
- ✓ Instrumento de coleta de dados (pós-teste)

À exceção do objeto virtual, os demais recursos foram ciclicamente validados junto aos membros do grupo. Da estratégia “Replicação”, o processo de validação foi direcionado à comanda, contendo informações para a realização da atividade, com relação à compreensão de conteúdo textual, das perguntas de investigação e dos aspectos de NdC abordados.

O material instrucional “Narrativas históricas” passou por processo de revisão textual, readequação das perguntas, sugestões de inserção de imagens históricas, bem como trechos de fontes primárias, a fim de criar um ambiente de imersão e motivação.

Para o levantamento de concepções prévias, sobre NdC, foi utilizado um instrumento exaustivamente aplicado e validado, o VNOS, versão C. No entanto, para análise após a SD, propusemos um instrumento contextualizado na temática da SD. Sua validação foi direcionada à revisão textual e à reestruturação das perguntas de NdC.

Como um dos propósitos era o engajamento e motivação, foi discutido a adequação das atividades de modo a fomentar a colaboração e cooperação entre licenciandos e, ao mesmo tempo, subsidiar a aprendizagem de conteúdos meta-científicos, científicos e históricos.

A partir dessas premissas, optou-se por investir em métodos de ensino investigativo, como a ênfase em problemas provenientes da própria história.

Portanto, ao final do primeiro semestre de 2015, concluímos um protótipo para a aplicação da 1ª iteração. A SD foi organizada em seis aulas, de modo a atender um número adequado, preconizado por Méheut e Psillos (2004, p. 5016). A figura 33 ilustra a organização da SD e as atividades conduzidas em cada momento.

8.2. Aplicação: Protótipo I

8.2.1. Apresentação (Aula 1)

A primeira iteração foi aplicada no segundo semestre de 2015, com alunos do curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da USP. A SD foi aplicada em aulas intercaladas de disciplina optativa livre, especialmente, mas não exclusivamente, voltada a alunos da licenciatura, intitulada “Estratégias para o Ensino de Genética e Evolução no Ensino Médio” (BIO0450), ministrada pela Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes.

No dia da apresentação da SD estavam presentes 15 licenciandos, que, após concordarem em participar da pesquisa, assinaram o TCLE e responderam aos questionários: etnográfico e de concepções prévias de NdC (VNOS-C).

Por critérios metodológicos da pesquisa em ensino de ciências, foi mantido o anonimato dos participantes desta pesquisa. Desse modo, nas respostas das atividades, os licenciandos estão representados pelos códigos “Est#1; Est#2...Est#10. Os licenciandos codificados com letras, por exemplo, [Est#K], são aqueles participaram da aula, mas foram desconsiderados da análise final, pois se ausentaram em algum momento da sequência. Este, aliás, foi o critério de inclusão ou exclusão dos participantes.

Nessa primeira iteração a SD foi composta de 6 aulas, organizadas segundo estrutura e duração apresentadas na figura 31.

Figura 31. Estrutura e organização do primeiro protótipo da SD.

8.3 Coleta e análise de dados

Aqui serão fornecidos e discutidos os resultados obtidos a cada aula, da segunda à quinta, excluindo a primeira e a última aula da SD, destinadas a pré e pós-teste.

8.3.1. Aula 2: A experimentação com seres vivos no século XVIII

Como mencionado na Figura 33, a aula 2 foi dividida em duas partes, a primeira para uma exposição dialogada sobre os naturalistas do século XVIII, salientando, entre outros aspectos, sob quais condições eles desenvolviam suas pesquisas (figura 32), as prováveis

relações entre o desenvolvimento científico e a sociedade, quais eram as teorias e recursos tecnológicos disponíveis.

Figura 32. Abraham Trembley realizando um procedimento experimental com hidras, sob observação de seus pupilos. Pintura da primeira metade do século XVIII, na Holanda.

Fonte: Trembley (1744)

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados a seguir.

AULA 2 (parte 1)			
“A experimentação com seres vivos no século XVIII”			
Conteúdo	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdos históricos: A sociedade genebres/holandesa no séc. XVIII; A história natural e teorias de geração animal no séc. XVIII; Introdução à pesquisa experimental de Trembley	(1) Apresentar e contextualizar o momento histórico dos episódios; (2) Introduzir de forma explícita e reflexiva aspectos de NdC: papel da observação; experimentação; fatores socioculturais	Aula expositiva dialogada (slides em PPT) Coleta de dados: Notas de campo, relatório de atividade de replicação	Ministrante: Doutorando Supervisão: Orientadora Tempo de aula: 50 minutos Participantes: 13 estudantes

Durante a exposição, o instrutor propôs momentos breves de “interrupção” para investigar, ainda que de forma simples, alguns conhecimentos prévios dos licenciandos sobre aspectos de NdC. As respostas eram, então, coletadas e enumeradas em forma de tópicos na

lousa para posterior discussão ⁷¹. De forma sucinta, alguns licenciandos proviam suas explicações para perguntas. A aula expositiva dialogada teve dois momentos de interrupção para questões de NdC. As duas questões e alguns exemplos de respostas dos alunos estão representados no Quadro 9.

Quadro 9. Respostas dos estudantes às perguntas de interrupção da aula expositiva. *Legendas: (INST = Instrutor); (Est#N = Licenciandos)*

INST	Que tipo de influência um contexto religioso pode ter promovido em teorias e estudos sobre geração dos seres no século XVIII?
Est#4	“Ajudou a formar teorias”
Est#10	“Geração dos seres eram baseados na bíblia”
INST	“Como os naturalistas conseguiam fundos para custear suas pesquisas? Quem tinha interesse em financiá-las e por quê?”
Est#2	“Não eram cientistas, mas curiosos da natureza”; “Igreja podia financiar”.
Est#6	“Trabalhavam e faziam pesquisas como ‘hobby’”

Essas respostas indicam um conhecimento bastante superficial acerca dos contextos históricos da ciência. Embora as perguntas tenham sido colocadas em meio à exposição, que indicava a relação entre as teorias de geração animal e concepções religiosas da época, nenhum aluno fez menção explícita ao exemplo em suas respostas.

As respostas à segunda questão são ainda mais problemáticas, pois os dois estudantes exemplificados no Quadro 11 indicam uma concepção *whigista* da atividade científica, tratando a atividade de pesquisa do século XVIII como feita por algum capricho da Igreja ou mero hobby. Uma nova iteração terá que levar em conta esses problemas e enfatizar o contexto próprio da pesquisa da natureza no século XVIII.

8.3.2. Aula 2 (parte 2) “O dilema de Trembley”

Finalizada a contextualização histórica, a segunda parte dessa aula foi destinada à atividade “Replicação de experimento histórico”. Os estudantes foram divididos em grupos de três a quatro componentes e tiveram cerca de duas horas para a atividade prática.

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados a seguir.

⁷¹ As respostas dos licenciandos enumeradas na lousa se configuram como “notas de campo”, mais um instrumento metodológico da pesquisa.

AULA 1 (parte 2)
“O dilema de Trembley”

Conteúdo	Objetivos	Estratégia, recursos e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo científico: Modos de reprodução assexual animal;	(1) Apresentar um problema histórico autêntico da história da biologia sobre a “descoberta” de modos de reprodução animal;	Replicação física de Experimento Histórico Materiais: Espécimes de <i>Hydra viridissima</i> ;	Instrutor: Doutorando
Conteúdo metacientífico: Elaboração de desenho observacional e experimental; interpretação e divulgação de dados	(2) Fomentar habilidades de investigação científica por meio da história da biologia;	Lupa de mão; Microscópio óptico (400x); Lâminas; tubos de ensaio; Placas de petri; tesoura;	Supervisão: Orientadora Tempo de aula: ~2 h
	(3) Discutir aspectos de NdC como: carga teórica na observação e inferência; natureza dos experimentos e interpretação de evidências	Estilete; pinça; pipeta Coleta de dados: Comanda por escrito; Captura de áudio; Notas de campo	Participantes: Quatro grupos (3 a 4 estudantes)

Antes de iniciar os procedimentos, o doutorando informou aos licenciandos que a ideia era se posicionarem no lugar do naturalista, isto é: imaginar-se no contexto do século XVIII, com os conhecimentos da época e embasados nas teorias vigente. Após, foram distribuídos aos grupos a comanda com a informação descrita abaixo:

Esta atividade tem o objetivo de apresentar um episódio da história natural ocorrido no século XVIII. O problema em questão foi identificar e classificar um objeto que possuía comportamento tanto de plantas quanto de animais. Após diversas observações e experimentos, o naturalista genebrês, Abraham Trembley conseguiu solucionar essa questão!

Agora, convidamos vocês a se colocarem no lugar de Trembley e retornar ao século XVIII. O que vocês fariam para tentar responder às questões:

Que tipo de organismo é esse? É um animal? Uma planta? É possível que seja ambos?

O objetivo é convencer/persuadir a comunidade científica da época acerca da confiabilidade dos seus resultados e conclusões. Para isso, façam um relatório detalhado de TUDO que julgarem pertinente apresentar. Por exemplo, as suas ideias/hipóteses; materiais e métodos (lembrem-se, vocês estão no século 18!). Mão na massa boa sorte!

Lançada a problemática, os licenciandos se organizaram, tomaram os instrumentos e definiram os procedimentos e atitudes. O doutorando teve um papel passivo nessa parte da aula, evitando intervir nas discussões entre os alunos e grupos, salvo em casos de dúvidas sobre manipulação dos materiais. A ideia foi promover um ambiente livre e rico de investigação.

Cabe esclarecer que, no momento da participação da SD, esse grupo de licenciandos já havia realizado disciplinas temáticas de “Zoologia” e “Invertebrados”, possuindo conhecimento conceitual sobre as hidras (Cnidária). É uma hidra. Entretanto, o que “faz” da hidra, um animal e não uma planta? Segundo Chang (2011, p. 320) a experimentação, seja ela de cunho histórico ou contemporâneo, gera um senso natural de curiosidade, suscitando questionamentos do tipo: “O que pode acontecer se eu fizer isso?”

Desse modo, a meta dessa estratégia vai para além de simples caracterização descritiva do organismo observado. A contribuição significativa da replicação reside na possibilidade de instigar a exploração do conhecimento.

Apesar desse teor carismático e motivacional, ao longo da atividade de replicação, analisou-se o nível de conhecimento dos licenciandos acerca dos aspectos relacionados aos “Métodos ou regras metodológicas” da prática científica (DAGHER; ERDURAN, 2016, p. 155) ou aspectos da “Dimensão Observacional”, tais como: “acurácia e precisão” na observação; “completude (e interpretação) de evidências” (ALLCHIN, 2013, p. 23); “experimentos controlados”; “observação e inferência” (LEDERMAN et al., 2002); etc.

As análises dos dados, portanto, referem-se à triangulação entre as respostas dos grupos à comanda da atividade, a captura de áudio da discussão de um dos grupos de licenciandos e das notas de campo feitas pelo instrutor⁷².

Para conduzir as análises da replicação, previamente foram enumerados e validados junto ao grupo de pesquisa LaHBE, itens que deveriam estar contemplados nas respostas para a classificação em “adequado”, “parcialmente adequado” e “inadequado”, conforme consta na rubrica descrita no quadro 10.

Quadro 10. Rubrica de análise a respostas à questão inicial da atividade “Replicação de experimento histórico”.

RUBRICAS	
Aspectos de NdC: “acurácia e precisão”; “completude de evidências”; “experimentos controlados	
Adequada	Uma concepção adequada da prática investigativa da atividade científica de Trembley deve definir os critérios analisados; deve visitar e identificar conhecimentos prévios; (morfologia, fisiologia); proposição de hipóteses ou explicação; definir metodologia: ressaltar o papel da acurácia na observação e/ou experimentação (destacando papel do controle de variáveis); reconhecer a natureza do experimento como intervenção da natureza e ferramenta de padronização de fenômenos; destacar a colaboração entre pares; o papel da comunicação, retórica e semântica como persuasão da comunidade de eruditos da época.
Parcialmente adequada	Uma visão admissível deve definir minimamente algum critério de análise; descrever um desenho metodológico viável (observação/experimentação); controle de variáveis; repetição; comparação; destacar o papel da argumentação e comunicação como forma de persuasão.
Inadequada	Uma concepção inadequada credita as respostas como resultados da aplicação do “método científico”; descreve os dados obtidos como “prova” ou “comprovação científica”; descarta ou ignora a necessidade da comunicação e colaboração entre naturalistas. Descreve desenhos metodológicos incongruentes e inviáveis

As respostas dos grupos, reproduzidas na íntegra no quadro 11, mostraram-se bastante sucintas. A explicação para essa objetividade pode estar relacionada à organização da atividade pelos licenciandos. A maior parte da aula, como esperado, foi reservada para realização dos procedimentos, observação, manipulação e discussão. Portanto, inevitavelmente, restaria pouco tempo e, por consequência, pouca ênfase à parte escrita. No entanto, como informado antes do

⁷² Devido à problemas técnicos, não foi possível obter captura de áudio de outros grupos. Tentamos capturar a gravação em vídeo de um dos grupos, porém o áudio gerado estava inteiramente inaudível ou incompreensível.

início da intervenção, os licenciandos estavam cientes da importância da parte discursiva da atividade.

Ao terminar a Análise de Conteúdo, concluiu-se que os grupos forneceram respostas mais ou menos homogêneas. A diferir, apenas, na qualidade de apresentação dos dados.

Em todos os grupos foi possível identificar (grifo nosso), em maior ou menor grau, aspectos práticos de investigação científica, tais como: procedimento de coleta; métodos e materiais para observação; descrição morfológica do organismo; propostas de experimentação e o controle de variáveis. O que se percebe, portanto, em contextos, como no caso de experimentos históricos, é que os estudantes são capazes de compreender a inter-relação entre os fenômenos e práticas relacionadas à ciência à medida do seu envolvimento com a atividade (CAVICCHI, 2008, p. 2).

Quadro 11. Resposta integral dos grupos à primeira questão da atividade “replicação”

<p>Grupo 1 Membros: [Est#1]; [Est#2]; [Est#9]; [Est#K]</p>
<p>Para analisar a amostra utilizamos uma pipeta para sugar uma gota de água e com o auxílio de uma pinça, colocamos a amostra sobre uma lâmina de vidro. Utilizamos um microscópio com 70x de aumento, após ajustar o foco com a incidência da luz solar, iniciamos a observação. [...]</p> <p>O organismo observado é aquático, verde e apresenta certo brilho quando iluminado pelo sol. É filamentosos, com pequenas estruturas arredondadas e bem distanciadas umas das outras. <u>Quando observadas atentamente</u>, essas estruturas apresentam fios transparentes ao redor de um orifício, que aparenta ser a boca por onde ele se alimenta, como representado na <u>figura 1</u>.</p> <p>Dessa forma, <u>nós inferimos que esse organismo é um animal</u> e que sua coloração verde se deve à ingestão de uma planta.</p> <p>[...]“ Será que [o organismo] é verde por causa da clorofila? Fazem fotossíntese? ” [...] “É planta! ”; “Ah, mas ele [organismo] se mexe fácil [...] É bicho! * ”</p> <p>Não foi possível verificar nenhum tipo de resposta interativa aos estímulos aplicados, possivelmente por o animal estar morto ou debilitado pelo excesso de manipulação.</p> <p>Acreditamos que seja necessário <u>repetir a análise da amostra</u> em outros pontos do lago e em diferentes estações do ano, <u>realizando experimentos</u> mais longos (como manter o animal no escuro, não fornecer alimento por um certo período e analisar seu ciclo de vida) a <u>fim de ampliar os conhecimentos</u> sobre o organismo estudado.</p> <p>*Trecho de fala dos licenciandos coletado por meio de notas de campo.</p>	

<p>Grupo 2 Membros: [Est#3]; [Est#8]; [Est#10]; [Est#A]</p>
<p>Inicialmente fazer uma <u>observação</u> com microscópio das estruturas morfológicas e anatômicas: corpo cilíndrico do qual emerge, de uma das extremidades, outros cilindros mais finos. Possui uma substância transparente em volta de uma matriz verde e levemente granulosa.</p> <p>Para tentar aferir a natureza do ser faremos os seguintes experimentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar <u>vários seres</u> em água do lago e, uma situação <u>de escuro total</u> e outra <u>em claro total</u> para ver se ele morre por falta de sol (ausência de fotossíntese) – água do lago proveria os nutrientes necessários - Colocar em duas placas água fervida e filtrada para remover os eventuais predadores e fontes de alimentos novamente em situação de claro e escuro. - Fazer <u>diferentes cortes</u>, em diferentes partes da estrutura do ser para <u>verificar se há regeneração do corpo</u>, principalmente dos “ramos” cortados, se o corpo principal se regenerar <u>é maior a probabilidade de ser um animal</u>, e se for um dos “ramos” é maior a probabilidade de ser uma planta. <p>Observamos que ele se contrai quando algo estranho entra em contato com seu corpo e que ele aumenta a sua atividade quanto aumenta a intensidade luminosa/sol. Dotado de movimentos, especialmente seus tentáculos. Por enquanto não obtivemos êxito em cortá-lo.</p>

Devido a seu padrão de movimentação, achamos mais provável que seja um animal.

Grupo 3

Membros: [Est#4]; [Est#6]; [Est#7]; [Est#Ar]

Observamos o material em microscópio óptico no amento de 70x. Inicialmente tivemos a impressão de ser uma planta, devido à coloração esverdeada e à morfologia (em uma disposição ramificada. Aparenta possuir também uma pequena protuberância na região “axial”, lembrando caules de uma planta.

Entretanto, logo percebemos características que aproximam o organismo do grupo dos animais, como a movimentação e o fato de possuir o interior mais “fluido” do que plantas no geral.

Acreditamos que é possível que seja um ser intermediário por apresentar características de ambos (planta e animal).

Para melhores conclusões precisaríamos observar mais exemplares, tanto em laboratório quanto no ambiente natural, além de submeter a diferentes condições de temperatura, luminosidade, etc. Essas condições podem facilitar no entendimento do organismo. Podemos, também, cortar partes dos exemplares para “ver o que acontece”.

Grupo 4

Membros:[Est#5]; [Est#D]; [Est#G]; [Est#P]

Por observação no microscópio o que parece ser uma “raiz” não é por onde o organismo se fixa, ele se fixa pela outra extremidade, além disso, a estrutura se movimenta ativamente independente de um fluxo de água, possivelmente para captura de alimentos. O organismo responde ao toque se encolhendo, característica também observada em plantas, porém diferente dessas ela também se encolhe quando iluminada, ou seja, a luz é um estresse para esse organismo. Isso foi observado em três indivíduos que foram estimulados mecanicamente com o auxílio de uma pinça e o auxílio luminoso foi feito com reflexo da luz natural com auxílio de um espelho**.

P.S. Seria necessário mais tempo para analisar reprodução e regeneração

** Pode-se observar com auxílio de um microscópio um orifício entre as “raízes” que não está presente em plantas e quando colocamos substrato ele não só move a estrutura semelhante à raiz como desgruda da lâmina e se locomove.

Com isso podemos concluir que, apesar de ser verde como as plantas, se trata de um animal pois apresenta movimentação e locomoção semelhante a de animais, não de plantas.

Grifo do autor

O grupo 1, por exemplo, ao mencionar que, a partir de uma observação: “[...] nós *inferimos* que esse organismo é um animal [...]”, utiliza-se de uma terminologia adequada no que concerne às habilidades de investigação científica. Isto é, se por um lado “observação”, em senso estrito é algo que se vê, ouve, toca, cheira. Por outro lado, “inferência” é aquilo que se pensa sobre o objeto observado (FOUAD; MASTERS; AKERSON, 2015b, p. 1118). Além disso, há uma preocupação com a relevância da repetição amostral, isolamento e controle de variáveis, dado esse que é expresso em todos os grupos.

Todavia, há uma forte tendência entre os grupos em limitar-se apenas à discussão empírica da replicação, ignorando, por exemplo, aspectos meta-científicos, como o papel das normas de comunicação como forma de persuasão acadêmica; a colaboração e revisão por pares.

O grupo 2, no entanto, foi um pouco mais minucioso com relação à proposição de desenhos experimentais, selecionando as variáveis isoladas (luminosidade/intervenção cirúrgica) “uma situação de escuro total e outra em claro total”; seccionamento do organismo, a fim de verificar causa-efeito. Há, também, certa cautela na definição de termos mais apropriados, por exemplo: “probabilidade”, no sentido de inferência, contrariamente à ideia de comprovação científica.

Afortunadamente, ademais do relatório, os dados desse grupo foram triangulados com a transcrição do áudio (anexo 4 – CD-ROM) capturado durante a prática, sendo possível acompanhar o caminho percorrido de raciocínio ao longo de toda a replicação.

No trecho da discussão dos licenciandos, em destaque abaixo, pode-se identificar, novos questionamentos e dúvidas provenientes da observação (Linha 434); a explicação embasada em conhecimentos prévios (Linha 477).

Linha 413: [Est#A]. Ah! A gente podia cortar um pedaço e ver se volta ao normal!

Linha 434: [Est#3]. Mas seria bacana. (...)você arrancou um tentaculozinho...vê se vai regenerar. E se esse tentáculo puder regenerar um novo indivíduo?

Linha 477: [Est#8] (...) até então só conhecem, tanto planta quanto animal só por reprodução sexuada (...). Se você colocar...um (...) sozinho, e do nada surgirem mais indivíduos junto com ele, isso pode indicar (...) que seria um animal, ou coisa diferente!

Linha 478: [Est#3] (...), não, porque (...)na planta (...)ela pode ser hermafrodita. Então pode ser que tenham os dois órgãos ali [no organismo].

Além dos propósitos metodológicos, nota-se, também, o teor motivacional adjacente à replicação histórica. Ao passo que o desenvolvimento e aplicação de métodos de ensino-aprendizagem *com e sobre* história e filosofia da ciência possuem maior propensão ao aumentar o interesse e motivação, promover atividades cognitivas e meta-cognitivas, bem como a criatividade e o pensamento reflexivo (HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012a, p. 1239). Essa questão foi refletida em falas dos licenciandos do grupo 2:

Linha 491: [Est#A] Já pensou se as aulas de “inver” [disciplina Invertebrados] tivessem sido assim? Todos os bichinhos, a gente teria que adivinhar o que era? Ia ser muito mais legal!

Linha 492: [Est#3] É. Ia levar um ano a mais para terminar [risos].

Linha 493: [Est#A]. Não interessa! A gente ia lembrar das coisas. Eu ia lembrar!

Os grupos 3 e 4 seguiram basicamente o mesmo padrão dos demais. A posição do grupo 3 com relação às respostas foi bastante conservadora. Descreveram algumas etapas de observação, mencionaram o papel da intervenção experimental e variáveis (luz, temperatura), porém, defenderam condições mais apropriadas (laboratório) para melhores conclusões. Já o grupo 4, realizou uma série de observações em busca de padrões similares “[...] a luz é um estresse para esse organismo. Isso foi observado em três indivíduos [...]. No entanto, para o grupo, o tempo foi o fator limitante para o desenvolvimento de estudos relacionados ao processo reprodutivo do organismo.

Com base na análise das respostas discursivas, na transcrição de áudio, notas e observação em campo, pode-se concluir que, das metas traçadas para a replicação, o fator engajamento é fortemente presente. Os licenciandos participaram ativamente durante todo o

período da prática. Houve discussões ricas que (por problemas técnicos), nem todas as falas puderam ser registradas.

Em relação às habilidades de investigação científica, nota-se, nas respostas discursivas, o empenho para a proposição de desenhos experimentais, a escolha dos critérios de análise; a capacidade de diferir entre observação e inferência. Ainda que esse conjunto de licenciandos possuam concepções “parcialmente adequadas” com relação aos aspectos abordados, tais conhecimentos são de relevância ímpar para a formação docente em ciências biológicas e devem ser instigados e motivados.

Entretanto, são raros os casos, em que há espaços para discussão, inserção de metodologias alternativas e exploração de aspectos de natureza da ciência em disciplinas da formação inicial. Talvez seja essa, uma das razões pelas quais os professores formados ingressam na sala de aula com vieses retrógrados, fomentando ideias empírico-indutivistas; possuindo uma visão individualista e elitista da ciência, cujo conhecimento científico é fruto de genialidade, omitindo a colaboração do trabalho científico (EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004), ignorando ou descartando suas inter-relações com meio sociocultural e temporal.

8.3.3. Aula 3: Narrativa histórica “Pólipo, um zoófito?!?”

Ciente desses problemas, a aula 3 da SD foi destinada à aplicação de uma narrativa histórica “Pólipo, um zoófito?!?” (Anexo 4). O recurso de narrativa visa promover a contextualização do momento histórico no qual Abraham Trembley desenvolveu seus estudos e por meio desse percurso, identificar de forma explícita os elementos do “fazer científico”, ou aspectos relacionados à natureza da ciência.

AULA 3 “Pólipo, um zoófito?!?”			
Conteúdos	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo histórico: O contexto dos estudos de Abraham Trembley sobre os modos de reprodução assexual em pólipos de água doce (gênero <i>Hydra</i>): regeneração e brotamento	(1) Apresentar um problema autêntico da história da biologia sobre o contexto da descoberta de modos de reprodução animal; (2) Fomentar habilidades de investigação científica; (3) Discutir aspectos de NdC: ciência carregada de teoria; observação e inferência; natureza dos experimentos; papel da colaboração; revisão por pares e resposta às críticas; papel da comunicação	Leitura de narrativa histórica fornecida aos alunos. Coleta de dados: Respostas por escrito às questões (Paradas para Pensar) inseridas na narrativa; notas de campo.	Instrutor: Doutorando Supervisão: Orientadora Tempo de aula: ~2 h Participantes: Três grupos (3 a 4 estudantes)

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados no quadro a seguir.

A narrativa histórica foi constituída por:

- ✓ Texto redigido em oito páginas e em formato de narrativa, respeitando a cronologia dos eventos históricos;
- ✓ Inserção de ilustrações e citações extraídas de fontes primárias e/ou secundárias;
- ✓ Adição de duas questões de Natureza da Ciência ao final da narrativa, abrangendo os aspectos da carga teórica na observação e inferência; natureza dos experimentos; papel da colaboração; revisão por pares e resposta às críticas; papel da comunicação

Os dados foram coletados das respostas discursivas no próprio material impresso e distribuído pelo instrutor. Na segunda aula da SD, estavam presentes onze licenciandos que foram divididos em três grupos. A atividade durou cerca de 90 minutos, sendo que uma hora foi designada para leitura em grupos, discussão entre os pares, resposta às duas questões e 30 minutos para discussão coletiva a fim de explicitar os elementos de NdC.

O método de análise de dados seguiu os mesmos parâmetros da atividade de replicação. As rubricas foram elaboradas e validadas em colaboração com professores e estudantes de pós-graduação do Grupo de Epistemologia, História e Didática das Ciências, da Universidade de Buenos Aires, durante o período do doutorado sanduíche, realizado pelo doutorando.

A narrativa história e os problemas encarados pelo naturalista Trembley, no século XVIII, puderam pavimentar um caminho instigante para explicitar aspectos de NdC. Pois, por meio de eventos históricos autênticos, foi possível contextualizar o percurso de investigação, as decisões tomadas e as situações contornadas, a fim de investigar acuradamente o aparente dilema sobre o organismo desconhecido.

A primeira pergunta da narrativa (Questão 1) tinha como propósito revisitar a prática da replicação estimulando habilidades de investigação e reexaminar aspectos de NdC, tais como: o papel das observações, inferências e natureza da experimentação científica. Além disso, a ideia foi criar um momento de provocação aos licenciandos ao questionar as possibilidades de “botar um fim”, à questão, como forma de investigar suas concepções sobre ideia de “comprovação científica”; resultados experimentais como “prova”.

A questão 2 procurou abordar o papel das habilidades de persuasão em ciência por meio das normas comunicação e colaboração. Ou seja, como o naturalista (ou atuais cientistas) lidam com a resposta às críticas e a interpretação de dados inesperados? Ademais de enfatizar o papel da replicação de métodos experimentais, elementos de NdC condizentes às Dimensões: “Conceitual” e “Sociocultural” (ALLCHIN, 2013, p. 23)

Nos quadros 12 e 13 são apresentadas as rubricas propostas para análise, rotuladas de acordo com cada nível e as respostas discursivas dos licenciandos, respectivamente.

Questão 1: Será possível que animal possa se reproduzir como uma planta e se regenerar como uma planta? Seria possível fazer uma linha dividindo o reino de animais e plantas? Os pólipos seriam uma nova classe de corpos organizados entre os dois reinos? **Quais outras observações e experiências ele poderia ter feito para defender a sua posição em favor de animais ou plantas? No lugar de Trembley, o que você faria para “botar um fim” nessa questão?**

Quadro 12. Rubricas da questão um da narrativa histórica “Pólipos, um zoófito”

RUBRICAS	
Aspectos de NdC: “natureza dos experimentos”; “papel da observação” e “papel da inferência”	
Adequada	Espera-se que o estudante argumente que as evidências/dados obtidos por Trembley (e propostos por eles) foram construídos por meio de modos ou métodos rigorosos de intervenção sobre a natureza. Que tais modos se baseiam na interpretação própria e é carregada de teoria durante as suas observações e inferências. Que os métodos empíricos confiáveis dependem do controle de variáveis, da replicação, do tamanho da amostra e dos resultados esperados. Enfatizar a importância da proposição de hipóteses sensatas sobre o fenômeno investigado a fim de fortalecer ou apoiar uma assertiva.
Parcialmente adequada	Espera-se que o estudante proponha que as explicações são baseadas em observações e inferências, influenciadas por conhecimentos prévios; que possam argumentar e propor explicações e hipóteses; discutir que experimentos são ferramentas de obtenção de dados, e que apenas podem suportar (ou não) as suas alegações, que experimentos não são capazes de provar algo.
Inadequada	Espera-se que o aluno proponha explicações baseadas na existência de um método científico único. Que possa argumentar que a realidade é procedente dos dados/resultados obtidos principalmente (ou unicamente) por meio de um experimento, bem como abordar a ideia de “descobrimento”. Ressaltar experimentos como testes de hipóteses. Ou que não forneça qualquer argumento/explicação dos métodos, evidências e resultados esperados.

Quadro 13. Trechos das respostas dos grupos à primeira questão da narrativa histórica. As partes omitidas “[...]” desconsideravam aspectos das respostas. O conteúdo integral das respostas dos licenciandos é apresentado no anexo 13.

Grupo	Respostas por escrito	Nível
1	[...] Trembley deveria ter investigado [...] os hábitos alimentares desses organismos, dividindo-os em quatro grupos: no claro com alimento; no claro sem alimento; no escuro com alimento; no escuro sem alimento.	Parcialmente adequada
2	Para <u>botar um fim nessa questão</u> propusemos um experimento no qual valorizamos o critério “alimentação”. [...] utilizamos uma porção de água na qual foram inseridos os pólipos e outro recipiente igual com água do lago para servir de <u>controle do experimento</u> . A porção de água estéril foi separada em dois grupos para verificar a importância da luz na sobrevivência dos pólipos. [...] se a população [...] na porção de água estéril, que foi colocada no escuro, morrer e a população que foi colocada no claro sobreviver, concluímos que a luz é um fator [...] para a sobrevivência, [...] como plantas. <u>Se ambos morrerem [...] concluímos que são animais</u> e que morreram pela falta de comida.	Parcialmente adequada
3	[...] vamos <u>buscar descobrir</u> se o organismo faz reprodução assexuada ou sexuada. <u>Como hipótese inicial, propomos que a reprodução é assexuada e, para testar a hipótese</u> decidimos isolar os organismos em diferentes frascos por várias gerações (para evitar possível fecundação). Caso eles continuem se reproduzindo (por brotamento, como observado) <u>podemos concluir que a reprodução é assexuada</u> . [...] se o organismo se trata de um animal ou planta, consideraremos a [...] alimentação. [...] se o organismo tende a buscar a luz, decidimos deixa-lo no escuro, fazendo a manutenção do frasco (troca de água). Caso ele continue vivo, podemos concluir que a sua alimentação não depende de luz, portanto, não é uma planta.	Parcialmente adequada
Grifo do autor

Questão 2: As descobertas feitas por Trembley não se restringiram ao conhecimento local, mas foram divulgadas e geraram interesse de naturalistas e do público em geral em vários países Europa. Entretanto, a ideia da existência de um animal que ao ser cortado em várias partes, produziria novos seres, foi alvo de incredulidade, criticismo e até mesmo ironias e piadas. **O que você acha que Trembley fez para “calar” esses críticos e “garantir” a veracidade dos seus resultados? O que você faria?**

Quadro 14. Rubricas da questão dois da narrativa histórica “Pólipos, um zoófito?!?”

RUBRICAS	
Aspectos de NdC: “resposta a críticas”; “resposta a resultados inesperados” e “revisão por pares”	
Adequada	Espera-se que o estudante possa explicar que o naturalista (ou cientista) possua habilidade retórica e estratégia semântica para persuadir sobre suas próprias ideias. Que mudança de conceitos faz parte do desenvolvimento da ciência. Que a comunicação, disseminação e revisão por pares dos resultados é parte do processo científico. Que a elaboração de métodos de replicação experimental é um elemento para garantir a confiabilidade dos dados a fim de evitar a fraude e má conduta científica.
Parcialmente adequada	Espera-se que o estudante justifique que Trembley poderia ter proposto novos experimentos bem elaborados ou argumentar sobre a necessidade de enviar os resultados obtidos à análise por pares.
Inadequada	Espera-se que o estudante possa discutir que os dados obtidos são fatos incontestáveis, que são evidências e descobrimentos apresentados em sua forma final; que os naturalistas devem acreditar uns nos outros.

Quadro 15. Trechos das respostas dos grupos à segunda questão da narrativa histórica. As partes omitidas “[...]” desconsideravam aspectos das respostas. O conteúdo integral das respostas dos licenciandos é apresentado no anexo 13.

Grupo	Respostas por escrito	Nível
1	Trembley [...] estudou se os organismos se reproduziam como animais (sexuada), além da reprodução semelhante às plantas, já observada por ele.	Parcialmente adequada
2	Apresentou um experimento na <i>Royal Society of London</i>	Inadequada
3	Para <u>comprovar seu descobrimento</u> (animal com reprodução assexual) poderíamos <u>enviar os organismos aos críticos com o protocolo</u> de cultivo e o passo a passo experimental. Assim, haveria possibilidade de replicação, <u>similar ao método científico atual</u> .	Parcialmente adequada

Em ambas as questões os grupos focaram suas respostas, majoritariamente, nos aspectos empíricos. De fato, a primeira questão abordava a natureza experimental/observacional da prática científica. Entretanto, buscou-se averiguar qual nível de concepção esse grupo de licenciandos possuía acerca de tal aspecto.

De acordo com as respostas, nota-se que há uma forte inclinação na defesa do papel dos experimentos como forma de obtenção de conhecimento científico. Ao alegarem, por exemplo, que por meio de procedimentos experimentais, pode “concluir” ou “comprovar” hipóteses, esse grupo de licenciandos alimenta uma concepção empírico-indutivista e, portanto, ainda, inadequada da natureza empírica.

Esse dado, ecoado em diversos estudos (EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004; MILLER et al., 2010b; JAIN; LIM; ABDULLAH, 2013; KAHANA; TAL, 2014), é preocupante, em especial por se tratar da posição de futuros docentes, profissionais que poderão

perpetuar ideias distorcidas em suas práticas docentes, nocivo aos estudantes e, por conseguinte, à formação de futuros cidadãos.

Embora as os métodos empíricos sejam de fundamental importância ao desenvolvimento científico, creditar peso excessivo, negligenciando ou desconhecendo práticas similarmemente válidas como: o papel da comunicação e colaboração; resposta a resultados inesperados e às críticas; mostra que a compreensão desses licenciandos *sobre* ciências é, ainda, inadequada e insatisfatória.

Desconstrução, todavia, é um processo complexo. A promoção de mudança conceitual, isto é, a substituição de concepções alternativas dos estudantes, que são inteligíveis e acomodadas, por ideias científicas sofisticadas, não é tarefa trivial. Cabe ao docente saber manejar justificativas eloquentes a fim de contradizer ideias não-científicas ou inadequadas (BASTOS, 2015, p. 39).

Dentre as possibilidades de mobilização, a abordagem explícita e reflexiva tem se mostrado deveras eficiente com relação ao ensino de natureza da ciência (KHISHFE; ABD-EL-KHALICK, 2002; SCHARMANN et al., 2005; RUDGE; HOWE, 2009; KRUSE, 2011). Assim, com base na contextualização proporcionada pela narrativa, a discussão coletiva conduzida pelo instrutor após a atividade buscou expor, de forma declarativa e pontual, os referidos aspectos de NdC presentes na narrativa.

8.3.4. Aula 4. Narrativa histórica: “O enigma do pulgão no século XVIII”

A quarta aula foi reservada à aplicação da segunda narrativa histórica “O enigma do pulgão no século XVIII” (anexo 5), baseada nos estudos de reprodução em pulgões conduzido pelo naturalista Charles Bonnet, seguiu a mesma linha da narrativa anterior. Os dados apresentados nesta seção (quadros 16 e 17) referem-se às respostas dos grupos às questões inseridas na narrativa.

A atividade durou 90 minutos: 60 minutos para leitura, discussão em grupo e resposta às questões e 30 minutos para discussão coletiva a fim de explicitar os elementos de NdC.

Os resultados obtidos foram coletados via respostas escritas pelos grupos em campos específicos na narrativa, impresso e distribuída pelo instrutor. O primeiro protótipo dessa narrativa histórica foi composto por:

- ✓ Texto redigido em seis páginas e em formato de narrativa respeitando a cronologia dos eventos históricos;
- ✓ Inserção de ilustrações e citações extraídas de fontes primárias e/ou secundárias;

- ✓ Adição de duas questões de Natureza da Ciência, uma “interrompendo” a narrativa e outra ao final, abordando os aspectos interpretação de ideias científicas; carga teórica na observação e inferência; natureza dos experimentos

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados no quadro a seguir.

AULA 4 “O enigma do pulgão no século XVIII”			
Conteúdos	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo histórico: O contexto dos estudos de Charles Bonnet sobre os modos de reprodução assexual em pulgões (gênero <i>Aphioidea</i>): partenogênese	(1) Apresentar um problema autêntico da história da biologia sobre o contexto da descoberta de modos de reprodução animal; (2) Fomentar habilidades de investigação científica; (3) Discutir aspectos de NdC: interpretação de ideias científicas; carga teórica na observação e inferência; natureza dos experimentos;	Leitura de narrativa histórica fornecida aos alunos. Coleta de dados: Respostas por escrito às questões (Paradas para Pensar) inseridas na narrativa; notas de campo.	Instrutor: Doutorando Supervisão: Orientadora Tempo de aula: ~2 h Participantes: Três grupos (3 a 4 estudantes)

O estudo do episódio histórico sobre os estudos de Bonnet e a multiplicação sem acasalamento em pulgões, nos permitiu conhecer, em maiores detalhes, o percurso e o contexto no qual os processos se sucederam até o reconhecimento de uma nova forma de perpetuação animal. O aprofundamento forneceu oportunidades para identificar, aspectos inerentes a prática científica, por exemplo, o papel da interpretação de evidências, ou observação carregada de teoria, abordados na primeira pergunta da narrativa histórica (Questão 1).

Esses elementos possuem relevância para o ensino da natureza da ciência, pois, contradiz à visão ingênua de neutralidade dos cientistas. Conforme ilustrado em vários aspectos da narrativa, o desenvolvimento das ideias científicas é refletido pelo meio sociocultural, político, religioso, entre outros. Ou seja, não há imparcialidade, seja em conceitos científicos, seja na visão de cientistas; longe disso, suas concepções, as questões da época e o ambiente influenciam e desempenham papel primordial na produção científica (MOURA, 2014, p. 34).

Questão 1: Todos esses naturalistas estavam olhando para dados semelhantes (pulgões), apesar da variação das espécies. Mas, ainda assim, eles chegaram a conclusões diferentes sobre como esses insetos se reproduziam. **Por que você acha que diferentes explicações surgiram na tentativa de explicar o mesmo fenômeno?**

Quadro 16. Rubricas da questão um da narrativa histórica “O enigma do pulgão”

RUBRICAS	
Aspectos de NdC: “papel da interpretação de evidências” e “carga teórica na observação ”	
Adequada	Espera-se que o estudante explique que os naturalistas da época, assim como os cientistas modernos, possuem conhecimentos prévios e crenças pessoais distintas, de caráter social, cultural, político, religioso e/ou afins. Que muitas vezes (se não, todas) são guiados/orientados por teorias às quais são adeptos e defensores. Que possuem padrões de raciocínio diferentes. Que a observação e a interpretação dos fenômenos investigados são carregadas de juízos particulares.
Parcialmente adequada	Espera-se que o estudante argumente que as explicações são dependentes de conhecimentos prévios e de teorias as quais os naturalistas ou cientistas defendem. Que o contexto em que o observador está inserido influencia na interpretação. Que as crenças pessoais orientam a observação.
Inadequada	Espera-se que o aluno possa argumentar que as explicações distintas são oriundas da falta de ou da interpretação errada das evidências; que os cientistas seguem um método objetivo e que com mais dados e mais tecnologia serão capazes de chegar a um consenso ou a explicações melhores.

Quadro 17. Trechos das respostas à primeira questão da narrativa “O enigma do pulgão”. Partes omitidas “[...]” desconsideravam aspectos das respostas. O conteúdo integral das respostas dos licenciandos encontra-se no anexo 14

Grupo	Respostas por escrito	Nível
1	Cada investigador <u>explica de acordo com a sua crença</u> [...] dependendo daquilo que se crê, se tem uma visão diferente sobre determinado fenômeno/ situação. [...] <u>o meio em que o investigador está inserido</u> (laboratório em que está, por exemplo) e suas <u>experiências anteriores</u> influenciam como interpreta o fenômeno observado.	Adequada
2	Pelas <u>concepções prévias</u> e hipóteses que se formularam. Essas concepções <u>influenciaram as interpretações</u> que eles deram às observações [...].	Parcialmente adequada
3	Cada investigador possui suas <u>concepções e crenças</u> , dessa forma, eles tratam os dados e informações de formas distintas [...]. Além disso, o <u>momento de observação</u> também influencia.	Parcialmente adequada

Ao analisar as respostas os licenciandos na primeira questão, sobre as relações entre o meio sociocultural e o desenvolvimento científico, observa-se que, suas ideias mostraram-se razoavelmente adequadas. Esse dado retrata, ao menos pontualmente, que a ideia de ciência neutra, descontextualizada e imparcial, não faz parte da concepção desse grupo de licenciandos.

De fato, o conhecimento científico está sempre localizado em um lugar e tempo específicos, portanto, inserido em uma cultura. É tanto “dirigido por objetivos”, perseguidos pela sociedade em geral e pela comunidade científica em particular, a fim de compreender a natureza; quanto “carregado por valores”, sejam eles epistêmicos ou éticos, consensualmente sustentados em cada momento da história (ADÚRIZ-BRAVO, 2015, p. 176).

Além desses fatores, foi abordado explicitamente na questão dois, o papel da observação e inferência; a resposta a resultados inesperados; interpretação de evidências e carga teórica na observação; e o papel das metodologias experimentais. Em ambas as narrativas esses elementos puderam ser versados, o que permitiu reforçar a concepção dos licenciandos sobre esses aspectos.

Questão 2: A questão era: se a regra aceita para a reprodução animal era a participação de ambos os sexos, **como ocorria a multiplicação em pulgões se nunca foram vistos copulando? No lugar de Bonnet, o que você faria para responder essa questão?**

Quadro 18. Rubricas da questão dois da narrativa histórica “O enigma do pulgão”

RUBRICAS	
Aspectos de NdC: “natureza dos experimentos científicos”; “observação e carga teórica do observador”	
Adequada	Espera-se que o estudante argumente que as evidências/ dados obtidos por Bonnet foram construídos por meio de modos ou métodos rigorosos de intervenção sobre a natureza. Que tais modos se baseiam na interpretação própria e é carregada de teoria durante as suas observações e inferências. Que os métodos empíricos confiáveis dependem do controle de variáveis, da replicação, do tamanho da amostra e dos resultados esperados. Enfatizar a importância da proposição de hipóteses sensatas sobre o fenômeno investigado a fim de fortalecer ou apoiar uma assertiva.
Parcialmente adequada	Espera-se que o estudante proponha que as explicações são baseadas em observações e inferências, influenciadas por conhecimentos prévios; que possam argumentar e propor explicações e hipóteses baseadas em experimentos e discutir que esses são ferramentas de obtenção de dados, e que apenas podem suportar (ou não) as suas alegações, que experimentos não são capazes de provar algo.
Inadequada	Espera-se que o aluno proponha explicações baseadas na existência de um método científico único. Que possa argumentar que a realidade é procedente dos dados/resultados obtidos principalmente (ou unicamente) por meio de um experimento, bem como abordar a ideia de “descobrimento”.

Quadro 19. Trechos das respostas dos grupos à segunda questão da narrativa histórica. As partes omitidas “[...]” desconsideravam aspectos das respostas. O conteúdo integral das respostas dos licenciandos encontra-se no anexo 14.

Grupo	Respostas por escrito	Nível
1	[...] <u>isolar indivíduos coletados e observá-los</u> durante muito tempo. Os indivíduos nascidos deverão ser <u>isolados novamente e observados</u> . [...] <u>ao longo de diversas gerações</u> . [...] alguns dos indivíduos nascidos da primeira “leva” poderiam ser <u>separados em duplas</u> e poderia se observar em diversas duplas se ocorreria cópula ou não [...]	Parcialmente adequada
2	Colocaremos os organismos em portes de vidro com alimento (plantas e luz). Os potes serão fechados de modo a impedir a saída dos pulgões e permitir a entrada de oxigênio (uso de rede). [...] um pote extra com formigas [...] fechado com rede fina para evitar que elementos externos entrem. Será feita a observação para identificar se no humor rejeitado por elas nascem pulgões [...]. No caso dos pulgões, <u>deve ser feita a observação contínua</u> [...]. Se os filhotes forem originados [...] <u>devem ser separados e colocados em novos potes</u> imediatamente e observados [...]. Esse procedimento deve ser feito para evitar erros [...] da criação de pulgões previamente fecundados. Quando colocamos frascos com apenas 1 indivíduo e outro com 2 indivíduos é para identificar se eles conseguem se reproduzir sozinhos. [...]	Parcialmente adequada
3	Podemos separar os indivíduos recém-nascidos (que acabaram de sair da fêmea ou do ovo) para verificar se vão e reproduzir sozinhos. Se reproduzir sozinhos, podemos concluir que a reprodução não depende dos dois sexos. Caso contrário, [...] concluir que não é possível a reprodução sem a participação do outro organismo. <u>Mas será que essa participação é uma forma de cópula?</u> [...] teríamos que observar os indivíduos em um ambiente de <u>laboratório (com condições naturais reproduzidas)</u> por um grande período de tempo [...] para que seja possível verificar qualquer substância depositada no ambiente que possa servir como forma de fecundação da fêmea, mesmo sem cópula.	Adequada

A questão dois, além de abordar elementos empíricos da prática científica, tais como a observação; inferência e natureza dos experimentos, procurou considerar também, a ideia de observação carregada de teoria, ainda que de forma menos incisiva do que a primeira questão. O objetivo da pergunta, foi provocar os licenciandos a refletirem sobre o papel das entidades teóricas que “guiam” o problema investigado. Por exemplo: “quais as dificuldades de explicar ou admitir a ausência de cópula no processo reprodutivo desses insetos? ”.

Ao propor essa reflexão, fomentou-se a discussão acerca das teorias vigentes, crenças, conhecimentos prévios, treinamento, experiências e expectativas dos cientistas. Fatores que enquadram o raciocínio científico e impactam os problemas que os cientistas investigam e como eles conduzem suas investigações, o que eles observam (e não observam) e como eles fazem sentido ou interpretam suas observações (LEDERMAN, 2007, p. 834).

Em todos os grupos, o que se pode notar, uma vez mais, foram concepções arraigadas, de cunho empírico-indutivistas. Apesar de terem sido fornecidas explicações e desenhos experimentais mais detalhados, (mesmo carregados de equívocos conceituais) nos discursos dos licenciandos, há completa desvinculação entre o papel das teorias e a natureza dos procedimentos experimentais.

Esses elementos são dignos de atenção, pois, as narrativas como um instrumento diagnóstico permitem identificar as ideias científicas, com significativa margem de segurança. Pois, diferente de um questionário simplesmente declarativo, as narrativas são encorpadas com informações contextualizadas e explícitas, favorecendo a condução dos leitores à reflexão e compreensão do processo do fazer científico.

De todo modo, não se deve esperar que o recurso didático haja por si só. Mesmo subsidiado por um recurso didático contextualizado, a identificação das dificuldades dos licenciandos a partir das narrativas históricas, devem vir acompanhadas de uma discussão aberta e explícita por parte do instrutor, a fim de preencher as lacunas e tentar reverter concepções menos adequadas dos estudantes acerca dos aspectos tratados (KIM; IRVING, 2010; BILICAN; CAKIROGLU; OZTEKIN, 2015).

8.3.5. Aula 5. Objeto virtual de aprendizagem: “O enigma do pulgão no século XVIII”

A quinta aula da SD foi destinada à apresentação do protótipo de um Objeto Virtual de Aprendizagem com simulação virtual do percurso histórico dos estudos de Bonnet no século XVIII sobre a multiplicação sem acasalamento em afídeos, como sumarizado no quadro sobre a aula 5 e ilustrado nas Figuras 33, 34 e 35.

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados no quadro a seguir.

AULA 5 “O enigma do pulgão no século XVIII”			
Conteúdos	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo histórico: O contexto dos estudos de Charles Bonnet sobre os modos de reprodução assexual em pulgões (gênero <i>Aphioidea</i>): partenogênese	(1) Apresentar protótipo de um objeto virtual de aprendizagem baseado em um episódio da história da biologia sobre o contexto da descoberta de modos de reprodução animal; (2) Discutir aspectos de usabilidade e interatividade do recurso (3) Validar e refinar as características do protótipo	Objeto Virtual de Aprendizagem. Apresentação oral Coleta de dados: Respostas por escrito às dúvidas da validação notas de campo.	Instrutor: Doutorando Supervisão: Orientadora Tempo de aula: ~1:45 h Participantes: classe inteira

Como exposto no quadro da aula 5, o objetivo do primeiro protótipo do OVA foi o de discutir e explicitar os aspectos da NdC presentes nos estudos experimentais do naturalista, bem como problematizar sobre o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação como ferramenta auxiliar ao ensino de ciências. À época dessa aula, o recurso ainda não estava finalizado, mas optou-se em apresentá-lo ainda que inconcluso aos licenciandos para conhecer ao menos a receptividade inicial sobre o recurso, bem como obter indícios sobre a praticidade de seu uso e sugestões dos licenciandos.

A estratégia de intervenção foi uma aula expositiva dialogada com o objeto virtual, via recurso de Datashow. O instrutor iniciou a aula explicando os objetivos da apresentação, seguiu mostrando as páginas e interrompendo nos momentos de perguntas de investigação. Nesses momentos, o instrutor convidou os licenciandos a refletir sobre as questões de NdC e incentivou a resposta coletiva.

A despeito de o caráter exclusivamente validador dessa etapa da SD, a impressão deixada pelos licenciandos foi positiva, pois mostraram-se bastante engajados e interessados com a estratégia, especialmente com respeito ao caráter “novidade”, como percebido pela fala de alguns deles⁷³:

[Est#1]. É bem legal, mas acho que poderia levantar concepções prévias sobre tipos de reprodução, [Est#2]. É muito boa essa ideia, mas para melhorar, o aluno poderia clicar em um livro, abrir e ler(...), ou a carta de Réaumur
 [Est#4]. Poderia pensar em aumentar as interações no laboratório: galhos etc.
 [Est#6]. Os textos são bons, interessantes pelos aspectos históricos que informam. Acho que também seria interessante levar pulgões vivos, nem que seja só para serem vistos

⁷³ Dados obtidos por meio de notas de campo pelo instrutor

Ao final dessa última aula, o instrutor conduziu uma síntese sobre todas as atividades realizadas e discutindo com os licenciandos dois aspectos principais: o papel do uso da história da biologia e ensino por investigação como subsídio à aprendizagem de NdC; e a viabilidade de tais estratégias readaptadas para o público do ensino básico.

Para a maioria dos licenciandos, a temática da SD, bem como sua maneira de ser conduzida, tratava-se de uma novidade. Desse modo, muitos admitiram ver aspectos positivos e reforçaram os benefícios para a aprendizagem de NdC, ainda que isso não se reflita de forma significativa nos dados analisados.

Entretanto, para alguns, houve relutância à utilização das estratégias com estudantes do Ensino Médio, mesmo em um curso de formação docente, fortemente amparado por disciplinas didático-pedagógicas e com programas voltados à produção de estratégias alternativas de ensino como, por exemplo, o PIBID. Seja pela falta de experiência, seja simplesmente por medo de não lograr êxito, a ideia de repensar as ações educativas e reconsiderar os meios convencionais parece, ainda, desconfortável.

Por isso, como foco desta pesquisa, entre os propósitos foi apresentar e incentivar novas ações educativas, tanto no que concerne aos conteúdos conceituais, quanto aos aspectos de NdC, a fim de promover reflexões sobre a prática do empreendimento científico, além da prática docente.

Figura 33. Interface inicial do OVA. Canto inferior da página, legendas, descrevendo os eventos e, canto inferior direito, botões de controle (navegação) do recurso virtual.

Figura 34. Etapa intermediária do objeto virtual. A imagem destaca em amarelo é “zoom” da planta contendo pulgões da espécie observada por Bonnet. Legendas explicativas no canto inferior.

Figura 35. Interface final do objeto virtual, simulando o método de isolamento e instrumentos utilizados por Bonnet, no século XVIII e instrumentos de isolamento dos pulgões.

8.4. Considerações gerais da SD: iteração I

Após ter dissertado sobre a aplicação da SD e dos resultados obtidos na primeira iteração, serão discutidos brevemente resultados quanto aos objetivos históricos e científicos previstos.

Com relação aos objetivos dos conteúdos históricos, pode-se dizer que a primeira iteração da SD proporcionou a esse grupo de licenciandos, conhecer um pouco do fazer “científico” relacionado à história natural do século XVIII. Como discutido previamente, nas seções introdutórias desta tese, em raros casos, a história da ciência é contemplada no ensino de ciências.

Nesta tese, foi possível apresentar de forma historicamente contextualizada, como alguns conceitos científicos sobre a reprodução assexual em animais, foram “descobertos” e aceitos pela comunidade científica. Em que circunstâncias e por quem, tais fenômenos foram estudados. Durante vários momentos ao longo das aulas da SD, bem como em falas dos licenciandos, registrados nos áudios capturados, foi possível perceber o desconhecimento inicial desses licenciandos sobre as teorias de reprodução animal da época, a ignorância sobre a tecnologia e materiais, a dificuldade de relação entre tempo e espaço.

Todavia, os dados coletados e as transcrições de áudio gravadas durante as atividades, mostraram que alguns desses fatores foram alterados. Ao final, foi possível notar que algumas respostas contemplavam, por exemplo, relações entre questões socioculturais (religiosas) e suas influências nas pesquisas da época; o conhecimento sobre mecanismos de colaboração e divulgação de resultados.

Além dos aspectos históricos, a SD possibilitou revisitar conteúdos conceituais já conhecidos pelos estudantes: métodos de reprodução assexual (partenogênese e reprodução por regeneração e brotamento).

De fato, os participantes dessa iteração já haviam concluído disciplinas contemplando tais temas. No entanto, a proposta dessa intervenção foi apresentar a esses licenciandos, como e sob quais arcabouços epistêmicos e não epistêmicos esses conceitos foram inicialmente sendo construídos.

O que se pode perceber em concordância com dados da literatura, é que a aprendizagem de conteúdos conceituais pode ganhar mais significância, quando inserida em um contexto específico, seja histórico ou contemporâneo (TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009; EASTWOOD et al., 2012; RUDGE et al., 2012).

Os dados obtidos nesta tese, permitem corroborar essas evidências, ao identificarmos nas respostas dos grupos, especialmente ao longo das discussões da atividade “replicação”, o

engajamento e a motivação dos estudantes para a aprendizagem, como ilustrado na fala de um dos participantes:

“Já pensou se as aulas de “inver” [disciplina Invertebrados] tivessem sido assim? Todos os bichinhos, a gente teria que adivinhar o que era? Ia ser muito mais legal!” (Linha 491: [Est#A], CD-ROM, anexo 4).

Agora será tratado o terceiro objetivo previsto, de como (ou se) a intervenção promoveu mudanças nas concepções no grupo de licenciandos sobre os aspectos de NdC abordados.

Como indicado no capítulo 6, a versão do questionário utilizado nesta tese contém perguntas abertas, ou seja, que demandam respostas discursivas, sobre as concepções dos participantes dos seguintes aspectos de natureza da ciência:

- a) O papel das teorias científicas;
- b) O papel dos experimentos científicos;
- c) O papel da carga teórica na observação e inferência;
- d) O papel da criatividade e imaginação dos cientistas

O questionário foi administrado na primeira aula da SD, logo após a assinatura e consentimentos dos licenciandos por meio do TCLE. O material foi distribuído pelo instrutor e os licenciandos levaram, em média, 30 a 40 minutos para o preenchimento. Nesse dia, 13 estudantes estavam presentes e todos responderam livremente o questionário. O pós-teste foi realizado na sexta aula da SD, com 10 alunos que participaram de todas as aulas, tendo sido desconsiderados três licenciandos que não participaram de outras aulas e/ou não responderam ao pós-teste.

Os resultados coletados dos licenciandos às questões do VNOS-C estão organizados em tabelas que serão apresentadas a seguir. As respostas dos estudantes passaram pelo processo de Análise de Conteúdo (BARDIN, 2000; CÂMARA, 2013) cujo objetivo foi extrair informações (termos-chave) dos seus discursos e determinar o posicionamento em um dos rótulos sobre NdC: concepção “Adequada”; “Parcialmente Adequada” ou “Inadequada”.

Para a análise das respostas dos licenciandos, foram utilizadas rubricas, ou categorias de análise, *a priori*, isto é, provenientes de estudos referência na área, já validados, que investigaram a mesma temática e com público-alvo similares, tais como, o estudo com a versão original do VNOS-C de Lederman (2002); o trabalho de Rudge (2012), cujo questionário foi adaptado e replicado, também, neste estudo; e resultados da pesquisa de El-Hani e colaboradores (2004). Ademais, as rubricas foram validadas juto aos membros do LaHBE e com dois pós-graduandos em ensino de ciências, por meio de um teste duplo-cego.

O papel das teorias científicas (pré-teste)

As três primeiras questões do VNOS-C (1a; 1b e 2a) remetem ao papel das teorias científicas. O objetivo visa identificar a concepção sobre: definição; desenvolvimento e o caráter provisional das teorias científicas. Junto a essas arguições, solicitou-se que os estudantes exemplificassem suas respostas. O quadro 20 representa a rubrica para fins de comparação das respostas dos licenciandos, divididos em três níveis de classificação.

Quadro 20. Rubricas propostas para análise do VNOS-C sobre o papel e natureza das teorias científicas.

RUBRICAS PRÉ-TESTE PAPEL DAS TEORIAS CIENTÍFICAS	
1 - É muito comum, na área das ciências, ouvir palavras como “teorias” para descrever um conhecimento científico. 1.a) O que é uma teoria?	
Adequada	Teorias são explicações fundamentadas para a ocorrência de fenômenos naturais, comumente elaboradas por meio da elucidação de mecanismos subjacentes a esses, também provêm as bases para a realização de predições.
Parcialmente adequada	Uma visão aceitável pode alegar a natureza das teorias como explicações sobre fenômenos naturais passíveis de mudança
Inadequada	Teorias são afirmações ainda não comprovadas; São hipóteses, palpites ou suposições sobre fenômenos. Teorias são verdades absolutas.
1.b) Como as teorias são criadas?	
Adequada	Uma concepção mais sofisticada remete a construção de teorias aos processos de reflexão baseada em conhecimentos anteriores; à repetição de estudos, e à possibilidade de correção de erros, coleta e interpretação de evidências, novos detalhes e refino. Admite-se a probabilidade de mudanças por meio da concentração de anomalias, inconsistências e conflitos inerentes às evidências/conceitos e teorias estabelecidas.
Parcialmente adequada	Uma concepção parcial alega que teorias podem ser criadas baseadas em questionamentos sobre fenômenos observáveis ou não; que buscam responder inconsistências a conceitos aceitos.
Inadequada	Uma visão menos sofisticada relaciona a criação de teorias a resultados diretos de pesquisas observacionais e experimentais; ou que começaria como uma ideia (<i>insight</i>). Ou que a criação de teorias segue um padrão hierárquico, isto é: observação, hipótese, experimento, resultado, teoria e lei (menção ao método científico).
2 – Após os cientistas desenvolverem uma teoria científica (por exemplo, teoria atômica ou teoria da evolução), ela é passível de mudanças? Se você acredita que sim, que as teorias podem mudar: a) Explique por quê.	
Adequada	Uma compreensão mais adequada reconhece que as teorias mudam ao longo do tempo, a depender do resultado de novas evidências, ou por suporte tecnológico, bem como ser fruto da reinterpretação de dados existentes.
Parcialmente adequada	Uma visão parcial admite que teorias podem mudar com base de novos dados/avanços tecnológicos instrumentais; inconsistências e anomalias internas; reinterpretação
Inadequada	Uma visão inadequada ou ingênua, em geral admite que o conhecimento científico, uma vez “descoberto”, é imutável, sendo plenamente aceito ou totalmente descartado. Trata-se de dogmas, verdades absolutas.

Quadro 21. Respostas categorizadas sobre o papel e natureza das teorias científicas. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PAPEL DAS TEORIAS CIENTÍFICAS – PRÉ-TESTE		
O que são teorias? (questão 1a)	N	Nível
Formulação/ explicação de fenômenos; informações consolidadas e refutáveis	3	P.A
Conhecimento consolidado/testado; aceito como verdade/dogma	2	I

Conjunto de ideias/suposição explicação de fato	2	I
Teoria é lei universal/construída por observação/experimento; capaz de previsão.	1	I
São hipóteses provadas por experimento	2	I
Como as teorias são criadas? (Questão 1b)	N	Nível
Por tentativa de explicar um fenômeno	1	P.A.
Através de perguntas e respostas a fenômenos naturais	1	P.A.
A partir de hipóteses testadas;	4	I
A partir de observações/hipóteses testadas	3	I
A partir de experimentos/testes	1	I
Teorias passíveis de mudanças (Questão 2a)	N	Nível
Teorias não são verdades absolutas/dogmas; devido ao acúmulo de conhecimentos	2	P.A.
Devido a novas hipóteses/evidências ou explicações	5	P.A.
Porque hipóteses não se comprovam verdadeiras	1	P.A.
Teorias são testadas constantemente	1	P.A.
Mudam se comprovadas cientificamente falhas	1	I

Com relação à definição de teoria (questão 1a) 70% dos licenciandos inicialmente possuíam imagens distorcidas e incongruentes, portanto, inadequadas. Para eles, havia confusão entre relação hipótese/teoria; teorias científicas são verdades, dogmas e diretamente dependentes de experimentação para serem sustentadas, como pode ser observado no quadro 24. As respostas consideradas parcialmente adequadas (30%), remetem à noção de que teorias científicas são explicações de fenômenos, ou informações consolidadas e passíveis de refutação.

Ademais do aspecto descritivo, O VNOS-C contempla uma questão que aborda o processo de “criação das teorias” (questão 1b). Nessa questão, foi possível observar que a visão dos licenciandos sobre a construção dos elementos teóricos, é ainda mais inapropriada. As concepções trazidas por 80% desses licenciando sobre a natureza das teorias científicas é praticamente um retrato ultrapassado do “método científico”: observação-hipótese-teste-prova-teoria, etc. (MCCOMAS, 1998, p. 5). Nota-se que a ideia de comprovação científica e verdade absoluta se mantém fortemente arraigadas no imaginário desses futuros professores.

Duas respostas (20%), porém, foram classificadas como parcialmente adequadas. Os licenciandos forneceram argumentos razoáveis acerca do processo de desenvolvimento de teorias, referindo-se à elaboração de perguntas e tentativas de explicação de fenômenos; o papel do acúmulo de evidências.

No entanto, quando questionados sobre a “natureza provisional das teorias científicas” (questão 2a), 90% dos licenciandos apresentaram uma concepção parcialmente adequada com relação a esse aspecto.

A noção bem informada do caráter “tentativo” dos conceitos e teorias científicas é de suma importância para compreender o processo e práticas da ciência. Considerar que erros, novos conhecimentos e atualizações tecnológicas influenciam o desenvolvimento da ciência, é

ser apto a argumentar, seja como cidadãos, seja como professores, sobre mudanças climáticas, uso de vacinas, negação da evolução das espécies (ALLCHIN, 2012b, p. 905).

Com relação a essa questão, apenas uma resposta (10%) foi classificada como inadequada, pois apresentou uma imagem distorcida do fazer científico ao argumentar que teorias podem ser “comprovadas cientificamente”. Essa visão, alude à crença de que a ciência é algo especial, extraordinário. Ao requerer um tipo de “comprovação”, denota a ideia de autoridade científica, de modo que a confiabilidade e aceitação da produção científica e seus métodos são balizados por algum tipo de autoridade (CHALMERS, 1993, p. 12).

Papel das teorias científicas (pós-teste)

Ao término da SD, o pós-teste com questões abertas foi administrado para identificar se a intervenção, as estratégias e discussões promoveram mudanças na concepção dos licenciandos a respeito dos aspectos de NdC. Dessa forma, o levantamento pós-intervenção teve como propósito, também, investigar a capacidade de discorrer sobre o que foi abordado em situações contextualizadas. Por essa razão, apesar de as perguntas do pós-teste divergirem do pré-teste, os aspectos de NdC são os mesmos.

A questão relacionada à natureza das teorias no pós-teste (questões 1a e 1b), ao contrário do pré-teste, foi abordada de maneira contextualizada, inserindo o aspecto de NdC intrinsecamente à temática do episódio histórico.

Quadro 22. Rubricas do instrumento pós-teste para análise do papel e natureza das teorias científicas.

RUBRICAS PÓS-TESTE	
PAPEL DAS TEORIAS CIENTÍFICAS	
1 a) Qual o papel que você acredita que as teorias da pré-formação e da epigênese desempenharam na produção do conhecimento sobre a natureza animal, vegetal ou intermediária das hidras?	
Adequada	Espera-se que o estudante argumente e compreenda que as teorias forneceram elementos conceituais às pesquisas; teorias são explicações de fenômenos usualmente empregadas como referencial à pergunta de investigação;
Parcialmente adequada	Uma visão parcialmente adequada deve citar algum argumento/explicação sobre as teorias como orientação à pesquisa/pergunta de investigação.
Inadequada	Uma visão inadequada descarta a natureza das teorias como elementos orientadores; que não saiba argumentar sobre e/ou não tenha compreensão do que são teorias
1 b). Ainda sobre esse ponto, como visto, Trembley identificou vários aspectos de natureza vegetal, enquanto estudava as hidras: regeneração; atração pela luz e reprodução por brotamento. Apesar disso, ele insistia na natureza animal desses organismos. Como você explicaria a sua insistência por tal posição? Justifique	
Adequada	Uma concepção mais adequada deve reconhecer o papel das teorias vigentes; o papel das personalidades humanas, vieses e crenças prévias. Pensamento interdisciplinar e papel da analogia; observação baseada em informações verificáveis (evidências comuns a plantas e animais) .
Parcialmente adequada	Uma visão parcialmente adequada reconhece o papel do viés do naturalista e crenças/ideias prévias acerca de evidências estabelecidas entre plantas e animais; a natureza teórico/conceitual como argumento.
Inadequada	Uma visão inadequada defende a posição do naturalista baseada apenas no conhecimento do senso comum; descarta o papel das crenças prévias e conceitos estabelecidos;

Quadro 23. Respostas categorizadas sobre o papel e natureza das teorias científicas. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PÓS-TESTE PAPEL DAS TEORIAS CIENTÍFICAS		
Papel das teorias para os naturalistas? (questão 1a)	N	Nível
Teorias guiaram a observação; perguntas de investigação	5	A
Contribuíram para levantamento de hipóteses	2	P.A
Orientaram o debate de ideias	1	P.A.
Estimularam a experimentação e investigação	1	P.A
Papel dos elementos conceituais; carga teórica na investigação(Questão 1b)	N	Nível
Justificativas baseadas no comportamento de característica animal	8	P.A
Influência de ideias prévias	1	P.A

Quando postas em um contexto específico (questão 1a), as respostas foram mais coerentes, havendo uma melhora significativa com relação às concepções previamente levantadas, sobre a da natureza das teorias científicas.

No pós-teste, 50% dos licenciandos apresentaram uma concepção adequada, ao admitir o papel das teorias como orientadoras ou base para resposta aos problemas investigados pelos naturalistas, 40% parcialmente adequadas, pois ressaltaram a sua importância no levantamento de hipóteses, debate de ideias e como estímulo à investigação. Verifica-se, assim, que esses licenciandos parecem estar aptos a aplicar o conceito a uma situação específica, do que “rotular” o que são teorias. Apesar disso, dois licenciandos [Est#5]; [Est#9] ainda permaneceram afirmando a necessidade de experimentos para a comprovação das hipóteses e conceitos teóricos, conforme citaram:

[Est#5] “Foram teorias que permitiram o levantamento de hipóteses e questionamentos que necessitaram de experimento para serem comprovadas ou não, com o intuito de esclarecer a biologia do ser”.

[Est#9] “As teorias da pré-formação e da epigênese permitiram o debate de ideias, fomentando experimentos que pudessem comprovar uma ou outra. Independente da comprovação ou não, a experimentação desenvolvida já foi importante para o conhecimento científico da época sobre as hidras”.

Uma resposta (10%) se enquadrou no nível “inadequada”, pois, apresentou incoerências, tanto conceituais quanto contextuais, posto que, em nenhum momento da SD foi mencionado a presença de ovos e formação de embriões no desenvolvimento das hidras.

A questão (1b) foi elaborada com o propósito de ressaltar como os naturalistas (ou cientistas) respondem aos resultados inesperados. Buscou-se, portanto, investigar a visão dos estudantes sobre o papel dos conceitos científicos e carga teórica como elemento orientador ao problema estudado. Ademais de abordar aspectos como o papel das crenças prévias, pensamento interdisciplinar e papel da analogia.

Não obstante, a análise da questão nos levou a perceber que os licenciandos a deduziram como uma pergunta de interpretação de texto. Assim, as respostas que indicavam alguma característica (papel da observação e interpretação; elementos conceituais) observada pelo naturalista, na qual ‘pesava’ sua justificativa para classificação do organismo, foram aceitas. Motivo pelo qual, considerou-se 80% das respostas como, “parcialmente adequada”. Um participante foi desconsiderado ao fornecer a resposta “não sei”.

A exceção da pergunta relacionada ao caráter “provisório” das teorias científicas, no pré-teste, na qual se obteve um número significativo de respostas “parcialmente adequadas”, o conhecimento prévio dos licenciandos sobre a natureza das teorias científicas mostrou-se muito aquém. Vimos, por outro lado, que quando inseridos em um contexto específico (episódio histórico) as respostas fornecidas pelos licenciandos foram mais coerentes do que quando questionados a “rotular” ou descrever uma teoria.

Esse resultado evidencia uma das nossas hipóteses na qual o uso um episódio histórico como forma de contextualização, agregado às discussões explícitas e reflexivas permite uma melhor compreensão dos aspectos de NdC, dado esse que faz coro com pesquisas realizadas que comungam a história da ciência, ensino e formação de professores (KHISHFE; ABD-EL-KHALICK, 2002; ABD-EL-KHALICK; AKERSON, 2009; RUDGE et al., 2012; BUCK et al., 2014).

O papel dos experimentos científicos (pré-teste)

O segundo aspecto de NdC investigado remete à natureza dos experimentos. As três questões do VNOS-C buscam compreender a concepção do papel/função dos experimentos para a prática científica. Isto é, verificar se os licenciandos são aptos a reconhecer que, se por um lado, a experimentação científica é um meio para fornecer aos cientistas informações precisas, sob situações altamente planejadas e controladas; por outro lado, são concebidos, elaborados e executados tendo por base um contexto teórico particular (HODSON, 2014b, p. 2545). Ademais, visa averiguar se a prática científica é interdependente de experimentos (questão 4).

Quadro.18 Rubricas do instrumento para análise do papel e natureza dos experimentos científicos

RUBRICAS	
PAPEL DOS EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS - PRÉ-TESTE	
3) O que é um experimento?	
Adequada	Uma visão mais informada argumenta que experimento envolve a perturbação do sistema envolvido/intervenção a fim de comparar os resultados com um sistema similar não tão perturbado; altamente controlado e diretamente relacionado a um contexto teórico.
Parcialmente adequada	Uma concepção parcial sobre a natureza dos experimentos deve compreender o papel de controle de variáveis, de intervenção da natureza e busca por padrões de comparação.
Inadequada	Uma concepção inadequada descreve experimento como forma de comprovar hipóteses ou teorias. Que teorias são criadas “a partir” de experimentos. Que experimentos fazem parte de um método científico único.

4) O desenvolvimento do conhecimento científico <i>requer</i> experimentos?	
a) Se, sim, explique porque e forneça um exemplo para defender a sua opinião.	
Adequada	Uma visão mais adequada alega que experimentos são importantes, mas não requisitos únicos. Observações e reinterpretação de dados existentes são práticas válidas e comuns na produção de conhecimento científico. Áreas como ecologia; paleontologia; astronomia e psicologia são ciências que, em que experimentos são raros e/ou inexistentes
Parcialmente adequada	Uma visão aceitável admite e a o papel e valor dos experimentos, mas reconhece o papel das observações e a natureza das entidades teóricas.
Inadequada	Uma concepção inadequada argumenta que a validação e obtenção de conhecimento científico é obtido principalmente (ou unicamente) por meio de experimentos. Descreve a necessidade de experimentos como geração de provas e evidências.
b) Se, não, explique porque e forneça um exemplo para defender a sua opinião.	
Adequada	Idem à questão 4a
Parcialmente adequada	Idem à questão 4a
Inadequada	Idem à questão 4a

Quadro X.19 Respostas categorizadas sobre o papel e natureza dos experimentos científicos. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PRÉ-TESTE		
PAPEL DOS EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS		
O que é um experimento? (questão 3)	N	Nível
Teste de hipótese	5	I
Procedimento para provar ou falsear hipótese	1	I
Etapa do método científico; visa observar e descrever fenômenos	1	I
Teste de hipótese com manipulação/controle de variáveis	2	P.A
Replicação de fenômeno para explicação de teoria	1	I
Ciência <i>requer</i> experimentos? (Questão 4a e 4b)	N	Nível
Não somente. Experimento cria condições para analisar variáveis isoladas.	1	A
Necessários, mas não são imprescindíveis. Ecologia se desenvolve por observação, posteriormente experimentação	1	A
Não. Desenvolvimento de conhecimento científico a partir de reflexões teóricas; desenvolver ideias a partir de fatos estudados ou não	1	A
Não. Teoria da evolução foi aceita antes de ser “testada” em um experimento.	1	P.A
Sim. Sem experimento não se conhece a realidade; não se explica a natureza; não se considera conhecimento como científico	3	I
Sim. A partir de experimentos, se refutam ou validam hipóteses	2	I
Sim. Observações de fenômenos são base para conhecimento científico	1	I

De modo similar às perguntas anteriores, a questão 3, sobre a natureza dos experimentos, também adota um caráter descritivo. Porém, complementada pela questão 4a, “induz” ao respondente a refletir sobre a necessidade de experimentação para a produção do conhecimento científico. Caso esteja em desacordo, pode argumentar e exemplificar sua posição na questão 4b. Em conjunto, essas perguntas fornecem um quadro para compreender o papel dos experimentos no fazer científico.

A análise das respostas dos licenciandos a essas questões, quando confrontadas com as rubricas, permite concluir que suas concepções estão arraigadas à uma ideia empírico-indutivista e, portanto, ingênua, inadequada sobre o papel dos experimentos científicos.

Antes da intervenção é possível interpretar que esses licenciandos tem uma visão distorcida sobre o que é ou superestimada a respeito do papel dos experimentos na prática científica (questão 3a). Na visão inadequada de 50% deles, experimentos são meios de testar hipóteses, ou formas de “provar” ou desaprovar hipóteses. Dois licenciandos (20%), apesar de os mencionarem como testes, relacionaram o papel do controle de variáveis.

Quando questionados se o desenvolvimento científico *requer* experimentação, 60% reforçaram a concepção da pergunta anterior, alegando, por exemplo, que a um conhecimento é científico, apenas se passar por métodos experimentais, bem como a compreensão da “realidade” (30%). Infelizmente, a ideia ingênua de comprovação científica, de método científico, e a visão retrógrada de ideias empírico-indutivista ainda reside (e resiste) na concepção desses futuros professores.

Não obstante, ainda que em menor grau (30%), há licenciandos que possuem visões menos rígidas acerca da emergência dos experimentos para o desenvolvimento da ciência, a saber:

[Est#7] “São necessários, mas não são imprescindíveis. Se considerarmos o ramo da ecologia, por exemplo, o desenvolvimento científico pode ser feito inicialmente pela observação para posteriormente ser desenvolvido pela experimentação”. (Questão 4a)

Preocupa, porém, ver que licenciandos cheguem aos períodos finais do carregando esse tipo de visão deformada do fazer científico. Talvez, tais ideias sejam fruto da perpetuação de um ensino de ciências, há tempos, concretado sobre conteúdo e/ou fatos científicos - isto é, a apresentação de conceitos científicos em sua “forma final” em vez de ciência como um processo.

Entretanto, ao se contemplar uma perspectiva de ciência em “formação”, como um empreendimento humano e passível de erros, mas equilibrados por soluções criativas e autocorretivas, é possível contrapor a imagem linear e dicotômica de sucesso *versus* fracasso. Junto a isso, a ausência de contexto é outro fardo que impede a compreensão do papel da credibilidade, da comunicação no estabelecimento de conhecimentos novos, materiais, métodos e instrumentos (HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012b, p. 1235).

Por essas razões, considerou-se a utilização dos episódios históricos, a fim de contextualizar explicitamente os aspectos de NdC, bem como rediscutir a natureza dos experimentos e seu papel na construção do conhecimento sobre os processos de reprodução animal no século XVIII.

Papel dos experimentos científicos (pós-teste)

Para averiguar os impactos da estratégia, no pós-teste foi abordado a natureza dos experimentos científicos (questão 3a e questão 3b). Procurou-se manter o padrão do instrumento de coleta de dados e criar uma situação contexto, a fim de envolver os estudantes em uma situação específica e aplicada.

Quadro 24. Rubricas do instrumento pós-teste para análise do papel dos experimentos científicos.

RUBRICAS PÓS-TESTE	
PAPEPL DOS EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS	
3. Frente ao dilema para tentar elucidar a natureza das hidras, Trembley planejou e conduziu diversos procedimentos experimentais, tais como: cortar uma hidra longitudinal e transversalmente, expor os organismos à luz, virar uma hidra do avesso, entre outros. Ao mesmo tempo, vimos também que Bonnet conduziu experimentos paralelos (hoje chamados “controle”) e observações em que promoveu o isolamento de um pulgão (afídeo) para tentar entender como esses insetos se reproduziam. Ambos os naturalistas estavam diante de formas incomuns de reprodução, que não eram conhecidas pela comunidade de estudiosos da época. a) Como você descreveria o papel dos experimentos para esses dois naturalistas?	
Adequada	Uma concepção adequada argumenta que, para os naturalistas, experimentos foram métodos de interferência na natureza do fenômeno e busca por observação de padrão/regularidade; busca fornecer dados e evidências empíricas às hipóteses e/ou perguntas de investigação.
Parcialmente adequada	Uma visão parcial reconhece o papel do experimento como método de interferência na natureza, relaciona controle de variáveis e busca por padrões.
Inadequada	Uma visão inadequada assume que experimentos são testes de hipóteses; provas que confirmam o fenômeno observado; supervalorizam o papel do experimento como forma de validar o conhecimento.
B). Há outros motivos para a realização de experimentos? Quais? Exemplifique.	
Adequada	Espera-se que o estudante mantenha a sua concepção da questão anterior; argumente sobre o papel de experimento como intervenção da natureza na busca por padrões; que destaque o papel de controle de variáveis; ressalte o papel da interpretação dos resultados como evidências que auxiliem a sustentação de hipóteses e perguntas de investigação
Parcialmente adequada	Uma visão parcial reconhece o papel do experimento como método de interferência na natureza, relaciona controle de variáveis e busca por padrões.
Inadequada	Uma concepção pouco sofisticada remete os experimentos como mecanismo de comprovação de hipóteses; como etapa de um método científico único; que supervaloriza os resultados dos experimentos na produção de conhecimento científico.

Quadro 25. Respostas categorizadas sobre a natureza dos experimentos científicos. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas

RESPOSTAS PÓS-TESTE		
PAPEL DOS EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS		
Papel dos experimentos para os naturalistas? (Questão 3a)	N	Nível
Ajudar a compreender mecanismos; conhecer fenômenos	3	A
Experimentos como intervenção para expor características não observadas	1	A
Entender fenômenos por isolamento de condições; tentar corroborar hipóteses	2	P.A
Ajudar a fornecer informações dos organismos	1	P.A
Trembley “forçava” situações, Bonnet observava situações em isolamento	1	P.A
Forma de testar hipóteses	2	I
Outros motivos para realização de experimentos (Questão 3b)	N	Nível
Isolamento e identificação de condições observadas; estabelecer relações de causa-efeito	1	A
Experimentos permitem entender situações	2	A
Entender características dos animais estudados; afirmar hipóteses	1	P.A
Ferramenta metodológica de reprodutibilidade	1	P.A
Descrição; validação de hipótese	1	I
Corroborar uma ideia/hipótese; demonstrar que teoria está errada	3	I

Quando questionados sobre o papel do experimento em um contexto específico (questão 3a), 40% dos licenciandos souberam argumentar de forma adequada sobre a relevância dos experimentos como ferramenta de compreensão de fenômenos ou intervenção da natureza. Outros 40%, apesar de ainda mencionar sobre testes ou corroboração de hipóteses, ressaltaram corretamente sobre a necessidade de isolamento e controle de variáveis. Apenas 20% ainda permaneceram enfatizando a função dos experimentos como testes de hipóteses.

Ao investigar se há outros fatores para a condução de experimentos (questão 3b), as respostas de 50% dos licenciandos se distribuíram entre adequadas e parcialmente adequadas, ao corroborarem as respostas anteriores, preocupando-se, por exemplo, em argumentar sobre isolamento, controle de variáveis, estabelecer relação de causa-efeito. Contudo, 40% deles, voltou a reforçar ideias inadequadas, ao citar que experimentos servem para validar hipóteses ou desaprovar teorias. Conforme exemplos citados:

[Est#1] “Sim, corroborar uma ideia já existente ou mesmo demonstrar que uma dada teoria amplamente aceita não está correta. Um exemplo desta última são os experimentos realizados por Pasteur é que demonstraram a não ocorrência de geração espontânea, teoria muito aceita em sua época”.

[Est#5] “Sim, falseamento e confirmação de hipóteses, testes de ferramentas, técnicas e métodos. A partir de fatos você elabora hipóteses que necessitam de experimentos para serem refutadas ou não. Técnicas e métodos são elaborados continuamente na ciência, mas precisam ser testadas e isso requer experimento”.

O primeiro exemplo denota uma ideia ingênua, empírico-indutivista de ciência, ao acreditar que experimentos têm o “poder” de derrubar teorias. Além disso, o argumento oferecido pelo [Est#1] é um claro exemplo dos maus usos da história da ciência. Uma vez que não se pode afirmar que os experimentos de Pasteur “demonstrou” a inexistência da Geração Espontânea (MARTINS, 2006b, p. 11). Apenas foi capaz de apresentar evidências pontuais, sobre determinados organismos em determinadas circunstâncias (CEREZO, 2015, p. 306).

Assim sendo, a análise pré e pós intervenção sobre esse aspecto, nos leva a inferir que os momentos de reflexão e discussão, explicitamente abordados na atividade de Replicação de Experimento Histórico com os estudos de Trembley, pode ter auxiliado esses licenciandos a compreender melhor sobre a natureza da experimentação, como intervenção na natureza, busca de padrões, uso do controle de variáveis. Portanto, possibilitou a mobilização de concepções menos sofisticadas para adequadas ou parcialmente adequadas.

Interessa destacar que, se no pré-teste, para os licenciandos os experimentos produziam “provas”, após a SD e dentro de um contexto claro, os processos metodológicos experimentais são vistos como meios de intervir ou “forçar” situações em busca do que observar.

Carga teórica na observação e inferência (pré-teste)

O terceiro aspecto abordado no VNOS-C refere-se ao papel da interpretação de evidências científicas dependente da carga teórica do observador. Cientistas, como qualquer observador comum, possuem uma gama de vieses e ideias preconcebidas, as quais afetam a sua habilidade de interpretar o que se analisa (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998, p. 10; LOZANO; BAHAMONDE; ADÚRIZ-BRAVO, 2016). Além disso, guiados por concepções prévias e expectativas, as percepções dos cientistas são baseadas em teorias as quais aceitam e dependem do contexto da observação. (HEIDELBERGER, 2003, p. 1).

Quadro 26. Rubricas do aspecto “conhecimento científico carregado de teoria”

RUBRICA PRÉ-TESTE CARGA TEÓRICA NA OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA	
5. Acredita-se que os dinossauros foram extintos há aproximadamente 65 milhões de anos. Das hipóteses formuladas pelos cientistas, duas são amplamente aceitas. A primeira, formulada por um grupo de cientistas, sugere que um grande meteorito colidiu com a Terra há 65 milhões de anos, proporcionando uma série de eventos que ocasionou a extinção. A segunda hipótese, formulada por outro grupo de cientistas, alega que uma série de massivas e violentas erupções vulcânicas foram responsáveis pela extinção. Como é possível obter explicações diferentes, se ambos os grupos de cientistas tiveram acesso e usaram o mesmo conjunto de dados?	
Adequada	Uma concepção adequada deve reconhecer que os mesmos dados podem ser interpretados distintamente devido às diferenças de conhecimentos prévios; <i>background</i> teórico/observacional e experimental dos cientistas.
Parcialmente adequada	Uma concepção parcialmente adequada deve reconhecer o papel dos vieses na interpretação de fenômenos e dados; o papel dos conhecimentos prévios
Inadequada	Uma concepção inadequada assume que resultados divergentes são atribuídos aos limites (teóricos/tecnológicos) dos dados disponíveis, ou seja, os cientistas ainda não possuem informação suficiente para decidir e tomar uma posição fina

Quadro 27. Respostas categorizadas sobre conhecimento científico carregado de teoria. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PRÉ-TESTE CARGA TEÓRICA NA OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA		
Explicações diferentes para dados iguais (Questão 5)		N
Devido ao ponto de vista/conhecimentos prévios	3	P.A
Interpretação é diferente; análise é pessoal	2	P.A
Devido à subjetividade dos cientistas	1	P.A
Análises diferentes dependem da importância dos dados	1	I
Pois dados são “indícios”, impossível conhecer “de fato”	1	I
Devido à falta de evidências suficientes	1	I
Tentativa de inferir	1	I

Esse é o único aspecto de NdC abordado de forma minimamente contextualizada no VNOS-C. Pois usa do caso da extinção em massa para discutir conclusões distintas a partir de dados iguais. A visão da maioria dos licenciandos (60%), pôde ser classificada como parcialmente adequada, pois, ainda que não argumentassem de forma sofisticada, eles tinham minimamente a ideia da influência de concepções prévias, ou dependente do “ponto de vista” dos cientistas.

No entanto, 40% possuía ideia inadequadas com respeito a esse aspecto, pois, para eles, explicações distintas são fruto da “falta de evidências concretas” ou desconhecimento “real” do ocorrido; ou então forneceram respostas incoerentes.

Carga teórica na observação e inferência (pós-teste)

A critério de comparação, o mesmo aspecto foi abordado na questão 2 do pós-teste, mas reintroduzimos uma temática tratada em uma das narrativas históricas para contextualizar a pergunta de NdC.

Quadro 28. Rubricas do instrumento pós-teste para análise do aspecto “conhecimento científico carregado de teoria”

RUBRICA PÓS-TESTE CARGA TEÓRICA NA OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA	
É curioso saber que o mesmo fato [a reprodução em afídeos] pode ter gerado explicações tão distintas. Como você explicaria argumentos tão diferentes a respeito de um mesmo fenômeno?	
Adequada	Uma concepção adequada deve reconhecer que os mesmos dados podem ser interpretados distintamente devido às diferenças de conhecimentos prévios; <i>background</i> teórico/observacional e experimental dos cientistas.
Parcialmente adequada	Uma concepção parcialmente adequada deve reconhecer o papel dos vieses na interpretação de fenômenos e dados; o papel dos conhecimentos prévios
Inadequada	Uma concepção inadequada assume que resultados divergentes são atribuídos aos limites (teóricos/tecnológicos) dos dados disponíveis, ou seja, os cientistas ainda não possuem informação suficiente para decidir e tomar uma posição fina

Quadro 29. Respostas categorizadas sobre conhecimento carregado de teoria. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas

RESPOSTAS PÓS-TESTE CARGA TEÓRICA NA OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA		
Argumentos diferentes para um mesmo fenômeno?(Questão 2)	N	Nível
Influência de conhecimentos prévios; valores e crenças; cultura; contexto do observador	4	A
Baseada em teorias aceitas pelo pesquisador; interpretação é subjetiva	2	A
Hipóteses baseadas em fatos previamente conhecidos	1	P.A
De acordo com testes para provar explicação	1	I
Devido às diferentes interpretações, hipóteses testadas para sua comprovação	1	I
Devido a diferentes observações feitas utilizando diferentes modos de investigação	1	I

Esse foi o ponto em que houve uma mobilização mais significativa. 70% dos licenciandos se enquadraram entre adequados e parcialmente adequados. Antes da SD as respostas dos licenciandos estavam basicamente divididas entre os níveis de concepção parcial e inadequada. Porém, esse aspecto foi bastante debatido, em especial, na narrativa histórica “O enigma do pulgão”.

O episódio histórico possibilitou trazer à tona as variadas explicações de naturalistas do século XVII e XVIII sobre o processo de perpetuação desses insetos. Provenientes de lugares distintos e carregando consigo concepções e carga teórica particulares (preformação ou epigênese), esses naturalistas apresentaram pontos de vista completamente diferentes.

Assim, a abordagem contextualizada por meio da história da biologia, junto a estratégia explícita e reflexiva promovida durante SD acerca desse aspecto pode ter fomentado um ambiente de aprimoramento conceitual na visão desses licenciandos.

Importa observar que, a despeito de a questão estar inserida em um contexto específico, os licenciandos desenvolveram seus argumentos voltados diretamente ao aspecto levantado sem mencionar o teor contextual da pergunta, a saber:

[Est#1] “A explicação dada se baseia na teoria em que o pesquisador acredita, e, portanto, um mesmo fenômeno pode ser explicado de diferentes formas, dependendo do que o pesquisador acredita ser verdade. Nesse sentido, esse mesmo fato teve explicações distintas porque as mesmas dependiam da interpretação subjetiva do pesquisador”.

[Est#9] “As explicações diferentes para um mesmo fenômeno podem surgir de acordo com a cultura de cada cientista, a área de trabalho, a inserção científica de cada um, que os levam a pensar e, portanto, propor hipóteses completamente distintas”.

Esse indicativo nos permite inferir que as explicações produzidas não são meramente produto de interpretação de texto, mas sim, uma forma de “transpor” e aplicar um conceito (aparentemente) resinificado.

O papel da criatividade e imaginação dos cientistas (pré-teste)

O último aspecto de NdC relacionado foi o papel da síntese imaginativa e criatividade dos cientistas. Esse fator tem particular relevância, pois permite contrapor a ideia ingênua de que cientistas são “objetivos”, que “descobrem” leis e teorias seguindo um método científico único. Ora, se assim o fosse, como explicar que cientistas com a mesma expertise, logram interpretações distintas a partir do mesmo objeto observado. Ou qual seria a finalidade de modelos experimentais diferentes para uma mesma observação? (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998, p. 18). Para identificar as concepções prévias com respeito a esse aspecto, o VNOS-C contempla a pergunta descrita no quadro 33:

Quadro 30. Rubricas do aspecto “O papel da criatividade e imaginação dos cientistas”

RUBRICA PRÉ-TESTE PAPEL DA CRIATIVIDADE E IMAGINAÇÃO	
Cientistas elaboram experimentos /métodos de investigação quanto estão tentando encontrar respostas às suas questões. Durante a sua investigação, os cientistas usam de criatividade e imaginação? Se você acredita que sim, cientistas usam criatividade e imaginação: a) Explique porque, indicando em que momento isso ocorre (planejamento e desenvolvimento, durante a coleta de dados, após a coleta de dados).	
Adequada	Uma compreensão mais adequada deve argumentar que o papel da imaginação e da criatividade estão presentes em todas as fases da investigação, desde a concepção da pergunta/hipóteses até a maneira de coleta e interpretação de dados; elaboração de desenho experimental, criação de métodos, instrumentos, leis e teorias.
Parcialmente adequada	Uma visão parcial admite minimamente, algumas fases em que desenvolvimento do conhecimento científico é dependente da criatividade de imaginação dos cientistas.
Inadequada	Uma concepção inadequada admite que a imaginação desempenha algum papel, no entanto, não é essencial. Cientistas usam de objetividade e se baseiam em um método científico único.

Quadro 31. Respostas categorizadas sobre o da criatividade e imaginação. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “I”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PRÉ-TESTE		
PAPEL DA CRIATIVIDADE E IMAGINAÇÃO		
Que momentos cientistas usam de criatividade e imaginação?(Questão 6a)	N	Nível
Coleta e interpretação de dados, elaboração de experimentos, criação de modelos	4	P.A
Elaboração de pergunta; análise, interpretação de dados	3	P.A
Elaboração de protocolo, métodos de coletas, análise de dados, criação de técnicas	1	P.A
Teste de hipóteses seguidos por métodos para “corrigir” criatividade	1	I
Em todos os momentos, exceto coleta de dados, pois é mais técnica	1	I

Com relação a esse aspecto, 80% das respostas obtidas previamente estavam parcialmente adequadas, em maior ou menor grau de argumentação. Entretanto, não podemos deixar de contestar o fator “indução” presente na pergunta. Isto é: o próprio instrumento (VNOS-C) dava indicações dos momentos em que cientistas podem usar de criatividade e imaginação. Assim, é possível suspeitar que as categorias mais propostas pelos licenciandos tiveram como procedência, a influência da própria questão.

Se houvesse, de fato, essa correlação, seria esperado encontrar tais categorias em todas as respostas. Todavia, 20% das respostas foram classificadas como inadequadas, pois alegaram que criatividade e imaginação tem papel importante em todas as etapas, exceto coleta de dados. Admitindo o caráter tecnicista e não, imaginativo. Além disso, houve uma resposta que assumiu o papel da criatividade, desde que “guiada” por algum método específico. O que nos faz interpretar que se trata de uma menção ao famoso “método científico”. Senão, vejamos:

[Est#3] “ Sim, pois a criatividade e a imaginação permitem ao cientista ir além do senso comum, e do que já está estabelecido, mas ele deve sempre retornar aos protocolos e métodos de sua área para testar as hipóteses criadas com o auxílio da criatividade de imaginação”. Elas podem estar presentes em todos os momentos, desde que seguidos por uma aplicação de métodos que verifiquem se a influência da criatividade teve efeito positivo ou negativo do projeto. ”

Quando solicitados exemplos (reais ou hipotéticos) de situações em que cientistas usam de criatividade e imaginação (questão 6b), é possível perceber quão distorcidas são as ideias de alguns desses licenciandos sobre o fazer científico. O que é mais nítido é a visão empírico indutivista, ou seja, interdependência experimental, a noção de que, *a partir* dos experimentos é que se produzem os dados.

[Est#2] “Citando o exemplo do item anterior, caso o experimento seja inovador e não exista protocolo já estabelecido para ele, ou caso os dados finais obtidos sejam muito diferentes do esperado/conhecido. ”

[Est#4] “Se temos a hipótese de que as sementes próximas à árvore-mãe têm mais probabilidade de serem predadas, devemos elaborar alguns experimentos para tentar

comprovar ou não a hipótese (essas duas etapas exigem muita criatividade). Após o experimento devemos analisar os dados de forma crítica, caso contrário podemos subestimá-los. ”

[Est#6] “Por exemplo: o cientista X encontra, na natureza, uma planta muito diferente de tudo que ele conhece e a partir de sua imaginação e criatividade, bola experimentos, formula hipóteses e interpreta seus resultados”.

O papel da criatividade e imaginação dos cientistas – (pós-teste)

Esse aspecto foi suficientemente revisitado ao longo de todas as estratégias utilizadas na SD, iniciando-se com a atividade “Replicação de experimento histórico” sobre os estudos de reprodução com hidras. Esse foi, de fato, o momento em que a criatividade e a imaginação dos licenciandos foi posto à prova. Eles tiveram a liberdade de pensar em perguntas de investigação, propor desenhos experimentais, levantar hipóteses e criar meios para persuadir a “comunidade científica” da época sobre a confiabilidade de suas observações. A última questão do pós-teste, portanto, abordou o papel da criatividade e imaginação dos cientistas.

Quadro 32. Rubricas do aspecto “O papel da criatividade de imaginação dos cientistas”

RUBRICA PÓS-TESTE PAPEL DA CRIATIVIDADE E IMAGINAÇÃO	
Em quais momentos, ao longo do estudo dos naturalistas, você acredita ter sido necessário usar de criatividade e imaginação?	
Adequada	Uma concepção adequada argumenta que os naturalistas utilizaram de criatividade e imaginação em todos os momentos, desde a escolha do referencial teórico, coleta, isolamento, observação, proposição de hipóteses, descrição, elaboração de desenho experimental; interpretação de evidências; comunicação e persuasão da comunidade científica.
Parcialmente adequada	Uma visão parcial reconhece a síntese criativa e imaginativa em algumas das etapas. Por exemplo: na elaboração de experimentos, técnicas de observação, isolamento, escolha do referencial teórico.
Inadequada	Uma visão inadequada assume que os naturalistas são objetivos e orientam suas investigações com base em um método científico único e universal; ou descartam totalmente o papel da criatividade e imaginação.

Quadro 33.. Respostas categorizadas sobre o da criatividade e imaginação. “N” refere-se ao número de respostas por categorias. “P.A” refere-se às concepções parcialmente adequadas; “T”, às concepções inadequadas.

RESPOSTAS PÓS-TESTE PAPEL DA CRIATIVIDADE E IMAGINAÇÃO		
Que momentos os naturalistas usam de criatividade e imaginação?(Questão 4)	N	Nível
Elaborar experimentos, criar perguntas, hipóteses e explicações	5	P.A
Elaborar hipóteses; experimentos; preparação e observação dos organismos	2	P.A
Métodos de coleta; interpretação de dados; melhorar procedimento	1	P.A
Todos os momentos; observação, resultados e experimentos	1	P.A
Em toda investigação; isolamento e escolha de variáveis	1	P.A

Se não houve uma mudança elevada na sofisticação das respostas referentes ao aspecto “criatividade e imaginação dos cientistas”, pode-se, ao menos, destacar que as concepções finais se encontram minimamente adequadas após a aplicação da SD.

Os momentos de discussão entre o instrutor, a professora e os licenciandos permitiram esclarecer, em primeiro lugar, do que se trata dizer que cientistas são criativos. Isto é, tentar desmistificar a ideia de “*eureka*”, ou que existe somente uma lógica racional pela qual os cientistas são guiados. Quando, na verdade, os cientistas se apropriam de um pensamento analógico, imaginativo (por exemplo, vislumbrar modelos teóricos, átomos, buracos-negro) interdisciplinar, e principalmente, colaborativo (HADZIGEORGIOU; FOKIALIS; KABOUROPOULOU, 2012, p. 604–605).

Portanto, perceber a ciência como um empreendimento criativo, é admitir que a invenção de conceitos e teorias, requer uma alta capacidade de abstração imaginativa, mas que trabalhos “corriqueiros” do fazer científico, como encontrar soluções para problemas, formular hipóteses e modelos, também demandam de imaginação e criatividade. (Ibid 2012, p. 604).

Esses fatores parecem estar bastante claros na visão dos licenciandos, pois várias dessas assertivas foram declaradas em suas respostas, a saber:

[Est#2] “Os naturalistas podem ter usado a criatividade na criação e planejamento dos experimentos. Além disso, na análise de algum dado inesperado que observaram em seus estudos também é importante usar de criatividade e imaginação”.

[Est#5] “Eles podem ter usado a criatividade para elaborar os métodos de coleta e para analisar os dados que foram coletados. Também é necessário ter imaginação para melhorar um procedimento, como no caso da técnica de isolamento do naturalista Bonnet”.

[Est#7] “Acredito que ambos os naturalistas usaram criatividade no planejamento dos experimentos ou observações. Muitas vezes, também é necessário imaginar as respostas para explicar o fenômeno.”

Para fins de síntese, com base nas estratégias contextualizadas por meio dos episódios históricos, em conjunto com as discussões explícitas e reflexivas, pode-se concluir que a iteração do primeiro protótipo da SD teve resultado positivo.

Ao analisar a mobilização na concepção dos estudantes, antes e após a SD (gráfico 13), nota-se que houve mudanças significativas na visão dos licenciandos em todos os aspectos abordados.

Os aspectos de NdC que tiveram maior mudança nos níveis de concepção dos licenciandos foram “A natureza das teorias científicas”, seguido do papel de “carga teórica na observação (ou papel do observador na interpretação)”. Nesse ponto, devemos destacar o valor da contextualização provido pelos episódios históricos, pois, o conhecimento do percurso histórico proporciona a discussão de características individuais de NdC, tais como o contexto cultural de teorias científicas, as preconcepções teóricas na influência de interpretação dos

dados, ou mesmo a existência de erros e mudanças em teorias estabelecidas (ALLCHIN; ANDERSEN; NIELSEN, 2014, p. 470).

Gráfico 13.. Concepção dos licenciandos antes e após a primeira iteração da SD. Nat. Teoria: “natureza das teorias científicas”. Nat. Exp: “papel dos experimentos científicos”. Carga Teórica Obs: “carga teórica na observação”. Criad. Imag: “o papel da “criatividade e imaginação dos cientistas”. Concepções: A = adequada; PA = Parcialmente Adequada e; I = inadequada. A escala está em percentual e representa a média das respostas dos estudantes em cada grupo de perguntas.

Por outro lado, apesar de notarmos uma significativa melhora após as atividades da SD, um terço desses licenciandos ainda terminaram carregando uma visão empírico-indutivista da ciência, fato que pode ser percebido na manutenção de concepções inadequadas com relação ao aspecto “papel dos experimentos”. Cabe recordar, contudo, que antes de iniciar essa intervenção, um número expressivo de licenciandos mencionou já ter tido aulas práticas (10 respostas) e investigativas (4 respostas).

Ao que parece, esse problema antecede a nossa intervenção e vai ao encontro de fatores recorrentes ligados às estratégias de ensino investigativas. Isto é: se não é por falta de oportunidades para o planejamento e condução de experimentos, deduz-se que a prática da instrução científica tem sido focada, apenas, no ensino de conceitos e princípios científicos, negligenciando-se as competências que fomentam a compreensão de aspectos de NdC. Isso, portanto, reflete diretamente em imagens distorcidas e inadequadas do conhecimento científico (DUIT; TESCH, 2010, p. 25).

Com relação ao papel da criatividade e imaginação dos cientistas, o nível de concepção dos licenciandos basicamente permaneceu estável, com 80% das respostas parcialmente adequadas. Porém, houve um razoável progresso, 20 % delas saltaram de inadequadas para adequadas. Uma vez mais, pode-se creditar essas melhorias ao papel do contexto histórico propiciado pela SD. O percurso das “descobertas” de novos modos de perpetuação animal por ambos os naturalistas, possibilitou os debates em torno da criação de métodos e protocolos

experimentais; formas de interpretar e reconsiderar dados inesperados; as explicações para a aceitação e criação de teorias antagônicas para geração animal.

Assim, a despeito de as imagens, por vezes, deturpadas ou ingênuas apresentadas por alguns licenciandos, ao final da SD, a maioria deles soube reconhecer que a produção científica é, por um lado, parcialmente empírica - baseada e/ou derivada de observações do mundo; por outro, depende diretamente da síntese imaginativa e criativa. São tais habilidades dos cientistas que permitem a *invenção* de explicações, ferramentas, técnicas experimentais, elaboração de modelos, leis e teorias (LEDERMAN, 2007, p. 834; URHAHNE; KREMER; MAYER, 2011, p. 713).

8.5. Dos Princípios de Design, refino e readequação: iteração I

Embora se tenha obtido resultados positivos em muitas características inicialmente estabelecidas, a Sequência Didática presente nesta tese trata-se de um objeto de pesquisa em ensino fundamentada sob a metodologia da Pesquisa Baseada em Design. Desse modo, para aumentar as chances de indicarmos candidatos a Princípios de Design, isto é, os modelos conceituais que favoreceram a maximização do aprendizado (ANDERSON; SHATTUCK; BROWN, 2016, p. 17), foi conduzida uma avaliação do primeiro protótipo da SD, durante e após a primeira intervenção. A análise revelou pontos que mereciam refino e readequação, pensando na segunda iteração, a saber:

- ✓ Instrumentos de coleta de dados: apesar de o VNOS-C e o instrumento de coleta pós-intervenção terem fornecido evidências acerca dos progressos na concepção dos licenciandos, as diferenças estruturais entre eles gerou certa dificuldade para a análise dos dados. Além disso, o engessamento do instrumento VNOS-C é um fator limitante, devido às questões predeterminadas. Assim, ao idealizarmos a extensão dessa SD para outros contextos similares de ensino, devemos privilegiar a flexibilidade de avaliação. Isto posto, o primeiro princípio de design considerado para a segunda iteração, foi a readequação do instrumento de coleta de dados.
- ✓ Orientações no relatório da atividade “Replicação de experimento histórico”: o objetivo da atividade na primeira iteração, foi criar um ambiente de “investigação aberta”, apresentando o mínimo de informações para a realização da prática. Contudo, a “abertura” permitida acabou produzindo algumas respostas sintéticas, excessivamente sucintas e desconectadas com os objetivos almejados. Esse fato nos direcionou para o desenvolvimento de uma “comanda” mais estruturada, com perguntas guiadas, a fim de facilitar e cobrir os aspectos de NdC e de práticas de investigação.

- ✓ Remodelação das narrativas históricas e aumento de perguntas sobre NdC: para o segundo protótipo, foi feita a reestruturação em ambas as narrativas históricas. Nesse caso, a justificativa para as mudanças é fruto do *feedback* positivo. Durante a atividade com as narrativas, pudemos verificar a boa receptividade dos licenciandos para com o recurso didático. Ademais, a decisão foi reiterada pela realização do curso ministrado pelo Prof. Dr. Douglas Allchin, sob a utilização de episódios históricos para ensino de NdC. Assim, a narrativa “Pólipo, um zoófito?!?”, contemplou alterações significativas, como: adição de informações, novos contextos, e consequentemente, mais questões abordando aspectos de NdC. A narrativa “O enigma dos pulgões”, sofreu uma modificação mais radical, a convertemos para um formato virtual. Portanto, esse princípio de design não se trata mal funcionamento, mas sim, da necessidade de oferecermos mais diversidade de estratégias da SD.
- ✓ Ênfase nas discussões explícitas sobre aspectos de NdC: talvez a alteração mais urgente para a segunda iteração tenha sido o reforço e insistência em explicitar exatamente cada aspecto de NdC, em todas as situações possíveis. Por mais que desejássemos prover maior liberdade para os licenciandos, nossas experiências iniciais com o primeiro protótipo, apontou a necessidade de mais intervenção docente, a fim de criar momentos de “interrupções” ao longo das estratégias, para enfatizar e discutir sobre os aspectos de NdC.
- ✓ Fontes de coleta de dados: por fim, o último princípio de design diz respeito aos procedimentos metodológicos da pesquisa em ensino. A captura de áudio e transcrição de um dos grupos durante a atividade de “replicação”, forneceu dados bastante significativos. Foi possível acompanhar todo o processo de discussão e raciocínio dos participantes e identificar que, as respostas escritas no são uma síntese bastante limitada de tudo o que foi trabalhado. Desse modo, para a segunda iteração, nos preocupamos em obter a gravação e transcrição de todos os grupos participantes.

8.6. Planejamento, desenvolvimento e validação: protótipo II

Os dados coletados na primeira aplicação forneceram algumas evidências favoráveis com relação à validade ou eficácia dessa intervenção de ensino. Todavia, como um dos objetivos da pesquisa visava compreender, não apenas os impactos gerados na aprendizagem dos estudantes, mas também, entender os processos pelos quais isso pode ter ocorrido, decidiu-se seguir adiante e desenvolver mais um protótipo da SD.

A partir da leitura flutuante dos dados gerados da primeira iteração, como rege o DBR, iniciou-se o processo de refino das aulas, estratégias e materiais instrucionais.

Durante a primeira iteração, o autor observou que algumas estratégias tiveram êxito ao alcançar os objetivos de aprendizagem, enquanto outras necessitariam de readequação e outras poderiam ser descartadas ou substituídas.

A estrutura central da SD foi mantida como tal, contudo, a organização das aulas/atividades requereu modificações.

A atividade de “replicação física de experimento histórico” passou por uma reformulação na comanda, referente às perguntas e apresentação. A narrativa histórica sobre estudos de Trembley, passou por uma ampla remodelação, após discussões e validações, tanto no LaHBE, quanto por meio de colaboração com o professor Douglas Allchin, em curso ministrado por ele, em 2015.

A narrativa histórica sobre os estudos de Bonnet também foi outro material a passar por refino, sendo que algumas características foram inseridas à nova versão do Objeto Virtual de Aprendizagem, validado por membros do LaHBE e por estudantes de graduação e pós-graduação em Ciências Biológicas.

No entanto, a alteração mais significativa, foi referente às questões de NdC. Ao explorarmos, tanto os referenciais teóricos, quando os episódios históricos em maior profundidade, foi possível acrescentadas novas perguntas, abordando novos aspectos de NdC, bem como as habilidades e práticas de investigação científica.

Além disso, percebeu-se que os questionários de levantamento de concepções de NdC (pré-teste e pós-teste), mereceram ser revistos, a fim de fornecer dados mais específicos. Desse modo, após análise da iteração I, substitui-se ambos por instrumentos contextualizados em casos históricos (pré-teste) e casos contemporâneos (pós-teste).

O instrumento pré-teste, já havia sido validado e aplicado na disciplina de “Natureza da Ciência e Ensino por Investigação”, ministrada pelas professoras Maria Elice B. Prestes e Daniela Scarpa, no curso de Ciências Biológicas, IB-USP, durante o primeiro semestre de 2016.

O pós-teste, contudo, passou por rodadas de validação com professores e estudantes de pós-graduação em ensino de ciências e educação, conforme diretrizes delineadas na seção 6.6, desta tese.

Ao final desse processo de refino e validação, obteve-se o segundo protótipo da SD, mais sintético em número de aulas, porém, com a mesma estrutura didática.

8.7. Aplicação: protótipo II

A fim de manter o padrão do público-alvo da pesquisa, ou seja, licenciandos e Ciências Biológicas, nós conseguimos um espaço de três aulas, gentilmente cedidas pela Prof^a Dr^a Ana Maria Santos Gouw, professora da Universidade Federal de São Paulo, campus Diadema. No início do segundo semestre de 2016, a professora ajustou a SD durante a disciplina “Práticas Pedagógicas em Biologia I”. Ademais, foi possível conduzir a segunda iteração em dois turnos, vespertino e noturno, posto que as aulas ocorriam no mesmo dia da semana.

Devido à quantidade mais restrita das aulas, foi necessário ajustar os procedimentos, a fim de otimizar o tempo. Realizada as formalidades de apresentação, o doutorando convidou os presentes a participar da pesquisa e distribuiu o TCLE para assinatura e em seguida, administrou o instrumento de coleta de dados (pré-teste). Esse procedimento durou aproximadamente 45 minutos.

O questionário sócio-etnográfico foi adaptado para uma versão online, tanto por razões práticas, quanto para reduzir o tempo em classe. Assim, foi informado aos licenciandos que o questionário seria enviado para o e-mail e, após o preenchimento, encaminhassem o resultado para o e-mail fornecido pelo doutorando. Doze licenciandos enviaram as respostas, sendo que apenas dez foram selecionados como amostra final, pois participaram de todas as aulas da SD.

O número total de participantes da segunda iteração foi constituído pelos licenciandos matriculados nos dois turnos. Porém, evitou-se distingui-los, pois havia uma flexibilidade entre os turnos. Ou seja, licenciandos matriculados no período vespertino participavam das aulas noturnas e vice-versa.

Sob os mesmos critérios da versão anterior, apenas os licenciandos que participaram de todas as atividades foram selecionados para análise final. No total 10 (dez) licenciandos fizeram parte da amostra no segundo protótipo da SD. Nessa iteração, as identidades também foram mantidas em anonimato, sendo codificados em Est#1; Est#2...Est#10.

8.8 Coleta e análise de dados

Os resultados do protótipo II serão apresentados em ordem de atividades conduzidas: os objetivos de cada aula, a estratégia admitida e a triangulação dos dados coletados. Na seção a seguir, serão fornecidos e discutidos os resultados obtidos em cada uma das três aulas.

Ao final do capítulo, discutimos a comparação entre as concepções iniciais e finais dos licenciandos, mediante análise dos instrumentos de pré-teste e pós-teste, para inferir o impacto da SD na concepção dos licenciandos sobre os aspectos de NdC. A organização geral do segundo protótipo da SD é esquematizada na figura 36.

Figura 36. Estrutura e organização do segundo protótipo da SD.

8.8.1. Aula 1 (Parte I): Usos de História da Ciência e Natureza da Ciência no ensino

Como mostrado na figura 38, a primeira aula foi dividida em duas partes, a primeira, constituída por uma aula expositiva dialogada e a segunda parte, destinada à realização da atividade de “Replicação física de experimento histórico”.

A aula expositiva foi uma novidade e refino em relação ao primeiro protótipo, pois, ao evidenciarmos o distanciamento (e desconhecimento) dos licenciandos com relação a essas propostas, observou-se a necessidade de uma aula introdutória que focasse nos usos de história da ciência no ensino e nas distintas abordagens sobre Natureza da Ciência.

Além disso, se o intuito é propor e apresentar dita SD como uma estratégia alternativa ao ensino de NdC à formação inicial de professores, nada mais apropriado do que justificar, referenciar e dar o devido crédito àquilo que se defende.

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados a quadro da aula 1.

AULA 1 (parte 1) “ Usos de HC e ensino de NdC ”			
Conteúdo	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo didático: Apresentação da proposta educacional: a Sequência Didática; Introdução à pesquisa em HC; Introdução à Natureza da Ciência e sua abordagem ao ensino e na formação de professores	(1) Apresentar a proposta da SD; (2) Introduzir o tema de pesquisa em HC (3) Introduzir a temática NdC de forma explícita	Aula expositiva dialogada (slides em PPT) Coleta de dados: Notas de campo	Ministrante: Doutorando Supervisão: Profa. Dra. Ana Maria Gouw Tempo de aula: 50 minutos Participantes: 16 licenciandos

A aula expositiva dialogada foi estruturada nos temas:

- ✓ Pesquisa em HC e recontextualização para o ensino de ciências e NdC
- ✓ Abordagem de NdC baseada na ideia de “Ciência Integral” (ALLCHIN, 2013)
- ✓ Inter-relação entre HC e ensino por investigação (ALLCHIN, 2014).

8.8.2. Aula 1 (Parte II): Replicação física de experimento histórico “O dilema de Trembley”

Após a aula introdutória, a explicação dos objetivos da SD e a breve exposição da temática NdC, os licenciandos foram convidados a se reunir em grupos para a realização da segunda parte da aula: a atividade de “Replicação física de experimento histórico”.

Na primeira iteração a permissão de uma “investigação aberta” total, gerou alguns problemas para o desenvolvimento dessa atividade. Nesse segundo protótipo, porém, privilegiou-se o método de investigação guiada. Isto é: quando o professor (instrutor) diminui o nível de incongruências ao proporcionar as questões e procedimentos (ZION; MENDELOVICI, 2012, p. 384). Porém, são os alunos que, em colaboração, poderão definir as etapas, processos e soluções aos problemas fornecidos. Os prováveis resultados, tampouco são conhecidos pelo professor ou pelos alunos.

As informações contidas na comanda da atividade de replicação foram organizadas em duas partes:

- (1) A primeira parte estava relacionada ao desenvolvimento de práticas de habilidade de investigação e abordagem de aspectos de natureza da ciência;
- (2) A segunda parte, voltada à instrumentalização didática. Questionou-se aos licenciandos sobre as possibilidades de adaptação dessa atividade em um contexto do Ensino Médio.

Os resultados coletados serão apresentados, discutidos e analisados à luz das rubricas desenvolvidas. Entretanto, em vez de rotular em “adequadas” ou “inadequadas”, conforme realizado na primeira iteração, para esse segundo protótipo, as categorias de classificação são definidas por: Nível 3 (mais alto); Nível 2 (intermediário) e Nível 1 (mais baixo), adaptado do trabalho de García-Carmona e colaboradores (2016).

As informações organizacionais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados a quadro da aula 1, parte 2.

AULA 1 (parte 2) “O dilema de Trembley”			
Conteúdo	Objetivos	Estratégia, recursos e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo científico: Modos de reprodução assexual animal;	(1) Apresentar um problema histórico autêntico da história da biologia sobre a “descoberta” de modos de reprodução animal;	Replicação física de Experimento Histórico Materiais: Espécimes de <i>Hydra viridissima</i> ;	Instrutor: Doutorando Supervisão: Prof. Dra. Ana Maria Gouw
Conteúdo metacientífico: Elaboração de desenho observacional e experimental; interpretação e divulgação de dados	(2) Fomentar habilidades de investigação científica por meio da história da biologia; (3) Discutir aspectos de NdC como: carga teórica na observação e inferência; natureza dos experimentos e interpretação de evidências; (4) Discutir possibilidades de adequação da replicação à educação básica	Lupa de mão; Microscópio óptico (400x); Lâminas; tubos de ensaio; Placas de petri; tesoura; Estilete; pinça; pipeta Coleta de dados: Comanda por escrito; Captura de áudio; Notas de campo	Tempo de aula: ~2 h Participantes: Quatro grupos (3 a 4 estudantes)

A atividade “replicação de experimento histórico”, considerando os dois turnos, contou com a participação de 16 licenciandos, divididos em quatro grupos, codificados por:

Grupos	Licenciandos
[G.01]	Est#3; Est#8; Est#9; Est#10; [94737]
[G.02]	Est#5; Est#6; [8090]; [84539]
[G.03]	Est#1; Est#2; [85021]; [84546]
[G.04]	Est#4; Est#7; [94623] ⁷⁴

Formados os grupos, o doutorando informou aos participantes sobre os objetivos da atividade, mostrou os materiais disponíveis e distribuiu as comandas para o relatório da

⁷⁴ Os números entre colchetes representam licenciandos que compuseram os grupos, porém foram desconsiderados da amostra, pois deixaram de participar de alguma atividade da SD e/ou pós-teste

atividade de replicação. Os licenciandos tiveram duas horas para realizar a atividade e responder as perguntas de investigação e NdC inseridas na comanda. Para contextualizar os licenciandos nessa atividade, a comanda trazia o seguinte trecho introdutório:

Imagine que você é uma pessoa com profundo interesse pelos seres vivos em geral. Apesar de sua curiosidade e de seu bom conhecimento no assunto - que vão desde o comportamento, morfologia à reprodução e outros aspectos - você não é um “especialista”.

Imagine também que, como bom estudioso e bom observador, você está sempre coletando organismos a fim de entender melhor o funcionamento dos seres da natureza. Em uma dessas coletas corriqueiras, você encontra um organismo em nada parecido com o que se conhece! Você, então, decide analisar melhor essa criatura na tentativa de identificá-la e classificá-la dentro dos reinos conhecidos dos seres vivos. Porém, quanto mais o estuda, mais confuso e intrigado fica.

Trembley conduziu uma série de investigações com uma criatura que aparentemente desafiava os critérios de classificação da época: O organismo se “comportava” tanto como planta, quanto como animal! Isto posto, a pergunta que Trembley investigou, e agora, convidamos vocês a revisita-la é:

Como definir a natureza de um organismo, até então, desconhecido, e que parecia reunir características diversas, tanto de plantas quanto de animais? Seria uma planta? Seria um animal? Seria um ser intermediário?

Parte 1 - O propósito desta parte da atividade visa revisitar uma pergunta de investigação da história natural do século XVIII e, por meio da replicação de um experimento histórico, trabalhar observações iniciais e propor desenhos experimentais a fim de obter evidências para tentar responder à questão.

Com base na pergunta de Trembley: ***Diante do problema, o que fazer inicialmente?***

A primeira pergunta da atividade abordou a Dimensão Observacional de NdC (ALLCHIN, 2011, p. 525) - aspectos observacional e inferencial e o papel dos conhecimentos prévios na interpretação das observações (quadro 34).

Quadro 34. Rubricas da questão 1.1. Atividade “Replicação”

Rubricas	
Aspecto de NdC: “O papel da observação e inferência”	
Nível 3	Espera-se que o estudante referencie o papel da observação e inferência na elaboração de argumentos; que mencione a revisão de conceitos e destaque informações prévias pertinentes: características que distinguem plantas de animais, refletindo, por exemplo: “o que se sabia acerca da natureza dos animais? ”; “Quais razões para a dificuldade da classificação”.
Nível 2	Espera-se que o estudante proponha observar amostras do organismo após coleta e isolamento; que questione as razões da dificuldade de classificação; que destaque diferenças entre plantas e animais.
Nível 1	Espera-se que o estudante não consiga refletir sobre o problema em questão; que não mencione qualquer conhecimento prévio; que não saiba interpretar a indagação; que mencione que o naturalista necessita de um <i>insight</i> ou inspiração para resolver o problema

Quadro 35. Respostas por escrito. Questão 1.1 do relatório da atividade “replicação”

Grupo	Respostas	Nível
[G.01]	Observar a olho nu, com ajuda de lupa e ao microscópio.	2
[G.02]	Observar a morfologia e comportamento do ser em questão	2
[G.03]	Observação e comparar com algo já conhecido. [...] partir de conhecimentos prévios e levantar hipóteses.	3
[G.04]	Coletar o ser vivo para análise usando os equipamentos adequados [...] observá-lo durante um período de tempo para análise comportamental.	2

As análises das respostas e das falas dos participantes indicaram que em todos os grupos, a ação inicial foi buscar observar o organismo, o que possibilitou enquadrá-los como “nível 2”.

À exceção do grupo [G.03] que, além de mencionar sobre a importância da observação, argumentou a favor da correlação com conhecimentos prévios, o que permitiu classificá-lo como “nível 3” (quadro 35).

A comparação entre as respostas escritas no relatório e a transcrição da discussão permitiu acompanhar o processo de raciocínio entre os licenciandos e pode-se observar que, a despeito da ausência de menção direta sobre a ação de inferir a partir do objeto observado, percebe-se uma compreensão razoável do papel da observação em uma pergunta de investigação, conforme pode ser observado nos trechos das falas dos licenciandos (quadro 38).

Quadro 36. Trechos da discussão durante a atividade “replicação”. Questão 1.1

Grupo [G.01]		
Linha	Estudante	Falas
40	(94737)	Primeira pergunta: O que é isso?
41	Est#8	Isso é um caule! hhh
43	Est#3	Quais seriam as características de animal, dele? (.) A primeira pergunta que eu acho que pode ser feita é: “qual a característica de animal desse bicho?”
44	Est#8	O que?
45	Est#3	Porque eu não consegui identificar característica de animal, nele!
47	Est#3	Não, porque assim, para ser uma característica de planta, [...] <u>poderia dizer que tem a presença de clorofila, né?</u> Por que ele é verde, assim.
48	Est#9	Animal? Ele se movimenta, né!
49	Est#10	É, ele se movimenta!
83	Est#10	<i>Oh</i> , a primeira pergunta: “seria uma planta?” Não, <i>né?</i> <u>Não seria uma planta porque ele tá se movimentando!</u>
88	Est#8	[...] quando ele tá na mão, no tubo de ensaio, parece que a gente tá balançando tanto que fica na dúvida se ele fica nadando ou a se a gente que tá balançando ele.
Grupo [G.03]		
Linha	Estudante	Falas
40	(85021)	Olha, ele não se mexe (.) aí uma pergunta: se a gente vai categorizar como animal e um animal se mexe?
41	Est#1	Não, mas aí no caso a gente pode ter um (.)
42	(84546)	<u>Um animal sésnil, né?</u>
43	(85021)	Sim! Tem animais que são sésseis
49	(84546)	Ele tá se mexendo, tá!
50	(85021)	Tá se mexendo?
51	(84546)	<u>Eu não sei se é a água que está se mexendo ou se é ele. Tá, mexeu.</u>
49	(84546)	Ele tá se mexendo, tá!

Chang (2011, p. 335) salienta que existem muitos experimentos históricos relevantes, mas, que por alguma razão foram negligenciados no ensino de ciências. De modo que, as replicações históricas, possibilitam uma reescrita dos fragmentos da história omitidos pela ciência moderna, ao oferecer uma visão não perturbada da prática científica, bem como, recuperar um conhecimento do passado.

Esse último ponto, pode ser notado a partir de um fato surgido na discussão em três grupos [G.01], [G.02] e [G.03]. Eles levantaram uma questão bastante similar à discutida na investigação histórica (linhas 88 e 51, quadro 36).

Durante as suas observações iniciais, o naturalista Trembley havia se questionado se os pólipos eram dotados de movimentos próprios, ou se a causa era devido à agitação da água (TREMBLEY, 1744. P. 8). Esse fato, além de criar um fator motivacional, ao perceber estar no encaixe de um cientista (COLBY, 2008, p. 63), fornece um feedback para a aprendizagem, ao comparar o seu próprio raciocínio com um conhecimento estabelecido (HOWE, 2007a).

Se por um lado há críticas sobre a utilização de episódios históricos como estratégia de ensino por investigação, devido ao fato de já se conhecer o desfecho do evento ou fenômeno estudado. Por outro, nem sempre são usados os mesmos meios para obtenção dos resultados. Vários podem ser os caminhos e decisões que permitem alcançar um mesmo fim. A história, portanto, tende a ser um “horizonte” que visa guiar a investigação de forma coerente, assumindo um papel estrutural, a fim de envolver o estudante na investigação e moldar ocasiões efetivas ao seu aprendizado (ALLCHIN, 2014a, p. 8). Os resultados desta atividade são evidência disso.

Assim, a fim de proporcionar uma aprendizagem, de fato, significativa, sobre os aspectos de NdC, o diferencial desta estratégia foi a possibilidade de explicitar e prover momentos de reflexão em classe, por meio de um problema histórico autêntico, para que esses licenciandos pudessem compreender que, às vezes, um conhecimento científico, pode derivar da combinação de ambos: observar e inferir. Observar é o ato de utilizar os sentidos, livres ou com auxílio instrumental e tecnológico, a fim de obter informações. Inferir significa explicar, tanto a partir de observações, quanto de entidades não observáveis (MULVEY; BELL, 2016, p. 3), partindo de um conceitual teórico prévio.

Conectada à questão anterior, o aspecto abordado na pergunta 1.2 da atividade de replicação referiu-se, também à Dimensão Conceitual de NdC - aspecto das “explicações alternativas” (ALLCHIN, 2013. P. 23) e “levantamento de hipóteses”.

1.2 Quais seriam as suas explicações e/ou hipóteses acerca da natureza desse organismo “desconhecido”?

Quadro 37. Rubricas da questão 1.2. Atividade “Replicação”

Rubricas	
Aspectos de NdC: “explicações alternativas” e “levantamento de hipóteses”	
Nível 3	Espera-se que o estudante elabore proposição de explicações consistentes e especulativas, relacionadas aos conceitos prévios acerca da natureza animal/planta do organismo; que possua clareza, seja passível de testes (simples) e refutação; um nível mais sofisticado pode propor hipóteses, por exemplo: (H1) A natureza do organismo está relacionada à locomoção. (H2) O organismo tem sua natureza baseada em padrões morfológicos. (H3) A natureza do organismo está associada à fisiologia comparativa. Etc.
Nível 2	Espera-se que o licenciando proponha explicações logicamente viáveis, baseadas em conhecimentos consolidados; relacionadas a elementos conceituais vigentes e/ou históricos

Nível 1	Espera-se que o estudante não consiga formular explicações e/ou que seja inconsistente (sem relação teórico/conceitual); que proponha apenas descrições e/ou afirmações incoerentes.
---------	--

Quadro 38. Resposta por escrito. Questão 1.2 do relatório da atividade “replicação

Grupo	Respostas	Nível
[G.01]	É um organismo vivo, que se movimenta, possui cílios, e de cor verde, não é uma planta. É aquático, de água doce.	2
[G.02]	1. Se trata de um organismo aquático; 2. Aparentemente há movimento próprio do organismo; 3. Reage a estímulos; ver se é planta ou animal.	2
[G.03]	[...] em observação a olho nu levantamos a hipótese de ser uma planta ou uma alga. [...] observamos em microscópio que poderia ser um animal, devido à movimentação.	2
[G.04]	Por ser verde, a primeira ideia seria que é uma planta e faz fotossíntese.	2

A partir da observação de um organismo que parece partilhar características de dois reinos distintos, contextualizado em conhecimentos da época, os licenciandos deveriam criar explicações consistentes a fim de classificá-lo. Propor explicações, nesse caso, significa desenvolver argumentos combinados, tanto com base nos dados coletados (observação), quanto àquilo que já se conhece (KAMPOURAKIS, 2016, p. 677).

As observações conduzidas com os pólipos pelo naturalista Trembley, por vezes, pareciam gerar dados inesperados e contraditórios ao que se conhecia à época sobre a natureza de seres vivos. Assim, buscou-se reenviar os licenciandos à época e provoca-los a pensar meios para refletir sobre o aparente dilema animal/planta desses organismos. Essa etapa da atividade, portanto, foi conveniente para a proposição de explicações e hipóteses.

Apesar de as respostas discursivas dos licenciandos focarem apenas na descrição do organismo (quadro 38), o percurso da discussão entre eles é pleno de informações válidas de destacar (quadro 39).

Quadro 39. Trechos da discussão durante a atividade “replicação”. Questão 1.2

Grupo [G.01]		
Linhas	Estudantes	Falas
330	Est#10	Quais seriam as hipóteses acerca da natureza do organismo (.)
331	(94737)	É um organismo vivo, que se movimenta por cílios, é de cor verde. Que mais? Não é uma planta!
332	Est#3	Então a gente tá afirmando que é um animal, só!
333	Est#10	Pelo movimento e (.) tem mais de um [movimento], né?
334	Est#3	Mas também pode ser um intermediário, certo? Não tem uma pergunta, que ele pode ser um intermediário?
335	Est#8	Mas o que é um intermediário?
348	Est#3	E quais seriam as hipóteses? [...] porque aqui a gente não tá falando hipótese alguma na [questão] dois. A gente está só afirmando. É um animal! [...]
349	(94737)	É um organismo vivo que se movimenta (.)
350	Est#9	Não, mas você dizer que é um animal, já é uma hipótese, não né?
Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
37	Est#5	Eu acho que é um microrganismo.
42	Est#5	Primeiro olharia a cor verde [...] e diria que é alguma planta, e clorofilada!
46	Est#5	[...]. Observar a morfologia do organismo. [...]
47	(78090)	A cor verde

48	Est#6	De um lago (.) de água! Ambiente aquático!
58	(78090)	É planta porque é verde! É planta porque não se mexe. É bicho porque se mexe.
119	(84539)	Então, será que ele tem movimentação por que está dentro da água?
120	(78090)	Ele tem movimento porque está dentro da água ou será que ele se movimenta?
121	Est#5	Não sei se ele tem movimento próprio.
122	(84539)	Ele pode ter movimento próprio, porque aqui não tem corrente de água nem nada. Ele tá parado.
139	Est#5	Esse organismo se mexe, eu acho, mas se mexe por conta do fluxo da água ou por movimento próprio?
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
178	(84546)	É que numa primeira concepção a gente viu a olho nu, era verde!
179	Est#1	Ele é uma alga ou é uma planta! Porque não existe animal verde, né? [...] pode ser que tenha uma interação com alga para que seja verde. Mas a gente constatou que ele é um animal.
181	(84546)	É uma hipótese. A gente não sabe. [...] Mas por que ele é verde? A gente só foi ver que ele era um animal, quando a gente conseguiu ver a movimentação dele e que a gente associou assim <i>ah, uma planta, talvez não se movimente desse jeito, então(.) muito provavelmente é um animal.</i>
216	(84546)	Por exemplo, se a gente levantou que ele é um animal, de que ele se alimenta? Se a gente deixar ele num ambiente que é só aquela gotinha de água, a gente vai ver ele se alimentando?
222	Est#1	Eu acho que se ele vive na água, eu acho que ele se alimenta na água, né?
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
54	(94623)	[...]. Quais seriam as suas hipóteses acerca da natureza desse organismo? Primeiro: como ele parecia verde..
55	(94733)	Como parece, não. Ele é.
56	(94623)	Ele é verde. Então a resposta dois é que ele seria um (.) algum tipo de planta!
57	Est#4	As nossas hipóteses, então, a ideia de ser verde, é uma planta então faz fotossíntese.
58	(94623)	Isso. E se ele faz fotossíntese é porque tem cloroplasto [...]. Então a gente deixaria ele no sol.
61	Est#4	Então, as nossas hipóteses pra mim, só tem essas, dele ser verde, produz o próprio alimento, é uma planta!
62	(94623)	Só que ele se mexe também. Sozinho, porque aqui, ele tá fugindo, então ele se mexe.

A triangulação das respostas por escrito, por mais sucinta que tivessem sido, junto com a análise das transcrições, permitiu compreender o processo de argumentação e raciocínio desses licenciandos. Portanto, foi possível observar os questionamentos, frente a um problema investigativo, as tentativas de propor explicações alternativas e ao levantamento de algumas hipóteses, por exemplo, segundo o comentário do EST#1 (linha 179 [G.01] quadro 39).

Diante dos dados à questão, foi possível classificar todos os grupos como “nível 2”, pois permitiu diagnosticar que não se trata, somente, de inaptidão de raciocínio ou de criação de explicações e/ou hipóteses consideráveis, mas sim, de oportunidades para que eles pudessem, a partir da prática e em colaboração, debater e expor suas próprias conclusões, muitas das quais, análogas ao percurso histórico original.

Assim, uma abordagem investigativa por meio da replicação de um experimento histórico, pode se apresentar como um ambiente favorável, tanto à identificação de concepções

equivocadas, quanto auxiliar a compreensão do papel das explicações alternativa, interpretações e levantamento de hipóteses.

Além dos subsídios ao aprimoramento das habilidades de investigação, o desenvolvimento de explicações alternativas (e hipóteses) demanda a mobilização de conhecimentos prévios ao suscitar questões de cunho epistemológicos, tais como: “como fazemos para saber isso...?” Ou então “quais os indicativos e evidências são necessários para...?”, fatores preponderantes ao fomento para uma aprendizagem significativa em ciências (MONK; OSBORNE, 1997, p. 406).

A questão 1.3 teve como objetivo abordar o caráter experimental da replicação, aspecto de NdC referente à Dimensão Observacional – Acurácia, precisão; experimentos controlados; replicação e tamanho amostral (ALLCHIN, 2013, p.23).

1.3 O que vocês fariam para testar as suas hipóteses? Ou seja, que procedimentos (observações e/ou experimentos) seriam necessários para validar (ou não) as hipóteses levantadas? Descreva a metodologia e instrumentos para suas observações e experimentos.

Quadro 40. Rubricas da questão 1.3. Atividade “Replicação”

Rubricas	
Aspecto de NdC: “natureza dos experimentos científicos”	
Nível 3	Espera-se que o estudante proponha que observações e/ou experimentos devem ser condizentes com as hipóteses elaboradas; definição de variáveis/controle; descrição de desenho metodológico e papel da replicação; discussão e interpretação dos dados obtidos à luz das teorias e conceitos prévios;
Nível 2	Espera-se que o estudante proponha observações e/ou experimentos condizentes com as hipóteses elaboradas; que defina (ao menos uma) variável; que descreva as etapas e resultados observados;
Nível 1	Espera-se que o estudante proponha experimentos inviáveis e/ou incoerentes; que não seja possível mensurar/observar e testar; que não mencione qualquer controle/variáveis; que descreva que os “dados falam por si”.

Quadro 41. Resposta por escrito. Questão 1.3 do relatório da atividade “replicação”

Grupo	Respostas	Nível
[G.01]	Observação a olho nu; observação com ajuda da lupa; observação com auxílio com auxílio do microscópio; observação por alguns dias para verificar hábitos; - É um organismo aquático de água doce, poderia tentar fazer uma cultura. - Alguns testes químicos, como por exemplo, colocar no álcool, retirar do ambiente - Tentativa de dissecação	2
[G.02]	Para testar o movimento, colocamos o organismo em uma lamina e, depois uma lamínula e percebemos que não se moveu. -Forma de pólipó; observação via microscópio. -Reage a estímulos: submetemos à presença de luz e observamos que havia contração do organismo. -Verificando as estruturas internas do organismo.	2
[G.03]	Observamos na lupa e no microscópio para compreender a anatomia do organismo e sua movimentação. Verificamos se há reação a estímulos luminosos e mecânicos para identificar se há movimentação. Pudemos identificar que o organismo se movimenta em um processo de compressão e expansão do corpo. Poderíamos verificar a forma como o organismo se alimenta para saber se realiza fotossíntese ou se é heterotrófico. Para isso, poderíamos deixar o organismo totalmente no escuro ou transferi-lo a outro ambiente para verificar a forma de alimentação.	3

[G.04]	Se for planta, na presença de luz, faz fotossíntese. Portanto, na ausência de luz por muito tempo, morreria. A nível microscópico, analisaria uma célula de uma planta com a célula desse ser vivo e veria se sua estrutura é animal ou vegetal. Manuseando o indivíduo, percebe-se que ele, ao ser tocado se fecha, como mecanismo de defesa, o que apenas algumas plantas fazem.	2
--------	--	---

Nesse momento, foi possível explicitar sobre o papel dos experimentos como uma das ferramentas para a produção de conhecimento científico. Que a natureza experimental requer procedimentos específicos como, controle de variáveis, isolamento do objeto investigado, interpretação de dados e replicação amostral. Todos esses aspectos foram privilegiados na pesquisa do naturalista genebrês.

Os estudos de Trembley com os pólipos no século XVIII foram marcantes entre seus contemporâneos, pois, seu interesse em conhecer o organismo de forma aprofundada, o levou a elaborar e conduzir diversos procedimentos metodológicos, entre eles a repetição com variação de observações e experimentos. Métodos esses considerados inovadores à época. Além disso, um dos pontos determinantes para o sucesso de suas pesquisas, trata-se do isolamento dos pólipos. Para Trembley, isolar, repetir e variar, tanto observações, como os experimentos, foram os procedimentos importantes para permitir a verificação de suas hipóteses (PRESTES; MARTINS, 2014, p. 366).

Cientes dos empecilhos referentes ao tempo e espaço em sala de aula, sabia-se, de antemão, que as possibilidades da preparação de procedimentos experimentais rebuscados ficariam limitados. Tampouco, os anseios eram promover uma replicação histórica fiel em detalhes. Ao contrário, esta etapa da atividade procurou revisitar um problema autêntico da história da biologia e engajar os licenciandos a buscar meios para solucioná-lo.

Ao aguçar a curiosidade e as habilidades de observação, por meio de estratégia de replicação de experimento histórico, o aprendizado pode ser leve e motivador. Pois, o envolvimento em uma investigação sem expectativas e sem resultados finais pré-determinados, pode estimular o estudante a desejar compreender os fenômenos investigados (CHANG, 2011, p. 337). Além disso, muitas vezes, resultados inesperados em um experimento ou uma observação pode suscitar novas perguntas que exigem a reelaboração de novas hipóteses e, conseqüentemente, a condução de investigações independentes a partir dessas perguntas (METZ; STINNER, 2007, p. 617).

Com relação aos aspectos de natureza dos experimentos científicos, as concepções dos licenciandos mostraram-se mais adequadas do que os demais aspectos analisados. Não seria descabido inferir que tal característica positiva possa vir a ser consequência de atividades práticas comumente realizadas ao longo de disciplinas da graduação.

Foi possível alegar que, de maneira mais ou menos equivalente, esse grupo de licenciandos possuía imagens aceitáveis sobre métodos experimentais, posto que, em vários momentos da atividade, eles especularam sobre o papel da coleta, isolamento, controle de variáveis, repetição amostral. Desse modo, os grupos [G.01], [G.02] e [G.04] puderam ser classificados como “nível 2” e o grupo [G.03] enquadrou-se como nível mais elevado: “nível 3”, conforme apresentado no quadro 41.

A maioria das respostas discursivas dos grupos seguiu o solicitado na questão da atividade. Restringiram-se à descrição das observações, intervenções simples com o organismo, métodos aplicados e instrumentos utilizados.

Apesar de haver variadas possibilidades de investigação, é interessante ressaltar que, três dos quatro grupos ([G.02], [G.03], [G.04]) seguiram caminhos bem parecidos, abordando aspectos de movimentação; alimentação. No que tange ao último aspecto, os licenciandos discutiram o papel da possibilidade de os organismos realizarem fotossíntese e raciocinaram meios de testar o fenômeno.

Ainda que o conceito de fotossíntese possua caráter anacrônico à época da investigação original de Trembley, o instrutor evitou intervir na atividade de replicação, a fim de aumentar as margens para uma investigação mais aberta e livre⁷⁵.

De fato, a investigação deve seguir, primeiramente, seu contexto histórico original. Entretanto, ao subsidiar a ideia de “ciência em processo”, a solução para o problema em questão ainda é desconhecida. Portanto, as respostas dos estudantes podem divergir livremente, até mesmo da história real (ALLCHIN, 2014a, p. 6).

O grupo [G.01], focou, por exemplo, em critérios reprodutivos como forma de identificar o organismo. Mesmo não conduzindo qualquer tipo de experimentação “direta”, houve preocupação em coletar, isolar e definir variáveis a controlar (reprodução) ([G.01] linhas 321 e 322, quadro 42), procedimentos essenciais à experimentação científica.

Além disso, essa etapa oportunizou aos licenciandos momentos de reflexão e de realização de previsões, uma das subfases de desenhos experimentais (PEDASTE et al., 2015, p. 54), por exemplo: “*Então, [...] para ver a parte de fotossíntese, se a gente tirar a luz, será que ele [organismo] consegue se alimentar?*” ([G.03] linha 267, quadro 44).

Segundo o modelo de investigação dos “5E” (BYBEE et al., 2006), essa etapa da atividade pode ser considerada a fase de “Exploração”, momento no qual os licenciandos podem

⁷⁵ Estudos sobre o processo de respiração em plantas já eram realizados desde o século XVII, tendo contribuições de diversos estudiosos como: Jan Baptist Van Helmont; Joseph Priestley. No entanto, o termo “Fotossíntese”, foi estabelecido somente na metade do século XIX, pelo naturalista americano Charles Barnes. (MAGIELS, 2007)

explorar sua metacognição, ou seja, pensar e refletir sobre o que estão fazendo, bem como aumentar o interesse e rearticular suas dúvidas (CHAMANY; ALLEN; TANNER, 2008, p. 160). Nessa fase, também são identificados os conceitos atuais ou mesmo ideias equivocadas, bem como habilidades e competências, de modo que, se necessário, a mudança conceitual pode ser facilitada (BYBEE et al., 2006, p. 2).

Quadro 42. Trechos da discussão sobre a questão 1.3. Atividade “Replicação”

Grupo [G.01]		
Linhas	Estudantes	Falas
308	Est#3	Mas aí vem a pergunta: qual o tipo de reprodução?
309	Est#8	Reprodução!
312	INST	Isso é uma boa pergunta!
313	Est#3	Que aí você vê que tem dois, assim. Vai que é assexuado ou por brotamento?
314	Est#9	É, ia deixar ele [organismo] no tubo, se começasse a se reproduzir lá (.)
315	INST	É uma ideia. (.) se ele for assim, o que eu faria para [verificar]?
316	Est#10	Aparecesse filhotes, né?
317	Est#9	É, eu faria isso, deixaria (.)
318	Est#8	Porque se ele for reprodução sexuada (.)
319	Est#3	Precisa de um parceiro. Porque se for assexual, aí já poderia (.)
320	Est#9	[...] eu acabei de matar ele. O que que a gente faria? Ia tentar encontrar outro. Se eu encontrasse outro eu colocaria no tubo com água, e ia deixar lá
321	Est#8	Eu colocava um tubo, com apenas um, e um tubo com dois. Pra ver.
322	Est#3	Ah, onde aparecesse mais (.)
323	Est#8	É. Vai que no tubo com um só, ele aparecesse vários.
341	(94737)	O que vocês fariam para testar as suas hipóteses? Ou seja, que procedimentos
342	Est#9	Eu faria isso: eu isolaria um e verificaria se ele se reproduz. [...]
Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
198	(84539)	[...] você teria que colocar assim: é (.): seria necessário, sem presença de água, analisamos que não há movimento, ele ficou achatado. Não teve movimento, então você não conseguiu identificar o que era.
199	Est#5	[...] primeiro a gente pegou a lâmina, e aí a gente colocou um espécime em uma lamínula.
214	(84539)	Para testar o movimento, colocamos o organismo...
215	(78090)	Em uma lâmina, com uma lamínula e percebemos que ele não se mexeu.
216	Est#5	Agora, sem a lamínula...
217	Est#6	Não. Coletamos outro indivíduo e não utilizamos lamínula, a fim de testar se era um organismo fino
220	(78090)	Então, coletamos outro indivíduo e não utilizamos a lamínula aí ele se movimentou...
221	Est#6	E observamos a movimentação dele.
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
216	(84546)	Por exemplo, se a gente levantou que ele é um animal, de que ele se alimenta? Se a gente deixar ele num ambiente que é só aquela gotinha de água, a gente vai ver ele se alimentando?
217	Est#1	Pra ver se está lá, né? O alimento dele está na gotinha?
218	(84546)	Então, a olho nu, a gente não consegue ver, né? Mas, se a gente deixar só daquele jeito, a gente vai conseguir ver ele se alimentando?
219	Est#1	Provavelmente a alimentação dele é por filtração, né?
221	(84546)	Pode ser, pode ser. Mas aí, tem organismos na água para ele se alimentar?
222	Est#1	Eu acho que se ele vive na água, eu acho que ele se alimenta na água, né?
223	(84546)	E se a gente colocar, por exemplo, transferir ele para um ambiente, para uma amostra de água que a gente (.) por exemplo, uma água destilada.
261	Est#1	Então acho que é um dos testes que a gente poderia fazer.

262	(84546)	Se ele é fotossintetizante ou não?
263	Est#1	Isso! Se ele é fotossintetizante ou não.
267	(85021)	Então, a gente pra ver a parte de fotossíntese, se a gente tirar a luz, será que ele consegue se alimentar?
268	(84546)	Deixar ele no escuro
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
36	(94623)	[...] Acho que <i>pra</i> ver se ele faz fotossíntese, a gente teria que deixar ele num ambiente solar e uma hora num ambiente que não tenha sol, concorda? Se ele faz fotossíntese, uma hora você observa ele num ambiente solar (.)
37	(94733)	Mas, na verdade você não tem que analisar o mesmo organismo, você tem que pegar dois, deixar um com luz e outro sem luz, porque se (.)
38	(94623)	Sim. Também! [...]. Você deixa ele uma hora na luz solar e outra hora (.)
39	(94733)	Sem luz.
40	(94623)	Aí você vê se ele realmente faz fotossíntese, se ele se alimenta a partir disso [...]
41	Est#4	Se ele fizer, pode ser que sim.
42	Est#7	Se ele fizer fotossíntese, qual vai ser o resultado?
43	(94733)	Pode ser que esse organismo seja uma planta.
44	(94623)	Ele vai continuar vivo. Se ele não fizer ele vai morrer.
45	(94733)	Se ele não fizer ele deve ser um animal (.)
46	(94623)	(.) ele só vai ter como alimento, naquele ambiente com água limpa, sem nenhum tipo de comida <i>pra</i> ele. A única coisa que ele tem <i>pra</i> fazer é o que? É. Fotossíntese! Se a gente tira a principal fonte de alimentação, o que vai acontecer com ele? Ele vai morrer.

A questão 1.4 buscou agrupar aspectos presentes nas três dimensões de NdC: “Observacional” (Papel do estudo sistemático); “Conceitual” (Explicações alternativas) e “Sociocultural” (Formas de persuasão; Revisão por pares e Resposta às críticas) ALLCHIN, 2013, p.23).

1.4 O que seria necessário para convencer a comunidade de estudiosos da época (seus pares) sobre a confiabilidade dos seus resultados e conclusões?

Quadro 43. Rubricas da questão 1.4. Atividade “Replicação”

Rubricas	
Aspectos de NdC: “papel do estudo sistemático”; “explicações alternativas”; formas de persuasão”	
Nível 3	Espera-se que o estudante discuta o papel da argumentação, da revisão por pares, da submissão e envio de espécimes/protocolos para replicação; que discuta o papel das apresentações experimentais públicas (conhecimento histórico); que argumente sobre o papel da retórica como forma de persuasão; que discuta sobre o papel da sistematização do estudo e da robustez de evidências; que argumente sobre o papel do ceticismo e da resposta às críticas.
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta o papel da replicação experimental e da revisão por pares; a resposta às críticas; que compreenda o papel do ceticismo e descreva possíveis formas de persuasão (argumentação, explicação).
Nível 1	Espera-se que o estudante descarte o papel da resposta às críticas; que não mencione a importância da replicação amostral; que seja contrário à divulgação e/ou disseminação de resultados e dados novos;

Quadro 44. Respostas por escrito. Questão 1.4 do relatório da atividade “replicação”

Grupo	Respostas	Nível
[G.01]	Anotar a sequência de observação utilizada para que seja replicado;	1
[G.02]	A metodologia utilizada responde as suas hipóteses	1
[G.03]	Enviar nossas hipóteses para que pessoas especialistas no assunto pudessem replicar os estudos e as metodologias para validar nossas concepções.	2
[G.04]	Levaria a eles [comunidade de estudiosos] um vegetal e o ser vivo mostrando a diferença ou semelhança da obtenção de nutrientes entre eles, na presença e ausência de luz. Também deixaria ele [organismo] num ambiente com água e sem água para ver se é um ser aquático ou não quanto a sua sobrevivência	1

Ao recapitular a perspectiva histórica dos meios de persuasão à comunidade erudita do século XVIII, a arte de convencer os pares ou seus leitores era estruturada em forma de uma narrativa, conhecida como “retórica da prova”. Essa narração, presente na obra de Trembley, era constituída por todos os elementos julgados necessários para validar o fenômeno investigado. Incluiu-se, aí, ilustração de observações, tabelas, descrição de instrumentos, desenvolvimento metodológico, extratos de diários de laboratório. Assim, o pesquisador incorporava um conjunto de representações confiáveis, tanto para a compreensão de leitores acadêmicos, quanto para aqueles que desejassem replicar o conhecimento constituído (SIGRIST, 2001, p. 435).

Com isso, o propósito, dessa questão, foi proporcionar aos licenciandos a chance de rever respostas anteriores, avaliar as informações pertinentes e organizá-las, de forma clara e coerente, a fim de convencer ou persuadir a comunidade de eruditos.

Essa etapa também abrange a fase de “Explicação” das práticas investigativas, momento em que os licenciandos exploraram as competências ao dissertar e ordenar as ideias exploradas de forma clara e sem incoerências (BYBEE et al., 2006).

Entretanto, as respostas dos grupos se mostraram demasiado limitadas, quando comparadas às rubricas.

O grupo [G.03] foi o que mostrou melhor desempenho, ao argumentar a necessidade da “revisão por pares” na fala deles: “[...] seria importante mandar os nossos resultados para outra pessoa. [...]. A primeira coisa é, mandar os nossos dados pra outra pessoa que estuda esse organismo [especialista] [...]”. ([G.03], linhas 284, 290, 291, quadro 45). Assim, sendo classificado como “nível 2”

Já os grupos [G.01] e [G.02], julgaram suficiente para convencer a comunidade de eruditos, apenas apresentar a metodologia de replicação experimental. Enquanto o grupo [G.04], propôs a apresentação pública de um experimento. Apesar de coerente, a proposta experimental era inconsistente e irreproduzível. Dessa forma, esses três grupos foram classificados em “nível 1”, mais baixo.

Quadro 45. Trechos da discussão sobre a questão 1.4. Atividade “Replicação”

Grupo [G.01]		
Linhas	Estudantes	Falas
388	(94737)	Garantia dos métodos de observação utilizados (.)
389	Est#10	Anotar a sequência dos dados para ser replicados.
390	Est#3	[...] garantindo o resultado dos métodos!
391	(94737)	Anotar a sequência de observação.
392	Est#10	Para que seja replicada. para que o método seja replicado
393	Est#3	[...] garantir a confiabilidade dos resultados através dos experimentos. [...]
397	Est#10	Nessa época tinha como tirar foto do bicho? Acho que não, né?
399	(94737)	Reprodução da imagem, né?
400	Est#3	Como faz pra reproduzir a imagem?
401	(94737)	Desenho!
402	Est#10	Ah, é!
Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
274	Est#6	Provas! A gente tem que provar!
275	Est#5	[...] a gente tem que descrever a metodologia, como foi feito e porquê de você achar (.) e sua justificativa.
276	(84539)	Também acho!
277	Est#6	Apresentar argumentos válidos e provas de que a sua hipótese é (.)
278	(84539)	Que a metodologia que você usou respondeu a sua pergunta.
279	Est#6	E o teste (.) exato! [...]. Metodologia?
275	Est#5	Acho que a gente tem que descrever a metodologia, como foi feito e porquê de você achar (.) e sua justificativa.
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
282	(85021)	(.) bom, nós achamos que é um animal. Nós testamos várias coisas e, bom, ele está mais próximo de um animal. Certo? [...] Como que nós convenceríamos as pessoas de que nós acreditamos que esse ser é um animal?
283	Est#1	Tem que provar!
284	(85021)	Além disso, seria importante mandar os nossos resultados para outra pessoa.
290	(85021)	[...]. A primeira coisa é, mandar os nossos dados.
291	(84546)	Pra outra pessoa que estuda esse organismo...
292	(85021)	Isso, porque ele [a comanda] fala que se nós somos leigos, mas estudamos esse assunto, então provavelmente ele buscaria alguém que é especialista no assunto. Eu buscaria alguém que é especialista.
293	(84546)	Eu também!
294	(85021)	Primeira coisa, <i>pra</i> validar o que eu falei, ou o que eu observei, eu convocaria um especialista.
295	(84546)	Eu também
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
148	(94623)	A gente faria uma comparação. Pegaria outra planta (.)
149	(94733)	A gente teria que mostrar o resultado das suas pesquisas, de fato.
150	(94623)	Sim, mas a ideia é pegar uma planta e colocar ela no sol, <i>pra</i> mostrar o que acontece [...]. Depois tira essa planta e coloca no escuro e mostra pra ver o que acontece. Ela morre. Logo, se ele [organismo] tiver o mesmo comportamento da planta (.)
151	(94733)	[...] vocês falaram de comparar as hipóteses, por exemplo, a célula vegetal com animal (.) então pode pegar as células de ambos os organismos e comparar, né? Pois fundamenta mais a ideia.
152	(94623)	Pode colocar isso, qual seria os argumentos para provar. Então, a gente retirou uma célula vegetal e ela tinha determinada configuração, igual essa aqui
153	(94733)	É!
154	(94623)	[...] <i>pra</i> provar pra comunidade o que a gente faria, pegaria uma planta e faria a mesma coisa com esse organismo. [A gente] mostraria o resultado da planta do que aconteceria quando ela fizesse fotossíntese, e depois tiraria e colocaria no escuro. Eles

		[comunidade de estudiosos] veriam que ela morreria. Isso seria o parâmetro de planta. E se caso morresse também, a gente tiraria uma célula e compararia, também. Uma célula da planta com a célula desse organismo, como uma célula animal. São as nossas hipóteses.
--	--	---

Esse dado fornece indicadores que são dignos de atenção, pois, ainda que o desenvolvimento de competências em comunicação científica não seja foco central deste estudo, a questão proposta, implicitamente, incorpora o papel de diagnóstico. Ao observar esses resultados, é possível inferir que tais dificuldades sejam consequência de um ensino de ciências majoritariamente focado em fatos. Ou no formato que Bruno Latour (1987, p. 14), denomina de ensino de ciências em sua “forma pronta”.

Essa tendência aumenta o desafio dos estudantes de compreender ciência como um empreendimento relativo; de diferenciar as múltiplas atividades realizadas durante a investigação; de perceber que existem diversas e distintas explicações científicas dada a sua natureza subjetiva dos cientistas; implica no entendimento de que experimentos científicos são ferramentas auxiliares e não geradores de provas e que, assim como os métodos de comunicação, são instrumentos de construção do conhecimento científico. (BOUJAOUDE; SANTOURIAN, 2015, p. 116)

De modo similar às investigações recentes conduzidas com professores em exercício e em formação (JAIN; LIM; ABDULLAH, 2013; MULVEY; BELL, 2016), tem sido possível perceber essa tendência em ambas as iterações desta SD. Os licenciandos, futuros professores de ciências, trazem consigo uma imagem estritamente deformada, empírico-indutivista de ciência. Comprovações, provas, experimentos são tratados como o “carro-chefe” e sem esses meios, não se pode admitir que um conhecimento seja definido como científico.

Fatores não epistêmicos, diga-se, o papel da confiabilidade, perícia, criatividade e comunicação no estabelecimento de novos conhecimentos, são questões de igual relevância (TOLVANEN et al., 2014, p. 8), mas parecem estar distante do universo conceitual desses alunos .

Esse resultado, contudo, é conveniente, posto que a partir dele se pode refinar, isto é, moldar um novo *princípio de design* para uma versão posterior da SD, a fim de readequar as estratégias para promover melhorias no que concerne ao desenvolvimento de competências voltadas à comunicação científica.

Afinal, engajar os estudantes em processos de certificação social e divulgação científica é mister para facilitar a compreensão de que os cientistas, historicamente e atualmente, se apropriam de práticas de comunicação como forma de garantir a fidedignidade de seus resultados (DAGHER; ERDURAN, 2014, p. 142).

A última pergunta (questão 1.5) da atividade de replicação de experimento histórico procurou identificar se ou quais aspectos de natureza da ciência os licenciandos conseguiram compreender ao longo da atividade prática.

Embora tenha sido possível discernir os aspectos em diversos momentos da prática, a solicitação procede como síntese, a fim de reiterar se, de fato, eles apreenderam por meio do que foi discutido. Seria a fase de “Avaliação” (BYBEE et al., 2006, p. 10) do conhecimento. Apesar de ser uma pergunta de cunho mais descritivo, ela pretendeu criar um momento de rememorar e mobilizar o que foi discutido na atividade.

1.5. Que aspectos do “fazer científico” ou de “como a ciência funciona” vocês conseguem identificar nesta replicação das observações de Trembley?

Quadro 46. Rubricas da questão 1.5. Atividade “Replicação”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante discuta os elementos da investigação, como: o papel da acurácia na observação; a proposição de hipóteses, desenvolvimento de desenho metodológico experimental; a coleta de evidências e interpretação de dados; a relevância a colaboração; revisão por pares; o conhecimento científico como passível de mudanças; papel da comunicação e persuasão
Nível 2	Espera-se que o estudante perceba o papel da observação; da proposição de hipóteses coerentes; o papel da natureza dos experimentos (controle/variáveis); que discuta que o conhecimento científico pode ser provisional e sujeito a mudanças;
Nível 1	Espera-se que o estudante não identifique quaisquer elementos de Natureza da Ciência (níveis acima); ou que se imponha a favor de um método científico único; neutralidade e/ou objetividade do cientista; resalte descoberta ou <i>insights</i> como resultados de genialidade

Quadro 47. Respostas por escrito. Questão 1.4 do relatório da atividade “replicação”

Grupo	Respostas	Nível
[G.01]	Interação com os pares [da] comunidade científica; - elaboração de teoria; - métodos de observação; - experimentação; - levantamento de hipóteses; - uso de tecnologia	2
[G.02]	Investigação; levantamento e teste de hipóteses; categorização e classificação em comparação a algo já conhecido; observação comportamental e morfológica.	3
[G.03]	Para esta proposta usamos concepções prévias sobre assuntos que já conhecíamos para traçar hipóteses. Nesse sentido, é importante salientar que cada observação realizada está vinculada à cultura dos observadores, <u>nunca é neutra</u> .	3
[G.04]	Pesquisou o ser vivo o analisando quanto à forma, habitats de vida, experimentando este para ver se suas características eram animais ou vegetais. Dentro disso, chegou a primeiras conclusões, que ele obtinha características tanto animais quanto vegetais, mostrando a comunidade científica o resultado, a hipótese e a continuidade dos seus experimentos.	3

Os dados analisados (quadro 47) indicam que os licenciandos conseguiram identificar razoavelmente bem, os aspectos de NdC inerentes à prática investigativa de replicação.

O grupo [G.01] foi classificado como “nível 2”, pois, apesar de terem sido aptos a identificar corretamente os aspectos de NdC, não fizeram qualquer correlação com os procedimentos conduzidos na atividade de replicação. Ao contrário dos demais grupos [G.02], [G.03] e [G.04] enquadrados como “nível 3” (mais alto), posto que, além de descrever,

buscaram associá-los com suas próprias experiências durante a atividade, como pode ser notado nos trechos das discussões (quadro 48).

Quadro 48. Trechos da discussão sobre a questão 1.5. Atividade “replicação”

Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
300	Est#5	Ah, eu acho que é a investigação, né? É um aspecto do fazer científico! A investigação. O levantamento e testes de hipóteses, <i>pra</i> ver a confiabilidade do nosso experimento.
301	Est#6	Aspectos do fazer científico...
302	Est#5	É buscar, categorizar, né? Colocar ele dentro de um estado conhecido, né?
303	(84539)	Uhum. <i>Pra</i> gente poder classificar.
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
325	(84546)	Ah, o quê daquilo tudo que a gente falou sobre natureza da ciência [...]
326	Est#1	Ah, sim, sobre o fazer científico!
327	(84546)	Ah, tá! Tem a questão de você trabalhar com algumas concepções já existentes. [...]. Não vem coisas do nada, você tem uma bagagem cultural aí, né. As nossas observações são diferentes das observações deles [outros licenciandos] [...]. Então você tem já, concepções carregadas da cultura do observador. Você tem (.) a gente trabalhou com hipóteses. A gente trabalhou com alguns métodos para tentar chegar (.) <i>pra</i> ver se nossa ideia tinha fundamento ou não. [...]. A gente pensou em tentar validar as nossas ideias enviando para especialistas. Que é [...], revisão por pares!
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
182	(94623)	Então a gente pode colocar aí: Observação, replicação, experimento [...]
183	Est#7	O que você falou? Que mostraria para outras pessoas?
184	(94623)	Isso. Comunicação, divulgação dos resultados

Assim, pode-se defender, com base nos resultados, que a atividade de replicação de experimento histórico implicou positivamente na concepção dos licenciandos sobre os aspectos de NdC. A fala adequadamente contextualizada pelos licenciandos do grupo [G.03] sobre o papel do observador na interpretação dos dados, deixa claro que o engajamento em uma atividade estruturada tal como a apresentada, pode trazer consequências benéficas à aprendizagem de NdC.

Além de analisar qualitativamente (ou descritivamente) o conjunto das respostas, decidiu-se averiguar, na concepção de cada um dos dez licenciandos, quais foram os aspectos de nível mais alto e de nível mais baixo, referente aos elementos de NdC abordados na atividade de replicação: o papel da observação e inferência; natureza dos experimentos; explicações alternativas/resultados inesperados e respostas às críticas/ceticismo (gráfico 14).

A escala representa o nível (1, 2 ou 3) dos licenciandos, referente à cada questão da atividade “replicação”. Segundo os resultados, os aspectos referentes à “observação e inferência” e “natureza dos experimentos” foram os únicos que tiveram nível 3 (20%), destaque para os licenciandos [Est#1] e [Est#2].

Gráfico 14. Concepções dos licenciandos referentes aos aspectos de NdC da atividade “replicação”. O intervalo varia de 1 a 3. Sendo “3” nível mais alto de compreensão e “1”, mais baixo.

No outro extremo, os aspectos de maior dificuldade são relacionados às “explicações alternativas e resultados inesperados” e “resposta às críticas/ceticismo”. Em ambos os casos, 40% desses licenciandos apresentaram uma visão pouco informada (nível 1). Apesar disso, a média desses licenciandos, com relação aos aspectos analisados, no geral, mostrou-se razoavelmente adequada.

Os dados obtidos neste estudo encontram suporte em trabalhos de referência na literatura, os quais reiteram o valor dos experimentos históricos para a aprendizagem de aspectos observacionais e de habilidades da prática científica. Contudo, basta uma breve revisão bibliográfica, para perceber que a maior parte desses estudos está voltado ao ensino de física (HOTTECKE, 2000; CAVICCHI, 2003, 2006, 2008, 2009; HEERING, 2006; METZ; STINNER, 2007; CHANG, 2008, 2011; RIBEIRO JUNIOR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012b; DEMIRCI, 2016; JARDIM; GUERRA, 2017).

Estratégias de replicação de experimentos históricos na área de ensino de biologia são escassas. Um exemplo bem elaborado, trata-se do estudo de Catherine Kendig (2013), abordando o episódio histórico do sobre os estudos com *Daphnias*⁷⁶ (ou pulgas d’água), conduzido pelo naturalista holandês Jan Swammerdam (1637-1680), no século XVII. O trabalho de Kendig tinha como intuito de discutir aspectos de história e filosofia da ciência na educação básica.

⁷⁶ Crustáceos do gênero *Cladocera*

O Laboratório de História da Biologia e Ensino (LaHBE), no qual o autor desta tese é membro, também vem apresentando iniciativas visando cobrir essa lacuna, por meio do desenvolvimento e avaliação de SDs. Por exemplo, o trabalho de Tatiana Tavares (2013), utilizando replicação dos experimentos de Darwin sobre a dispersão de sementes, a fim de versar sobre o tema de evolução no ensino básico. Todavia, esses trabalhos focaram, principalmente, no ensino de conteúdos científicos e aspectos de NdC, mas tiveram como público-alvo, estudantes da educação básica.

O diferencial da presente pesquisa, reside na opção pelo investimento na formação inicial de professores, com o intuito de fomentar concepções mais adequadas sobre o fazer científico, desenvolver competências e instrumentalizá-los ao uso de metodologias e recursos alternativos para o ensino *de e sobre* ciências.

Entretanto, importa admitir que aprender *sobre* ciências vai além da simples conscientização da natureza da observação e da experimentação. Essa compreensão inclui formas pelas quais a pesquisa científica é conduzida, comunicada e avaliada; inclui as relações intrínsecas com história, filosofia e sociologia da ciência; as complexas interações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente; bem como os aspectos éticos ressaltados pelo desenvolvimento científicos (HODSON, 2014b, p. 2551).

Por essa razão, foi planejada uma SD, com estratégias e recursos e diversos, de modo a contemplar, moderadamente, todos esses aspectos.

Replicação de experimento histórico, discussão e proposta de readequação à educação básica

A segunda etapa da atividade se desconectou dos procedimentos científicos da replicação, por assim dizer, e se relacionou aos fatores didáticos e/ou educacionais. Diferentemente da primeira parte, nesse momento os licenciandos não foram avaliados por níveis, pois a proposta foi diagnosticar a receptividade e a maneira pela qual eles poderiam readequar o recurso em sua prática pedagógica. Ao passo que alguns dos participantes deste estudo já atuam como professores da educação básica.

Com a reformulação do currículo da Educação Básica no Brasil, em 2018 começou a entrar em vigor a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Dentre as novidades está a reorganização dos conteúdos disciplinares, (então denominados objetos de conhecimento) em grandes áreas. Organizado em unidades temáticas, o ensino de Biologia, por exemplo, passou a se inserir dentro da área de Ciências da Natureza (MEC, 2018, p. 319).

A despeito das mudanças, a BNCC se mantém em consonância com a Agenda 2030 da ONU, ao assumir que a educação deve garantir valores, bem como incentivar ações em prol da

transformação social, fomentando o bem-estar, igualdade e justiça social, e, também, propor ações voltadas à preservação do meio ambiente. Para tal, o documento base, define uma série de “competências”, que consiste, na mobilização e aprendizagem de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e emocionais), atitudes e valores para buscar soluções às demandas complexas do cotidiano, do exercício da cidadania e do trabalho (*Ibid*, 2018, p.8).

Posto de outra forma, as “competências” deliberadas pela BNCC, seriam sinônimos dos conteúdos previamente estabelecidos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais: conteúdo conceitual (fatos, princípios e conceitos), conteúdo procedimental (ligados ao fazer), e conteúdo atitudinal (normas, valores e atitudes) (MEC, 1998, p. 53).

Portanto, julgou-se pertinente proporcionar esse momento na atividade para diagnosticar como os licenciandos estão compreendendo esses conteúdos e como aplicariam em sua prática docente. A primeira pergunta proposta na comanda foi:

Parte 2 – Esta etapa da atividade tem como objetivo repensar e readequar essa estratégia para um público do ensino básico.

2.1 – Que conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais seriam desenvolvidos junto aos estudantes do ensino médio com essa replicação histórica?

Os licenciandos do grupo [G.01] tiveram dificuldades em relacionar os conteúdos. Mesmo citando alguns elementos que poderiam ser enquadrados, eles se mostraram confusos em argumentar o que seria conceitual, procedimental e atitudinal. Os demais grupos, [G.01], [G.02] e [G.03] souberam argumentar com mais coerência os fatores presentes em cada conteúdo da atividade de replicação de experimento histórico (quadro 49).

Quadro 49. Resposta à questão 2.1. Atividade “replicação”, parte II.

Grupo	Respostas
[G.01]	Investigação científica; - Levantamento de hipóteses; - discussão em grupo; - conhecimentos prévios
[G.02]	Conteúdo conceitual: cnidários. Procedimental: investigação a partir do contato com materiais de baixo custo condizente com a situação da escola em questão. Atitudinal: iniciar com uma atividade experimental visando a investigação para estimular a coletividade, autonomia e possibilidade de raciocínio.
[G.03]	O que é necessário para classificação dos seres vivos; Procedimental: quais os possíveis métodos empregados para definir algo. Quais estratégias usar. Atitudinais: pensamento reflexivo, cooperação e trabalho em grupo, despertar interesse e espírito investigativo.
[G.04]	Conceituais: mostrar características animais e vegetais que os distinguem e fazê-los analisar esse ser vivo quanto a isso, sabendo argumentar e criar hipóteses. Procedimentais: saber usar maquinário laboratorial e saber que os passos aqui listados não são regra para procedimentos futuros. Atitudinais: dar consciência a eles do que é o fazer científico.

Como esperado, em relação aos conteúdos procedimentais, os licenciandos mencionaram os métodos e processos relacionados à prática investigativa. Os conteúdos atitudinais, abrangeram o papel da colaboração, cooperação, trabalho/discussão em grupo.

Porém, curioso observar que, referente aos conteúdos conceituais, cada grupo optou por uma temática diferente. Esse último ponto pode ser visto como um dado positivo, pois não pretendemos fornecer um material rígido, pronto em sua forma final, mas sim, uma SD que, por meio dos conhecimentos didáticos produzidos, possa se estender e se adaptar às necessidades dos professores em contextos similares de ensino aprendizagem (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 13) .

Após tentar entender, ainda que de modo pouco incisivo, como esses licenciandos proporiam uma adaptação dessa SD para alunos do Ensino Médio, a questão 2.2 tentou identificar, na visão desses futuros professores, o que impossibilitaria a sua aplicação e as possíveis soluções para esses problemas.

2.2 – Quais seriam as dificuldades que os professores poderiam enfrentar ao tentar aplicar essa estratégia em sala de aula? O que seria possível fazer para minimizá-las?

Quadro 50. Resposta à questão 2.2. Atividade “replicação”, parte II.

Grupo	Respostas
[G.01]	Uso de materiais (disponibilidade de microscópios, de laboratório); - controle da turma no ambiente de laboratório; - manter a turma estimulada para solucionar, o ideal seria turmas pequenas e conceitos apresentados de modo progressivo ao longo da prática.
[G.02]	Falta de material, dispersão e euforia da sala, estipulação de tempo e etapas da realização. Dispersão: aumentar a quantidade de grupos; intervenção do professor. Definir em quantas aulas será realizada (mais de uma) utilizar materiais de baixo custo
[G.03]	Desmotivação e falta de interesse em trabalhar de maneira diferente das aulas tradicionais e expositivas. Os alunos estão acostumados a receber informações prontas, sem momentos para reflexão e formulação de hipóteses. Outra dificuldade que poderia ser encontrada é a falta de materiais para realizar mais experimentações
[G.04]	Superlotação da sala de aula; não saber manusear os maquinários laboratoriais. Pode-se dar uma aula técnica de como manusear esses maquinários antes deles terem de fato acesso a eles.

Dos contratempos citados, para os licenciandos dos grupos [G.01], [G.02] e [G.03] o fator comum foi a falta de materiais para a realização da prática. Para o grupo [G.04], a questão envolve uma situação, infelizmente ainda presente na educação pública, a superlotação de salas de aula (Quadro 50). Porém, no que tange aos três primeiros grupos, o problema demanda soluções simples, que requerem o uso de instrumentos e materiais de baixo custo. Conforme proposto por licenciandos do grupo [G.02].

Além dos problemas supracitados, os licenciandos apontaram ainda as questões relacionadas ao tempo curto em sala de aula, as dificuldades em manter a motivação e interesse dos alunos, e as resistências de professores para mudanças de hábito. Mas logo em seguida, eles propuseram possíveis soluções para contornar as dificuldades (quadro 51).

Quadro 51. Trecho da discussão à questão 2.2. Atividade “replicação”, parte II

Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
317	Est#6	[...] o microscópio não ia dar <i>pra</i> substituir. Mas com lupa você consegue observar a movimentação. Aí você já vê que é um organismo vivo. Você não precisaria [...] da placa de petri, você poderia substituir por outra coisa que pudesse colocar algum líquido.
318	Est#5	Ah, você quer colocar material de baixo custo?
319	Est#6	É. E de fácil acesso, <i>pra</i> você conseguir utilizar em sala de aula do ensino médio. Porque se você for para uma escola pública talvez não tenha uma placa de petri.
320	Est#5	Então a gente coloca materiais de fácil acesso.
Grupo [G.01]		
Linhas	Estudantes	Falas
471	Est#3	Acho que fazer como ele [instrutor] fez com a gente, né. Dar informações aos poucos, porque aí a gente fica pensando melhor!
473	Est#10	Sim, informar os alunos aos poucos. Guiar para a direção correta, né?
474	Est#3	Isso! Quando você vê que ele <i>tá</i> ali pensando, tá quase desistindo, você vai lá, chega e então, ele faz “isso e isso”. Pra estimular ele a pensar um pouco mais.
475	Est#8	Isso, dar umas dicas. Ficaria, legal.
476	(94737)	Seria, turmas pequenas (.) conceitos apresentados de modo progressivo ao longo da prática.
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
395	(85021)	Então é incentivo, né! A gente tem que procurar a questão do incentivo motivacional.
396	Est#1	E nisso, a nossa fala é que tem que ser interessante, motivacional!
397	(85021)	Você tem que ser um mediador.
400	Est#1	A hora que você vai propor esse trabalho, você tem que falar de uma maneira que eles [alunos] se sintam intrigados, né?
403	Est#1	Você percebeu que a gente não conseguiu chegar a conclusão completa de que ele era um animal mesmo? Porque assim [...] como a gente vai provar para esse aluno criança que isso é um animal?
405	(85021)	Porque, pensa, que no ensino por investigação você é só o mediador. Ele [aluno] que vai ter que tentar (.) e aí?

O intrigante é que eles criaram situações hipotéticas baseadas nas discussões que tivemos durante a atividade de replicação, ao argumentar, por exemplo, sobre o papel do professor como mediador.

A iniciativa, tanto desenvolvida nesta SD, quanto citada pelos licenciandos vem ao encontro de estratégias que se tem mostrado eficientes no ensino de ciências e biologia (BURROWES, 2003; CONNELL; DONOVAN; CHAMBERS, 2016; MARBACH-AD; HUNT RIETSCHER, 2016). Pois, ao posicionar os estudantes no processo central da atividade, é possível deslocar o foco do ensino para o aprendizado, promovendo um ambiente mais acessível

ao desenvolvimento meta-cognitivo, essencial para que se formem estudantes com raciocínio independentes e críticos (ARMBRUSTER et al., 2009b, p. 203).

A última questão dessa parte da atividade buscou levantar a percepção geral dos licenciandos sobre uso de episódios da história da biologia como recurso alternativo à aprendizagem de NdC. Todos os grupos compartilharam da mesma opinião: a estratégia pode, sim, auxiliar à compreensão dos aspectos de NdC. Porém, com justificativas distintas.

2.3 – A utilização de episódios da história da biologia (como o apresentado nesta estratégia) poderia contribuir para a compreensão de como a ciência funciona? Se, sim. Como? Em que aspectos?

Quadro 52. Resposta à questão 2.3. Atividade “replicação”, parte II.

Grupo	Respostas
[G.01]	Sim. Aspectos históricos, envolver o aluno no processo de pesquisa científica, estimular o aluno despertando a curiosidade.
[G.02]	Sim, pois possibilita ao aluno a desmistificação que o “ser cientista” esteja relacionado com genialidade, gênero, seja distante da realidade do aluno e, portanto, inacessível. Trazer a ciência como algo atual é importante e questionável. Passível de erros.
[G.03]	Pode contribuir se não for tratada como uma informação isolada. Trabalhar conceitos históricos no ensino pode humanizar a ciência ao demonstrar erros, incertezas, mudanças conceituais, não neutralidade da ciência, conflitos de interesses, impasses éticos, entre outros aspectos.
[G.04]	Podem ver que a ciência surge por investigação e que ela normalmente não é um caminho rápido e objetivo, mas que a curiosidade em se descobrir algo excita o cientista a continuar a sua pesquisa.

O grupo [G.01] ressaltou que a contextualização histórica estimula, engaja e desperta curiosidade dos estudantes. Ademais, nota-se o aspecto motivacional da realização da atividade de replicação, como destacado na fala de um dos licenciandos:

“Eu acho que as partes históricas que foram contadas, mesmo sem ser a história inteira ainda, trouxe mais curiosidade, mais impressão (.) na hora que ele [instrutor] falou ‘o cara [Trembley] fez isso, fez aquilo’. Ah, eu também quero fazer, então!” (Est#9. Linha 481. Grupo [G.01] anexo 5).

O grupo [G.02] baseou-se na justificativa de que os episódios podem ajudar a desmistificar a genialidade dos cientistas, bem como mostrar que a ciência é um empreendimento passível de erros. Seguindo o mesmo raciocínio, o grupo [G.03] avançou ao salientar a importância da contextualização histórica ao apresentar as incertezas, mudanças conceituais, não neutralidade da ciência, conflitos de interesses, impasses éticos. Além desses aspectos, o grupo [G.04] destacou as muitas possibilidades de caminhos distintos de uma investigação e o papel da curiosidade.

Tal qual esses licenciandos bem argumentaram, o propósito da atividade também foi expor que, a adequação de episódios históricos permite esclarecer as inter-relações e

desconstruindo a ideia de ciência apartada. Ao contrário, ela faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando a sociedade (MARTINS, 2006a, p. 23; MATTHEWS, 2012, p. 16)

Todos esses aspectos ficaram ainda mais explícitos na atividade da segunda aula, quando os licenciandos tiveram a chance de trabalhar de forma colaborativa na atividade narrativa histórica intitulada “Abraham Trembley e a criatura que desafiou a classificação”.

8.8.3. Aula 2. Narrativa histórica: “Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação”

A segunda aula da iteração II contemplou a atividade narrativa histórica “ Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação” (anexo 10). Na segunda iteração, o formato aplicado aos licenciandos já incluía as alterações e refino a partir do protótipo anterior, discutida na seção 8.6.

O doutorando distribuiu as narrativas impressas após a divisão dos grupos e recomendou que, a cada pergunta, eles parassem a leitura e discutissem entre si o problema e, de comum acordo, respondessem à questão.

Em vários momentos durante a atividade, o doutorando buscou conduzir uma discussão aberta com os grupos, problematizando e provocando os licenciandos a refletirem sobre os aspectos de NdC discutidos em cada pergunta de interrupção.

O tempo de duração da atividade foi de aproximadamente 3 horas, distribuídos entre leitura e resposta aos “THINK”.

- ✓ Texto redigido em 16 páginas e em formato de narrativa;
- ✓ Inserção de novas ilustrações e citações extraídas de fonte primária e secundária;
- ✓ Interrupção da narrativa por 10 questões de investigação e NdC (THINKs).

Os códigos dos grupos são os mesmos da atividade da aula anterior, todavia, a organização entre os membros foi alterada, seja por atraso, seja por participação de alunos ausentes na primeira aula.

Grupos	Licenciandos
[G.01]	Est#9; [94647]; [94733]
[G.02]	Est#2; Est#5; [94659]
[G.03]	Est#1; Est#6 ; Est#7; Est#10
[G.04]	Est#4; [94623]; [94683]
[G.05]	Est#3; Est#8; [78046];

As análises das questões de investigação e NdC dos “THINK” foram trianguladas com as respostas por escrito dos grupos e as transcrições obtidas por meio das gravações capturadas durante a atividade.

Nesta seção, será apresentada cada questão, seguida do seu conjunto de rubricas que orientaram a comparação das respostas e estão organizadas por aspecto abordado. A fim de flexibilizar as análises, as rubricas foram estruturadas de forma discursiva.

Informações gerais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados no quadro a seguir.

AULA 2			
“Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação”			
Conteúdos	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdo histórico: O contexto dos estudos de Abraham Trembley sobre os modos de reprodução assexual em pólipos de água doce (gênero <i>Hydra</i>): regeneração e brotamento	(1) Apresentar um problema autêntico da história da biologia sobre o contexto da descoberta de modos de reprodução animal; (2) Fomentar habilidades de investigação científica; (3) Discutir aspectos de NdC: ciência carregada de teoria; observação e inferência; natureza dos experimentos; papel da colaboração; revisão por pares e resposta às críticas; papel da comunicação	Leitura de narrativa histórica fornecida aos alunos. Coleta de dados: Respostas por escrito às questões (THINK) inseridas na narrativa; notas de campo.	Instrutor: Doutorando Supervisão: Profa. Ana Maria Gouw Tempo de aula: ~3 h Participantes: Cinco grupos (3 a 4 estudantes)

O primeiro “THINK” da narrativa contempla aspectos de NdC referentes às dimensões “Observacional” e “Conceitual”: papel da acurácia/precisão de observações; relevância e interpretação das evidências; papel de conhecimentos prévios; (observação carregada de teoria). (ALLCHIN, 2013, p. 24), descritos no quadro 53.

[...] Trembley nota que, além da capacidade de contração e extensão desses “braços”, as criaturas possuem **dois modos particulares de locomoção**. Isso é uma característica animal! Mas eles são verdes e tem forma de planta!

THINK (1): Diante desse impasse, Trembley deve tomar uma posição. Com esses dados em mãos, o que você poderia dizer acerca da natureza desses organismos? O que justificaria a sua escolha a favor de um ou outro traço? O que “pesa” ou motiva tal

Quadro 53. Rubricas do “Think (1)”. Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante discuta que observações podem ser “enviesadas” por conhecimentos prévios; como o cientista (naturalista) lida com dados conflitantes; ressalte o papel da acurácia/precisão/rigor da observação e frente à inferência; que hipóteses iniciais podem divergir dos resultados observados; que discuta o papel das decisões tomadas frente a evidências relevantes.
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta o papel da acurácia/precisão/rigor da observação; que as observações são interpretadas por evidências mais relevantes; Que mencione o papel das hipóteses iniciais e suas possíveis divergências com os dados.
Nível 1	Espera-se que o estudante descarte o papel de observações precisas; que não saiba refletir sobre o papel de evidências relevantes; que mencione que escolhas são baseadas em senso comum.

Quadro 54. Respostas ao “Think (1)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (1)	Nível
[G.01]	São de origem animal, justificada pelo fato de se movimentarem (locomoção).	2
[G.02]	Que são organismos zoófitos, elos de ligação na cadeia os seres que reúnem características animais e vegetais. Essa classificação seria escolhida por explicar as características observadas e algumas das dúvidas que surgiram na época	2
[G.03]	Classificaríamos como animal, devido ao movimento particular do organismo. E do conhecimento existente da época que classificava os seres apenas como animal, planta e mineral.	3
[G.04]	Inicialmente diria ser um zoófito por compartilhar características de animal e de planta. Porém, considerando que é verde, poderia pensar que é clorofilado, logo, uma planta.	2
[G.05]	Diante das observações pesou mais a chance de ser um animal devido aos movimentos apresentados (observação da locomoção semelhante a uma lagarta)	2

A primeira questão da narrativa histórica teve como objetivo fazer os licenciandos refletirem sobre o papel da observação na interpretação dos dados e a “escolha” de evidências para tentar explicar um fenômeno. As respostas dos estudantes foram transcritas no quadro 56.

O ato de observar, seja um objeto, seja um evento, pode levar à descrição e/ou geração de novas perguntas. É por meio da observação que se cria uma conexão entre o que se denomina “realidade” e abstração científica. Entretanto, como já abordado, o objeto pode ser “visto” de formas distintas, a depender do prisma conceitual utilizado (ROBERTS, 2016, p. 654).

Em geral, os cientistas interpretam os dados de tal modo que consigam sustentar os seus modelos a respeito de um fenômeno natural. No entanto, uma característica elementar dos modelos é que eles não se ajustam perfeitamente com os fenômenos do mundo real (ZAGALLO; MEDDLETON; BOLGER, 2016, p. 3).

Esse foi um dos obstáculos que Trembley enfrentou durante toda a sua investigação com os pólipos. O desafio de classificar um ser, interpretando evidências que pareciam divergir dos modelos de animais/plantas que ele conhecia à época.

Assim como o naturalista Trembley, os grupos [G.01], [G.03] e [G.05], inicialmente admitiram a natureza animal do organismo, e creditaram sua classificação devido a sua capacidade de movimentação.

Entretanto, o trecho extraído da transcrição do grupo [G.03], mostra que eles não estavam plenamente de acordo (linha 18, [G.03] quadro 58), mas que, naquele momento da investigação, seria mais adequado “pensar” o critério mobilidade. Como esse foi o único grupo a ressaltar o papel dos conhecimentos prévios na observação, foram classificados como “nível 3”. Os demais grupos, qualificados como “nível 2”, pois argumentaram minimamente sobre o papel da observação, além de justificarem suas opções na escolha das evidências.

Em uma visão contrária, os grupos [G.02] e [G.04] optaram por considerar o organismo como um “zoófito”, um ser que compartilha características intermediárias dos dois reinos. De

fato, o contexto da narrativa histórica permite essa possibilidade, e a partir de observações desprezíveis, seria a classificação mais “aparente”. Conforme mencionado pelos licenciandos do grupo [G.02], a partir da narrativa, eles inferiram de que se tratava de um zoófito, e sua cor verde era resultado da forma de alimentar. (Linha 9, quadro 55)

Quadro 55. Trecho da discussão ao Think (1). Atividade “Narrativa”

Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
12	Est#10	O que justificaria a favor de um traço ou de outro é porque ele se mexe, né?
13	(94651)	<i>Pra</i> mim, ele ser verde não quer dizer nada para ele ser planta. Se ele se mexe, então, é animal.
14	Est#7	É porque ele estava fixado. [...]. Ele foi encontrado fixado numa planta. Então pode-se dizer que ele era uma planta parasita [...].
15	(94651)	Mas então, depois que ele [Trembley] viu que ele faz a retração, aí, a partir daí eu já diria que é animal.
16	Est#10	[...] quando a gente estava comentando isso aqui na aula passada [replicação] eu cheguei à conclusão que a planta carnívora também se mexe. Ela tem movimento voluntário dela de capturar a presa.
17	Est#7	Ah, mas essa locomoção (.)
18	Est#10	Então, sim. É diferente. Mas mesmo o fator movimento não pode definir se é um animal. Não partindo desse daqui. Mas assim: partindo de outro, por exemplo, só porque se move, então é um animal! E planta também tem movimento voluntário. Ele [Trembley] também observou que tinha uns "bracinhos", tentaculozinhos lá (.)
Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
7	Est#5	Mas tipo, se a gente tivesse só esses dados que ele viu, o que você diria que é esse organismo? Você sabe que ele é verde e que tem forma de planta, mas que ele tem movimentos voluntários.
8	(94659)	Eu diria que ele é um animal.
	Est#5	Por quê? A gente tem que escolher, o que pesa ou motiva tal opção.
9	(94659)	É. Por que nós temos que escolher, não é, entre uma coisa e outra? E aí, a cor verde seria devido a alimentação dele. E como a alimentação acaba influenciando, no desenvolvimento dos hormônios e tal.
10	Est#5	Mas daí, é um animal porque ele se movimenta?
	(94659)	Seria a tese de um (.)
11	Est#5	De um zoófito! Que é o que está falando aqui na página [da narrativa] e que eram as dúvidas da época.
12	(94659)	Zoófito pode ser uma classificação? Ou não? Só animal ou vegetal?
	Est#5	Sim, também pode ser uma classificação.
13	(94659)	Ah, então é um zoófito.
14	Est#5	É o que eu pensaria, assim, de cara. Que era uma dúvida da época. Não, já tinha saído o <i>Sistema Naturae</i> , do Lineu?
	(94659)	Já! Então, como <i>tá</i> aqui, de acordo com o texto, eles pensavam em zoófitos, né? E como ele [...] compartilha características de animal e planta, te daria a ideia de que é um zoófito.
15	Est#5	Zoófito ou um animal, é isso?
16	(94659)	Não, acho que pode ser um zoófito. Só zoófito! Seria o que hoje a gente (.) hoje, né, nesse caso seria o que, bactérias? Que é vegetal [?], mas também tem protozoários que estão perdidos aí (.)

A divisão de opiniões entre os licenciandos acerca da natureza das criaturas, baseada unicamente nos critérios iniciais descritos na narrativa, permitiu discutir posteriormente sobre o aspecto da carga teórica na observação e inferência (*theory-laden*). A forma como o

observador “olha” para o objeto de estudo, interfere diretamente na interpretação dos dados. Ou seja, a forma de analisar o dado, nunca é desvinculado dos conhecimentos básicos, pressupostos teóricos ou conceituais (FOUAD; MASTERS; AKERSON, 2015a, p. 1105). Por essa razão, o “peso” dado a uma ou outra evidência levou os grupos a classificarem o organismo de maneiras totalmente distintas.

No entanto, o objetivo da narrativa histórica, não foi fornecer explicitamente as respostas. Ao contrário, por ser uma atividade centrada no estudante, são eles que devem lidar com os problemas e encontrar soluções coletivas, mas, posteriormente informados do resultado ao longo do episódio (ALLCHIN, 2014a, p. 13).

Assim, apesar da discussão sobre o aspecto, os licenciandos puderam dar seguimento ao processo investigativo baseado na narrativa histórica.

O THINK (2) abordou o aspecto de NdC referente à natureza dos experimentos científicos. A investigação de Trembley com os pólipos de água doce foi conduzida por meio de variados procedimentos experimentais. Muitos considerados ousados e outros foram alvo de ceticismo por parte dos eruditos da época, devido à audácia e perícia de Trembley (LENHOFF; LENHOFF, 1986, p. 14).

Porém, no que interessa aos propósitos educacionais, a questão visa diagnosticar, na concepção dos professores em formação, qual o papel dos métodos experimentais na produção de um conhecimento científico.

Isto é, para os licenciandos: (1) os experimentos de Trembley foram mecanismos de “comprovação” de que o organismo era de natureza animal ou vegetal? Ou, (2): os experimentos conduzidos foram uma ferramenta de “retórica de persuasão” (SIGRIST, 2001), sendo as evidências obtidas, resultados de sua interpretação e baseada em pressupostos teóricos?

THINK (2): Baseado em observações, Trembley acredita que as criaturas são animais. Ainda assim ele realizou o experimento de cortar o espécime. De que maneira os resultados obtidos por meio desse experimento poderiam orientá-lo na sua “pesquisa”?

Quadro 56. Rubricas do “Think (2)”. Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante compreenda que os experimentos são métodos que investigam padrões do fenômeno investigado (comportamento animal/planta); que a <u>interpretação de resultado experimental é vinculada a pressupostos teóricos e a evidências já estabelecidas</u> ; ressalte o papel do <u>controle de variáveis</u> e a importância da <u>replicação amostral</u>
Nível 2	Espera-se que o estudante compreenda o papel do <u>controle de variáveis</u> ; que os <u>dados/evidências</u> são obtidos por meio da <u>interpretação do cientista</u> ; que <u>experimentos fornecem dados, mas não provam fenômenos</u>

Nível 1	Espera-se que o estudante discuta que <i>somente</i> com experimentos seja possível obter resultados e <u>comprovam o fenômeno observado</u> ; que os experimentos fazem parte de um método científico único e dados não possuem interpretação do cientista;
---------	--

A compreensão inadequada dos estudantes com relação ao papel dos experimentos científicos tem sido reportada em vários estudos investigando aspectos de NdC, em níveis de ensino da educação básica ao ensino superior (EL-HANI; ROCHA; TAVARES, 2004; METZ; STINNER, 2007; DUIT; TESCH, 2010; KIOURANIS; SOUSA; FILHO, 2010; URHAHNE; KREMER; MAYER, 2011; VESTERINEN; AKSELA, 2013; COUSO, 2014b).

Esse ponto, reiterado nesta pesquisa, tem sido um dos mais complexos de prover mobilizações conceituais. Tem sido constatado por meio da visão de muitos estudantes, incluindo os participantes da presente pesquisa, que os experimentos possuem “força” para comprovar ou desaprovar, ideias, hipóteses e teorias científicas (quadro 57).

Quadro 57. Respostas ao “Think (2)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (2)	Nível
[G.01]	O fato de ter cortado o espécime ao meio <u>provava que</u> , havendo regeneração, seria uma planta e não um animal.	1
[G.02]	O experimento serviria para <u>confirmar a sua teoria de</u> que se trata de um “animal” (caso o animal não sobrevivesse) ou não (caso o animal se regenerasse).	1
[G.03]	Caso o organismo viesse a morrer, a <u>conclusão chegada anteriormente</u> de que o mesmo é um animal	2
[G.04]	Dividir o animal, se regenerasse, seria planta, caso não, animal.	1
[G.05]	Como os cortes não apresentarem regeneração, chegaria mais aproximado de um animal.	2

Foi possível analisar respostas plausíveis, qualificadas como “nível 2” nos grupos [G.03] e [G.05], ao passo que não se comprometeram com afirmações do tipo “provar”; “comprovar”, além de basear as explicações em evidências já estabelecidas, como o conhecimento de organismos conhecidos por regeneração (linhas 46, 47, 50,51 [G.03]; linhas 13,14,15, [G.05], quadro 58).

Os demais licenciandos dos grupos [G.01], [G.02] e [G.04] apresentaram argumentos de “nível 1”, admitindo o papel dos experimentos como comprovadores de hipóteses ou teorias. Portanto, possuindo imagens deturpadas sobre o papel dos experimentos científicos (quadro 58).

Quadro 58. Trecho da discussão ao Think (2). Atividade “Narrativa”

Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
44	Est#7	Então, cortando o espécime da forma que ele fez, em três partes. Se a coisa sobrevive, mesmo se for fatiada em três vezes, completamente, já colocaria em xeque a questão de ser um animal.
45	Est#10	Exatamente. A gente poderia dizer que é uma planta!
46	Est#7	Uma coisa é um lagarto regenerar uma "caudinha" e tal. Agora, completamente, um organismo partindo desse jeito, em cortes (.)
47	Est#10	E se não me engano nessa data [1740], eles não pensavam que lagarto regenera a cauda.
49	Est#7	Então, primeiro ponto: cortou, sobreviveu, já coloca em cheque a afirmação anterior de que é um animal. Porque após esses três cortes nenhum animal sobreviveria. E

		planta poderia. Até porque você tem estaquia, reprodução assexuada, corte, naquela época já se realizava.
50	Est#10	A planta cresce a partir das partes cortadas, né?
51	Est#7	Isso. Estquia.
52	Est#10	Estquia é o nome?
53	Est#7	Isso! Então, [...] após o corte, como o elemento sobreviveu, completamente (.)
54	Est#10	[...]. É, sobreviveu! Uma vez que o organismo sobreviveu aos cortes (.)
55	Est#7	[...]. Já coloca em dúvida a afirmação anterior de que era um animal.
58	Est#10	[...] Reavaliar a sua resposta anterior sobre ser um animal.
Grupo [G.05]		
Linhas	Estudantes	Falas
11	Est#2	Tá...daí ele achou a hipótese de regeneração, igual a(.)
12	Est#1	Como as plantas, né. Mas, se acontecesse isso [a regeneração] ele poderia chegar à conclusão de que (.)
13	Est#2	Mas não sei se eles já sabiam da (.) estrela do mar? Sim! Mas já tinha sido descoberto? Que é um animal também!
14	Est#1	Sim. Já tinha sido estudado. Então, ele tenta cortar o bicho pra ver se ele se regenerava, igual a uma planta.
15	Est#2	Mas ele falou planta, aqui? Ah, tá. É capaz de crescer novamente! Tá!
16	Est#1	Então, ele [...] cortou esperando que a criatura morresse, mas não que a criatura se regenerasse. Porque se fosse um animal, então, ela não ia se regenerar. A criatura ia morrer.

Cabe recordar que, quando solicitado a proposição de métodos e procedimentos experimentais (questão 1.3, atividade “replicação”) a maioria dos licenciandos apresentou respostas apropriadas. Contudo, as explicações fornecidas pelos licenciandos ao THINK (2), vão de encontro ao que discutiram anteriormente.

Tal incoerência, isto é, a dificuldade de argumentar de forma equivalente em uma situação contextualizada, nos faz conjecturar algumas possibilidades: (1) as concepções bem informadas, observadas na atividade de “replicação”, estariam relacionadas, mais aos conteúdos procedimentais (habilidades práticas) e um pouco menos aos conteúdos conceituais (papel dos experimentos); (2) os momentos e/ou a condução da discussão explícita, referente ao aspecto de NdC e questões/atividades para reflexão necessitem de maior ênfase.

De todo modo, não se pode deixar de fazer *mea culpa* e considerar que o problema, talvez, possa estar relacionado à necessidade, tanto de maiores oportunidades para discussões explícitas, quanto de maior atenção aos aspectos conceituais da natureza dos experimentos científicos. Porque, se assim o for, há meios viáveis para solucionar a situação, definindo mais um princípio de design a ser refinado para uma próxima iteração da SD.

Os THINKs (3) e (5) são questões que abordam as principais “descobertas” provenientes da pesquisa de Trembley: a identificação de duas formas de perpetuação animal, até então, desconhecidas: a regeneração completa de um animal e a reprodução por brotamento.

O THINK (7) se refere às evidências obtidas por observação sobre a capacidade do organismo de capturar alimento.

As questões foram agrupadas em um mesmo nível, devido a critérios de organização de análise, pois abrangem os mesmos aspectos de NdC.

THINK (3): Anteriormente, movimentos voluntários e locomoção pareciam ser os critérios mais importantes para que Trembley considerasse o ser como um animal. E agora? O que fazer frente a esse novo resultado [regeneração completa do organismo]? Como essa nova evidência poderia ser interpretada à luz do dilema em questão? O que esse novo dado “diz” sobre natureza animal/planta do ser?

THINK (5): Novamente estamos diante de um resultado “não esperado” [reprodução por brotamento]. Como interpretá-lo e como essa observação poderia ajudá-lo a classificar o ser? Seria hora de mudar sua posição (ou seja, conceito animal-planta)? Explique.

THINK (7): Como esse resultado [captura de presa] se enquadra no dilema da classificação? Você acha que a ação de capturar outro organismo seria suficiente para posicionar o pólipó no Reino Animal? Explique! Seria outro tipo de “fim de linha” ou você precisa obter mais conhecimentos? O que mais?

Quadro 59. Rubricas do “Think (2); Think (3) e Think (4)”. Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante mencione sobre as respostas aos resultados inesperados: (modificar/abandonar/criar novas teorias e/ou modelos); papel da <u>replicação experimental</u> ; entender o processo de <u>ciência sujeito a mudanças</u> ; <u>dados/evidências</u> são frutos da <u>interpretação de experimentos</u> ; construção de um novo conhecimento – a classificação de um ser recém-identificado – não se trata da representação do mundo real, mas a <u>criação de modelos e/ou conceitos</u> .
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta a relação entre dados inesperados e hipóteses formuladas; que a interpretação dos dados é baseada em conhecimentos prévios; que novas perguntas de investigação podem surgir de dados não esperados; ressaltar o papel da repetição amostral e controle de variáveis.
Nível 1	Espera-se que o estudante desconsidere o papel da interpretação do cientista com dados inesperados; que indique o papel da “descoberta” desconectada de teoria; que não reconheça a possibilidade de dados inesperados na e ou indique são erros durante a investigação científica.

Quadro 60. Respostas ao “Think (3). Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (3)	Nível
[G.01]	Ele ficou com um dilema ao se deparar com duas hipóteses adversas, não seria planta pois se locomove e não seria animal, pois se regenera	1
[G.02]	Que o ser não possui apenas características animais, mas vegetais também, tratando-se de um elo que reúne duas características. Com este novo dado seriam necessárias pesquisas e observações mais profundas.	2
[G.03]	Classificamos como um organismo intermediário dentro da cadeia dos seres e que possivelmente a explicação para ele seria a geração espontânea.	1
[G.04]	Ou considera que é uma planta (regenera) ou, admite como animal e assume essa nova característica como uma <u>sinapomorfia</u> do grupo que exigiria um estudo aprofundado. Capacidade de regeneração	3
[G.05].	Esse <u>resultado refutou a certeza de ser animal</u> , deixando-o novamente confuso. Trembley viu a necessidade de <u>realizar outros testes</u> que investigasse melhor as hipóteses.	2

O contexto dessa parte do episódio histórico possibilitou focar explicitamente os aspectos de NdC relativos ao papel da “interpretação das evidências pelo observador”, e principalmente, a forma como cientistas (naturalistas) lidam com “resultados inesperados”. Mas, inesperados em relação a que?

Os pressupostos teóricos da época não admitiam a formação de um novo organismo animal sem a reunião de ambos os sexos. Foi devido a esse “Norte” que Trembley encarou o

dilema animal/planta. Assim, também guiados pelo contexto da narrativa e envolvidos no momento histórico, os licenciandos expuseram suas considerações acerca do dilema de Trembley.

A respeito da questão 3, o grupo [G.01] preferiu não se comprometer, por hora, em determinar uma posição sobre a natureza da criatura, mencionando apenas a possibilidade das duas hipóteses. A ausência de argumentos e devido à forma sucinta de resposta, sem mencionar quaisquer características ligadas à rubrica, o grupo foi avaliado como concepção de “nível 1”.

Os licenciandos do grupo [G.02] também chegaram a se confundir, como citado por um deles: *“Acho que é difícil escolher entre animal, ou uma planta que consegue se locomover, uma planta, sei lá, diferente, ou confirmaria que era um zoófito mesmo, que existe mesmo esse elo”* (Est#2, linha 52, anexo 6). Mas, ao final, debateram a necessidade de mais observações. Portanto, foram enquadrados como “nível 2”, pois mencionaram, ainda que minimamente sobre a importância de novas observações.

O grupo [G.03], a partir das evidências do episódio, optou por classificar o organismo como um ser intermediário, não debatendo os aspectos empíricos e/ou observacionais. Logo, foram classificados como “nível 1”.

O grupo [G.04] foi mais coerente, os licenciandos preferiram especular a possibilidade de assumir uma ou outra posição. Porém, alegaram necessidade de maiores observações e testes, pois não se poderia tomar uma decisão final a partir dos dados existentes. Além disso, dos licenciandos argumentou de forma bem lúcida e explícita a possibilidade de modificar ou criar novos conceitos: *“Ou você considera que é uma planta, porque se regenera. Ou se você quiser continuar mantendo a ideia de que é um animal, você vai ter que considerar que esse animal tem uma característica nova, que nenhum outro tinha até agora”* (Est#4, linha 84, anexo 6. Grifo nosso). Tais quesitos possibilitaram classificar as respostas e concepções como “nível 3”

Por fim, o grupo [G.05], enquadrados como “nível 2”, além de não optar por qualquer classificação, alegou a necessidade de mais estudos, isto é, mais observações e experimentos a fim de coletar mais evidências, como pode ser notado na fala de um deles: *“O que esse novo dado diz sobre a natureza animal ou planta do ser? Diz, entre aspas. Incerteza! Não daria para se apresentar, ora como planta, ora como animal. [...]. Natureza incerta. [...]. Achei interessante, aqui. É necessário ajustar as observações, mais experimentos [...]”* (Est#8, linha 84, anexo 6).

Curioso observar o engajamento desses licenciandos quando inseridos em uma atividade de investigação contextualizada. Eles estavam motivados a encarar o dilema e encontrar soluções para o problema de Trembley. Em partes, é possível creditar isso ao estilo do recurso,

pois o uso do formato de narrativa histórica, tem se justificado devido ao efeito motivador e de engajamento dos estudantes (TOLVANEN et al., 2014, p. 5).

Em partes, devido à metodologia abordada. Ao passo que, o contexto histórico torna-se um elemento subsidiário, buscando envolver o estudante no processo investigativo, e fomentando ocasiões para uma aprendizagem efetiva. Porém, a investigação é o foco principal, não um complemento da história (ALLCHIN, 2014a, p. 8). Ademais dos fatores motivacionais, temos constatado, também, que a narrativa histórica tem sido eficiente por mobilizar a compreensão dos aspectos de NdC pelos licenciandos.

No THINK (5), os licenciandos argumentaram sobre mais resultados inesperados referente à capacidade dos pólipos se perpetuarem por brotamento. Nesse momento, os licenciandos se confrontaram com mais um “fim de linha” da investigação de Trembley.

Quadro 61. Resposta ao “Think (5). Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (5)	Nível
[G.01]	Essas novas evidências aproximam mais o espécime de ser animal, pois se reproduz e possui locomoção. Não seria hora ainda, pois é apenas mais uma evidência	2
[G.02]	Este novo dado caracteriza a forma de reprodução da espécie. Prosseguiria as análises, visando uma <u>reformulação dos conceitos já conhecidos</u> de plantas/animais ou pelo menos a reformulação de uma exceção à regra.	2
[G.03]	Mudaria sua classificação para planta, já que brotamento é uma característica de plantas. E se considerarmos seu movimento como uma atividade de defesa ou alimentação como nas plantas carnívoras, essa nova classificação se encaixa.	2
[G.04]	Uma nova característica a ser observada/estudada (da reprodução assexuada por brotamento). Sim, seria hora de mudar sua posição, já que diante da nova característica, embora já tenha aparecido em plantas, seria <u>necessário um estudo aprofundado para descobrir se é exclusivo</u> ou se aparece em outro grupo.	2
[G.05].	Trembley, diante de seus conhecimentos poderia começar a acreditar que estivesse diante de um ser animal-planta, pois, por mais que tentasse, hora, a certeza era de animal, hora, de planta.	1

O grupo [G.01] foi classificado como concepções de “nível 2”, ao alegar, por exemplo, que a forma de reprodução característica de plantas, trata-se apenas de mais uma evidência, deixa explícito a importância do aspecto de NdC “completude das evidências” para a reelaboração de um conceito científico.

O grupo [G.02] forneceu uma explicação mais rebuscada, ao comentar a possibilidade de alteração ou reformulação de conceitos estabelecidos (reprodução sexual), uma característica peculiar ao desenvolvimento da ciência. Desse modo, também foram considerados com concepções e nível intermediário (nível 2).

Os licenciandos do grupo [G.03], diante da nova evidência, decidiram por classificar o organismo como planta e propuseram uma explicação viável para o critério movimento – atividade de defesa. Além disso, pode-se perceber que houve uma preocupação em se basear nos pressupostos teóricos como suporte aos argumentos, bem como se atentarem da importância

do isolamento na observação (quadro 62). Por essa razão, foram considerados com concepções de “nível 2”.

Quadro 62. Trecho da discussão ao “Think (5). Atividade “Narrativa”

Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
225	Est#1	Não é questão de explicar, mas de interpretar o dado. Ou, é que na verdade ele só pensava na reprodução sexuada.
226	Est#10	Eles não sabiam que poderia haver uma reprodução sem ser sexuada.
227	Est#1	Mas, tipo, eles pensavam em termos de acasalamento também. Porque se é um bicho aquático, eu poderia pensar que isso [o acasalamento] foi na água, entendeu?
228	(94651)	É! Mas ele isolou o animal. Se ele não tivesse isolado seria outra coisa, né, mas ele isolou.
229	Est#1	Ah, mas que difícil! Nada do que eu penso dá certo! hhh

De modo similar, o grupo [G.04] (nível 2) considerou “pesar” a evidência de brotamento e considerou mudar de posição. Contudo, admitiram que mais estudos eram necessários para encontrar regularidades.

O grupo [G.05], não aprofundou as explicações e as respostas foram bastante sucintas. Os licenciando apenas aventaram a possibilidade de classificar como um ser intermediário, dada as contínuas evidências contraditórias, sendo classificados como concepções de “nível 1”.

O THINK (7) apresentou outro resultado inesperado obtido durante as investigações de Trembley. Se em questões de perpetuação, o organismo possuía características de plantas, esse comportamento de captura de presa, tinha todo indício de animal. Mais uma chance para os licenciandos discutirem os aspectos de NdC: “relevância e completude de evidência” - Dimensão Observacional (ALLCHIN, 2013, p.23).

Quadro 63. Resposta ao “Think (7)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (7)	Nível
[G.01]	Novas características contraditórias. Não, pois plantas também o fazem (captura de outros animais). <u>Novo impasse demandaria novos estudos.</u>	2
[G.02]	É uma característica que <u>corroborar a teoria de que se trata de um animal.</u> Não seria suficiente, entretanto, este dado tende a esta conclusão. <u>Precisa-se de mais informações para melhorar o embasamento dos argumentos.</u>	2
[G.03]	Daria ao organismo outras formas de alimentação para ver se ele continua com o processo de captura ou se altera. <u>Depois de ter um maior conhecimento,</u> revisar a classificação escolhida	3
[G.04]	Como animal. Não suficiente, apenas se enquadraria a sinapomorfia de heterótrofos, coisa que as plantas não são. <u>Precisaria de mais conhecimentos.</u> Sistema respiratório? Sistema digestório?	2
[G.05].	Não. Pois há existência de plantas carnívoras. Trembley testou movimento e estava buscando comparações da reprodução. Diante da incerteza e curiosidade deveria <u>investigar mais a reprodução.</u>	2

Nesse momento da narrativa, todos os grupos admitiram a necessidade de mais estudos e mais coleta de dados.

Os grupos [G.01] e [G.05], classificados como “nível 2”, forneceram os mesmos argumentos, ao comparar o comportamento do organismo com plantas que fazem captura de alimento. Assim, essa evidência não acrescenta muita informação, sendo necessário investigar mais a fundo.

O grupo [G.02] alegou que o ato de captura corrobora a ideia de comportamento animal. Do mesmo modo, os licenciandos do grupo [G.04] alegaram que o dado evidencia comportamento animal, mas além disso, outros critérios deveriam ser investigados, respiração, digestão. O grupo [G.03] foi o único que, além de justificar sua posição, propuseram um procedimento experimental para verificar o resultado inesperado, sendo classificado como “nível 3” (quadro 64).

Quadro 64. Trecho da discussão ao “Think (7)”. Atividade “Narrativa”

Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
278	(94651)	Aqui ele está falando da alimentação. Aí eu voltaria ele para a classificação animal, porque ele já está fazendo uma atividade que os animais fazem: a captura de alimento.
279	Est#7	E quanto a obter novo conhecimento, é verificar. Uma coisa é capturar, outra coisa é, como absorve? Como se dá o processamento daquilo que está sendo digerido?
280	(94651)	Isso, então é animal, né?
281	Est#1	Eu acho que temos que estudar mais e observar em outras condições. Mudar as condições para ver.
282	Est#7	Então. Não só captura, mas absorção.
283	Est#1	Será que ele captura outros [organismos] além daquele que tá capturando?
284	(94651)	Você falou para colocar ele em outras formas, com outros alimentos (.)
285	Est#1	É, eu mudaria o bicho de condições (.)

Um dos fatores que impeliram Trembley do anonimato para os salões de academias e dos eruditos, além dos seus esforços devotados à pesquisa, foi a sua síntese imaginativa na elaboração de experimentos e criação de métodos de manutenção e envio de remessas de organismos vivos. A preparação desses “sistemas vivos” – uma inovação metodológica à época - de fato, demandou muita criatividade e séries de tentativa e erro. Porém, Trembley logrou êxito ao enviar tais sistemas para todos os grandes centros acadêmicos da Europa (RATCLIFF, 2004b, p. 524).

Ao contrário do que se pode pensar, o desenvolvimento do conhecimento científico transcende à racionalidade, objetividade e lógica, mas sim, demanda de muita criatividade e imaginação dos cientistas, que se aplicam desde ao levantamento de perguntas de investigação, elaboração de procedimentos metodológicos à interpretação de dados (URHAHNE; KREMER; MAYER, 2011, p. 713).

O THINK (4), assim, teve como propósito ressaltar o aspecto de NdC, Dimensão Conceitual - papel da síntese criativa e imaginativa - como forma de contornar situações que,

frequentemente, envolvem a prática científica. Nesse ponto, a pergunta forneceu uma oportunidade, por meio do contexto de um problema histórico autêntico, para que os licenciandos pudessem explicar, tanto as razões das falhas metodológicas, quando aplicar sua criatividade na solução do empecilho enfrentado pelo naturalista Trembley, no século XVIII

THINK (4): Relembrando que você está manipulando pequenos organismos aquáticos, por que você acha que eles não conseguiram sobreviver à viagem? Que procedimentos e cuidados você acha que seriam necessários para evitar a morte desses organismos durante a viagem?

Quadro 65. Rubricas do “Think (4). Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Aqui, o estudante deve (propor, argumentar métodos e procedimentos e) ressaltar o papel da síntese criativa/imaginativa na elaboração de protocolos e métodos experimentais; discutir que procedimento científicos são passíveis da <u>tentativa e do erro</u> ; o papel <u>das habilidades experimentais</u> na produção do conhecimento científico; refletir sobre o <u>papel do compartilhamento de resultados e materiais</u> como <u>métodos de persuasão de novas “descobertas”</u> ; que destaque o papel da <u>colaboração entre cientistas</u>
Nível 2	O estudante deve ser capaz de justificar ou explicar, minimamente a morte dos organismos; e propor soluções criativas viáveis para o problema de remessa.
Nível 1	Que o estudante não consiga propor métodos/procedimentos adequados ou viáveis; que não saiba argumentar sobre a morte dos organismos; que descarte qualquer cuidado no procedimento e controle do envio.

Quadro 66. Resposta ao “Think (4)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (4)	Nível
[G.01]	O longo tempo da viagem esgotou o oxigênio disponível na garrafa e assim, independente do espécime ser planta ou animal, ele não sobreviveria. Deveria levar os espécimes com cuidados para manter a oxigenação e substâncias que mantém ele vivo.	2
[G.02]	Pela ausência de oxigênio e de ventilação que permitisse trocas gasosas, ou por saturação de oxigênio (caso sejam vegetais). O uso de um recipiente parcialmente ventilado e uma pessoa que acompanhasse e tomasse conta do recipiente durante a viagem.	3
[G.03]	Não houve a troca gasosa no meio. Usar um material que permitisse realizar essa troca.	2
[G.04]	Consumiram todo o oxigênio presente na água, ou por ser um sistema fechado, ocorrer o ciclo da água e formação/liberação de gás carbônico, pico de stress devido a movimentação. Troca de água, redução da velocidade ou colocar “pesos” para segurar.	2
[G.05].	Porque colocou ele em garrafa de vidro, mas sem água. Adicionar água, porém deixar espaço para o ar.	1

Com relação à morte dos organismos, três grupos: [G.01], [G.03] e [G.04], explicaram adequadamente (“nível 2”), justificando a respeito da falta de oxigênio (na época, falta de ar) no interior do recipiente.

O grupo [G.02], todavia, foi mais detalhista e forneceu mais critérios a respeito do problema. Além de propor uma solução viável, tanto em termos experimentais quanto históricos. Logo, puderam ser enquadrados com concepção de “nível 3”.

O grupo [G.04], além de fornecer argumentos coerentes, mencionando o fator das trocas gasosas ou estresse devido à agitação. Mas, assim como Trembley, sugeriu métodos de controle do ambiente, como a troca de água, devido ao tempo da viagem (quadro 67).

Surpreende perceber que os licenciandos do grupo [G.05], mesmo tendo realizado a atividade de “replicação” e manipulado os espécimes aquáticos, explicaram que o fator responsável pela falha procedimental foi a ausência de água nos frascos, sendo classificados com “nível 1” (quadro 66).

Quadro 67. Trecho da discussão ao “Think (4)”. Atividade “Narrativa”

Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
102	Est#3	Então, por que eles morreram? Eles morreram pela falta de oxigênio. É, porque eles consumiram todo o oxigênio da água, a água não se renovou, não tinha mais entrada de oxigênio, faleceram! Você também pode considerar o ciclo da água, né. Se o ambiente está fechado, pode ter um ciclo e formação de dióxido de carbono
103	Est#4	Faz sentido também. É verdade! E aí também ele vai morrer
104	Est#3	Não necessariamente a falta de oxigênio na água, mas a agitação da água pode ter causado tipo, um estresse no bicho e morreu.
105	Est#4	Altos picos de estresse. Fato! Pode ser por isso também. Mas, tipo, tem os procedimentos, né. Ia ter que, não ficar mexendo nessa água, ia ter que trocar, né? Até chegar lá tinha que ter uma escala, para não ir direto. Fazer a manutenção, digamos, dessa água, <i>pra</i> você manter os organismos vivos.

O físico e filósofo norte-americano, Richard Feynman (1918-1988), mencionou em certa ocasião que “com relação à ciência, devemos aprender a duvidar dos especialistas [Pois], a ciência é a crença na ignorância dos especialistas (BRYCE; DAY, 2014).

Saber reconhecer, identificar e principalmente questionar evidências e alegações científicas é de suma importância para uma compreensão bem informada sobre o desenvolvimento do conhecimento científico. É muito comum, porém, encontrarmos discursos de estudantes e até mesmo de professores, baseados em argumentos de autoridade científica (KOLSTO; RATCLIFFE, 2007, p. 133).

Há décadas, anúncios enfatizando a existência de produtos “cientificamente comprovado” ou que “ciência provou a existência de algum fenômeno” tem servido para desinformar a sociedade sobre os limites da ciência e tem promovido desserviço ao aprendizado referente ao fazer científico (CHALMERS, 1993, p. 12) .

Isto posto, com base no contexto do episódio histórico, foram elaboradas as perguntas THINK (6) e THINK (9), a fim subsidiar a compreensão das limitações do fazer científico. Os aspectos de NdC se referem à Dimensão Conceitual: “Mudança conceitual”; “Erro e incerteza”; “Viés de crenças prévias” e à Dimensão Sociocultural: “Formas de persuasão”; “Revisão por pares e resposta às críticas”. (ALLCHIN, 2013, p.24)

O THINK (9), questão inserida adiante na narrativa histórica, foi elaborada com o intuito de reiterar (ou não) as assertivas propostas pelos licenciandos no THINK (6). Porém, ampliando a “audiência” no contexto histórico. Além disso, a pergunta carrega consigo uma (implícita)

provação para os licenciandos reavaliarem suas ideias sobre o papel dos experimentos. Portanto, ademais das condições admitidas nas rubricas do THINK (6), os licenciandos poderiam rediscutir sobre a natureza dos experimentos científicos.

THINK (6): Quais as possíveis explicações para o ceticismo de Réaumur com relação ao brotamento nos pólipos [nova forma de reprodução]? O que o teria motivado a não aceitar que um animal pode ser gerado por meio de brotamento? O que você faria para convencê-lo acerca das suas observações e a confiabilidade dos seus dados?

THINK (9): Por que, mesmo após diversas apresentações públicas [dos experimentos] e testemunhadas por muitos, ainda havia resistência na aceitação da capacidade de regeneração dos pólipos? Quais seriam as razões para tamanho ceticismo? O que poderia ser feito para responder aos incrédulos?

Quadro 68. Rubricas do “Think (6)”. Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante compreenda que a base conceitual se fundamenta em pressupostos teóricos; que novos conceitos, em geral, encontram resistência frente à evidências estabelecidas; observações e inferências são passíveis de erros. Como recursos de convencimento, pode-se ressaltar as <u>formas de persuasão</u> (uso da retórica e semântica); discutir o <u>papel dos estudos sistemáticos</u> ; que <u>consenso se alcança por revisão por pares e resposta às críticas</u> . Compreenda influência das <u>personalidades humanas</u> (crenças culturais ideologia, religião); de <u>conhecimentos prévios e divergências a partir da perspectiva teórica</u> .
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta que o ceticismo está vinculado ao papel das influências de <u>crenças culturais</u> (ideologia, religião); e dos <u>conhecimentos prévios</u> ; que resalte as dificuldades frente aos <u>conceitos e evidências já estabelecidas</u> ; que destaque o papel <u>de erros e incertezas</u> frente a novos dados. Para convencer o naturalista, espera-se que o estudante discuta o valor das interpretações de observação e replicação experimental.
Nível 1	Espera-se que o estudante credite o ceticismo às verdades absolutas e conceitos imutáveis de ciência; que os cientistas são objetivo e neutros, devendo acreditar uns aos outros; que os dados e resultados falam “por si só” e o cientista pode estar equivocado.

Quadro 69. Resposta ao “Think (6)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (6)	Nível
[G.01]	Réaumur se baseia na lagosta que esconde ovos na carapaça, isto motivou de achar que era pré-existente o ovo por brotamento. Orientaria para observar em outras amostras e garantir a inexistência de ovos.	2
[G.02]	Por questões religiosas e porque o dado contraria os conhecimentos da época. Escreveria uma carta a ele pedindo que também observasse seus espécimes para ver se apresentavam este mesmo comportamento.	3
[G.03]	Como ele considera o organismo como um animal, seria impossível acreditar que o mesmo se reproduziu sem haver um cruzamento. O convidaria para realizar o experimento e observar o passo a passo da descoberta.	3
[G.04]	Foge do senso comum, brotamento era visto até então, em plantas. Animal reproduzia-se por troca gamética. A partir da observação conjunta do organismo.	2
[G.05].	Aparentemente Réaumur detinha maiores conhecimentos de animais de características diferentes que o Trembley e não confiou totalmente nas observações dele. Ele não aceitou este novo tipo de reprodução. Observaria novamente em busca do ovo e não encontrando, concordaria, no momento.	2

Ambas as questões destacaram a resistência e ceticismo, tanto do especialista (Réaumur) quanto da comunidade de eruditos da época, em aceitar a “descoberta” de modos de perpetuação animal (regeneração e brotamento). Pois, as evidências obtidas por Trembley contrapunham os pressupostos teóricos de geração animal da época (reprodução sexuada).

No tocante a esses aspectos, os licenciandos ofereceram respostas bastante coerentes, estando aptos a argumentar adequadamente o porquê da existência do ceticismo na ciência (quadro 69).

O grupo [G.01], qualificado como “nível 2”, se baseou nos pressupostos teóricos para explicar o ceticismo e propôs adequadamente a necessidade de replicar a observação como forma de persuasão e resposta às críticas.

Os grupos [G.02] e [G.03] por ter sido mais sofisticados em suas explicações, ao alegar a influência, tanto dos aspectos socioculturais (religião), quanto dos elementos teóricos reconhecidos na época (linhas 124 e 126, quadro 70), foram classificados como “nível 3”.

O grupo [G.04] também alega o papel das teorias vigentes frente aos dados recém apresentados e, por fim, o grupo [G.05] especula sobre os possíveis erros e/ou incertezas provenientes das pesquisas de Trembley, baseando-se nos conhecimentos prévios de Réaumur, como especialista no assunto, ambos esses grupos, os licenciandos apresentaram concepções de “nível 2”.

Quadro 70. Trecho da discussão ao “Think (6)”. Atividade “Narrativa”

Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
123	Est#2	Porque eles [naturalistas] só estão acostumados com um tipo de situação: que envolve troca de material gamético. Reprodução entre homem e mulher, no caso, entre macho e fêmea. [...]. Então eles não estão acostumados com a reprodução assexual?
124	Est#5	Também a questão religiosa. Se tem brotamento, para que existe deus? Deus não havia criado, não sei o que, o macho e a fêmea, e então eles reproduziam? É, então. Se existia brotamento (.) Então, por questões religiosas, da época (.)
125	(94659)	E pelo conhecimento que se tinha até o momento, né?
126	Est#5	Porque [...] esse dado contraria o conhecimento que eles tinham na época.
127	(94659)	Porque, esse dado contraria, tanto o conhecimento científico, quanto a sociedade, que era religiosa, na época.
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
260	Est#10	Quais são as possíveis explicações para o ceticismo de Réaumur?
261	(94651)	Ah, essa é fácil! Porque se ele está considerando como um animal e tá surgindo brotamento, que dizer que houve uma reprodução que não foi de cruzamento e na época isso era inaceitável!
262	Est#7	Precisa de gameta, óvulo. Como que um organismo se reproduz sozinho?
263	Est#10	O que o teria motivado a não aceitar que um animal pode ser gerado por meio de brotamento? Porque os animais que ele estudou durante tantos anos só se reproduzem por reprodução sexuada!
264	Est#7	E tem o macho e a fêmea.
265	Est#10	O que você faria para convencê-lo acerca das suas observações e a confiabilidade dos seus dados? Aí é que está a parte que falei que acharia ruim. Eu tenho que convencer que o que ele tá achando que estou vendo errado, está certo!
266	Est#7	Ele [Trembley] fez na frente dele [Réaumur] o experimento?
267	Est#10	Eu ia falar isso. Eu chamaria ele pra fazer o experimento comigo.
268	Est#7	Eu também! Fazer o experimento juntos, passo a passo.
269	Est#10	Mas é o que ele [instrutor] falou, né. O cara [Réaumur] tem 40 anos de pesquisa, só ganhando experiência com esses animais, ele me questiona se eu estou vendo

		corretamente. Será que eu estou vendo isso certo mesmo? É uma coisa que, até então, nem eu acredito!
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
127	Est#4	[...] O que teria motivado a não aceitar que um animal pode ser gerado por meio de um brotamento? Justamente por causa disso. Brotamento era conhecido como característica de planta. Animal se reproduzia por troca gamética. Então, tinha que ter um ovo ali! [no organismo] Porque só um brotamento, não dava pra ser.
128	Est#3	O que você faria para convencer acerca das suas observações e confiabilidade dos seus dados?
129	Est#4	Ah, eu acho que provavelmente eu chamaria ele [Réaumur] para vir ver comigo. A gente debater ali pessoalmente e falaria: “ <i>tá</i> vendo <i>mano</i> , não tem ovo”. Por que, como que você vai fazer?
130	Est#3	// a partir da observação (.)
131	Est#4	[Observação] conjunta desse pólipo, tanto do Réaumur quanto do Trembley.

Quadro 71. Resposta ao “Think (9)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (9)	Nível
[G.01]	Quanto mais pessoas envolvidas, mais conceitos são questionados. O ceticismo vem do medo da mudança. Para reportar aos incrédulos, mais provas deveriam ser levantadas.	2
[G.02]	Porque contraria os conhecimentos da época, não havia embasamento teórico ou compreensão científica, e também por ir contra os pensamentos religiosos dominantes na época, além de ferir a reputação e orgulho de outros pesquisadores. Demonstrar mais vezes, elaborar uma descrição formal mais completa.	3
[G.03]	Havia resistência, pois era o contexto da época, só era permitido a existência de macho e fêmea para reprodução. Permitir que os incrédulos façam os experimentos.	3
[G.04]	Sair da zona de conforto causou estranheza. Pela capacidade de regeneração completa de um animal ser “nova”/recente. Fazer uma experimentação pública e introdução teórica do tema.	2
[G.05].	Por ser uma novidade ainda não observada pelos outros membros da academia e talvez os membros da academia tivessem a mesma dificuldade em “aprovar” se era planta ou animal.	2

A análise das respostas por escrito (quadro 71), denota que as explicações de todos os grupos privilegiaram, de forma mais ou menos expressiva (nível 2), o papel do arcabouço teórico da época, ao mencionarem, por exemplo, que o ceticismo derivava do “medo da mudança” [G.01]; ou que contrariava conhecimentos/contexto da época [G.02] e [G.04]; caráter de “novidade” [G.05].

Se por um lado, eles foram capazes de articular adequadamente os fatores que induzem às críticas e ao ceticismo científico; por outro, eles se apoiaram na proposição de procedimentos experimentais para “demonstrar” o fenômeno aos incrédulos. De fato, Trembley também tomou esse percurso, permitindo que naturalistas renomados e experientes conduzissem publicamente, a replicação de seus experimentos, a fim de mostrar o “inacreditável” fenômeno de regeneração.

Além disso, os licenciandos do grupo [G.02] foram os únicos a mencionar das relações sociais entre os naturalistas (Linha 184, quadro 72). Esse dado é curioso, porque, remete à ideia de que o conhecimento científico está relacionado à autoridade do pesquisador, e avançaram também no sentido de justificar que a não aceitação do fenômeno de regeneração, poderia ter

sido fruto de egocentrismo ou orgulho, destacando, assim, o aspecto das personalidades humanas, Dimensão Conceitual (ALLCHIN, 2013, p.23).

Como os grupos [G.02] e [G.03] souberam articular melhor as respostas do que os demais, eles foram classificados como “nível 3”.

Quadro 72. Trecho da discussão ao “Think (9)”. Atividade “Narrativa”

Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas
179	Est#5	[...] porque contraria os conhecimentos da época, não havia <u>comprovação científica</u> e também ia contra os pensamentos religiosos dominantes, né? E acho porque também não tinha muito, explicação, né?
180	(94659)	Então, mas dizer que sempre só existiu reprodução sexuada, é aceitar que a vida inteira eles [naturalistas] estudaram errado. Como que eu vou aceitar que eu errei? Tem que ser muito "cabra-macho" para aceitar (.)
181	Est#5	Também, as teses anteriores tinham comprovação, né? Escreveram tratados sobre aquilo. Estudou-se muito.
182	(94659)	Tinha. Mas não significa que aquele acréscimo ia desmerecer todo o resto.
183	Est#5	Então vou colocar isso aqui [na resposta] também.
184	(94659)	Provavelmente ele [Trembley] não pertencia a academia de ciências. Todos os outros que estavam negando, pertenciam a academia, possuíam posições sociais!
185	Est#5	Além de questões, eu não sei, egocêntricas entre os pesquisadores. Acho que talvez, orgulho, né? Além de ferir o orgulho de outros naturalistas. A reputação e orgulho.
186	(94659)	[...] Eu acho que [...] elaborar um documento, tipo um livro, ou um artigo científico, descrevendo todo o comportamento e fazendo possíveis explicações sobre o que estava sendo observado.
187	Est#2	Eu acho que deveria ser mostrado para os outros que estavam céticos.
188	Est#5	Mas foi demonstrado e mesmo assim os "caras" [naturalistas] falaram: “isso aí é mentira!” Acho que realmente falta isso: um documento formal assim, né?
189	Est#2	Mas, não, eu acho que ainda assim eles iam continuar céticos. Eu acho que ele tinha que, replicar, mostrar, aí, sim (.)
Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
312	Est#1	É coisa da época e por causa da religião que era muito forte. Então, se está escrito na bíblia que é macho e fêmea (.)
320	Est#10	O que poderia ser feito para responder a esses incrédulos?
321	Est#7	Aí é um trabalho difícil, não? Porque isso é aos poucos. Não é na primeira argumentação sua que você vai convencer. Não é “no grito”.
322	Est#1	[...] Ele fez o correto. Ele [...] convenceu pessoas da área primeiro, para que essas pessoas perpetuassem a ideia antes.
326	Est#10	Foi, então, um processo gradual.
329	Est#1	Então, para convencer aquelas pessoas que não acreditavam, eu diria para eles reproduzirem o experimento. [...]
331	Est#1	O que eles podem estar alegando é que como não era eles que estão fazendo [o experimento], eles não estavam acreditando. Mas, pedindo para refazer o experimento, ia mostrar [...] você fez e você está vendo que está acontecendo exatamente o que foi dito.

O estudo dos processos digestivos dos pólipos, levou Trembley a identificar mais um resultado inesperado. Os organismos pareciam capturar presas e inserir em um compartimento que ele denominou estômago. Porém, ele não conseguia compreender como absorviam o alimento, pois não havia qualquer aparato digestivo, como encontrado em animais conhecidos da época. Esse impasse fez com que Trembley ajustasse as suas observações com as teorias

vigentes sobre absorção em plantas e animais, procurando conciliar os novos dados com as evidências já estabelecidas à época.

Portanto, O THINK (8) teve como objetivo abordar os aspectos “Consiliência com evidências estabelecidas” e “Observação carregada de teoria”; (Dimensão Conceitual) (ALLCHIN, 2013, p.23).

THINK (8): Trembley busca respaldo em diferentes conhecimentos teóricos acerca da nutrição em animais e plantas. No entanto, aparentemente, nenhuma dessas teorias parecem ajuda-lo com o seu problema [captura e ingestão de alimento]. Por que, então, Trembley buscou suporte teórico?

Quadro 73. Rubricas do “Think (8)”. Atividade “Narrativa”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante compreenda e disserte sobre o papel das teorias e conceitos estabelecidos como orientação à pesquisa, às observações e interpretação de novas evidências; que nova evidências podem sugerir mudanças e/ou abandono do corpo teórico (criação de novos modelos/conceitos).
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta o papel das teorias como suporte às investigações; ou como forma de referenciar e responder os problemas de classificação; que compreenda que o background teórico como elemento de comparação às perguntas de investigação
Nível 1	Espera-se que o estudante descarte o papel dos pressupostos teóricos, que não entenda a sua relevância como orientação à pesquisa; que forneça respostas incoerentes e/ou não mencione qualquer relação com conceitos ou teorias; que as hipóteses levantadas, se comprovadas, se tornarão uma nova teoria científica

Com relação a esses aspectos, todos os grupos apresentaram concepções informadas, de “nível 2”, pois justificaram adequadamente que os pressupostos teóricos serviram como referência para a investigação de Trembley, além de permitir fazer comparações entre os seus dados e as evidências já estabelecidas na literatura sobre o processo de nutrição animal/planta, conforme exemplificado na fala dos licenciandos do grupo [G.03] (quadro 75).

Quadro 74. Resposta ao “Think (8)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (8)	Nível
[G.01]	Em busca da solução ele recorre a conhecimentos anteriores de comportamento de espécimes familiares.	2
[G.02]	Porque ele pensava que encontraria alguma resposta para suas questões, além do suporte teórico também fornecer mais consistência aos argumentos.	2
[G.03]	Para verificar se era possível comparar o que ele tinha com o que já era existente. Assim ele poderia eliminar as dúvidas de classificação o máximo possível.	2
[G.04]	A fim de encontrar na literatura em qual categoria (classe, ordem, família) aquele organismo se enquadra.	2
[G.05]	O objetivo de utilizar suporte teórico era o de descartar todas as possibilidades de nutrição de uma planta e poder seguir nos experimentos como um animal.	2

Quadro 75. Trecho da discussão ao “Think (8)”. Atividade “Narrativa”

Grupo [G.03]		
Linhas	Estudantes	Falas
300	Est#7	E também verificar particularidades. Porque o referencial teórico vai mostrar como são as particularidades que encaixa (.)
301	Est#10	Ele queria saber as características únicas que tinha aquele ser, entre animal, e tirar a dúvida.
302	Est#1	Ele queria saber sobre nutrição, especificamente. Então ele foi buscar algum especialista nisso.
304	Est#10	Ele já tinha certeza que aquilo era um animal, mas ele queria eliminar a dúvida de que poderia ser uma planta. certo?
306	Est#1	Tipo, ele [Trembley] foi muito metódico. Vocês perceberam? Ele usou o método descritivo, sabe. Ele eliminou todas as coisas possíveis que podiam "furar" o que ele acreditava ser.

Cabe ressaltar também que, apesar de os estudantes não terem discutido, a questão destaca que as evidências obtidas por Trembley não se enquadram nas teorias de nutrição. Ou seja, a evidência não estava “subordinada” à carga teórica, aparentemente, ela poderia ter a influência de “refutá-las”, ou então, pode ser considerada no caso de teorias alternativas (GOTT; DUGGAN, 1996, p. 794).

Assim, possuir uma concepção adequada é de suma relevância, pois as teorias científicas possuem papel central no desenvolvimento do conhecimento científico.

Todavia, ainda que o conteúdo conceitual no ensino de ciências seja repleto teorias, leis e modelos, há pouca ênfase, seja por meio de estratégias ou recursos, na maneira como essas várias formas de conhecimento científico se relacionam e como contribuem para o desenvolvimento científico. Essa ausência tende a dificultar o entendimento de que o conhecimento científico se baseia em um sistema coerente e dinâmico, envolvendo teorias, leis e modelos que resulta na compreensão de como o universo e o mundo natural funcionam (DAGHER; ERDURAN, 2014, p. 116).

A última questão (THINK 10) da narrativa histórica trouxe à tona para discussão um problema que, em um mundo ideal, seria desnecessário debater. Contudo, como a ciência é um empreendimento produzido por seres humanos, ela tende a ser afetada por todas as nuances das “personalidades humanas”. O episódio histórico retratado na narrativa permitiu apresentar um caso de plágio explícito, envolvendo os resultados de pesquisa de Trembley e um parceiro da *Royal Society*, o naturalista Henry Baker (1698-1774).

Em tempos de escândalos acadêmicos por fraude, condutas impróprias e plágios em renomadas revistas científicas, teses e afins (LAFOLLETTE, 2008; MATÍAS-GUIU; GARCÍA-RAMOS, 2010; OLIVEIRA, 2015; GRANT, 2018; MAVROGENIS et al., 2018), é importante, não somente captar a opinião desses futuros professores, mas também, atentá-los

sobre os problemas que envolvem a pesquisa científica. Desse modo, é possível subsidiar o raciocínio crítico frente às frequentes falácias de “comprovação científica”.

A pergunta forneceu oportunidade para os licenciandos discutirem o papel da ética na pesquisa, as relações entre os cientistas, portanto, os aspectos de NdC referentes à Dimensão Sociocultural – Fraude ou má conduta; Espectro das personalidades humanas. (ALLCHIN, 2013, p.24)

[...]. Ao ver a oportunidade de aumentar a sua reputação como naturalista, Baker rapidamente replica alguns experimentos conduzidos por Trembley descritos nas cartas, mas não publicados formalmente. Ao obter os resultados ele publica, em 1743, um trabalho intitulado: Tentativas de explicar a história natural dos pólipos. Esse trabalho alcança o público pouco antes da publicação do livro de Trembley.

THINK (10): O que fazer frente a esta situação real de plágio? Você acha que essa situação poderia influenciar a sua "estratégia de generosidade? Como? Quais poderiam ter sido as consequências para Baker?

Para essa questão, nos abstermos de elaborar rubricas como critérios de comparação, posto que entendemos que se trata mais de opiniões pessoais ou julgamento de valor, do que conhecimentos, propriamente dito. Assim, admitimos todos os pontos de vista como válidos e suscetíveis ao debate.

Quadro 76. Resposta ao “Think (10)”. Atividade “Narrativa”

Grupo	Respostas THINK (10)
[G.01]	Frente ao plágio poderia buscar provas de suas pesquisas e colaboração com outros cientistas (testemunhas). Sim, influências, pois ele teria receio em compartilhar novas descobertas. Como consequência, Baker poderia perder sua credibilidade e ética perante a sociedade científica.
[G.02]	Comprovar que seu trabalho precede ao plágio, confirmando por intermédio de seus relatórios pessoais e testemunhas. A generosidade ficaria restrita às situações de necessidade. Baker poderia perder seu cargo na <i>Royal Society</i> , perder seu prestígio na sociedade científica e, em geral, ter seu trabalho refutado e sofrer uma acusação criminal
[G.03]	Usar as cartas trocadas e a testemunha dos naturalistas envolvidos desde o começo. Influenciaria, não detalhar tanto o experimento, impedindo um plágio completo. Baker perderia a credibilidade como cientista.
[G.04]	Contatar o conde a respeito do ocorrido e organizar uma congregação. Sim, “o que ninguém sabe, ninguém estraga”. Retirada dele da <i>Royal Society</i> .
[G.05].	Faria um livro com as cartas trocadas entre os naturalistas. Não deveria influenciar na generosidade, pois a ciência [deve] sair dos laboratórios e ser compartilhada com a sociedade. Atualmente ele poderia ser acusado de plágio e perder seu prestígio

Com relação à primeira parte da pergunta, como se pode observar nas respostas dos grupos, há uma indignação geral pela má conduta de Baker (quadro 77). Os licenciandos se mobilizaram para encontrar meios de “advogar” a favor de Trembley e acusar Baker. Conforme pode ser observado na transcrição das discussões da narrativa (Anexo 6 – CD-ROM), o último “Think” foi o que mais gerou discussão. É possível perceber que houve uma empatia entre os licenciandos e a história dos estudos de Trembley (quadro 78). A partir dessas análises, podemos inferir que esses licenciandos possuem um senso de justiça e honestidade com relação à ética.

Quadro 77. Trecho da discussão ao “Think (10). Atividade “Narrativa”

Grupo [G.02]		
Linhas	Estudantes	Falas

197	Est#5	Por isso eu estava falando, ele tinha acesso às cartas trocadas. Mas eu (.) não é possível que eles não tenham um meio de comprovar!
198	Est#2	Ele [Trembley] tem como comprovar. Ele não tinha feito os experimentos antes dessa pessoa aparecer?
199	Est#5	Mas alguns dos experimentos que só ele tinha feito e ele ainda não tinha contado. Tipo, ele só contou para "os caras" [naturalistas] da sociedade científica.
200	Est#2	Mas ele [Trembley] não estava fazendo o registro de tudo que estava fazendo?
203	Est#5	Poderiam ser testemunhas, né. Ah, que cara "filho da mãe". hhh
204	(94659)	Então o que fazer frente a essa situação de plágio: Pegar o diário dele, que seria seu caderno de campo e tentar comprovar junto a outras pessoas que receberam, testemunhas que receberam as cartas, que leram as cartas, né? Então, essa é uma possibilidade.
210	(94659)	Além de intermédio, conversa ou discussão com aqueles que leram as cartas recebidas.
Grupo [G.04]		
Linhas	Estudantes	Falas
58	Est#3	Nossa! Mas é muito difícil você ter esse conceito de ética. Porque eu acho que, esse Trembley, ele deveria ter feito o que? Embora o cara [patrão de Trembley] seja conde, né? E ele tenha que (.) que se reportar ao conde, na época tinha esses negócios, mas ele devia ter publicado, já. Nem que fosse (.) fosse publicar um livro, mas já publicava um artigo de antemão.
159	Est#4	Mas aí que tá! Eu acho que na época eles só publicavam livros e enciclopédias. Não publicavam artigos.
162	Est#3	Então ele poderia ter publicado um trabalho, já. Ao invés de esperar para lançar um livro.
164	Est#3	Nossa, gente. Muito pesado!
165	Est#4	É! O que fazer diante dessa situação de plágio? Cara, não sei! Na época?
166	Est#3	Denunciar!

O episódio histórico, estruturado em um recurso didático, como uma narrativa histórica, possibilitou abordar, explicitamente, variados aspectos que envolvem o fazer científico. A cada “THINK”, um ou mais elementos de NdC puderam ser abordados, mas sempre dialogando com a história. Nesse sentido, buscou-se- mostrar, ainda que de forma pontual, como um dado conhecimento científico é desenvolvido ao longo da história. O contexto, as teorias, os procedimentos, as ideias, dúvidas, os aspectos socioculturais, o papel da motivação e criatividade, entre outros.

Portanto, em comum acordo com diversos autores previamente mencionados nesta tese, assume-se, que a história da ciência é uma ferramenta eficiente para mostrar e ensinar aspectos de natureza da ciência.

Desse modo, o gráfico 15, tem como propósito, sintetizar em quais aspectos de NdC, os licenciandos apresentaram níveis mais altos e mais baixos. Similar ao que foi feito na atividade de replicação de experimento histórico, analisou-se, item a item e em cada THINK, o nível individual do licenciando em cada grupo, correspondente ao aspecto abordado.

Assim, a partir das dez questões inseridas na narrativa, seis principais aspectos de NdC foram abordados, seja isoladamente, seja em agrupada com outros elementos:

(1) Observação e interpretação de evidência”;

- (2) “O papel dos experimentos científicos”;
- (3) “O papel da criatividade e imaginação dos cientistas (processo de investigação científica)”;
- (4) “Natureza das explicações alternativas/resultados inesperados”;
- (5) “Resposta às críticas/ceticismo”;
- (6) “O papel da carga teórica na observação e inferência”.

Os licenciandos apresentaram melhores concepções relativo aos aspectos: “observacional” (Nível 3, 40%; Nível 2, 60%); “resposta às críticas” (Nível 3, 60%; Nível 2, 40%); e “carga teórica na observação” (Nível 2, 100%).

Todavia, os aspectos que, mesmo após a intervenção, se mantiveram em níveis de concepção inadequada se referem ao “papel dos experimentos” (Nível 1, 40%) e ao papel da “criatividade e imaginação” (Nível 1, 20%).

Gráfico 15. Análises individuais referentes aos aspectos de NdC presentes na narrativa histórica “Abraham Trembley e a criatura que desafiou a classificação”. Legenda: Est#N = licenciando

A partir desses dados é possível inferir que a investigação de Trembley, baseadas em práticas empíricas de observação, na necessidade de propor hipóteses e justificativas devido aos frequentes resultados anômalos encontrados, parece ter contribuído para a compreensão dos aspectos observacionais e explicações alternativas.

Por outro lado, os níveis mais baixos, relativos ao papel dos experimentos e ao papel da criatividade e imaginação, podem ter sido resultado da maneira pela qual os procedimentos experimentais são apresentados no ensino de ciências (visão empirista e indutivista).

Ainda que no geral, os licenciandos tenham compreendido adequadamente acerca das características das práticas científicas, admite-se que há maiores necessidades ou ousadia nas

discussões explícitas referente a esses aspectos, dada a relevância para o conhecimento científico.

Contudo, amparados pelo referencial teórico do DBR, a partir dessa extemporaneidade, considera-se o lado positivo ao poder ampliar mais um *princípio de design* e criar estratégias e/ou atividades mais arrojadas, almejando cobrir essa lacuna.

Síntese da aula 2

Ao final da atividade, o doutorando conduziu uma conversa com a classe inteira a fim de condensar os aspectos de NdC, discutir sobre a usabilidade do recurso, bem como a viabilidade de extensão e adaptação para a Educação Básica.

Com relação ao primeiro ponto, o depoimento dos licenciandos foi positivo. Para eles, como novidade, o recurso propôs momentos para a reflexão sobre a sua própria prática de investigação. Para a maioria, a atividade proporcionou possibilidades de rever seus conhecimentos sobre ciência em um ambiente de contextualização. Para um número menor, porém, apesar de a narrativa histórica trazer consigo um caráter motivador, a quantidade de perguntas era excessiva, tornando a atividade menos prazerosa do que poderia ser.

No que concerne à usabilidade, pode-se alegar que a narrativa atingiu os objetivos. Após o término da discussão em classe, muitos licenciandos vieram conversar em particular, solicitando o material para aplicação com seus alunos do ensino fundamental e médio. Tal demanda nos motivou a publicar o recurso, a fim de registrar e permitir o uso livre. A narrativa, adaptada ao público-alvo da Educação Básica, foi publicada no Boletim de História e Filosofia da Biologia, em dezembro de 2016⁷⁷.

8.8.4. Aula 3. Objeto Virtual de Aprendizagem: “ O enigma dos pulgões no século XVIII

A última aula da segunda iteração da SD teve como objetivo apresentar outro episódio da história da biologia, referente à identificação de uma nova forma de perpetuação animal: a multiplicação sem acasalamento em pulgões, atualmente conceituada por “partenogênese” (conteúdo conceitual).

Ao desenvolver e aplicar essa estratégia, buscou-se apresentar e diversificar os recursos instrucionais e metodológicos dentro da SD proposta.

⁷⁷ O recurso intitulado: Narrativa de história da biologia para a sala de aula: “Abraham Trembley (1710-1784) e a criatura que desafiou a classificação”, publicado no boletim da ABFHiB, disponível em: <http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-10-n4-Dez-2016.pdf>

A intervenção ocorreu por meio de uma aula expositiva dialogada com a classe toda, tendo como orientação, o objeto virtual. Esse recurso virtual foi composto por 37 slides, contemplando imagens históricas, trechos de narração contextualizando os eventos espacial e temporalmente, extratos de citações dos naturalistas e entremeando com seis momentos de interrupção, a fim de abordar aspectos de NdC.

Os aspectos de NdC contemplados no protótipo do objeto virtual de aprendizagem foram:

- (1) Papel dos experimentos científicos;
- (2) Resposta às críticas/ceticismo;
- (3) Papel da comunicação e persuasão
- (4) Carga teórica na observação e inferência

Como uma aula expositiva de classe inteira, o doutorando conduziu a apresentação da estratégia, pausando a cada questão de NdC e abria uma discussão com todos os licenciandos. As respostas dos alunos eram anotadas em forma de tópicos, diretamente no campo interativo do objeto virtual, conforme exemplificado na figura 37.

As informações organizacionais sobre o tempo de aula, ministrante, supervisão e público participante, bem como os conteúdos, objetivos, estratégias de ensino (com descrição de materiais, quando aplicável) e o modo de coleta de dados dessa aula estão sumarizados a quadro da aula 3.

AULA 3			
“ O enigma dos pulgões no século XVIII”			
Conteúdo	Objetivos	Estratégia de ensino e coleta de dados	Intervenção
Conteúdos históricos: Estudos de Charles Bonnet sobre a multiplicação sem acasalamento pulgões	(3) Apresentar e contextualizar o momento histórico do episódio; (4) Apresentar um objeto virtual de aprendizagem combinando HC, EI, NdC;	Protótipo de objeto virtual de aprendizagem	Ministrante: Doutorando
Conteúdos conceituais: reprodução assexuada animal (partenogênese)	(5) Introduzir de forma explícita e reflexiva aspectos de NdC: papel dos experimentos científicos; resposta às críticas/ceticismo; papel da comunicação e persuasão; carga teórica na observação e inferência.	Coleta de dados: Notas de campo, notas interativas incluídas no OVA; Captura de áudio	Supervisão: Profa Ana Maria Gouw Tempo de aula: 2,5 horas Participantes: 12 licenciandos

O instrutor começou a aula explicando a dinâmica da atividade e posteriormente foi dado início a apresentação da narrativa virtual. A fim de criar um ambiente de “aquecimento”, os primeiros slides discutiam sobre a diversidade de vida no planeta, uma forma de fazê-los recordar os meios pelos quais os organismos alcançaram tamanha quantidade de indivíduos das mais variadas espécies.

Esse estímulo teve como objetivo fazê-los pensar nos modos de perpetuação – tema central do conteúdo conceitual da narrativa histórica.

O primeiro momento de interrupção (figura 37) buscou levantar as concepções prévias dos licenciandos sobre os modos de reprodução conhecidos. Dentre as possibilidades de respostas, podemos citar (HICKMAN et al., 2008):

- ✓ Reprodução sexuada: autogamia (hermafroditismo); alogamia (reprodução cruzada); fertilização interna (mamíferos); fertilização externa (peixes, anfíbios)
- ✓ Reprodução assexual: brotamento; regeneração; fragmentação; fissão binária; partenogênese.

Dos exemplos citados, as respostas dos licenciandos destacaram:

Reprodução sexuada: a maioria dos mamíferos

Reprodução assexual: bactérias, protozoários, fungos, algumas plantas; bipartição; partenogênese; reprodução dos vírus; polinização.

Após o levantamento, o instrutor seguiu contando a história, apoiado por imagens que remetiam ao contexto histórico, a fim de criar um ambiente de envolvimento para os licenciandos.

Figura 37. Momento inicial de interrupção para levantamento de concepções prévias sobre modos reprodutivos

Em termos de elementos contextuais, além dos aspectos “epistêmicos”, o objeto virtual de aprendizagem buscou enfatizar o lado humano, as crises e conflitos pessoais do naturalista Bonnet.

A ideia, portanto, foi introduzir alguns quesitos textuais espelhados na estratégia da narrativa (METZ, 2007; MATTHEWS, 2009a), de modo a explorar dimensões do lado humano, ético, envolvido em um contexto sociocultural, político, tendendo a aproximar os alunos da realidade, aumentando o interesse e aprimorando as habilidades de pensamento crítico.

Assim, o protótipo apresentado aos licenciandos procurou destacar explicitamente as relações e colaboração entre os naturalistas, os conflitos encarados pelo naturalista Bonnet, os aspectos sociais e políticos do contexto histórico, aspectos tão relevantes à compreensão da ciência, quanto habilidades das práticas científicas.

A primeira pergunta de NdC na narrativa pode parecer sem qualquer relação com ciência, mas os embates pessoais fazem parte da formação do indivíduo e, certamente, influenciam as escolhas e decisões a serem tomadas. Esse aspecto “motivações para fazer ciência”, faz parte da Dimensão Conceitual de confiabilidade da ciência (ALLCHIN, 2013, p. 23).

Desde a adolescência Bonnet tinha inclinação para os estudos em história natural, realizando observações meticolosas e anotando os resultados de forma bastante madura. Porém, pertencente a uma família de juristas, seu pai desejava que o jovem ingressasse na carreira de advogado. Eis, portanto, o primeiro conflito. A pergunta direcionada aos licenciandos foi (anexo 2 – CD-ROM, slide 14.):

Questão 1. O que fazer diante dessa situação? Seguir o conselho do seu pai ou escolher uma carreira no campo da História Natural? Por quê?

As respostas dos licenciandos não foram analisadas como certas ou erradas, mas sim, consideradas como uma “pesquisa de opinião”. A proposta foi posicioná-los no lugar do cientista do passado e promover certa empatia. O que fazer no lugar dele?

Como a estratégia foi uma aula expositiva dialogada, nem todos os licenciandos se manifestaram, mas dentre os que opinaram, as respostas foram categorizadas no quadro 78.

Quadro 78. Respostas dos licenciandos à questão 1 da narrativa virtual

Licenciandos	Categorias/falas	Nível
Est#3; Est#8	Se “rebelar”. Fazer o que gosta hhh	-
Est#1; Est#4	Seguir o conselho do pai, pois é mantido por ele.	-
Est#8, Est#10	Tentar conversar para ver se é possível fazer o que gosta.	-
Est#1; Est#7	Fazer os dois cursos	-

Apesar da forma, pouco conveniente, diga-se, de expressar, os licenciandos Est#1 e Est#4 chegaram mais perto dos eventos historicamente registrados. Para continuar suas atividades como jovem naturalista, Bonnet precisou ceder e ingressou no curso de Direito.

Ao seguir a história da pesquisa de Bonnet sobre as observações com pulgões, o contexto do episódio proporcionou a elaboração da segunda pergunta, salientando o aspecto de NdC já abordado anteriormente, a ideia de que as observações são carregadas de teoria ou como

a interpretação dos dados podem divergir, a partir da perspectiva do observador (Anexo 2 -CD-ROM, slide 21).

Questão 2. Todos esses naturalistas estavam observando o comportamento reprodutivo em pulgões, apesar da variação das espécies. Entretanto, mesmo assim, eles chegaram a conclusões bem diferentes. Por que você acha que diferentes explicações surgiram na tentativa de explicar o mesmo fenômeno? Como é possível obter conclusões diferentes partindo de um mesmo conjunto de “dados”?

Ao longo das discussões realizadas na SD, esperava-se que os licenciandos conseguissem balancear respostas razoavelmente informadas referentes a esse aspecto. Para critérios de comparação, foram aplicadas as mesmas rubricas (quadro 79) da narrativa histórica utilizada na primeira iteração da SD.

Quadro 79. Rubricas da questão 2. Atividade “Narrativa virtual”

Rubricas	
Nível 3	O estudante deve ser capaz de reconhecer que os mesmos dados podem ser interpretados distintamente devido às diferenças de conhecimentos prévios; <i>background</i> teórico/observacional e experimental dos cientistas.
Nível 2	Uma concepção aceitável deve reconhecer o papel dos vieses na interpretação de fenômenos e dados; o papel dos conhecimentos prévios
Nível 1	Uma concepção imprópria assume que resultados divergentes são atribuídos aos limites (teóricos/tecnológicos) dos dados disponíveis, ou seja, os cientistas ainda não possuem informação suficiente para decidir e tomar uma posição final

Quadro 80. Respostas dos licenciandos à questão 2 da narrativa virtual

Licenciandos	Categorias/falas	Nível
Est#1; Est#3	Cada um observa com base naquilo que traz de bagagem.	3
Est#6; Est#7	Naturalistas possuíam visões distintas e conhecimentos diferentes.	3
Est#7; Est#10	Porque o que já se sabe antes influencia na observação.	3
Est#8, Est#2	Devido aos conhecimentos prévios.	3
Est#4	Cada um acredita em uma teoria diferente.	3

A análise das respostas dos licenciandos indicam que eles possuem uma compreensão bem informada (nível 3) acerca do aspecto “carga teórica na observação”. Esses dados estão em acordo com as respostas analisadas, tanto na atividade de replicação, quanto na narrativa histórica sobre os pólipos de água doce.

Nesse sentido, pode-se inferir que um enredo contextualizado tende a contribuir para uma compreensão mais adequada de NdC (TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009), nesse caso específico, para o aspecto concernente aos processos de investigação científica e as relação intrínseca aos pressupostos teóricos. (Quadro 80).

A partir das suspeitas e dos insucessos experimentais do renomado naturalista Réaumur, Bonnet decidiu encarar a empreitada e procurou desvendar a intrigante forma de reprodução dos pulgões. Ao basear no contexto, foi inserida a terceira questão de NdC no objeto virtual de aprendizagem (Anexo 2 – CD-ROM, slide 28).

O objetivo, nesse momento, foi destacar os aspectos da Dimensão Observacional: “acurácia e precisão”; “natureza dos experimentos científicos” (ALLCHIN, 2013, p.23).

Questão 3. Bonnet está ciente dos insucessos de Réaumur com os experimentos de isolamento dos pulgões, mas decide encarar o “enigma”. O que poderia ser feito para testar a hipótese de exceção à regra de geração animal no caso dos pulgões?

Quadro 81. Rubricas da questão 3. Atividade “Narrativa virtual”

Rubricas	
Nível 3	Proposição de observações e/ou experimentos viáveis; definição das variáveis/controle; descrição de desenho metodológico e papel da replicação; discussão e interpretação dos dados obtidos à luz das teorias de geração animal e conceitos prévios;
Nível 2	Espera-se que o estudante proponha observações e/ou experimentos condizentes com as hipóteses elaboradas; que defina (ao menos uma) variável; que descreva as etapas e resultados observados;
Nível 1	Espera-se que o estudante proponha experimentos inviáveis e/ou incoerentes; que não seja possível mensurar/observar e testar; que não mencione qualquer controle/variáveis; que descreva que os “dados falam por si”.

Quadro 82 Respostas dos licenciandos à questão 3 da narrativa virtual

Licenciandos	Categorias/falas	Nível
Est#3; Est#5; Est#6; Est#7; Est#9	Repetir o que o outro naturalista fez; fazer um novo experimento e isolar o inseto	2
Est#1; Est#10	Fazer mais vezes o experimento e observar com outras espécies	2
Est#2; Est#8;	Comparar com outros insetos	2
Est#10	Procurar informações com outros naturalistas	2

Cabe mencionar que as rubricas elaboradas foram utilizadas com prudência, pois o andamento de uma prática em grupo se distingue, em muitas maneiras, de uma aula expositiva aberta. Portanto, tivemos a sensibilidade de reconsiderar as classificações propostas. Para a questão, os licenciandos propuseram as explicações apresentadas no quadro 82, organizadas em tópicos.

Apesar de respostas sucintas é possível encontrar coerência nas respostas. Das categorias elaboradas, apenas a última estava em desacordo com o contexto do episódio histórico. Conforme discutido na história, não havia qualquer registro na literatura da época que citasse estudos empíricos definitivos a respeito do “enigma” reprodutivo dos pulgões. As demais respostas estão bem fundamentadas, posto que salientam, por exemplo, o papel do isolamento e controle (variar as espécies); estudos comparativos de comportamento. Assim, sendo honestos com os licenciandos, no geral, podemos classificar as respostas como “nível 2”.

A penúltima questão de NdC na narrativa virtual buscou abordar aspectos da Dimensão Conceitual: “o papel da “interpretação e relevância de evidências”; e Dimensão Sociocultural: “formas de persuasão e comunicação” (ALLCHIN, 2013, p.24).

Questão 4. Aparentemente o jovem Charles conseguiu observar um fato, até então não identificado. E agora, o que fazer? Qual seria a próxima etapa?

Bonnet conseguiu identificar que pulgões eram capazes de se reproduzir sem acasalamento. Na época, uma concepção inaceitável no reino animal. Por meio de variadas séries de observações, controlando variáveis por meio de observações paralelas, Bonnet foi apto a apresentar evidências empíricas de uma suspeita que havia atravessado séculos (SIGRIST, 1994, 2 001).

Quadro 83. Rubricas da questão 4. Atividade “Narrativa virtual”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante argumente sobre repetição experimental; o papel da submissão dos dados; métodos e procedimentos à comunidade acadêmica (comunicação aos pares); ressalte o papel da retórica como persuasão
Nível 2	Espera-se que o estudante reconheça a necessidade da revisão por pares; o papel da comunicação dos métodos e procedimento empíricos
Nível 1	Espera-se que o estudante alegue que os dados são a prova da descoberta; que a investigação seguiu um método científico objetivo; que como cientista, Bonnet foi objetivo e que os dados “falam por si”.

Quadro 84. Respostas dos licenciandos à questão 3 da narrativa virtual

Licenciandos	Categorias/falas	Nível
Est#3; Est#7	Escrever para o outro naturalista [Réaumur]	2
Est#1; Est#4; Est#5; Est#8	Talvez repetir o mesmo experimento para confirmar	2
Est#3; Est#8	Fazer experimentos com outras espécies para comprovar	2
Est#1; Est#9; Est#10	Divulgar a descoberta de alguma forma, artigo, carta, livro	2

As respostas mais mencionadas geraram as categorias organizadas no quadro 84, e como se pode observar, em maior ou menor grau, todas são admissíveis, apesar da manutenção dos “vícios de linguagem” científicas, não adequadas, tais como: “comprovar/confirmar”.

Isto posto, de acordo com as rubricas, admitimos que eles possuem uma concepção parcial (nível 2) com relação às concepções de divulgação/comunicação de dados científicos, ao passo que destacaram a importância da replicação experimental, bem como a importância de reportar os dados obtidos por meio de cartas ou livros - conhecimento historicamente corretos.

Entretanto, o episódio em si trazia uma “novidade”, uma exceção à regra da perpetuação animal. Como qualquer novidade contraditória ao que é estabelecido, demanda todo cuidado. Sabe-se que as “descobertas” em ciência não são facilmente receptíveis, posto que, muitas vezes, tratam-se de mudanças bruscas ou refutações de conceitos/teorias consolidadas (SCHINDLER, 2015).

Assim, o episódio da identificação da (posteriormente denominada) partenogênese em pulgões ofereceu a oportunidade de discorrer, junto aos estudantes, a ideia de “descoberta” científica. Além disso, foi possível salientar como tais fenômenos alcançam esse status, além de reiterar como o ceticismo acadêmico pode ser um elemento de “segurança” para a confiabilidade do conhecimento científico (ALLCHIN, 2012b; HOTTECKE; HENKE; RIESS, 2012; DAGHER; ERDURAN, 2014).

Portanto, idealizou-se um desfecho apropriado para o objeto virtual abordando a discussão do ceticismo da comunidade de eruditos no século XVIII, frente ao “novo” conceito de multiplicação sem acasalamento, hoje, reprodução assexual.

Questão 5 - Por que os membros da Academia solicitaram a repetição experimental de Bonnet? Quais as razões dessa solicitação?

Quadro 85. Rubricas da questão 5. Atividade “Narrativa virtual”

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante compreenda que a base conceitual se fundamenta em pressupostos teóricos; que novos conceitos, em geral, encontram resistência frente à evidências estabelecidas; observações e inferências são passíveis de erros; que compreenda a influência das <u>personalidades humanas (crenças culturais ideologia, religião)</u> ; de conhecimentos prévios e divergências a partir da perspectiva teórica.
Nível 2	Espera-se que o estudante discuta que o ceticismo está vinculado ao papel das influências de <u>crenças culturais (ideologia, religião)</u> ; dos <u>conhecimentos prévios</u> ; que ressalte as dificuldades frente aos conceitos e evidências já estabelecidas; que destaque o papel de erros e incertezas frente a novos dados.
Nível 1	Espera-se que o estudante credite o ceticismo às verdades absolutas e conceitos imutáveis de ciência; que os cientistas são objetivo e neutros, devendo acreditar uns aos outros; que os dados e resultados falam “por si só” e o cientista pode estar equivocado.

Quadro 86. Respostas dos licenciandos à questão 3 da narrativa virtual

Licenciandos	Categorias/falas	Nível
Est#2; Est#3	Porque ele tinha que provar o que encontrou	2
Est#4	Porque ele não era especialista [naturalista] de profissão	1
Est#8; Est#9; Est#10	Porque não era algo que era aceito. Era difícil acreditar	2
Est#2; Est#3; Est#5; Est#6; Est#7	Porque para comprovar algo que é novo precisa repetir e ter o mesmo resultado	2

Diante dessa situação, os licenciandos foram pragmáticos em suas explicações, admitindo a necessidade de mais “provas”, ou da repetição amostral a fim de corroborar os resultados anteriores. Alguns mencionaram, mesmo implicitamente, o papel da influência dos conceitos estabelecidos (quadro 86).

Curioso perceber que, mesmo após termos debatido explicitamente que, os estudiosos em história natural no século XVIII, em geral, eram pessoas com maior erudição, ou polímatas (SANTOS, 2006, p. 238) explicações baseadas na “autoridade” do cientista insistiram em

aparecer. Por exemplo, como a alegação de que Bonnet não era um especialista, logo, não gozava de credibilidade.

Esse resultado, apesar de não retratar o melhor cenário esperado é significativo, no sentido de que permitiu diagnosticar uma lacuna a ser coberta. Seja proveniente de alguma deficiência pontual nas discussões explícitas, seja nas estratégias ou atividades da SD. Trata-se, assim, de um aspecto que requer maior atenção, revisão e, possivelmente, refino para uma próxima iteração.

O objeto virtual de aprendizagem “O enigma dos pulgões abrangeu aspectos correlatos às outras atividades e trouxe novos elementos, como o papel da comunicação em ciências. Para visualizar esquematicamente, ilustrou-se as respostas individuais dos licenciandos gráfico 16, obtidas ao longo da aula expositiva dialogada.

Gráfico 16. Análises individuais dos licenciandos referentes aos aspectos de NdC abordados na atividade narrativa histórica “O enigma do pulgão”. Nível 3, concepções mais adequadas e Nível 1, menos adequadas.

A forma como o olhar do observador influi na interpretação dos dados, ou “Carga teórica na observação/inferência” foi o aspecto em que 100% dos licenciandos apresentaram uma imagem bem informada (Nível 3). Relativo à “comunicação e persuasão” e “resposta às críticas”, 80% das respostas se classificaram como nível 2, mostrando uma concepção admissível. Uma vez mais, o nível inferior ficou a cargo o aspecto “papel dos experimentos científicos”, com 20% das respostas dos licenciandos.

Saber identificar e considerar uma evidência relevante, compreender o papel dos procedimentos experimentais, ser crítico e (moderadamente) cético, acerca de alegações científicas, assimilar as formas como a ciência é comunicada e divulgada, é essencial para a

formação do cidadão comum. Entretanto, é preponderante para a formadores de opinião, como se espera de professores de ciências.

Aliás, não somente saber reconhecer uma evidência científica. Como Douglas Allchin (2011) argumenta lucidamente, uma compreensão de natureza da ciência de forma integral é indispensável. Afinal, como confiar em uma especialidade, quando os próprios especialistas entram em contradição? Quais seriam as condições que justificam uma mudança no consenso científico? Será que as informações comunicadas são livres de julgamento de valor? Ou seja, como os cientistas gerenciam (ou manipulam) os dados obtidos? (IBID, 2011)

São questões que merecem atenção especial e que se buscou, baseados na história da biologia e nas práticas de ensino investigativo, proporcionar meios para fomentar, um pouco mais, a compreensão dos licenciandos sobre como a ciência funciona.

Síntese da aula 3

Após a atividade com o Objeto Virtual de Aprendizagem “O enigma dos pulgões” houve uma conversa aberta entre o instrutor e os licenciandos, tanto sobre a atividade recém realizada, quanto sobre a sequência, em geral.

Como nas atividades das aulas anteriores, o objeto virtual deixou uma impressão bastante positiva para esse grupo de futuros professores. O testemunho dos estudantes (quadro 87) trouxe a percepção de que os esforços para a idealização dessa SD foram válidos.

O debate final, apesar de ter sido sucinto e pontual, focou basicamente na usabilidade e na adaptação do objeto virtual para alunos da escola básica. Alguns licenciandos concordaram que seria útil, mas admitiram a necessidade de adequação ao público alvo.

Quadro 87. Depoimento dos licenciandos à segunda iteração da SD. Legenda: INST = instrutor

Linhas	Estudantes	Falas
8	INST	Mas você acha que pegar uma parte ou discutir um ou outro aspecto de NdC, seria possível?
9	Est#5	Acredito que sim. enriquece a explicação, o aprendizado.
10	Est#1	Adaptar, né? Você faz um recorte. Não vou contar a história toda. [...]. Por exemplo, a parte que ele vai tratar de "reprodução". "Eu fiz isso, pra observar isso e relatar isso". Eu acho que fica mais viável do que outros contextos.
11	Est#10	Eu acho também, que, quando faz esse método narrativo, permite compreender o fato de "ele descobriu aquilo", porque ele [naturalista] já estava querendo saber daquilo mesmo, não como ao acaso, como realmente se diz que acontece. Brotou a ideia "do nada". Isso não acontece.
12	Est#1	Brotou a ideia de um insight, né? O cara é um gênio, maravilhoso que recebeu uma maçã na cabeça. <i>Eureka!</i> Só que não, né. A importância da informação é que eles [naturalistas] tinham bibliografia, tinham referência bibliográfica, é bacana! Porque, assim, quando a gente fala de descobertas científicas, parece que, o [...] cientista acordou, uma bela manhã e estava no banheiro e descobriu alguma coisa! Não, o cara leu pra caramba. Ele viu, observou, isso me intrigou, mas o que será que as pessoas que estudam estão pensando a respeito disso? Eu vou lá, me debruçar nos livros e vou ver se alguém já observou isso. Como aconteceu com ele [Bonnet], né? Bonnet. Ele já

		<p>tinha descrito algo similar ao que observou. Daí ele observou mais coisas e descreveu de volta para quem era referência dele, relatando que ele tinha observado de diferente. Isso é bacana! A Construção da ciência colaborativa. Então ele contribuiu porque ele leu aquele cara [Réaumur] (.). Daí eu [Bonnet] observei mais coisas e vou relatar para ele [...] assim a visão que eu tenho de ciência. Uma construção humana. Não a construção de um robô, imparcial e neutro.</p>
13	Est#5	<p>Uma coisa interessante que eu achei, também, foi a proposta de levantar hipóteses, né! Você tem o problema e quais as hipóteses ou soluções que você daria para o caso em questão. Acho que isso incentiva os alunos! Se você tem uma prática dessas nas suas aulas, você incentiva os alunos a questionar as informações. Enfim, a pensar no que realmente eles estão vendo e não somente aquela coisa passiva, assim. Tipo: "Ah, o cara [naturalista] fez tudo! Mas, e você? O que você faria se estivesse no lugar dele, né?"</p>
Linhas	Estudantes	Falas
2	Est#7	<p>O Lavoisier, o pai da química! [...]. A gente tinha determinados medalhões das ciências, consagrados. Só que a gente não via como era o esforço individual, o contexto no qual ele estava influenciado para conseguir elaborar aquela hipótese. Como ele confrontou, como ele argumentou. Como a sociedade, na época, recebeu as argumentações dele. Então, toda essa construção científica e reconstrução, também! É influenciada pela questão social, econômica. Até porque nos dois casos aí [episódios históricos], eles [naturalistas] eram oriundos de famílias ricas, né? E não é só inspiração. É luta. É "ralação".</p>
5	Est#8	<p>E talvez, hoje, porque (.) não que se esgote, mas talvez a gente descubra outras formas [de reprodução]. Mas como a gente já sabe várias, talvez a gente não se importe quando vê um bichinho de (.) como é que ele se reproduz, porque a gente já viu, passou pelas aulas e viu que tem tantas formas!</p>
18	Est#7	<p>E é bom porque realça o raciocínio, né? Porque, muitas vezes, em sala de aula, o professor faz a pergunta e dá a resposta. [...]. Ou então, são perguntas que: "ah, complete isso". É sempre automático. Mas esse ponto não. Eu me perdi várias vezes, porque eu tentava pensar na época e não conseguia. Só surgia dúvida! Eu não conseguia ter clareza, mas isso é um esforço, né? Elaborar um raciocínio. Elaborar uma argumentação. Elaborar as frases certas. Construir essa argumentação.</p>
19	Est#6	<p>Faz a gente pensar, né? Se colocar no lugar de outra pessoa, em outra época, né. É difícil!</p>

A partir desses trechos das falas dos licenciandos, podemos notar a boa impressão dos recursos e estratégias da SD, com relação aos efeitos de motivação e engajamento. Mas principalmente, no que tange às características da natureza da ciência. Os instrumentos utilizados para coletar dados, possibilitaram diagnosticar a compreensão dos aspectos específicos de cada atividade.

Porém, nesse momento, ao analisar o discurso desses licenciandos, foi possível capturar claramente os pontos em que a SD subsidiou a compreensão dos aspectos científicos. Por exemplo, quando se discorre sobre o papel da colaboração entre os cientistas em uma descoberta científica (Est#1, linha 12). Ou quando se argumenta sobre a influência das questões sociais e econômicas na produção do desenvolvimento científico; dos desafios e dificuldades encaradas pelos cientistas do passado (Est#7, linha 2).

A despeito de se tratar de um estudo pontual e com uma amostra focal, as análises permitem consentir e corroborar que: uma SD, estruturada em episódios da história da ciência, conduzidas por estratégias de ensino investigativas, pode promover benefícios e facilitar a

aprendizagem significativa de NdC (HOWE, 2007b; KIM; IRVING, 2010; RUDGE et al., 2012; KENDIG, 2013; ALLCHIN, 2014a; KAHANA; TAL, 2014; ADÚRIZ-BRAVO, 2015; FOUAD; MASTERS; AKERSON, 2015b; PAVEZ et al., 2016) .

Certamente seria demasiada ambição esperar que uma Sequência Didática seja capaz de formar peritos ou formar cientistas em análise de evidências, quando os próprios peritos se permitem contradizer (ALLCHIN, 2014a). A intenção foi prover um ambiente de investigação, historicamente contextualizado, a fim de equipar futuros professores de ciências a serem aptos a compreender os elementos que envolvem algumas das “Dimensões” da prática científica. Que sejam eles, capazes de julgar em quem ou em que, confiar.

8.9. Considerações gerais da SD: iteração II

Os objetivos traçados para a segunda iteração mantiveram-se os mesmos. Ou seja, investigar a aprendizagem de conteúdos históricos, revisitar conteúdos conceituais sobre reprodução assexual animal; e aprendizagem sobre aspectos de NdC

Assim como os licenciandos da iteração I, os participantes do segundo ciclo possuíam um conhecimento demasiado superficial sobre história da ciência. Esse fato foi percebido logo na primeira aula, quando o doutorando levantou algumas questões sobre conhecimentos prévios acerca de aspectos de NdC e história da biologia.

Tanto os naturalistas, quanto o contexto das “descobertas” dos fenômenos de reprodução por eles pesquisados, eram desconhecidos pelos licenciandos. No entanto, as atividades e recursos instrucionais contextualizados nos episódios históricos permitiu apresentar alguns dos eventos específicos do contexto da história natural do século XVIII, bem como os estudos conduzidos por esses naturalistas.

Similarmente aos resultados obtidos na primeira iteração, os dados analisados do segundo ciclo mostraram melhora significativa referente ao conhecimento sobre o contexto histórico. Houve momentos em que os licenciandos questionaram sobre as dificuldades metodológicas enfrentadas pelos naturalistas; debateram sobre as questões relacionadas ao evento do plágio, abordada na narrativa histórica sobre Trembley; abordaram a relação das teorias de geração dos seres na descoberta dos fenômenos.

Com relação aos conteúdos conceituais, durante essa iteração, alguns licenciandos não recordavam o conceito da partenogênese, explicitamente abordado na atividade do objeto virtual de aprendizagem, na última aula.

Desse modo, foi possível rediscutir o conceito, correlacionar com o contexto da descoberta, inclusive usando de um pouco de anacronismo, a professora supervisora comparou com outros organismos que também possuem tal característica.

No que tange ao último objetivo, a saber: como (ou se) a intervenção promoveu mudanças nas concepções no grupo de licenciandos sobre os aspectos de NdC abordados, houve uma alteração com relação à primeira iteração.

Conforme discutido na seção 6.4, os instrumentos de coleta de dados (pré-teste e pós-teste) foram refinados e modificados por questionários contextualizados em caso histórico e contemporâneo, respectivamente.

Nesse sentido, procurou-se, não apenas compreender as alterações nas concepções de aspectos de NdC, mas também, checar se a SD possibilitaria a extensão do que foi aprendido a situações similares.

Dos aspectos de NdC (pré-teste)

Assim, antes de dar início à Sequência, procurou-se identificar se esses licenciandos já haviam tido contato, aulas e disciplinas envolvendo as temáticas de natureza da ciência e ou ensino por investigação a fim de entender se isso afetaria as respostas do pré-teste. A figura 38 mostra que a maioria dos licenciandos relatou ter tido experiências prévias, tanto com NdC ou EI.

Figura 38. Em (A) a proporção de estudantes que afirmaram ter tido contato com abordagens relativas à NdC e (B), com relação às metodologias de Ensino por Investigação.

Após a leitura do fragmento do caso histórico do pré-teste, os licenciandos assinalaram o seu grau de concordância referente a cada assertiva abordando aspectos específicos de NdC (gráfico 17).

Gráfico 17. Grau de concordância dos licenciandos referentes aos aspectos de NdC, antes da aplicação da SD. Respostas em números absolutos. Legenda: Concordo totalmente (CT); Concordo (C); Nem concordo e nem discordo (NcNd); Discordo (D); Discordo totalmente (DT)

Para esses licenciandos, a interação entre ciência e sociedade ou questões sociocientíficas, são práticas válidas e comuns, como se observa, segundo os graus de concordância referentes as assertivas 1, 8 e 9. Porém, quando questionado sobre as relações entre os cientistas e a sociedade, as respostas indicam que esses licenciandos ou desconhecem ou descartam tal possibilidade (assertiva 7).

Para 70% dos licenciados, os cientistas possuem motivações pessoais para conduzirem suas pesquisas (assertiva 3) e para 80% a colaboração entre os cientistas é uma prática necessária para o desenvolvimento da ciência (assertiva 6). Apenas dois licenciandos acordaram que o acaso (assertiva 4) é capaz de influenciar nas “descobertas”. O aspecto em que os licenciandos apresentaram visão mais adequada se refere à possibilidade das mudanças em ciência, 90% concordaram totalmente e somente um licenciando discordou. Contrariamente, 80% admite que a ciência *não* segue um método único e universal (assertiva 10). Por fim, foi indagado se o uso da história da ciência pode auxiliar ao ensino de NdC. Todos os licenciandos estiveram de acordo, mesmo não tendo uma definição adequada do que significa natureza da ciência, conforme repostas no quadro 91.

Dos aspectos de NdC (pós-teste)

Ao comparar as respostas dos licenciandos, após a condução da SD (pós-teste), foi possível observar mudanças significativas, tanto com relação à percepção do fazer científico, quanto aos aspectos de NdC previamente ressaltados e posteriormente adicionados no caso contemporâneo (gráfico 18).

As análises das assertivas após intervenção (gráfico 18) possibilitaram observar algumas mudanças.

Gráfico 18. Grau de concordância dos licenciandos referentes aos aspectos de NdC, após da aplicação da SD. Respostas em números absolutos. Legenda: Concordo totalmente (CT); Concordo (C); Nem concordo e nem discordo (NeNd); Discordo (D); Discordo totalmente (DT)

Como se pode observar, 70% dos licenciandos passaram a concordar que há, sim, influência do acaso nas “descobertas” (assertiva 5). Todos os licenciandos passaram a admitir que ideias/conceitos científicos são passíveis de mudança (assertiva 6). Sobre o papel das questões sociocientíficas (assertivas 8 e 10) e o trabalho científico, as concepções ou permaneceram estáveis ou tiveram leve melhora. Após a SD, todos os licenciandos passaram a concordar que não há um método científico único na ciência (assertiva 11).

Além dessas questões, foram propostas outras assertivas com o intento de investigar se os conceitos abordados durante a SD seriam aplicados em uma situação atual e autêntica. As quatro primeiras assertivas remetiam tanto ao que foi previamente discutido, quanto ao assunto

do instrumento “pós-teste”. Para 80% desses estudantes, o conhecimento científico requer, tanto estudos sistemáticos quanto validação e acúmulo de evidências (assertivas 4 e 1). Quando questionados sobre a credibilidade das informações e dos veículos midiáticos, menos da metade concordou sobre a influência na tomada de decisões sobre assuntos sócio-científicos (assertivas 2 e 3). Ao final, 90 % dos licenciandos concordaram que um caso contemporâneo, como apresentado brevemente no instrumento pós SD, pode trazer benefícios à aprendizagem de NdC.

O que se pode observar com dados apresentados em ambos os gráficos é uma concepção lúcida, informada no que tange às relações entre a ciência e sociedade. Dado esse que pôde ser reiterado (e mobilizado) após as discussões realizadas na SD.

Esse ponto é extremamente positivo e nos serve de alento, pois não há como desconsiderar os impactos que o desenvolvimento científico proporciona na vida do cidadão. Compreender de que forma a ciência influencia as nossas vidas é assunto de emergência, especialmente no Brasil, onde os índices de “analfabetismo” científico beiram as últimas colocações nos rankings internacionais (OECD, 2018).

De fato, é relevante reforçar de que se faz necessário maiores investigações para entender melhor de que modo a compreensão de aspectos de NdC influi no “alfabetismo” científico. No entanto, a despeito das limitações sobre o impacto da compreensão de NdC, seja na argumentação, seja na tomada de decisões sobre questões sociocientíficas da educação científica contemporânea, é amplamente aceito que, em meio a tanto conteúdo a ser abordado, não se pode mais negligenciar o ensino sobre NdC (KAMPOURAKIS, 2016, p. 668).

Concepção sobre Natureza da Ciência – pré e pós SD: iteração II

Isto posto, o último elemento a ser analisado, trata-se da primeira pergunta aberta dos instrumentos de coleta de dados, antes e após a SD. Foi questionado a compreensão do termo/conceito “natureza da ciência”. O quadro 88 apresenta as rubricas das respostas esperadas e seus respectivos níveis e o quadro 89, as respostas dos licenciandos, antes e após a SD.

Cabe mencionar, também, que o instrumento de coleta de dados final, foi aplicado somente três semanas após a última aula da SD, em conjunto com uma atividade avaliativa da professora Ana Gouw, na Unifesp, campus Diadema.

Esse intervalo é um fator relevante, pois se considerarmos o tempo entre a última aula da SD e a realização do “pós-teste”, podemos inferir que as atividades desta intervenção tiveram um impacto positivo na aprendizagem dos aspectos de NdC, bem como na concepção conceitual do termo, como se pode observar no quadro 89.

Quadro 88. Rubricas das respostas esperadas com relação à questão “o que você entende por natureza da ciência”. Questão inserida antes e após a intervenção no instrumento de coleta de dados

Rubricas	
Nível 3	Espera-se que o estudante argumente que o desenvolvimento científico é uma produção humana; vinculada e influenciada pelo contexto histórico e sociocultural; que ciência possui métodos rigorosos para validação de conhecimentos; que o conhecimento científico é passível de mudanças; que conhecimento científico é a interpretação de fenômenos observados e/ou inferidos; que é uma representação/modelização conceitual do mundo; que o conhecimento científico pode ser empírico e/ou teórico; que o explicações/observações são carregadas de teorias
Nível 2	Espera-se que o estudante argumente que o desenvolvimento científico é produção humana; que é vinculada ao contexto histórico e sociocultural; que ciência possui métodos rigorosos para validação de conhecimentos; que o conhecimento científico é passível de mudanças; que conhecimento científico é interpretação de fenômenos observados
Nível 1	Espera-se que o estudante proponha que o desenvolvimento científico se trata de verdades absolutas; que conhecimento científico é imutável; que conhecimento científico é gerado por método científico único e universal; argumentar que descobertas científicas são obra de <i>insights</i> dos cientistas

Quadro 89. Respostas discursivas com relação à questão “o que você entende por natureza da ciência”. Questão inserida antes e após a intervenção no instrumento de coleta de dados

O que você entende por natureza da ciência?				
Antes da SD			Após a SD	
Estudantes	Respostas	Nível	Categorias/falas	Nível
Est#1.	Estudos que buscam explicar os fenômenos naturais.	1	A natureza da ciência, de uma forma sucinta, seria a organização, a explicação e a contextualização dos conceitos do conhecimento científico.	2
Est#2	Envolve tudo sobre seres vivos e seus sistemas.	1	A natureza da ciência é a relação do conhecimento científico com o contexto no qual é produzido. A ciência não é invulnerável aos acontecimentos ao redor, sendo o conhecimento científico obra humana, ou seja, pertencentes a uma sociedade, há influências culturais, políticas, históricas, econômicas, religiosas, etc., trazendo à ciência suas concepções, crenças e anseios	3
Est#3.	Acredito ser o objeto de estudo da ciência, aquilo que a mesma se esforça por responder, as demandas da sociedade atualmente, porém voltando no tempo essa dedicação era por resolver "mistérios" que não havia ciência que explicava a contento.	2	"Natureza da ciência" é a busca por resolver as questões que fazem parte da vivência humana, para isso o saber científico tem uma série de processos que lhe dão crédito e validam seu conhecimento e postulados.	2
Est#4.	A forma como ela se desenrola, como ela acontece até que se chegue a um conceito final que será ensinado e divulgado.	1	É ver, entender e abordar a ciência, levando em consideração tudo que a envolve e não apenas o resultado final dos estudos, como o contexto histórico da época em questão.	2
Est#5.	Características intrínsecas comuns para várias ciências (química, física, matemática, biologia, dentre outras).	1	Natureza da ciência trata-se de aspectos (sociais, metodológicos, conceituais, etc.) características da ciência.	2
Est#6.	Surgimento, aparecimento no tempo histórico de um evento científico, tal como a sua explicação.	1	Natureza da ciência é o estabelecimento, organização e construção do conhecimento científico.	2

Est#7	O que a caracteriza como tal e a diferencia de outros conhecimentos, suas metodologias, procedimentos e critérios de validação, como ela é influenciada por aspectos sociais, políticos, econômicos, históricos.	2	Entendo por natureza da ciência como ela é construída nos contextos que envolvem o fazer científico: histórico, social, econômico, filosófico, religioso e o cientista em si, ser humano, com desejos, medos, inseguranças, ambições que se relacionam com os outros, que não é neutro em sua observação, que é passível e comete, sim, erros. Como natureza da ciência os elementos que a caracterizam, mas também a diferencia: sua metodologia, seus critérios de validação, como conhecimentos de outras áreas interferem. A relação com a tecnologia (na sociedade atual) com a divulgação e sua apropriação pelas pessoas.	3
Est#8.	A investigação até se chegar a solução de um problema de descoberta de uma causa. Curiosidade, entender o porquê que certo fenômeno ocorreu. Trazer informação de coisas que poucos conhecem.	1	Natureza da ciência é o conjunto de elementos que envolve conhecimento científico, história e filosofia da ciência, além do conteúdo social e cultural a qual a ciência está inserida.	2
Est#9.	A frase natureza da ciência compreende em surgimento, história; início da ciência.	1	Natureza da ciência é entendido como uma ampla explicação sobre os conhecimentos científicos e introduz a história da natureza de cada assunto de maneira didática e verdadeira.	2
Est#10	Que natureza da ciência é adquirir conhecimento de verdades	1	Natureza da ciência é um conjunto de informações que tem por validar algum conhecimento por meio de estudo	2

Inicialmente, 80% desse grupo de licenciandos, possuíam uma visão bastante incongruente e distorcida sobre o que seria natureza da ciência, ainda que tivessem alegado já ter tido contato com NdC e Ensino por Investigação.

Todavia, após as aulas da SD, os licenciandos foram aptos a argumentar de maneira mais lúcida e coerente, inclusive, integrando aspectos científicos e meta-científicos de NdC, como se pode ver nas respostas dos alunos Est#2 e Est#7.

Para fins de síntese, o gráfico 19 representa esquematicamente os níveis nos quais os licenciandos iniciaram a intervenção e as mudanças ocorridas após a SD. Enquanto, as análises descritivas, possibilitam observar qualitativamente a dimensão das alterações na percepção. O nível de articulação e argumentação desse grupo de licenciandos foi significativamente superior ao final da Sequência Didática.

Portanto, cabe alegar que este trabalho pode contribuir positivamente para a compreensão desses futuros professores sobre as práticas e os aspectos que envolvem o fazer científico. A utilização de episódios históricos, recursos e estratégias bem elaboradas, de fato, pode proporcionar oportunidades ricas para o aprendizado *de* e *sobre* ciências (ABD-EL-

KHALICK, 2012; RUDGE et al., 2012; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2016; PAVEZ et al., 2016).

Gráfico 19. Níveis de concepção dos licenciandos, antes e após a SD, referente às ideias sobre a NdC. Quanto mais próximo de três, mais adequadas.

Se for ponderado, assim, que aprender *sobre* ciências inclui a compreensão da história e do desenvolvimento de ideias científicas, a conscientização das interações sociais entre cientistas, tanto dentro da comunidade científica, quanto “fora” por meio das interações socioculturais, políticas, econômicas, etc. (HODSON, 2014b, p. 2250), podemos, sem hesitação, alegar que esses futuros professores estão no caminho certo.

Contudo, a fim de certificar e evitar que as respostas retratassem uma concepção superficial ou meramente descritiva, além das assertivas, foi solicitado aos estudantes que apontassem outros aspectos do fazer científicos (NdC) que conseguissem identificar nos instrumentos de coleta, ou seja, referentes aos casos histórico e contemporâneo.

Apesar de oferecerem exemplos contendo certa coerência, os comentários propostos antes da intervenção foram bastante tímidos e sucintos, como expostos no quadro 90.

Quadro 90. Exemplos de aspectos de NdC identificados no caso histórico. Instrumento de coleta de dados antes da SD

Est#3	Demanda da sociedade
Est#4	Muitas vezes é necessário ter quem se pré-dispõem a participar de pesquisas científicas para um conhecimento maior e de maior abrangência, que pode dar certo ou errado, mas que de qualquer forma norteará a continuidade ou não da pesquisa
Est#5	A interação da ciência com outras áreas é importante para a construção do conhecimento
Est#7	O cientista tem "espírito incansável" na procura de solução
Est#8	Incomodar-se com uma recorrência problemática e buscar o agente para solucioná-la

Esse panorama mudou totalmente após a intervenção com a SD. Pode-se ver que a quantidade de licenciandos capazes de fornecer exemplos foi muito superior, bem como a sofisticação dos argumentos que se mostrou significativamente melhor (quadro 91).

Quadro 91. Exemplos de aspectos de NdC identificados no caso contemporâneo. Instrumento de coleta de após a SD

Est#1.	Um dos aspectos relatado no texto que não encontrei no quadro [das assertivas] é o da ausência de conhecimento popular acerca de conceitos científicos.
Est#2.	Aspectos econômicos, pois grupos de cientistas de diferentes países estudam e pesquisam sobre, tendo suas influências nas comunidades mundiais. Aspectos históricos, pois desde 1974 estuda-se sobre o vírus.
Est#3.	Discussões nas comunidades científicas - essas discussões são parte da natureza da ciência, por se tratar de aspectos referentes a busca pela resposta científica; testes em cobaias - para se chegar à conclusão do estudo; busca e divulgação dos resultados causados pelo vírus Zika faz parte a comunicação.
Est#4.	Discussões na comunidade científica, publicação dos resultados dos estudos em revistas científicas conceituadas.
Est#5.	A ciência trata-se de uma construção puramente humana, dependente do contexto histórico, cultural e social em que ocorre; as descobertas são fruto de muitas colaborações, testes e pesquisas realizadas por diversas pessoas em diferentes épocas. Se o vírus não estivesse afetando a sociedade, ele provavelmente não estaria sendo tão estudado e não haveria a necessidade de todo o trabalho que está sendo realizado por vários pesquisadores de diferentes instituições citadas ao longo do texto.
Est#6.	A credibilidade das informações trazidas pela mídia depende do observador. A mídia tem influência na tomada de decisão, sim, porém não é uma verdade absoluta, e não pode ser tratada como. A interpretação da ciência depende do cientista e de sua pergunta provocadora.
Est#7.	Há forte competição entre os cientistas como em qualquer outra área, um indo nas lacunas metodológicas dos outros, quem não quer o "status" de descobridor, pioneiro. Há os desejos, ambições, inveja.
Est#8.	Uma socialização maior das pesquisas científicas; A interferência da mídia que muitas vezes leva ao pânico; a apresentação histórica da descoberta do vírus; o apoio dos cientistas nas diversas pesquisas apresentadas no Brasil e outros países; as linhas diferentes de pesquisas para se chegar à vacina
Est#9.	Um aspecto relacionado a natureza da ciência no texto é o primeiro parágrafo introdutório, onde o autor explica a origem das pesquisas e os primeiros resultados sobre o vírus.

Além de explicitarem os aspectos, alguns estudantes conseguiram associá-los adequadamente ao contexto do caso contemporâneo, por exemplo: “*Aspectos econômicos, pois grupos de cientistas de diferentes países estudam e pesquisam sobre, tendo suas influências nas comunidades mundiais. (Est#2).* Ou “*Se o vírus não estivesse afetando a sociedade, ele provavelmente não estaria sendo tão estudado[...] (Est#5) ”.*

Frente a esses indícios, devemos considerar que a comunhão entre episódios da história da biologia e estratégias de ensino por investigação podem preparar um terreno fértil para a aprendizagem de NdC (ALLCHIN, 2014a).

Entretanto, a despeito das limitações inerentes a esse estudo, tais como: público-alvo restrito ou à quantidade de iterações conduzidas, não se pode deixar de especular que os resultados obtidos aqui retratam a eficiência da utilização dessa Sequência Didática.

8.10. Dos Princípios de Design, refino e readequação: protótipo II

Como já discutido nesta tese, o referencial teórico e metodológico do DBR tem, entre suas características, a construção de Princípios de Design, isto é, os critérios que uma intervenção de ensino deve possuir, para que os objetivos de aprendizagem sejam alcançados de forma significativa (AKKER et al., 2007).

Entretanto, além do principal objetivo de beneficiar o usuário final (estudantes), a versatilidade do DBR como metodologia de pesquisa em ensino, permite avaliar todo o processo iterativo e, assim, levar à compreensão da sua funcionalidade, bem como os pontos positivos ou negativos. Um importante benefício dessa abordagem é o fato de essa avaliação panorâmica possibilitar a especulação e inferência de novas teorias de aprendizagem direcionadas aos objetivos educacionais previamente traçados.

Nesse sentido, com a iteração do segundo protótipo foi possível indicar algumas características candidatas à princípios de design, considerados desde a primeira aplicação, enquanto outros deverão ser alvo de refino. Ademais, novos princípios puderam ser propostos e colocados à mercê de outras iterações, a fim de avaliar, tanto a sua eficiência, quanto a possibilidade de descarte ou refino. Assim, listou-se a seguir, alguns elementos sugeridos após duas seguidos ciclos de prototipagem.

- ✓ Instrumentos de concepções prévias de NdC: para a segunda iteração, propusemos um novo estilo de avaliação de concepções prévias de NdC: questionários contextualizados com trechos de caso histórico (pré-teste) e caso contemporâneo (pós-teste). O instrumento foi capaz de fornecer dados suficientes para compreender a visão dos licenciandos. No entanto, um dos métodos de análise (escala de likert) é um fator que merece refino. Pois, a despeito de sua eficácia, o nível de complexidade de análise pode se tornar um elemento desfavorável ao instrutor. A atenção a este quesito, reside no fato da possibilidade de estender essa SD a contextos similares de ensino. Desse modo, a avaliação de concepções prévias, apesar de flexível, deve ser um critério robusto.
- ✓ “Replicação de experimento histórico”: como observado na primeira iteração, a prática com as hidras é a atividade de maior engajamento e motivação entre os participantes. Devido, em partes, ao caráter investigativo livre. Além disso, foi possível explorar, tanto habilidades da prática científica, quanto aspectos de NdC relativos à investigação. Todavia, ao confrontar com um dos objetivos da atividade, isto é, os estudos de reprodução assexuado, a meta ficou abaixo da expectativa, sendo um fator que merece refino. Assim se recomenda orientações mais específicas e explícitas à atividade. Ou seja, a “replicação” pode se restringir apenas ao aspecto reprodutivo do organismo.

Apesar dessa limitação ser contrária aos propósitos da investigação aberta, certo grau de controle pode ser necessário, pois a meta principal deve ser sempre a aprendizagem do estudante.

- ✓ Desmembramento ou encurtamento das narrativas históricas e perguntas sobre NdC: este Princípio de Design é mera sugestão, com intuito de ampliar as possibilidades de utilização do material instrucional, que se mostrou deveras eficaz, em ambas as iterações.
- ✓ Momentos de discussões explícitas e reflexivas sobre aspectos de NdC: na concepção do autor desta tese, este se trata do Princípio de Design mais relevante e digno de atenção da SD. Relevante, pois foi possível notar claramente, a mudança no desempenho final dos licenciandos da segunda iteração, com o aumento de discussões mais focadas e explícitas sobre NdC. Digno de atenção, pois a compreensão do assunto pelo instrutor, de fato, refletiu na diferença dos resultados. Assim, a intervenção do professor/instrutor, com momentos livres para discussão e reflexão é mister para a compreensão dos licenciandos sobre NdC.
- ✓ Destaque às práticas de investigação: tanto a atividade de “replicação”, quanto as narrativas históricas buscaram enfatizar práticas de investigação científica, como, o papel da observação e inferência, natureza experimental, proposição de explicações alternativas, papel da carga teórica, etc. Desse modo, além de fomentar o engajamento e motivação dos licenciandos, a criação de ambientes de investigação possibilitou a exploração dos aspectos de NdC ligados a essas práticas, subsidiando também, habilidades ligadas a essas práticas.

✓ Fontes de coleta de dados: o último princípio de design diz respeito ao caráter metodológico da pesquisa. Como uma SD planejada para espaços limitados e específicos, a metodologia qualitativa foi eficaz aos propósitos estabelecidos. No entanto, para aumentar o rigor das análises é recomendado que a coleta de dados seja diversa. Para tal, dentre as sugestões, cita-se a captura de áudio e transcrição das discussões; notas de campo e observação participante. Com isso, é possível acompanhar todo o processo de discussão e raciocínio dos estudantes.

Isto posto, sistematizando esses Princípios de Design, segundo a representação estrutural do DBR, podemos considerar o modelo proposto no quadro 95.

“Se você quer projetar uma (intervenção de design X) para o (propósito ou função Y1, Y2, Yn...) no (contexto Z), devido aos (argumentos P, Q) é aconselhado que... (‘Princípios de design’)”

Quadro 92. Modelo DBR para elaboração de princípios de design da SD

Variáveis	Componentes
Intervenção X	SD que conjuga episódios da história da biologia e ensino por investigação
Propósito ou função Y1	Promover concepções adequadas de aspectos da Natureza da Ciência
Propósito ou função Y2	Subsidiar habilidades de práticas de investigação científica
Propósito ou função Y3	Ofertar discussões da história e filosofia da ciência na formação inicial docente
Contexto Z	Disciplinas voltadas à formação inicial de professores de Biologia
Argumento P	Desenvolver estratégias de ensino-aprendizagem contextualizadas e centradas nos estudantes (licenciandos) como participantes ativos
Argumento Q	Diversificar estratégias alternativas para o ensino de NdC e reforço sobre conteúdos de reprodução animal
Princípios de Design	Avaliar concepções prévias com instrumentos contextualizadas; utilizar materiais instrucionais contextualizados em episódios históricos estruturados em práticas de investigação (replicação de experimento histórico; narrativas históricas e similares; propor momentos de discussão explícitas e reflexivas sobre NdC; enfatize práticas de investigação como fator de engajamento; diversificar instrumentos de coleta e análise de dados (avaliação formativa).

Fonte: Adaptado de (AKKER, 1999; AKKER et al., 2007; SARMENTO et al., 2013b)

Certamente, há uma profusão de características, - os princípios de design - entremeadas na SD que são meritórias de revisão e refino, a fim de alcançar um estágio mais adequado possível. Posto que nosso intento é permitir que o recurso desenvolvido possa ser estendido a contextos similares de ensino. Além disso, que possa proporcionar aos futuros professores, um outro olhar sobre a forma como a ciência funciona e como os seus produtos e serviços impactam a vida da sociedade.

Porém, após os dois ciclos iterativos e de prototipagem da SD, pudemos extrair e estabelecer, com certo grau de confiança, os Princípios de Design, isto é, as características que podem ter contribuído para a compreensão dos aspectos de NdC abordados na nossa intervenção de ensino. Todavia, novas aplicações se fazem necessárias, se possível, com amostragem maior de participantes, a fim de fortalecer tais princípios e intensificar a robustez da SD.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando esbocei o primeiro rascunho daquilo que, posteriormente, se tornaria os primórdios desta tese, a principal (ou talvez, única) preocupação era propor algum tipo de material que auxiliasse, de alguma forma, o ensino de ciências. Logo de início, percebi que o desenvolvimento de produtos educacionais, embora possam ser incluídos, não constituem uma pesquisa de doutorado. Era preciso agregar pesquisa.

A revisão da bibliografia de pesquisa em ensino de ciências, somada a estudos prévios, ofereceram um contexto mais amplo e aprofundado sobre a educação científica no nosso país que, por fim, ditaram os rumos do trabalho final.

A pesquisa em história da ciência, confesso, foi um deleite. Mesmo com todo o labor de analisar trabalhos em idioma não nativo e consumindo horas no processo de interpretação, conhecer pessoalmente o percurso histórico e os eventos que acarretaram nas “descobertas” foi um prazer incomensurável, ao menos para este que vos escreve.

Os trabalhos que envolveram a pesquisa empírica no ensino, mais tortuosos, demandaram diferentes ciclos, pois foi preciso rever alguns dos procedimentos metodológicos durante o seu desenvolvimento. Por fim, acreditamos ter encontrado um caminho adequado, a DBR, que passou a orientar melhor o desenvolvimento tanto das estratégias de ensino e de elaboração dos recursos da SD, quanto ao olhar da pesquisa empírica.

Do ponto de vista pessoal, os resultados provenientes de ambos os lados, a pesquisa histórica e a pesquisa empírica sobre o uso de episódios históricos no ensino, nos trouxeram a satisfação de encontrar resultados gerais positivos com relação aos objetivos traçados.

Do ponto de vista acadêmico, algumas considerações finais podem ser retomadas aqui. Os dois episódios históricos, apresentados nos capítulos 2 e 3, fornecem um aprofundamento histórico e detalhado para que o docente possa desenvolver o tema com seus alunos e foram publicados como capítulos de livros em 2017 e 2018⁷⁸.

Para os alunos, os mesmos episódios foram recontextualizados em narrativas com interrupções para pensar sobre aspectos de Natureza da Ciência, compondo materiais instrucionais da SD desenvolvida, aplicada e analisada na presente tese⁷⁹.

⁷⁸ Com algumas modificações, o primeiro episódio histórico desta tese foi publicado em 2017, em capítulo intitulado “O enigma dos pulgões”, do livro *Histórias das Ciências, Epistemologia, Gênero e Arte: Ensaios para a Formação de Professores* (FORATO; MOURA, 2017). O segundo episódio histórico foi publicado como capítulo intitulado: “Abraham Trembley (1710-1784) and the creature that defies classification: nature of science and inquiry through a historical narrative”, no livro: *Teaching science with context: historical, philosophical, and sociological approaches* (PRESTES; CELESTINO SILVA, 2018).

⁷⁹ Uma versão modificada da narrativa sobre Trembley foi publicada como artigo intitulado “Abraham Trembley (1710-1784) e a criatura que desafiou a classificação”, no *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, v. 10, n. 4, 2016 (BERÇOT; PRESTES, 2016).

Tanto os capítulos históricos quanto as narrativas da SD, exploraram os episódios ressaltando o próprio conteúdo histórico e também conteúdo meta-científico. Com esses materiais, para professores e alunos, a tese contribui com materiais sobre episódios relevantes da história da biologia para serem utilizados no ensino de ciências e biologia.

No que tange aos propósitos de fornecer estratégias alternativas à formação inicial de professores de biologia, a saber, a aula expositiva-dialogada, a narrativa histórica, a replicação de experimento histórico e a narrativa histórica virtual (Objeto Virtual de Aprendizagem) mostraram-se atraentes e motivadoras da atenção dos licenciandos, que se mantiveram atentos e engajados durante todas as atividades, de todas as aulas. Além disso, das estratégias diferenciadas, merecem destaque:

- ✓ A atividade “replicação física de experimento histórico”, apesar de um pouco restrita em termos de tempo, criou um ambiente de investigação e engajamento aos licenciandos.
- ✓ A atividade “narrativa histórica”, entremeada com as questões de investigação e NdC, corroborou os dados da literatura, no que concerne os aspectos de envolver os estudantes para a história. Porém, foi um pouco mais além, ao promover o aprendizado de aspectos históricos e de NdC.

Especificamente ao que concerne aos objetivos de aprendizagem, seja em relação ao desenvolvimento de concepções informadas de natureza da ciência, seja de aprendizagem sobre tipos de reprodução que atualmente integram conteúdo científico de currículos de ciências e biologia, seja do contexto histórico em que esses conhecimentos foram produzidos, os dois ciclos iterativos ofereceram resultados positivos em vários quesitos:

- ✓ A abordagem histórica contribuiu diretamente para a compreensão do percurso de estudos que revelaram formas de reprodução assexual, componente importante do conteúdo científico de cursos de ciências e biologia da escola básica.
- ✓ A abordagem histórica também contribuiu para que os licenciandos conhecessem aspectos do arcabouço epistêmico e do momento sociocultural e religioso do século XVIII.
- ✓ A comparação realizada entre os instrumentos de coleta de dados aplicados antes e após os dois protótipos (pré e pós-testes), juntamente com os demais dados coletados ao longo das iterações, mostrou melhora significativa na maioria dos aspectos de natureza da ciência abordados na SD. À exceção do aspecto “papel dos experimentos científicos”, cuja visão permaneceu com viés empírico-indutivista, demais elementos como: práticas da investigação científica (carga teórica na observação e

inferência; levantamento de hipóteses), “o papel da criatividade e imaginação”, “as relações entre ciência e sociedade”, “o papel da colaboração” foram explicitamente observados e mostraram mudanças na concepção da maior parte dos participantes.

Por outro lado, alguns fatores que merecem atenção e ajuste em futuras iterações também podem ser indicados:

- ✓ Ainda se faz necessário encontrar um padrão para o número de aulas e/ou organização das atividades com relação ao tempo em classe. De fato, apesar de a flexibilidade ser uma característica chave às Sequências Didáticas, é importante indicar tempo mínimo de cada atividade, para que as novas iterações sejam semelhantes e permitam obter resultados mais padronizados que possam conduzir à generalização situada.
- ✓ Outro aspecto que merece readequação é a extensão da narrativa histórica. Como exposto anteriormente, na seção 5.1.2 do capítulo cinco e segundo os objetivos de aprendizagem que o docente definir para suas aulas, podem ser utilizados apenas trechos das duas narrativas.

Quanto aos princípios de design elaborados com as duas iterações, ou seja, as características que possibilitam a funcionalidade da intervenção em contextos similares de ensino, foram encontrados:

- ✓ “Replicação física de experimento histórico”: a atividade investigativa com as hidras foi o recurso de maior engajamento e motivação entre os participantes. Devido, em partes, ao caráter investigativo livre. Foi possível explorar habilidades da prática científica e aspectos de NdC. Todavia, ao confrontar com um dos objetivos da atividade, isto é, os estudos de reprodução assexuado, a meta ficou abaixo da expectativa, sendo um fator que merece refino. Assim, recomendamos orientações mais específicas e explícitas à atividade. Ou seja, a “replicação” pode se restringir apenas ao aspecto reprodutivo do organismo. Apesar dessa limitação ser contrária aos propósitos da investigação aberta, certo grau de controle pode ser necessário, pois a meta principal deve ser sempre a aprendizagem do estudante.
- ✓ Momentos de discussões explícitas e reflexivas sobre aspectos de NdC: este foi o Princípio de Design mais relevante e digno de atenção da SD. Relevante, pois foi possível notar claramente, a mudança no desempenho final dos licenciandos da segunda iteração, com o aumento de discussões mais focadas e explícitas sobre NdC. Digno de atenção, pois a compreensão do assunto pelo instrutor, de fato, refletiu na diferença dos resultados. Assim, a intervenção do professor/instrutor, com

momentos livres para discussão e reflexão é mister para a compreensão dos licenciandos sobre NdC.

- ✓ Destaque às práticas de investigação: tanto a atividade de “replicação”, quanto as narrativas históricas buscaram enfatizar práticas de investigação científica, como, o papel da observação e inferência, natureza experimental, proposição de explicações alternativas, papel da carga teórica na observação e inferência, etc. Desse modo, além de fomentar o engajamento e motivação dos licenciandos, a criação de ambientes de investigação possibilitou a exploração dos aspectos de NdC ligados a essas práticas, subsidiando também, habilidades ligadas a essas práticas.

Entre os pressupostos metodológicos da Pesquisa Baseada em Design está a realização da repetição de uma intervenção didática (ciclos iterativos), com a manutenção de alguns aspectos e a variação de outros. Contudo, apesar de conduzirmos duas fases iterativas com protótipos refinados e readequados, é preciso salientar que os princípios de design aqui alcançados necessitam, para alcançar a robustez prevista na DBR, passar a uma etapa de pesquisa quantitativa, determinada por novas iterações que possuam número maior de participantes e análise comparativa a resultados obtidos em aulas tradicionais sobre o tema, funcionando como grupo controle.

Todavia, mediante o fato de ter sido desenvolvida uma intervenção didática original, utilizando episódios de história da biologia por meio de estratégias de ensino diferenciadas e atividades baseadas no ensino por investigação, os resultados de aprendizagem para os três objetivos pretendidos (histórico, científico e metacientífico) obtidos na SD fornecem indícios que nesta etapa qualitativa da DBR, os resultados alcançados foram positivos e possibilitaram a elaboração de princípios de design adequados para seguir à análise quantitativa final.

Ademais, apesar de a relação entre a história da ciência e ensino não ser novidade⁸⁰, o presente trabalho apresenta contribuições de relevância na interface história da ciência, porém, ao ainda incipiente campo da história da biologia e ensino de ciências.

A despeito de todos os esforços na produção deste trabalho e de suas limitações, temos confiança, com base nos dados levantados, de que o investimento em pesquisa é o caminho necessário a fim de contribuir para a melhoria do cenário de ensino e aprendizagem, a começar

⁸⁰ Esse fenômeno pode ser observado em uma meta-análise, realizada entre os anos de 1940 e 2008. Teixeira, Greca e Freire (2012) conduziram uma revisão sistemática e crítica relativo aos trabalhos publicados envolvendo história e filosofia da ciência no ensino de física. Após estabelecidos critérios de análise e exclusão, os resultados apontaram um total de 152 artigos publicados no período, com acentuado crescimento a partir do final dos anos 1990 (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2012, p. 776).

pelo que acreditamos ser a base da educação: a excelência na qualidade da formação de professores.

RESUMO

BERÇOT, Filipe Faria **História da biologia e natureza da ciência na formação inicial de professores: uma Sequência Didática sobre reprodução animal no século XVIII nos estudos de Charles Bonnet e Abraham Trembley**. 2018. 347 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018

Esta tese consiste da elaboração, validação, aplicação e avaliação de uma Sequência Didática (SD) para licenciandos de Ciências Biológicas, baseada em Ensino por Investigação (EI) e Pesquisa Baseada em *Design* (DBR, sigla do termo em inglês, *Design Based Research*), que utiliza episódios da História da Biologia do século XVIII, com os objetivos gerais de promover conhecimentos históricos específicos (conteúdo histórico), revisitar conceitos dos tipos de reprodução animal (conteúdo científico) sob a perspectiva de sua aplicação didática e promover concepções informadas sobre a Natureza da Ciência (NdC). Os episódios históricos foram orientados nas investigações de reprodução animal realizados pelos naturalistas genebreses Charles Bonnet (1720-1793) e Abraham Trembley (1710-1784) que culminaram no reconhecimento de modos de reprodução assexual, alguns deles desconhecidos até então. Ao estudar espécimes de afídeos, popularmente conhecido como “pulgões”, Bonnet identificou e descreveu a “multiplicação sem acasalamento” (partenogênese). Ao estudar os “pólipos de água doce” (hidra, do grupo dos cnidários), Trembley descreveu a reprodução por regeneração e brotamento. Com base nos métodos de pesquisa da História da Ciência, esses conteúdos históricos são apresentados em capítulos específicos a fim de oferecer o contexto mais amplo da pesquisa com seres vivos no século XVIII. O conteúdo histórico subsidiou a criação de materiais instrucionais que resultaram em produtos educacionais da presente tese. O primeiro deles são Narrativas Históricas, estruturadas segundo o Ensino por Investigação, em que o conteúdo é organizado a partir das próprias questões de pesquisa Trembley e Bonnet, utilizando linguagem coloquial e posicionando o leitor/aluno no contexto de pesquisa da época. O enredo é ainda entremeado de momentos para pensar (THINK), que provocam interrupções para a discussão de aspectos da natureza da ciência mais diretamente envolvidos. O segundo recurso instrucional desenvolvido se trata de protótipos de um Objeto Virtual de Aprendizagem sobre os estudos de Bonnet com reprodução em pulgões. O terceiro, um roteiro de condução de Replicação Física de Experimentos Históricos, com estudos de Abraham Trembley sobre os pólipos de água doce. Esses materiais instrucionais e as estratégias para sua aplicação junto a estudantes integram uma SD planejada, implementada e analisada segundo a Pesquisa Baseada em *Design* (DBR). A abordagem DBR se concretiza por aplicações sucessivas, chamadas “iterações”, de versões da SD, chamadas “protótipos”, de cujas análises são extraídos Princípios de *Design* que devem nortear não apenas o refinamento da SD ao longo das iterações em curso, como oferecer parâmetros, tanto teóricos quanto práticos, para a construção de novas SDs, em contextos semelhantes de ensino. A SD elaborada nesta pesquisa passou por duas validações e duas iterações. A primeira validação foi realizada por quatro professores da escola básica participantes do Laboratório de História da Biologia e Ensino do IB-USP, em 2015. A segunda validação foi realizada por especialistas da pesquisa de interface entre história e filosofia da ciência e ensino, da Universidade de Buenos Aires e Instituto, Buenos Aires, Argentina, em 2017. A primeira iteração da SD foi realizada com dez licenciandos matriculados na disciplina

optativa livre Estratégias para o Ensino de Genética e Evolução no Ensino Médio, do curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), no 2º semestre de 2015. A segunda, com 10 licenciandos da disciplina de Prática Pedagógica em Biologia I, do curso de Licenciatura em Ciências, habilitação em Ciências Biológicas, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), campus de Diadema, no segundo semestre de 2016. Em ambos os casos, foi apresentado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aos participantes da pesquisa. Os instrumentos de coleta de dados compreenderam observação do pesquisador, gravação de áudio das atividades, produções dos alunos, questionários e entrevistas. Para a análise, preponderantemente qualitativa, foi realizada triangulação dos dados coletados e comparação com rubricas previamente validadas e estabelecidas, com o objetivo de determinar as variáveis relevantes na promoção da aprendizagem dos conteúdos metacientíficos e científicos abordados na SD e no delineamento de indicadores para proposição de Princípios de *Design*. Os resultados deste trabalho, coletados por meio de ciclos iterativos de protótipos de uma SD fundamentados pelo DBR, permitem concluir que a associação entre episódios da história da biologia, natureza da ciência e ensino por investigação é uma estratégia eficiente para a promoção de aspectos relacionados ao fazer científico em disciplinas da formação inicial docente. Para aumentar a robustez dos Princípios de Design construídos nesta tese, novos ciclos de iteração, com número crescente alunos e cenários, são recomendados.

Palavras-chave: Sequência Didática; História da Biologia; Natureza da Ciência; Pesquisa Baseada em Design; Charles Bonnet; Abraham Trembley; reprodução animal

ABSTRACT

BERÇOT, Filipe Faria. **History of biology and nature of science in preservice teacher training: a teaching learning sequence on animal reproduction in the Eighteenth century in the studies of Charles Bonnet and Abraham Trembley**. 2018. 347 p. Dissertation (PhD in Sciences) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018

This dissertation comprises of the elaboration, validation, application and evaluation of a Teaching Learning Sequence (TLS) aimed at preservice teachers of Biological Sciences, structured on Inquiry learning (EI) and Design Based Research (DBR) and based on episodes from the History of Biology of the eighteenth century. The main objectives of this dissertation are to promote specific historical knowledge (historical content), to review concepts of animal reproduction (scientific content) from the perspective of its didactic application and to foster informed conceptions about Nature of Science (NOS). The historical episodes were based in the studies on animal reproduction carried out by the naturalists Charles Bonnet (1720-1793) and Abraham Trembley (1710-1784) who culminated in the understanding of modes of asexual reproduction, some of them unknown until then. When studying specimens of aphids, popularly known as "aphids", Bonnet was able to identify and to describe the phenomenon of "multiplication without mating" (parthenogenesis). Abraham Trembley, when collecting and isolating water insects, observed a kind of creature, later named "freshwater polyps" (hydra, from the group of cnidarians). Their studies on hydra culminated on "discovery" of reproduction by regeneration and budding. Besides, based on research methods of History of Science, the historical contents were developed and presented in specific chapters in order to offer the broader context of research on living beings in the eighteenth century. Also, the historical content might subside the creation of instructional resources - the educational products of this dissertation. The first one are Historical Narratives, textual resources structured according to Inquiry learning, whose content is organized using problems from the very studies of Trembley and Bonnet, using colloquial language and positioning the reader/student in the research context of the time. The plot is still interspersed with THINK questions, which are specific break moments in order to discuss explicitly aspects of NOS most directly involved. The second resource are prototypes of a Virtual Learning Object based on Bonnet studies about reproduction in aphids. The third one, is a script of Physical Replication of Historical Experiments, about Abraham Trembley's studies on freshwater polyps. These instructional resources and didactical strategies compose a TLS, implemented, validated and analyzed according to the Design-Based Research (DBR). The DBR approach is a methodological and theoretical framework implemented through successive applications, or "iterations" of TLS versions (prototypes), after cycles of data analysis are extracted Design Principles that should guide not only the refinement of TLS during the ongoing iterations, as helping to create parameters, both theoretical and practical, for the construction of new TLS, in similar teaching contexts. The TLS elaborated in this research underwent two validations and two iterations. The first one was carried out by four primary high school teachers' members of the Laboratory of History of Biology and Teaching of Institute of Biosciences - USP in 2015. The second one was carried out by specialists on history and philosophy of science and teaching of the University Buenos Aires, Argentina, in 2017. The first iteration of the TLS was applied and evaluated with

ten undergraduates enrolled in the elective course, Strategies for Teaching Genetics and Evolution in High School, of the Biological Sciences course of the Institute of Biosciences of the University of São Paulo (IB-USP), in 2015. The second one, applied on ten preservice teachers enrolled on the discipline of Pedagogical Practice in Biology I, with preservice teachers at Federal University of São Paulo (UNIFESP), Diadema, in 2016. In both cases, a Free and Informed Consent Form (TCLE) was administered and signed by the research participants. The instruments of data collection of the TLS prototypes included participative observation, audio recording of activities and strategies, student productions, questionnaires and interviews. Due the predominantly qualitative analysis, the collected data were triangulated and compared to validated and established rubrics, in order to determining the relevant variables in the promotion of the learning of the meta-scientific and scientific content addressed in the TLS and the delineation of indicators for proposition Principles of Design. The results of this work, collected through iterative cycles of TLS prototypes, allow to conclude that the association between episodes of the history of biology, nature of science and Inquiry learning is an efficient strategy for the promotion of NOS aspects related to make scientific in disciplines of initial teacher training. Nevertheless, in order to increase the robustness of the Design Principles proposed in this dissertation, new iteration cycles, if possible increasing the amount of participants and similar educational scenarios, are recommended.

Keywords: Teaching Learning Sequence; History of Biology; Nature of Science; Design Based Research; Charles Bonnet; Abraham Trembley; asexual animal reproduction

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fontes primárias da pesquisa histórica

BONNET, C. **Traite d'insectologie ou Observations sur les Pucerons**. Paris, France: Chez Durand, 1745.

_____. **Oeuvres d'Histoire Naturelle et de Philosophie**. Neuchâtel: Chez Samuel Fauche: Librairie du Roi, 1779. v. Tome second

RÉAUMUR, R.-A. F. DE. **Memoires pour servir a l'histoire des insectes**. [s.l.] A Paris: De l'imprimerie royale, 1734. v. Tome Premier

_____. **Memoires pour servir a l'histoire des insectes**. [s.l.] A Paris : De l'imprimerie royale, 1737. v. Tome trois

_____. **Memoires pour servir a l'histoire des insectes**. [s.l.] A Paris : De l'imprimerie royale, 1742. v. Tome sixieme

TREMBLEY, A. et al. **Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes**. [s.l.] A Leide : Chez Jean & Herman Verbeek, 1744.

_____. **Instructions d'un père à ses enfans sur la nature et sur la religion**. Geneve: Societé Royale de Londres, 1779.

Demais fontes:

ABD-EL-KHALICK, F. Teaching With and About Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2087–2107, 2012.

ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; LEDERMAN, N. G. The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. **Science Education**, v. 82, n. 4, p. 417–436, jul. 1998.

ABD-EL-KHALICK, F.; BOUJAOUDE, S.; DUSCHL, R.; LEDERMAN, N. G.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; NIAZ, M.; TREAGUST, D.; TUAN, H. L. Inquiry in science education: International perspectives. **Science Education**, v. 88, n. 3, p. 397–419, 2004.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. **Journal of research in science teaching**, v. 37, n. 37, p. 1057–1095, 2000.

ABD-EL-KHALICK, F.; AKERSON, V. The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 16, p. 2161–2184, 2009.

ABDEL MEGUID, E.; COLLINS, M. Students' perceptions of lecturing approaches: traditional versus interactive teaching. **Advances in medical education and practice**, v. 8, p. 229–241, 2017. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28360541>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

ABELL, S. K.; SMITH, D. C. What Is Science?: Preservice Elementary Teachers' Conceptions of the Nature of Science. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 4, p. 475–487, 23 jul. 1994.

ABOU-NEMEH, C. Réaumur's Crayfish Experiments in Hartsoeker's Système : Regeneration and the Limits of Mechanism. In: NACHTOMY, O.; SMITH, J. E. H. (Ed.). **The Life Sciences in Early Modern Philosophy**. New York: Oxford University Press, 2014. p. 274.

ACEVEDO-DÍAZ, J. A.; GARCÍA-CARMONA, A.; ARAGÓN, M. del M. La controversia Pasteur vs. Pouchet sobre la generación espontánea: un recurso para la formación inicial del profesorado en la naturaleza de la ciencia desde un enfoque reflexivo. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, n. 4, p. 913–933, 2016.

ADÚRIZ-BRAVO, A. The Use of Short Stories in Research-Informed Design, Implementation and Evaluation of Science Narratives. In: Second International Conference on Story in Science Teaching, Munich, Germany. **Anais...** Munich, Germany: 2008.

ADÚRIZ-BRAVO, A. La naturaleza de la ciencia “ambientada” en la historia de la ciencia. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Número exrta VIII, p. 1177–1180, 2009.

ADÚRIZ-BRAVO, A. Use of history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education. In: KOKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S.; RIZAKI, A. A. (Ed.). **Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom**. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2011. p. 195–204.

ADÚRIZ-BRAVO, A. Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. **Interchange**, v. 45, n. 3–4, p. 167–184, 2015.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. Una propuesta para estructurar la enseñanza de

la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. **Enseñanza de las ciências**, v. 20, n. 3, p. 465–476, 2002.

AKERSON, V. L.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 4, p. 295–317, abr. 2000.

AKKER, J. van den. Principles and Methods of Development Research. In: VAN DEN AKKER, J.; BRANCH, R. M.; GUSTAFSON, K.; NIEVEEN, N.; PLOMP, T. (Ed.). **Design Approaches and Tools in Education and Training**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1999.

AKKER, J. van den; BANNAN, B.; KELLY, A. E.; NIEVEEN, N.; PLOMP, T. An Introduction to Educational Design Research. (T. Plomp, N. Nieveen, Eds.) In: Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai, PR China. **Anais...** Shanghai, PR China: Netzdruk, Enschede, 2007.

AKKER, J. van den; BANNAN, B.; KELLY, A.; PLOMP, T.; NIEVEEN, N. **Educational Design Research: An Introduction**. Enschede, the Netherlands: SLO. Netherlands institute for curriculum development, 2013.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179–195, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/B%3ASCED.0000025563.35883.e9>>.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518–542, 2011.

ALLCHIN, D. The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. **Science and Education**, v. 21, n. 9, p. 1263–1281, 2012a.

ALLCHIN, D. Teaching the nature of science through scientific errors. **Science Education**, v. 96, n. 5, p. 904–926, 2012b.

ALLCHIN, D. **Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources**. Saint Paul, Minnesota: SHIPS Educational Press Saint Paul, 2013.

ALLCHIN, D. The Episodic Historical Narrative as a Structure to Guide Inquiry in Science and Nature of Science Education Douglas Allchin University of Minnesota. In: 10th International Conference on History of Science & Science Education, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: 2014a.

ALLCHIN, D. From Science Studies to Scientific Literacy: A View from the Classroom. **Science and Education**, p. 1–22, 2014b.

ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice. **Science Education**, v. 98, n. 3, p. 461–486, 2014.

ALLEN, D.; TANNER, K. Rubrics: tools for making learning goals and evaluation criteria explicit for both teachers and learners. **CBE life sciences education**, v. 5, n. 3, p. 197–203, 2006.

AMIEL, T.; REEVES, T. C. Design-Based Research and Educational Technology: Rethinking Technology and the Research Agenda. **Educational Technology & Society**, v. 11, n. 4, p. 29–40, 2008.

ANDERSON, T.; SHATTUCK, J.; BROWN, A. Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? **Educational Researcher**, v. 41, n. 1, p. 16–25, 2016.

ANDRADE, H. G. Teaching with Rubrics: The Good, the Bad, and the Ugly. **College Teaching**, v. 53, n. 1, p. 27–30, 2005.

ANDRADE, H. L.; DU, Y.; WANG, X. Putting Rubrics to the Test: The Effect of a Model, Criteria Generation, and Rubric-Referenced Self-Assessment on Elementary School Students' Writing. **Educational Measurement: Issues and Practice**, v. 27, n. 2, p. 3–13, 20 maio 2008.

ANDRÉ, M.; GATTI, B. A. Métodos Qualitativos de Pesquisa em Educação no Brasil: origens e evolução. In: Simpósio Brasileiro- Alemão de Pesquisa Qualitativa e Interpretação de Dados, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: 2008.

ARMBRUSTER, P.; PATEL, M.; JOHNSON, E.; WEISS, M. Active learning and student-centered pedagogy improve student attitudes and performance in introductory biology. **CBE life sciences education**, v. 8, n. 3, p. 203–13, 2009a.

ARMBRUSTER, P.; PATEL, M.; JOHNSON, E.; WEISS, M. Active Learning and Student-centered Pedagogy Improve Student Attitudes and Performance in Introductory Biology. **Life Sciences Education**, v. 8, p. 203–213, 2009b.

ARTIGUE, M. Ingénierie didactique : quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui ? **Les dossiers des sciences de l'éducation**, v. 8, n. 1, p. 59–72, 2002.

- AZEVEDO, N. H.; SCARPA, D. L. Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 2, p. 579–619, 2017.
- BAKER, A. “Precision,” “Perfection,” and the Reality of British Scientific Instruments on the Move During the 18th Century. **Material Culture Review / Revue de la culture matérielle**, v. 74, 1 jan. 2012. Disponível em: <<https://journals.lib.unb.ca/index.php/MCR/article/view/20446/23601>>. Acesso em: 4 jul. 2018.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo [1970]**. Edições 70 ed. [s.l.: s.n.]
- BARGAGLI, F. **Bollettino della Società entomologica italiana**. Firenze, Itália: Genova: Fratelli Pagano - Tipografi Editori, 1869.
- BASTOS, F. Construtivismo e o ensino de ciências. In: NARDI, R. (Ed.). **Questões atuais no ensino de ciências**. Segunda ed ed. São Paulo, SP: Escrituras, 2015. p. 106.
- BELEI, R. A.; GIMENIZ-PASCHOAL, S. R.; NASCIMENTO, E. N.; MATSUMOTO, P. H. V. R. O uso de entrevista, observação e videogravação em pesquisa qualitativa. **Cadernos de Educação - FaE/PPGE/UFPel Pelotas**, v. 30, p. 187–199, 2008.
- BELL, R. L.; BLAIR, L. M.; CRAWFORD, B. A.; LEDERMAN, N. G. Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students’ understandings of the nature of science and scientific inquiry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 5, p. 487–509, 2003.
- BERÇOT, F. F.; FIDALGO-NETO, A. A.; LOPES, R. M.; FAGGIONI, T.; ALVES, L. A. Virtual immunology: Software for teaching basic immunology. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 41, n. 6, p. 377–383, nov. 2013.
- BERNSTEIN, B. **A estruturação do discurso pedagógico: classes, códigos e controle**. [s.l.] Editora Vozes, 1996.
- BIBLIOTHÈQUE DE GENÈVE. **Papiers de la famille Trembley**. Disponível em: <[http://w3public.ville-ge.ch/bge/odyssey/Attachments/trembley_familleframeset.htm/\\$file/trembley_familleframeset.htm?OpenElement](http://w3public.ville-ge.ch/bge/odyssey/Attachments/trembley_familleframeset.htm/$file/trembley_familleframeset.htm?OpenElement)>.
- BILICAN, K.; CAKIROGLU, J.; OZTEKIN, C. How Contextualized Learning Settings Enhance Meaningful Nature of Science Understanding. **Science Education International**, v. 27, n. 4, p. 463–487, 2015.
- BONNET, C. **Traité d’insectologie ou ou Observations sur les Pucerons**. Paris, France: Chez Durand, 1745.
- BOSCH, T. C. G. What hydra has to say about the role and origin of symbiotic interactions. **The Biological bulletin**, v. 223, n. 1, p. 78–84, 29 ago. 2012. Disponível em: <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/BBLv223n1p78>>. Acesso em: 1 jun. 2018.
- BOUJAOUDE, S.; SANTOURIAN, G. The Status of the Nature of Science in Science Education in Lebanon. In: KHINE, M. S. (Ed.). **Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies**. Chapter 6 ed. London: Springer, 2015. 1.
- BOWLER, P. J. Preformation and pre-existence in the seventeenth century: A brief analysis. **Journal of the History of Biology**, v. 4, n. 2, p. 221–244, 1971.
- BOWLER, P. J. **Evolution The History of an Idea**. Berkley, LA: University of California Press, 1989.
- BROOKHART, S. M.; CHEN, F. The quality and effectiveness of descriptive rubrics. **Educational Review**, v. 67, n. 3, p. 343–368, 2015.
- BRYCE, T. G. K.; DAY, S. P. **Scepticism and doubt in science and science education: the complexity of global warming as a socio-scientific issue**. [s.l.: s.n.]v. 9
- BUCK, G.; AKERSON, V.; QUIGLEY, C.; WEILAND, I. **Exploring the Potential of Using Explicit Reflective Instruction through Contextualized and Decontextualized Approaches to Teach First-Grade African American Girls the Practices of Science** *Electronic Journal of Science Education*, 2014.
- BUNGE, M. A. **Doing science: in the light of philosophy**. New Jersey: World Scientific Publishing, 2016.
- BURNETT, L. A. An Eighteenth-Century Ecology of Knowledge: Patronage and Natural History. **Culture Unbound. Journal of Current Cultural Research**, v. 6, p. 1275–1297, 2014.
- BURROWES, P. A. A Student-Centered Approach to Teaching General Biology That Really Works: Lord’s Constructivist Model Put to a Test. **The American Biology Teacher**, v. 65, n. 7, p. 491–502, 24

jan. 2003.

BUSCAGLIA, M.; DUBOULE, D. Developmental biology in Geneva: a three century-long tradition. **International Journal of Developmental Biology**, v. 46, n. 1, p. 5–13, 2002.

BYBEE, R. W.; POWELL, J. C.; ELLIS, J. D. Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. **Science Education**, v. 75, n. 1, p. 143–155, 1991.

BYBEE, R. W.; TAYLOR, J. A.; GARDNER, A.; SCOTTER, P. Van; POWELL, J. C.; WESTBROOK, A.; LANDES, N. **The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness**. Colorado Springs, CO: National Institutes of Health, 2006.

CÂMARA, R. H. Análise de conteúdo : da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 6, n. 2, p. 179–191, 2013.

CAPPS, D. K.; CRAWFORD, B. A. Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science: Are They Happening? **Journal of Science Teacher Education**, v. 24, n. 3, p. 497–526, 2013.

CARL RATNER. Subjectivity and Objectivity in Qualitative Methodology. **Forum: Qualitative Social Research**, v. 3, n. 3, 2002.

CARRIER, M. Values and Objectivity in Science: Value-Ladenness, Pluralism and the Epistemic Attitude. **Science and Education**, v. 22, n. 10, p. 2547–2568, 2013.

CAVALCANTE, R. B.; CALIXTO, P.; KERR PINHEIRO, M. M. Análise de Conteúdo: consideracoes gerais, relacoes com a pergunta de pesquisa, possibilidades e limitacoes do metodo. **Informacao & Sociedade: Estudos**, v. 24, n. 1, p. 13–18, 2014.

CAVICCHI, E. Experiences with the magnetism of conducting loops: Historical instruments, experimental replications, and productive confusions. **American Journal of Physics**, v. 71, n. 2, p. 156–167, 2003.

CAVICCHI, E. Faraday and Piaget: Experimenting in Relation with the World. **Perspectives on Science**, v. 14, n. 1, p. 66–96, 2006.

CAVICCHI, E. Historical Experiments in Students ' Hands : Integrating Phenomena and Experiences. **Science & Education**, v. 17, n. 7, p. 717–749, 2008.

CAVICCHI, E. Exploring Mirrors, Recreating Science and History, Becoming a Class Community. **The New Educator**, v. 5, n. 3, p. 249–273, set. 2009.

CEREZO, J. A. L. Social Objectivity Under Scrutiny in the Pasteur–Pouchet Debate. **Journal for General Philosophy of Science**, v. 46, n. 2, p. 301–318, 2015.

CHALMERS, A. **O que é ciência afinal**. [s.l.: s.n.].v. 1

CHAMANY, K.; ALLEN, D.; TANNER, K. Making Biology Learning Relevant to Students: Integrating People, History, and Context into College Biology Teaching. **CBE-Life Sciences Education**, v. 7, n. 3, p. 267–278, 2008.

CHANG, H. The myth of the boiling point. **Science progress**, v. 91, n. Pt 3, p. 219–40, 2008.

CHANG, H. How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. **Science & Education**, v. 20, n. 3–4, p. 317–341, 2011.

CHANG, H. Who cares about history of science. **Notes And Records**, v. 71, n. 1, p. 1–17, 2016.

CHANG, Y. H.; CHANG, C. Y.; TSENG, Y. H. Trends of science education research: An automatic content analysis. **Journal of Science Education and Technology**, v. 19, n. 4, p. 315–331, 2010.

CHAVES-GONZÁLEZ, J. M.; OTERO-MATEO, N.; VEGA-RODRÍGUEZ, M. A.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M.; GÓMEZ-PULIDO, J. A. Game Implementation: An Interesting Strategy to Teach Genetic Algorithms. In: FERNÁNDEZ-MANJÓN, B.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M.; GÓMEZ-PULIDO, J. A.; VEGA-RODRÍGUEZ, M. A.; BRAVO-RODRÍGUEZ, J. (Ed.). [s.l.] Springer Netherlands, 2007. p. 205–223.

CHEUNG, T. The Hidden Order of Preformation: Plans, Functions, and Hierarchies in the Organic Systems of Louis Bourguet, Charles Bonnet and Georges Cuvier. **Early science and medicine**, v. 11, n. 1, p. 11–49, 2006.

CHION, A. R.; MEINARDI, E. Elementos para un análisis histórico- epistemológico del concepto de salud con implicaciones para la enseñanza de la Biología. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 1, p. 1–19, 2013.

COLBY, S. Energizing the history classroom: Historical narrative inquiry and historical empathy. **Social Studies Research and Practice**, v. 3, n. 3, p. 60–79, 2008.

CONANT, J. B. History in the Education of Scientists. **American Scientist**, v. 48, n. 4, p. 528–543,

1960.

CONNELL, G. L.; DONOVAN, D. A.; CHAMBERS, T. G. Increasing the Use of Student-Centered Pedagogies from Moderate to High Improves Student Learning and Attitudes about Biology. **CBE life sciences education**, v. 15, n. 1, p. ar3, 2016.

COUSO, D. Participatory Approaches to Curriculum Design From a Design Research Perspective. In: PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P. (Ed.). **Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools**. New York: Springer, 2014a.

COUSO, D. De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. In: XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Huelva, Andalucía. **Anais...** Huelva, Andalucía: 2014b.

DAAS, K. L.; MCBRIDE, M. C. Participant Observation: Teaching Students the Benefits of Using a Framework. **Communication Teacher**, v. 28, n. 1, p. 14–19, 2014.

DAGHER, Z. R. The Relevance of History of Biology to Teaching and Learning in the Life Sciences: The Case of Mendel’s Laws. **Interchange**, v. 45, n. 3–4, p. 205–216, 19 nov. 2014.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S. **Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories**. New York: Springer, 2014.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S. Reconceptualizing the Nature of Science for Science Why Does it Matter? **Science & Education**, v. 25, n. 1, p. 147–164, 2016.

DAINTITH, J. (ed.). **Abraham Trembley**. New York: Taylor & Francis Group, , 2009. . (Nota t?cnica).

DASTON, L. The Ideal and Reality of the Republic of Letters in the Enlightenment. **Science in Context**, v. 4, n. 2, p. 367–386, 1991.

DAVIS, G. K. Cyclical Parthenogenesis and Viviparity in Aphids as Evolutionary Novelties. **Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution**, v. 318, n. 6, p. 448–459, 2012.

DAWSON, V. P. Trembley, Bonnet, and Réaumur and the Issue of Biological Continuity. **Studies in eighteenth-century culture**, v. 13, p. 43–63, 1984.

DAWSON, V. P. **Nature’s Enigma: The Problem of the Polyp in the Letters of Bonnet, Trembley and Réaumur**. [s.l.] American Philosophical Society, 1987.

DAWSON, V. P. Regeneration, parthenogenesis, and the immutable order of nature. **Archives of Natural History**, v. 18, n. 3, p. 309–321, 1991.

DELIZOICOV, N. C.; SLONGO, I. I. P.; HOFFMANN, M. B. História e Filosofia da Ciencia e Formação De Professores: a proposição de cursos de licenciatura em ciências biológicas do sul do Brasil. In: X Congresso Nacional de Educação - EDUCERE, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2011.

DEMIRCI, N. Teaching the history of science in physics classrooms—the story of the neutrino. **Physics Education**, v. 51, n. 4, p. 043003, 31 jul. 2016.

DENG, F.; CHEN, D.-T.; TSAI, C.-C.; CHAI, C. S. Students’ views of the nature of science: A critical review of research. **Science Education**, v. 95, n. 6, p. 961–999, 2011.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **The SAGE handbook of qualitative research**. 3rd. ed. [s.l.] Sage Publications, 2005.

DESIGN BASED RESEARCH COLLECTIVE. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5–8, 2002.

DETLEFSEN, K. Explanation and Demonstration in the Wolff-Haller Debate Surrounding Generation. In: SMITH, J. (Ed.). **The Problem of Generation in Early Modern Philosophy: From Descartes to Kant**. [s.l.: s.n.]

DEWEY, J. Method in science teaching. **General Science Quarterly**, v. 1, n. 1, p. 3–9, nov. 1916.

DIEKMANN, S.; PETERSON, M. The role of non-epistemic values in engineering models. **Science and engineering ethics**, v. 19, n. 1, p. 207–18, mar. 2013.

DIMITRIS PSILLOS; KARIOTOGLOU, P. **Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools**. New York: Springer, 2015.

DINSMORE, C. E. **A History of regeneration research : milestones in the evolution of a science**. New York: Cambridge University Press, 1991.

DODDS, H. Inquiry-based Learning in Virtual Worlds: Are We Asking the Right Questions? **World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2010**, v. 2010, p. 1672–1675, 2010.

DRIVER, R. Students’ conceptions and the learning of science. **International Journal of Science**

Education, v. 11, n. 5, p. 481–490, 1989.

DUIT, R.; TESCH, M. On The Role Of The Experiment in Science Teaching And Learning – Visions And The Reality Of Instructional Practice. In: Proceedings of the 7th International Conference on Hands-on Science, Rethymno-Crete. **Anais...** Rethymno-Crete: 2010.

DUNLOSKY, J.; RAWSON, K. A.; MARSH, E. J.; NATHAN, M. J.; WILLINGHAM, D. T. Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. **Psychological Science in the Public Interest, Supplement**, v. 14, n. 1, p. 4–58, 2013.

DUSCHL, R. A. Science Education and Philosophy of Science Twenty-Five Years of Mutually Exclusive Development. **School Science and Mathematics**, v. 85, n. 7, p. 541–555, nov. 1985.

DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. **Science and Education**, v. 22, n. 9, p. 2109–2139, 2013.

EASTWOOD, J. L.; SADLER, T. D.; ZEIDLER, D. L.; LEWIS, A.; AMIRI, L.; APPLEBAUM, S. Contextualizing Nature of Science Instruction in Socioscientific Issues. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 15, p. 2289–2315, 9 out. 2012.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o Ensino de História e Filosofia das Ciências na Educação Científica de Nível Superior. In: São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2006a.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: CIBELE CELESTINO SILVA E MARIA ELICE BRZEZINSKI PRESTES (Ed.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino**. São Paulo, SP, Brazil: Editora Livraria da Física, 2006b. p. 3–21.

EL-HANI, C. N.; ROCHA, P. L. B. Da; TAVARES, E. J. M. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265–313, 2004.

ELLIS, J. **How Science Works: Evolution The Nature of Science & The Science of Nature**. second ed. Coventry, UK: Springer, 2016.

ENG, T. S. A review of the impact of ICT on learning. **International Education Journal**, v. 6, n. 5, p. 635–650, 2005.

ERDURAN, S.; DAGHER, Z. R. Family Resemblance Approach to Characterizing Science. In: **Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education**. [s.l.: s.n.]43.

ERDURAN, S.; WONG, S. L. Science Curriculum Reform on 'Scientific Literacy for All' Across National Contexts: Case Studies of Curricula from England, Wales and Hong Kong. In: [s.l.] Springer, Dordrecht, 2013. p. 179–201.

FERNÁNDEZ, I.; GIL PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 477–488, 2002. Disponível em: <<http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v20n3p477.pdf>>.

FORATO, T. C. de M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. D. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. p. 27–59, 2011.

FOUAD, K. E.; MASTERS, H.; AKERSON, V. L. Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. **Science and Education**, v. 24, n. 9–10, p. 1103–1140, 2015a.

FOUAD, K. E.; MASTERS, H.; AKERSON, V. L. Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. **Science & Education**, v. 24, n. 9–10, p. 1103–1140, 6 nov. 2015b.

GALISON, P. Ten Problems in History and Philosophy of Science. **Isis**, v. 99, p. 111–124, 2008.

GARCÍA-CARMONA, A.; CRIADO, A. M.; CAÑAL, P. ¿Qué educación científica se promueve para la etapa de primaria en España? Un análisis de las prescripciones oficiales de la loe. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 32, n. 1, p. 139–157, 2014.

GARCÍA-CARMONA, J. A. A.-D. A.; ARAGÓN, M. del M. Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. **Educación Química**, v. 28, n. 1, p. 51–58, 2016.

GARCÍA-MARTÍNEZ, Á.; IZQUIERDO AYMERICH, M. Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. **Enseñanza de las ciencias**, v. 32, n. 1, p. 265–281, 2014.

GIL PÉREZ, D.; FERNÁNDEZ MONTORO, I.; CARRASCOSA ALÍS, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 07, n. 02, p. 125–153, 2001.

GILLISPIE, C. C.; HOLMES, F. L.; KOERTGE, N.; GALE, T. **Dictionary of scientific biography**. Detroit, Michigan: Charles Scribner's Sons, 2008.

GIORDAN, M. O computador na Educação em Ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 11, n. 2, p. 279–304, ago. 2005.

GOTT, R.; DUGGAN, S. Practical work: Its role in the understanding of evidence in science. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 7, p. 791–806, 1996.

GRANT, R. P. **Why scientists need to do more about research fraud**. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/science/occams-corner/2018/jan/04/science-fraud-research-misconduct>>.

HADZIGEORGIOU, Y.; FOKIALIS, P.; KABOUROPOULOU, M. Thinking about Creativity in Science Education. **Creative Education**, v. 03, n. 05, p. 603–611, 2012.

HAFNER, J. C.; HAFNER, P. M. Quantitative analysis of the rubric as an assessment tool: An empirical study of student peer-group rating. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 12, p. 1509–1528, 2003.

HAGENS, V.; DOBROW, M. J.; CHAFE, R. Interviewee Transcript Review: assessing the impact on qualitative research. **BMC medical research methodology**, v. 9, p. 47, 6 jul. 2009.

HANSON, N. R. **Perception and Discovery an Introduction to scientific inquiry**. Second edi ed. [s.l.] Springer, 2018.

HATCH, R. A. Correspondence Networks. In: APPLEBAUM, W. (Ed.). **Encyclopedia of the scientific revolution: from Copernicus to Newton**. New York: Garland Publishing, Inc., 2000. p. 1298.

HEERING, P. Public Experiments and their Analysis with the Replication Method. **Science & Education**, 2006.

HEIDELBERGER, M. Theory-Ladenness and Scientific Instruments in Experimentation. In: RADER, H. (Ed.). **The Philosophy of Scientific Experimentation**. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 2003. p. 138–151.

HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Science & Education**, v. 24, n. 4, p. 349–385, 14 maio 2015.

HICKMAN, C.; KEEN, S.; LARSON, A.; EISENHOUR, D.; I'ANSON, H.; ROBERTS, L. **Integrate principles of zoology**. 14. ed. [s.l.: s.n.]

HOBAN, S.; BERTORELLE, G.; GAGGIOTTI, O. E. Computer Simulations: Tools for Population and Evolutionary Genetics. **Nature Reviews Genetics**, v. 13, n. 2, p. 110–122, 2012.

HODSON, D. Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014a. p. 911–970.

HODSON, D. Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education**, v. 36, n. 15, p. 2534–2553, 2014b.

HOPKINS, L. **The contribution of master craftsmen From workshop to laboratory**. [s.l.: s.n.].

HÖTTECKE, D. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. **Science & Education**, v. 9, n. 4, p. 343–362, 2000.

HÖTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. **Science & Education**, v. 21, n. 9, p. 1233–1261, 2012.

HÖTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. **Science & Education**, v. 21, n. 9, p. 1233–1261, 2012a.

HÖTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. **Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project**. [s.l.: s.n.]v. 21

HOWE, E. M. Addressing Nature of Science Core Tenets with the History of Science: An Example with Sickle-Cell Anemia & Malaria. **American Biology Teacher**, v. 69, n. 8, p. 467–472, 2007a.

HOWE, E. M. Addressing Nature-Of-Science Core Tenets with the History of Science: An Example with Sickle-Cell Anemia & Malaria. **The American Biology Teacher**, v. 69, n. 8, p. 467–472, 1 out. 2007b..

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 20, n. 7–8, p. 591–607, 25 jul. 2011.

IRZIK, G.; NOLA, R. New Directions for Nature of Science Research. In: MATTHEWS, M. R. (Ed.). **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. [s.l.] Springer, 2014. p. 999–1021.

ISHIKAWA, M.; YUYAMA, I.; SHIMIZU, H.; NOZAWA, M.; IKEO, K.; GOJOBORI, T. Different Endosymbiotic Interactions in Two Hydra Species Reflect the Evolutionary History of Endosymbiosis. **Genome biology and evolution**, v. 8, n. 7, p. 2155–63, 2016.

JAIN, J.; LIM, B. K.; ABDULLAH, N. Pre-service Teachers' Conceptions of the Nature of Science. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 90, p. 203–210, 2013.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 244, 16 dez. 2017.

JENKINS, E. W. The history of science in British schools: retrospect and prospect. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 3, p. 274–281, 1990.

JENKINS, E. W. The 'nature of science' as a curriculum component. **Journal of Curriculum Studies**, v. 28, n. 2, p. 137–150, mar. 1996.

JONSSON, A.; SVINGBY, G. The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. **Educational Research Review**, v. 2, n. 2, p. 130–144, 2007.

JULIEN, H.; BARKER, S. How high-school students find and evaluate scientific information: A basis for information literacy skills development. **Library and Information Science Research**, v. 31, n. 1, p. 12–17, 2009.

JUUTI, K.; LAVONEN, J.; MEISALO, V. Pragmatic Design-Based Research - Designing as a shared activity of teachers and researches. In: PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P. (Ed.). **Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools**. [s.l.] Springer, 2016. p. 35–46.

KAHANA, O.; TAL, T. Understanding of high-achieving science students on the nature of science. **International Journal of STEM Education**, v. 1, n. 1, p. 13, 9 dez. 2014.

KALISZEWICZ, A. Interference of asexual and sexual reproduction in the green hydra. **Ecological Research**, v. 26, n. 1, p. 147–152, 3 jan. 2011.

KAMPOURAKIS, K. The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 5, p. 667–682, maio 2016.

KAWALKAR, A.; VIJAPURKAR, J. Scaffolding Science Talk: The role of teachers' questions in the inquiry classroom. **International Journal of Science Education**, v. 35, n. 2, p. 2004–2027, 2011.

KAWULICH, B. Participant Observation as a Data Collection Method. **Forum: Qualitative Social Research**, v. 6, n. 2, 2005.

KENDIG, C. Integrating History and Philosophy of the Life Sciences in Practice to Enhance Science Education: Swammerdam's *Historia Insectorum Generalis* and the Case of the Water Flea. **Science and Education**, v. 22, n. 8, p. 1939–1961, 2013.

KHISHFE, R.; ABD-EL-KHALICK, F. Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 7, p. 551–578, 2002.

KIM, S. Y.; IRVING, K. E. History of science as an instructional context: Student learning in genetics and nature of science. **Science and Education**, v. 19, n. 2, p. 187–215, 2010.

KIOURANIS, N. M. M.; SOUSA, A. R. de; FILHO, O. S. Alguns aspectos da transposição de uma sequência didática sobre o comportamento de partículas e ondas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 199–224, 2010.

KLASSEN, S. The application of historical narrative in science learning: The Atlantic cable story. **Science and Education**, v. 16, n. 3–5, p. 335–352, 2007.

KLUCEVSEK, K. M.; BRUNGARD, A. B. Information literacy in science writing: how students find, identify, and use scientific literature. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 17, p. 2573–2595, 21 nov. 2016.

KNEUBIL, F. B.; PIETROCOLA, M. A Pesquisa Baseada Em Design: Visão Geral e Contribuições Para O Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 2, p. 01, 2017.

KOLSTO, S. D.; RATCLIFFE, M. Social Aspects of Argumentation. In: ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Ed.). **Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom**

Based Research. [s.l.] Springer, 2007.

KORTLAND, K.; KLAASSEN, K. **Designing theory-based teaching-learning sequences for science education.** [s.l.: s.n.]

KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência.** [s.l.] Editora Porto, 1987.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85–93, mar. 2000.

KROGH, L. B.; NIELSEN, K. Introduction: How Science Works—and How to Teach It. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2055–2065, 26 set. 2013.

KRONICK, D. A. The commerce of letters: networks and “invisible colleges” in seventeenth- and eighteenth-century Europe. **Library Quarterly**, v. 71, n. 1, p. 28–43, 2001.

KRUSE, J. W. Historical short stories in the post-secondary biology classroom: Investigation of instructor and student use and views. **Dissertation Abstracts International Section A: Humanities and Social Sciences**, v. 72, n. 3–A, p. 891, 2011.

LAFOLLETTE, M. C. The Evolution of the “Scientific Misconduct” Issue: An Historical Overview. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 224, n. 4, p. 211–215, 18 jul. 2008.

LAPADAT, J. C.; LINDSAY, A. C. Examining Transcription: A Theory-Laden Methodology. In: Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA. **Anais...** San Diego, CA: 1998.

LATOUR, B. **Science in action: how to follow scientist and engineers through society.** Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.

LEACH, J.; SCOTT, P. Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 115–142, 2002.

LEDERMAN, N. G. Students’ and teachers’ conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, p. 331–359, abr. 1992.

LEDERMAN, N. G. Nature of Science: Past, Present, and Future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Ed.). **Handbook of Research on Science Education.** [s.l.: s.n.]p. 831–880.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners’ Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497–521, 2002.

LEITE, M. S. **Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar.** 2004. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro, Brazil, 2004.

LENHOFF, H. M.; LENHOFF, S. G. Challenge to the Specialist: Abraham Trembley’s Approach to Research on the Organism—1744 and Today. **American Zoologist**, v. 29, n. 3, p. 1105–1117, 1989a.

LENHOFF, H. M.; LENHOFF, S. G. Challenge to the specialist: Abraham Trembley’s approach to research on the organism - 1744 and today. **Integrative and Comparative Biology**, v. 29, n. 3, p. 1105–1117, 1989b.

LENHOFF, H. M.; LENHOFF, S. O. Tissue grafting in animals: Its discovery in 1742 by Abraham Trembley as he experimented with Hydra. **Biol. Bull.**, v. 166, n. November 1983, p. 1–10, 1984.

LENHOFF, S. G.; LENHOFF, H. M. **Hydra and the birth of experimental biology, 1744: Abraham Trembley’s Mémoires concerning the polyps.** Pacific Grove, CA: Boxwood press, 1986.

LEONI, S. B. Men of exchange: creation and circulation of knowledge in the swiss republics of the eighteenth century. In: HOLENSTEIN, A.; STEINKE, H.; STUBER, M. (Ed.). **Scholars in action: The practice of knowledge and the figure of the savant in the 18th century.** Boston: Library of Congress, 2013. p. 891.

LIJNSE, P. Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 537–554, 2004.

LIJNSE, P. L. “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. **Science Education**, v. 79, n. 2, p. 189–199, abr. 1995.

LIN, L.; ATKINSON, R. K. Using animations and visual cueing to support learning of scientific concepts and processes. **Computers & Education**, v. 56, n. 3, p. 650–658, 2011.

LIVINGSTONE, S. Critical reflections on the benefits of ICT in education. **Oxford Review of Education**, v. 38, n. 1, p. 9–24, fev. 2012.

LORENZ, C. Scientific Historiography. In: TUCKER, A. (Ed.). **A Companion to the Philosophy of History and Historiography**. [s.l.] Wiley, 2009. p. 621.

LOVEJOY, A. O. **The Great Chain of Being A Study of the History of an Idea**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001. v. 1

LOZANO, E.; BAHAMONDE, N.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Análisis histórico-epistemológico sobre los modelos de membrana celular para enseñar biología celular y naturaleza de la ciencia al profesorado. **Filosofia e História da Biologia**, v. 11, n. 1, p. 49–68, 2016.

LÜDKE, M.; ANDRE, M. **A Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2 ed ed. Rio de Janeiro, Brazil: E.P.U, 2013.

MAGIELS, G. Dr Jan IngenHousz, or why don't we know who discovered photosynthesis? In: 1st Conference of the Europe and Philosophy of Science Association, Madrid. **Anais...** Madrid: 2007.

MARANDINO, M. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. **Revista Brasileira de Educação**, p. 95–108, 2004.

MARBACH-AD, G.; HUNT RIETSCHER, C. A Case Study Documenting the Process by Which Biology Instructors Transition from Teacher-Centered to Learner-Centered Teaching. **CBE life sciences education**, v. 15, n. 4, p. ar62, 2016.

MARBACH-AD, G.; MCGINNIS, J. R.; DAI, A. H.; PEASE, R.; SCHALK, K. A.; BENSON, S. Promoting science for all by way of student interest in a transformative undergraduate microbiology laboratory for nonmajors. **Journal of microbiology & biology education**, v. 10, n. 1, p. 58–67, 2009.

MÁRQUEZ, C.; ROCA, M. Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. **Revista Educación y Pedagogía**, v. 18, n. 45, p. 61–71, 2006.

MARTINS, A. F. P. Ensino de ciências : desafios à formação de professores. **Revista Educação em Questão**, v. 23, n. 9, p. 53–65, 2005a.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há Muitas Pedras Nesse Caminho ... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007.

MARTINS, L. A.-C. P. **A teoria cromossômica da herança = proposta, fundamentação, crítica e aceitação**. 1997. Universidade Estadual de Campinas, 1997.

MARTINS, L. A.-C. P. História da Ciência: Objetos, Métodos e Problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1989, p. 305–317, 2005b.

MARTINS, R. de A. Que tipo de história da ciência esperamos ter nas próximas décadas? **Episteme. Filosofia e História da Ciência em Revista**, v. 10, p. 39–56, 2000.

MARTINS, R. de A. História e história da ciência: encontros e desencontros. In: 1º Congresso Luso-brasileiro de História da Ciência e da Técnica, Évora, Portugal. **Anais...** Évora, Portugal: 2001.

MARTINS, R. de A. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo, SP: Livraria da Física, 2006a. p. xxi–xxxiv.

MARTINS, R. de A. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo, SP: Livraria da Física, 2006b. 1.

MARTINS, R. de A. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. In: São Paulo, SP: Cibelle Celestino Silva, 2006c.

MASSARO, F.; ROCHA, O. Development and population growth of *Hydra viridissima* Pallas, 1766 (Cnidaria, Hydrozoa) in the laboratory. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 2, p. 379–383, maio 2008.

MATÍAS-GUIU, J.; GARCÍA-RAMOS, R. Fraud and misconduct in scientific publications. **Neurología (English Edition)**, v. 25, n. 1, p. 1–4, 1 jan. 2010.

MATTHEWS, M. History, philosophy, and science teaching: The new engagement. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 10, n. 1, p. 1–14, 2009a.

MATTHEWS, M. R. History, Philosophy, and Science Teaching: A Brief Review. **Synthese**, v. 80, n. 1, p. 1–7, 1989a.

MATTHEWS, M. R. History , Philosophy , and Science Teaching : A Brief Review. **Synthese**, v. 80, n. 1, p. 1–7, 1989b.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science**. [s.l.] Routledge Chapman & Hall, 1994.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The new engagement. **Asia-Pacific**

Forum on Science Learning and Teaching, 2009b.

MATTHEWS, M. R. Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). **Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies**, v. 9789400724, n. 2004, p. 3–26, 2012.

MAVROGENIS, A. F.; PANAGOPOULOS, G. N.; MEGALOIKONOMOS, P. D.; PANAGOPOULOS, V. N.; MAUFFREY, C.; QUAILE, A.; SCARLAT, M. M. Scientific Misconduct (Fraud) in Medical Writing. **Orthopedics**, v. 41, n. 2, p. e176–e183, 1 mar. 2018. D

MAYER, V. J.; TOKUYAMA, A. Evolution of Global Science Literacy as a Curriculum Construct. In: **Global Science Literacy**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2002. p. 3–24.

MAYR, E. When is Historiography Whiggish? **Journal of the History of Ideas**, v. 51, n. 2, 1990.

MCCLELLAN, J. Scientific institutions and the organization of science. In: PORTER, R. (Ed.). **The Cambridge History of Science: Eighteenth-Century Science**. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2008. p. 913.

MCCOMAS, W. F. The principal elements of the nature of science : dispelling the myths. **The Nature of Science in Science Education**, n. 1986, p. 53–70, 1998.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2–3, p. 249–263, 17 fev. 2008.

MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, p. 511–532, 1998.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. K. The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In: **The Nature of Science in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 41–52.

MCFARLANE, A.; SAKELLARIOU, S. The Role of ICT in Science Education. **Cambridge Journal of Education**, v. 32, n. 2, p. 219–232, jun. 2002.

MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. [s.l.: s.n.].

MEC. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, DF: Secretaria de Educação Básica, 2006. v. 2

MEC. **Base Nacional Comum Curricular**. [s.l.: s.n.].

MÉHEUT, M. Designing and validating two teaching–learning sequences about particle models. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 605–618, 2007.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: Aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515–535, 2004a.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515–535, 16 abr. 2004b.

MELLO, T. F. C. de. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Universidade de São Paulo, 2009.

METZ, D. We now interrupt the story: mediating student learning using historical stories. **Ninth International History, Philosophy and Science Teaching**, n. 2006, p. 1–15, 2007.

METZ, D.; STINNER, A. A Role for Historical Experiments: Capturing the Spirit of the Itinerant Lecturers of the 18th Century. **Science & Education**, v. 16, n. 6, p. 613–624, 29 jun. 2007.

MIALL, L. C. **The early naturalists; their lives and work (1530-1789)**. [s.l.] London, Macmillan, 1912.

MILLER, M. C. D.; MONTPLAISIR, L. M.; OFFERDAHL, E. G.; CHENG, F.-C.; KETTERLING, G. L. Comparison of views of the nature of science between natural science and nonscience majors. **CBE life sciences education**, v. 9, n. 1, p. 45–54, 2010a.

MILLER, M. C. D.; MONTPLAISIR, L. M.; OFFERDAHL, E. G.; CHENG, F.-C.; KETTERLING, G. L. Comparison of views of the nature of science between natural science and nonscience majors. **CBE life sciences education**, v. 9, n. 1, p. 45–54, jan. 2010b.

MINAYO, M. C. de S. Qualitative analysis : theory , steps and reliability. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 3, p. 621–626, 2012.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. **Science Education**, v. 81, n. 4, p. 405–424, 1997.

MOSKAL, B. M.; LEYDENS, J. A. Scoring rubric development: Validity and reliability. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 7, n. 10, p. 1–10, 2000.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?

Revista Brasileira de História da Ciência, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.

MOURA, B. A.; SILVA, C. C. Abordagem multicontextual da história da ciência : uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores Multicontextual approach to the history of science : A proposal for. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 2, p. 336–348, 2014.

MULVEY, B. K.; BELL, R. L. Making learning last: teachers' long-term retention of improved nature of science conceptions and instructional rationales. **International Journal of Science Education**, v. 39, n. 1, p. 62–85, 2016.

MUNSLOW, A. Narrative Works in History. **Narrative Works: Issues, Investigations & Interventions**, v. 6, n. 1, p. 108–125, 2016.

NASCIMENTO, A. C. de A. Objetos de Aprendizagem: A distância entre a promessa e a realidade. In: PRATA, C. L. N.; AZEVEDO, A. C. DE (Ed.). **Objetos de Aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico**. Brasília, DF: MEC. SEED, 2007.

NEWPORT, G. On the Respiration of Insects. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 126, p. 529–566, jan. 1836.

NORRIS, S. P.; GUILBERT, S. M.; SMITH, M. L.; HAKIMELAHI, S.; PHILLIPS, L. M. **A theoretical framework for narrative explanation in science** Science Education Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, , jul. 2005.

NUMBERS, R. L.; KAMPOURAKIS, K. **Newton's apple and other myths about science**. 1. ed. Cambridge, Massachusetts & London, England: Harvard University Press, 2015.

NUR, E. M.; FITNAT, K. Explicit-Reflective Teaching Nature of Science as Embedded within the Science Topic: Interactive Historical Vignettes Technique. **Journal of Education and Training Studies**, v. 3, n. 6, p. 40–49, 2015.

OECD. **Pisa 2015: Results in focus**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus.pdf>>.

OLIVEIRA, M. B. de. A epidemia de más condutas na ciência: o fracasso do tratamento moralizador. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 4, p. 867–897, dez. 2015.

OLIVER, R. The role of ICT in higher education for the 21st century: ICT as a change agent for education. In: **Anais...**2003.

PALMA, L. C. R.; GUARNIERI, P. V.; PANSERA, F. C. S. R. T. G. Um levantamento de teses e dissertações de um programa de pós-graduação sobre a aproximação da História da Ciência e o Ensino de Ciências. p. 401–419, 2017.

PAULINS, N.; BALINA, S.; ARHIPOVA, I. Learning Content Development Methodology for Mobile Devices. **Procedia Computer Science**, v. 43, p. 147–153, 1 jan. 2015.

PAVEZ, J. M.; VERGARA, C. A.; SANTIBÁÑEZ, D.; COFRÉ, H. Using a Professional Development Program for Enhancing Chilean Biology Teachers' Understanding of Nature of Science (NOS) and Their Perceptions About Using History of Science to Teach NOS. **Science and Education**, v. 25, n. 3–4, p. 383–405, 2016.

PEDASTE, M.; MÄEOTS, M.; SIIMAN, L. A.; JONG, T. de; RIESEN, S. A. N. van; KAMP, E. T.; MANOLI, C. C.; ZACHARIA, Z. C.; TSOURLIDAKI, E. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, v. 14, p. 47–61, 2015.

PELGRUM, W. J.; LAW, N. **ICT in education around the world: trends, problems and prospects**. Paris: UNESCO: International Institute for Educational Planning, 2003.

PERIN, D. Facilitating student learning through contextualization: A review of evidence. **Community College Review**, v. 39, n. 3, p. 268–295, 2011.

PESHKIN, A. The Presence of Self: Subjectivity in the Conduct of Qualitative Research. **Bulletin of the Council for Research in Music Education**, n. 122, p. 45–56, 1994.

PHILLIPS, E. F. A Review of Parthenogenesis. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 42, n. 174, p. 275–345, 1903.

PLATEAU, F. A. J. **Études sur la parthénogenèse**. 1868. C. Annoot-Braeckman, 1868.

POSTHOLM, M. B. The advantages and disadvantages of using ICT as a mediating artefact in classrooms compared to alternative tools. **Teachers and Teaching**, v. 13, n. 6, p. 587–599, 2 dez. 2007.

PRESTES, M. E. B. **A biologia experimental de Lazzaro Spallanzani (1729-1799)**. 2003. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PRESTES, M. E. B. Estudos de regeneração animal em Bonnet e Spallanzani. **Filosofia e História da Biologia**, v. 2, n. 1, p. 311–336, 2007.

PRESTES, M. E. B. Definição e classificação de insetos por René-Antoine Ferchault de Réaumur. **Filosofia e História da Biologia**, v. 3, n. 1, p. 263–284, 2008.

PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A. M. de A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, n. 1, p. 1–16, 2009.

PRESTES, M. E. B.; MARTINS, L. A.-C. P. **Observação e Experimentação Animal no Século XVIII: os estudos de Abraham Trembley sobre a hidra** *Acta Scientiae*, 25 ago. 2014.

PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P. Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. In: PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P. (Ed.). **Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools**. [s.l.] Springer, 2015. p. 11–34.

PUJALTE, A. P.; BONAN, L.; PORRO, S.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Las imágenes inadecuadas de ciencia y de científico como foco de la naturaleza de la ciencia: estado del arte y cuestiones pendientes Inadequate images of science and scientists as a focus of the nature of science: state of the art and outstanding issue. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 20, n. 3, p. 535–548, 2014.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. **The British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, p. 61–78, 1991.

RAMOS, M. de C. **A geração dos corpos organizados em Mapertuis**. São Paulo, SP: Editora 34, 2009.

RATCLIFF, D. M. J. **The Quest for the Invisible: Microscopy in the Enlightenment**. [s.l.] Ashgate Publishing, Ltd., 2013.

RATCLIFF, M.; FOURNIER, M. Abraham Trembley's Impact on the Construction of Microscopes. p. 92–112, 2007.

RATCLIFF, M. J. Abraham Trembley's Strategy of Generosity and the Scope of Celebrity in the Mid-Eighteenth Century. **Isis**, v. 95, n. 4, p. 555–575, 2004.

RATCLIFF, M. J. Experimentation, communication and patronage: a perspective on René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). **Biology of the cell / under the auspices of the European Cell Biology Organization**, v. 97, n. 4, p. 231–3, abr. 2005.

RATCLIFF, M. J. The Trembley Effect or the birth of marine zoology. **International Journal of Developmental Biology**, v. 56, n. 6–8, p. 425–436, 2012.

RATCLIFF, M. J.; BUSCAGLIA, M. Chercheur, observateur et monde savant au XVIIIe siècle: la recherche scientifique dans l'imaginaire de Charles Bonnet, (1720-1793). **Nuncius : annali di storia della scienza**, 1997.

RÉAUMUR, R.-A. F. de. **Memoires pour servir a l'histoire des insectes**. [s.l.] A Paris: De l'imprimerie royale, 1734. v. Tome Premi

REDDY, Y. M. Effect of Rubrics on Enhancement of Student Learning. **Educate**, v. 7, n. 1, p. 3–17, 2007.

REDDY, Y. M.; ANDRADE, H. A review of rubric use in higher education. **Assessment and Evaluation in Higher Education**, v. 35, n. 4, p. 435–448, 2010.

RIBEIRO JUNIOR, L. A.; CUNHA, M. F.; LARANJEIRAS, C. C. Historical experiments simulations in physics education: a computational approach of the historical and empirical dimensions of science in classroom. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 1–10, 2012a.

RIBEIRO JUNIOR, L. A.; CUNHA, M. F.; LARANJEIRAS, C. C. Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, dez. 2012b.

RIEPPPEL, O. Atomism, epigenesis, preformation and pre-existence: a clarification of terms and consequences. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 28, p. 331–341, 1986.

ROACH, L. E.; WANDERSEE, J. H. Putting People Back Into Science: Using Historical Vignettes. **School Science and Mathematics**, v. 95, n. 7, 1995.

ROBERTS, D. A.; ÖSTMAN, L. **Problems of meaning in science curriculum**. [s.l.] Teachers College Press, 1998.

ROBERTS, R. Understanding the validity of data: a knowledge-based network underlying research expertise in scientific disciplines. **Higher Education**, v. 72, n. 5, p. 651–668, 25 nov. 2016.

RODRIGUE, J.-P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems**. Third ed. New York: Routledge, 2013.

ROE, S. A. **Matter, life and generation: Eighteenth-century embiology and the Haller-Wolff debate**. New York: Cambridge University Press, 1981.

ROGER; JACQUES. **The Life Sciences in Eighteenth-Century French Thought**. [s.l.] Oxford University Press, 1999.

RUDGE, D. W.; CASSIDY, D. P.; FULFORD, J. M.; HOWE, E. M. **Changes Observed in Views of Nature of Science During a Historically Based Unit**. [s.l.: s.n.]

RUDGE, D. W.; HOWE, E. M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science and Education**, v. 18, n. 5, p. 561–580, 14 abr. 2009.

RUDWICK, M.; COLEMAN, W.; SYLLA, E.; DASTON, L. **Critical Problems in the History of Science**. The University of Chicago Press/The History of Science Society, 1957. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/230976>>.

RUTHVEN, K.; LABORDE, C.; LEACH, J.; TIBERGHIE, A. Design Tools in Didactical Research: Instrumenting the Epistemological and Cognitive Aspects of the Design of Teaching Sequences. **Educational Researcher**, v. 38, n. 5, p. 329–342, 2009.

RUTTEN, N.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VAN DER VEEN, J. T. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, v. 58, n. 1, p. 136–153, jan. 2012.

SABOURIN, J.; ROWE, J.; MOTT, B.; LESTER, J.; CAROLINA, N. Exploring Affect and Inquiry in Open-Ended Game-based Learning Environments. **In Workshop on Emotions in Games for Learning in conjunction with the 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems**, 2012.

SANFORD, J.; BAUMGARDNER, J.; BREWER, W.; GIBSON, P.; REMINE, W. Using Computer Simulation to Understand Mutation Accumulation Dynamics and Genetic Load. In: SHI, Y.; ALBADA, G. D. VAN; DONGARRA, J.; SLOOT, P. M. A. (Ed.). **Lecture Notes in Computer Science**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 386–392.

SANGRÀ, A.; GONZÁLEZ-SANMAMED, M. The role of information and communication technologies in improving teaching and learning processes in primary and secondary schools. **ALT-J**, v. 18, n. 3, p. 207–220, 13 nov. 2010.

SANTOS, F. S. dos. A botânica no ensino médio: será que é preciso apenas memorizar nomes de plantas? In: SILVA, C. C. DA (Ed.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino**. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2006.

SARMENTO, A. C. de H.; MUNIZ, C. R. R.; SILVA, N. R. da; PEREIRA, V. A.; SANTANA, M. A. dos S.; SÁ, T. S. de; EL-HANI, C. N. Investigando princípios de design de uma sequência didática sobre metabolismo energético. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 19, n. 3, p. 573–598, 2013.

SARTON, G. The Teaching of the History of Science. **The Scientific Monthly**, v. 7, p. 193–211, 1918. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/6945>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

SCHAIBLE, R.; RINGELHAN, F.; KRAMER, B. H.; SCHEUERLEIN, A. Hydra Evolutionary and Biological Mechanisms for Non-Senescence. In: HEFFERSON, R. P.; JONES, O. R.; SALGUERO-GOMEZ, R. (Ed.). **The evolution of senescence in the Tree of Life**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

SCHARMANN, L. C.; SMITH, M. U.; JAMES, M. C.; JENSEN, M. Explicit Reflective Nature of Science Instruction: Evolution, Intelligent Design, and Umbrellalogy. **Journal of Science Teacher Education**, v. 16, n. 1, p. 27–41, fev. 2005.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N. A história da ciência como aliada no ensino de genética. **Genética na Escola**, v. 7, 2008.

SCHINDLER, S. Scientific Discovery: That-Whats and What-Thats. **Ergo An Open Access Journal of Philosophy**, v. 2, n. 6, 2015.

SCHMIDT, H. G.; WAGENER, S. L.; SMEETS, G. A. C. M.; KEEMINK, L. M.; VAN DER MOLEN, H. T. On the Use and Misuse of Lectures in Higher Education. **Health Professions Education**, v. 1, n. 1, p. 12–18, 1 dez. 2015.

SCHUSTER, J. A. Old and Outdated Tales of the History of Science I: Internalism. In: SHUSTER, J. A. (Ed.). **The Scientific Revolution: An Introduction to the History and Philosophy of Science**. 1st ed. Wollongong: Dept. of Science & Technology Studies, 1995.

SCHWARTZ, J. A. **Worm Work : Recasting Romanticism**. [s.l.] University of Minnesota Press, 2012.

SEROGLOU, F.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Introduction: The Application of the History and Philosophy of Science in Science Teaching. **Science & Education**, v. 21, p. 767–770, 2012.

SHIRANI BIDABADI, N.; NASR ISFAHANI, A.; ROUHOLLAHI, A.; KHALILI, R. Effective Teaching Methods in Higher Education: Requirements and Barriers. **Journal of advances in medical education & professionalism**, v. 4, n. 4, p. 170–178, out. 2016.

- SIEGEL, H. On the distortion of the history of science in science education. **Science Education**, v. 63, n. 1, p. 111–118, jan. 1979.
- SIGRIST, R. Science et Société à Genève au XVIIIe Siècle: L'Exemple de Charles Bonnet. In: [s.l.: s.n.] 47, 1994.
- SIGRIST, R. L'expérimentation comme rhétorique de la preuve : L'exemple du Traité d'insectologie de Charles Bonnet. **Revue d'histoire des sciences**, v. 54, n. 4, p. 419–449, 2001.
- SILVA, C. C.; PRESTES, M. E. B. **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**. 2013
- SILVA, T. T. da. **Darwin na sala de aula: replicação de experimentos históricos para auxiliar a compreensão da teoria evolutiva**. 2013. Universidade de São Paulo, 2013.
- SIMONS, H.; KUSHNER, S.; JONES, K.; JAMES, D. From evidence-based practice to practice-based evidence: The idea of situated generalisation. **Research Papers in Education**, v. 18, n. 4, p. 347–364, 2003.
- SMITH, J. E. H. **The Problem of Animal Generation in Early Modern Philosophy**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2006.
- SMITH, J. P.; DISESSA, A. A.; ROSCHELLE, J.; GRIER, S.; BRYANT, C. A.; MIYAZAKI, A. D.; BRUMBAUGH, A. M.; SPROTT, D. E.; GILBERT, J. K.; WATTS, D. M.; VERHOEF, P. C.; LANGERAK, F.; CICMIL, S.; NICHOLSON, A.; AAKER, D. A.; BONAGURO, J. a; MIAOULIS, G.; DAY, G. Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. **Journal of Market-Focused Management**, v. 3, n. 1, p. 70–76, 2013.
- SPEYBROECK, L. van; WAELE, D. de; VIJVER, G. van de. Theories in Early Embryology Close Connections between Epigenesis, Preformationism, and Self-Organization. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 981, p. 7–49, 2002.
- STAHL-GRETSCH, L. I. **Rousseau et les savant genevois**. Geneve: Musée d'histoire des sciences de la Ville de Genève, 2012.
- STEVENSON, D. **Information and Communications Technology in UK Schools, an independent inquiry**. London: The Independent ICT in Schools Commission, 1997.
- STONE, E. M. Guiding Students to Develop an Understanding of Scientific Inquiry: A Science Skills Approach to Instruction and Assessment. **CBE—Life Sciences Education**, v. 13, n. 1, p. 90–101, mar. 2014. Disponível em: <<https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe-12-11-0198>>. Acesso em: 21 maio. 2018.
- STOTT, R. **Darwin's Ghosts: In Search of the First Evolutionists**. First ed. London: Bloomsbury Publishing, 2012.
- SUNG, Y.-T.; CHANG, K.-E.; LIU, T.-C. The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. **Computers & Education**, v. 94, p. 252–275, 1 mar. 2016.
- SVETLOVA, E. Modelling Beyond Application: Epistemic and Non-epistemic Values in Modern Science. **International Studies in the Philosophy of Science**, v. 28, n. 1, p. 79–98, 2 jan. 2014.
- TANG, X.; COFFEY, J.; LEVIN, D. M. Reconsidering the Use of Scoring Rubrics in Biology Instruction. **The American Biology Teacher**, v. 77, n. 9, p. 669–675, 2015.
- TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR., O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 15, n. 3, p. 529–556, 2009.
- TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science and Education**, v. 21, n. 6, p. 771–796, 2012.
- TERRALL, M. Following insects around: tools and techniques of eighteenth-century natural history. **The British journal for the history of science**, v. 43, n. 4, p. 573–588, 2010.
- TIMMERMAN, B. E. C.; STRICKLAND, D. C.; JOHNSON, R. L.; PAYNE, J. R. Development of a “universal” rubric for assessing undergraduates' scientific reasoning skills using scientific writing. **Assessment and Evaluation in Higher Education**, v. 36, n. 5, p. 509–547, 2011.
- TOLVANEN, S.; JANSSEN, J.; VESTERINEN, V. M.; AKSELA, M. How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education? **Science and Education**, v. 23, n. 8, p. 1605–1636, 2014.
- TOMCZYK, S.; FISCHER, K.; AUSTAD, S.; GALLIOT, B. Hydra, a Powerful Model for Aging Studies.

Invertebrate reproduction & development, v. 59, n. sup1, p. 11–16, 30 jan. 2015.

TRACY, S. J. **Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact**. First ed. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2013. v. 43

TREMBLEY, A. **Instructions d'un père à ses enfants sur la nature et sur la religion**. Geneve: Societé Royale de Londres, 1779.

TREMBLEY, A.; PRONK, C.; SCHLEY, J. van der; LYONET, P.; BAYER, F. M.; SMITHSONIAN LIBRARIES. **Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes**. [s.l.] A Leide : Chez Jean & Herman Verbeek, 1744.

TREMBLEY, J. **Mémoires historiques sur la vie et les écrits de Monsieur Abraham Trembley**. Neuchâtel: National Library of Medicine, 1787.

TURNER, G. L. Eighteenth-century scientific instruments and their makers. In: [s.l: s.n.]p. 239–276.

URHAHNE, D.; KREMER, K.; MAYER, J. Conceptions of the Nature of science-are they general or context specific? **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 9, n. 3, p. 707–730, 2011.

VALE, R. D. The value of asking questions. **Molecular Biology of the Cell**, v. 24, n. 6, p. 680–682, 2013.

VALENTE, J. A. Diferentes usos do computador na educação. **Em Aberto**, v. 12, n. 57, 14 jan. 1993.

VARTANIAN, A. Trembley's Polyp, La Mettrie, and Eighteenth-Century French Materialism. **Journal of the History of Ideas**, v. 11, n. 3, p. 259–286, 1950.

VÁZQUEZ-ALONSO, Á.; APONTE, A.; MANASSERO-MAS, M.-A.; MONTESANO, M. A teaching–learning sequence on a socio-scientific issue: analysis and evaluation of its implementation in the classroom. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 11, p. 1727–1746, 23 jul. 2016.

VESTERINEN, V. M.; AKSELA, M. Design of Chemistry Teacher Education Course on Nature of Science. **Science and Education**, v. 22, n. 9, p. 2193–2225, 2013.

VOGEL, J. J.; VOGEL, D. S.; CANNON-BOWERS, J.; BOWERS, C. A.; MUSE, K.; WRIGHT, M. Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning: A Meta-Analysis. **Journal of Educational Computing Research**, v. 34, n. 3, p. 229–243, 2006.

WALLIN, A.; WEST, E. Design and Validation of Teaching-learning Sequences : Content-oriented Theories about Transmission of Sound and Biological Evolution. In: PLOMP, T.; NIEVEEN, N. (Ed.). **Educational design research – Part B: Illustrative cases**. Enschede, the Netherland: SLO. Netherlands institute for curriculum development, p. 179–198, 2013.

WALRAVEN, A.; BRAND-GRUWEL, S.; BOSHUIZEN, H. P. A. How students evaluate information and sources when searching the World Wide Web for information. **Computers & Education**, v. 52, n. 1, p. 234–246, 1 jan. 2009.

WANG, F.; HANNAFIN, M. J. Design-based research and technology-enhanced learning environments. **Educational Technology Research and Development**, v. 53, n. 4, p. 5–23, dez. 2005.

WEBB, M.; COX, M. A review of pedagogy related to information and communications technology. **Technology, Pedagogy and Education**, v. 13, n. 3, p. 235–286, out. 2004.

WHITE, B. T.; BOLKER, E. D. Interactive Computer Simulations of Genetics, Biochemistry, and Molecular Biology. **Biochemistry and molecular biology education: a bimonthly publication of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology**, v. 36, n. 1, p. 77–84, jan. 2008.

WILEY, D. A. Connecting Learning Objects to Instructional Design Theory: A Definition, a Metaphor, and a Taxonomy. In: **The Instructional Use of Learning Objects**. Bloomington: Agency for Instructional Technology, 2002.

WOLF, K.; STEVENS, E. The role of rubrics in advancing and assessing student learning. **The Journal of Effective Teaching**, v. 7, n. 1, p. 3–14, 2007.

YAKOVLEVA, N. O.; YAKOVLEV, E. V. Interactive teaching methods in contemporary higher education. **Pacific Science Review**, v. 16, n. 2, p. 75–80, 1 jun. 2014.

ZAGALLO, P.; MEDDLETON, S.; BOLGER, M. S. Teaching Real Data Interpretation with Models (TRIM): Analysis of Student Dialogue in a Large-Enrollment Cell and Developmental Biology Course. **CBE life sciences education**, v. 15, n. 2, 2016.

ZION, M.; MENDELOVICI, R. Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. **Science Education International**, v. 23, n. 4, p. 383–399, 2012.

ANEXOS

Anexo 1: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Documento administrado junto aos licenciandos participantes da SD.

Anexo 2: Questionário sócio etnográfico. Instrumento de coleta de dados aplicado aos licenciandos participantes da primeira iteração da SD.

Instrumento de coleta de dados

Você está convidado (a) a responder este questionário que faz parte da coleta de dados da pesquisa: “A Geração dos seres no século XVIII por Charles Bonnet (1720-1793) e Abraham Trembley (1710-1784): a história da biologia numa intervenção de ensino para licenciandos em biologia”.

Todas as respostas serão mantidas em sigilo e você pode deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem qualquer justificativa.

Agradecemos desde já a sua participação

1. Qual a sua nacionalidade?

- A () Brasileira.
- B () Brasileira naturalizada.
- C () Estrangeira.

2 Qual o seu estado civil?

- A Solteiro(a).
- B Casado(a).
- C Separado(a)/desquitado(a)/divorciado(a).
- D Viúvo(a).
- E Outro.

3 Quantos irmãos você tem?

- A Nenhum.
- B Um.
- C Dois.
- D Três.
- E Quatro ou mais.

4 Quantos filhos você tem?

- A Nenhum.
- B Um.
- C Dois.
- D Três.
- E Quatro ou mais.

5. Até que etapa de escolarização seu pai concluiu?

- A () Nenhuma.
- B () Ensino Fundamental: 1o ao 5o ano (1a a 4a série).
- C () Ensino Fundamental: 6o ao 9o ano (5a a 8a série).
- D () Ensino Médio.
- E () Ensino Superior - Graduação.
- F () Pós-graduação.

6. Até que etapa de escolarização sua mãe concluiu?

- A () Nenhuma.
- B () Ensino fundamental: 1o ao 5o ano (1a a 4a série).
- C () Ensino fundamental: 6o ao 9o ano (5a a 8a série).
- D () Ensino médio.
- E () Ensino Superior - Graduação.
- F () Pós-graduação.

7. Onde e com quem você mora atualmente?

- A () Em casa ou apartamento, sozinho.
- B () Em casa ou apartamento, com pais e/ou parentes.
- C () Em casa ou apartamento, com cônjuge e/ou filhos.
- D () Em casa ou apartamento, com outras pessoas (incluindo república).
- E () Em alojamento universitário da própria instituição.
- F () Em outros tipos de habitação individual ou coletiva (hotel, hospedaria, pensão ou outro).

8. Quantas pessoas da sua família moram com você? Considere seus pais, irmãos, cônjuge, filhos e outros

parentes que moram na mesma casa com você.

- A () Nenhuma.
- B () Uma.
- C () Duas.
- D () Três.
- E () Quatro.
- F () Cinco.
- G () Seis.
- H () Sete ou mais.

9. Qual a renda total de sua família, incluindo seus rendimentos?

- A () Até 1,5 salário mínimo (até R\$ 1.182,00).
- B () De 1,5 a 3 salários mínimos (R\$ 1.182,01 a R\$ 2.364,00).
- C () De 3 a 4,5 salários mínimos (R\$ 2.364,01 a R\$ 3.542,00).
- D () De 4,5 a 6 salários mínimos (R\$ 3.542,01 a R\$ 4.728,00).
- E () De 6 a 10 salários mínimos (R\$ 4.728,01 a R\$ 7.880,00).
- F () De 10 a 30 salários mínimos (R\$ 7.880,01 a R\$ 23.640,00).
- G () Acima de 30 salários mínimos (mais de R\$ 23.640,01).

10. Qual alternativa a seguir melhor descreve sua situação financeira ?

- A () Não tenho renda e meus gastos são financiados por programas governamentais.
- B () Não tenho renda e meus gastos são

financiados pela minha família ou por outras pessoas.

C () Tenho renda, mas recebo ajuda da família ou de outras pessoas para financiar meus gastos.

D () Tenho renda e não preciso de ajuda para financiar meus gastos.

E () Tenho renda e contribuo com o sustento da família.

F () Sou o principal responsável pelo sustento da família.

11. Qual alternativa a seguir melhor descreve sua situação de trabalho?

A () Não estou trabalhando.

B () Trabalho eventualmente.

C () Trabalho até 20 horas semanais.

D () Trabalho de 21 a 39 horas semanais.

E () Trabalho 40 horas semanais ou mais.

12. Em que tipo de escola você cursou o ensino médio?

A () Todo em escola pública.

B () Todo em escola privada (particular).

C () Todo no exterior.

D () A maior parte em escola pública.

E () A maior parte em escola privada (particular).

F () Parte no Brasil e parte no exterior.

13. Excetuando-se os livros indicados na bibliografia do curso de biologia, quantos livros você lê por ano?

A () Nenhum.

B () Um ou dois.

C () De três a cinco.

D () De seis a oito.

E () Mais de oito.

14. Quantas horas por semana, aproximadamente, você dedica aos estudos, excetuando as horas de aula?

A () Nenhuma, apenas assisto às aulas.

B () De uma a três.

C () De quatro a sete.

D () De oito a doze.

E () Mais de doze.

15. Qual o principal motivo para você ter escolhido o curso de biologia?

A () Inserção no mercado de trabalho.

B () Influência familiar.

C () Valorização profissional.

D () Prestígio Social.

E () Vocaço.

F () Baixa concorrncia para ingresso.

G () Outro motivo. Qual?

16. Eu tenho facilidade para aprender quando...:

17. Eu tenho dificuldade para aprender quando...:

18. O que um bom aluno? E um bom professor?

19. Quais so os problemas que dificultam o processo de ensino-aprendizagem?

20. Quais disciplinas voc mais gosta e quais voc menos gosta?

21. Em que meios de informao e comunicao voc busca informaes relacionadas cincia?

22. Quais foram as metodologias de ensino utilizadas at agora no curso?

23. Essas metodologias desafiaram voc a aprofundar conhecimentos e desenvolver competncias? Se, sim, quais? Por qu?

Anexo 3: Questionário sócio etnográfico. Instrumento de coleta de dados aplicado aos licenciandos participantes da segunda iteração da SD. Modelo da versão online

Anexo 4: Narrativa histórica “Pólipo, um zoófito(?)”. Material instrucional componente da primeira versão da SD.

História da biologia e natureza da ciência em uma intervenção didática para licenciandos em biologia [Tese em andamento]

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Genética)

Instituto de Biociências, USP

Autor: Filipe Faria Berçot

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Maria Elice Brzezinski Prestes

Narrativa histórica: Pólipo, um zoófito ??

por: Filipe Faria Berçot

Pólipo, um zoófito(?)?

Examinando as raízes [da planta lentilha d'água] com o microscópio, eu notei com admiração muitos animais pequenos de diversos tipos, [...] eu descobri um pequeno animal cujo corpo era às vezes longo, às vezes curto, e no meio desse corpo [...] um animálculo semelhante, ainda menor, parecia fixar-se por sua extremidade posterior. Devido à sua maravilhosa estrutura, eu desenhei tal animal ao menos duas vezes maior de o que parece a olho nu, quando você o vê na água e atado à raiz de um pedaço de uma lentilha d'água. [...] Eu percebi que, no outro lado do corpo do primeiro animal, havia um pequeno nó redondo, que eu vi crescendo nas horas seguintes; e finalmente tornou-se uma estrutura ligeiramente pontuda, que tinha crescido tanto durante 13 ou 14 horas, que se poderia pensar serem dois chifres. Após outro intervalo de 4-20 horas este animálculo tinha quatro chifres [...]

Trecho de carta de Leeuwenhoek à *Royal Society* em 25 de dezembro de 1702.

Passados quase 40 anos após Leeuwenhoek ter enviado a sua carta à *Royal Society* descrevendo as observações com pólipos, esse organismo foi novamente objeto de investigação. Dessa vez, por Abraham Trembley (1710-1784).

Trembley, que havia estudado filosofia e teologia, não era um naturalista de tradição, mas era afeiçoado pela história natural, particularmente por “insetos”. Nascido em Genebra, mudou-se para a Holanda em 1732 onde, em 1736 começou a trabalhar como professor dos dois filhos de um nobre inglês.

Nesse trabalho como professor, Trembley introduziu, o que talvez hoje, podemos chamar de ensino de ciências por investigação. Ou seja, durante as suas buscas e coletas de “insetos”, ele aproveitava para instigar o interesse dos meninos por meio de questionamentos e observações do mundo natural.

Foi no verão de 1740, após Trembley e os meninos coletarem diversos “insetos” aquáticos numa lagoa nos jardins da propriedade e armazená-los numa jarra de vidro para

estudos, que Trembley notou diminutos objetos fixados em outras plantas, quase imperceptíveis a olho nu.

Na primeira vez que eu observei esses pequenos objetos, eu os tomei por plantas parasitas, que crescem sobre outras plantas. [...] Foi a forma desses pólipos, sua cor verde e sua aparente imobilidade que me fizeram pensar serem plantas. (TREMBLEY, 1744, p.8-9)

Figura 1: Pólipos observados por Trembley. As letras (g) e (h) representam uma parte de uma planta em que o pólipo (letras a, b, c) está fixado. As letras (c) eram estruturas que Trembley denominou como chifres. Os três decidiram, então, observar melhor esse organismo.

Abraham Trembley no seu gabinete e os meninos, Jean e Antoine Bentinck

Durante as suas observações, Trembley notou um estranho movimento que chamou a sua atenção. Ele percebeu que esses “chifres” eram capazes de se mover (como braços) em direções diversas, independentemente da circulação da água! Isso indicava um movimento voluntário, característico de animais. Em outro momento, ao sacudir levemente a jarra e ao observar depois com uma lupa, notou que não só os “chifres”, mas todo o objeto se contraía e lentamente se estendia!

Essa contração dos pólipos e todos os movimentos que os vi fazerem quando se estendiam novamente despertaram em minha mente a ideia de um animal. Pois

os comparei aos caracóis e a outros insetos que se contraem e se estendem (TREMBLEY, 1744, p.10)

Figura 2: *Mimosa pudica*. Uma espécie atual de planta sensível

Apesar dessas comparações, Trembley não estava absolutamente convencido, pois ele tinha ciência que algumas espécies de plantas como as sensíveis (Figura 2) também apresentavam movimento ao serem tocadas. Assim, o movimento parecia não ser um bom critério para distinguir animais de plantas.

Ao longo de todo o verão, Trembley e os meninos continuaram a estudar os pólipos e a procurar indícios para determinar a natureza desses organismos.

Passados os dias, Trembley viu alguns pólipos fixados na parede do vaso de vidro, onde anteriormente não havia. Curioso para saber como eles tinham chegado até lá, Trembley e os meninos passaram a observá-los por mais tempo e verificaram que esses pólipos eram capazes de se locomover, semelhante às lagartas (Figura 3).

Figura 3: Movimento de locomoção dos pólipos observados por Trembley. As letras (a) e (b) representam a parte superior e inferior do corpo, respectivamente.

Todos os movimentos realizados pelos pólipos, reafirmado por esse “movimento progressivo” (TREMBLEY, 1744, p. 12) convenceram Trembley que eram animais, fazendo-o (momentaneamente) parar de observá-los, direcionando a sua atenção para outros “insetos”.

Porém, ao final do mês de setembro de 1740, enquanto examinava um vidro com os insetos aquáticos, os pólipos suscitaram, mais uma vez, a atenção de Trembley.

Numa manhã, Trembley notou muitos pólipos fixados na parte iluminada do vidro. Para saber se esse fato era acidental ou se havia algum viés pela claridade, Trembley girou o vidro, para que a parte mais povoada de pólipos permanecesse fora da luz. No dia seguinte, ele observou que muitos pólipos abandonaram o lado mais escuro e migraram em direção ao lado

iluminado!! Trembley repetiu essa experiência várias vezes, sempre notando o mesmo padrão. Mas, “eu não me atrevi a decidir se essa tendência estava relacionada diretamente à luz ou alguma outra circunstância que os atraía para o lado mais claro”. (TREMBLEY, 1744, p. 12)

Isso certamente aguçou ainda mais a curiosidade de Trembley, pois desse momento em diante, ele decidiu estender as observações e se aprofundar na “História dos Pólipos” (TREMBLEY, 1744, p.12)

Outro aspecto que o intrigou foi ter observado variações no número de “chifres” dos pólipos. Esse fato o induziu a comparar com as variações no número de galhos e raízes das plantas. Pois, mesmo que estivesse convicto sobre a natureza animal dos pólipos, ele não excluiu a possibilidade de ser uma planta. E foi por não rejeitar essa ideia que ele decidiu cortar um pólipo.

Eu julguei que, se as duas partes de um mesmo pólipo vivessem após serem separadas (...), seria óbvio que esses corpos organizados seriam plantas. Como eu estava mais inclinado a crer que eram animais, eu esperava ver a morte desses pólipos cortados (TREMBLEY, 1744, p. 13)

Em 25 de novembro de 1740, com uma tesoura de ponta fina, Trembley realizou a experiência de cortar um pólipo ao meio (figura 4) e separou cada pedaço desse pólipo em dois pequenos pratos de vidro contendo água. Então, dia após dia ele observou atentamente cada pequena alteração. Nove dias depois, para a sua surpresa, cada parte gerou pólipo perfeito! Eles se estendiam, se contraíam e se locomoviam, assim como antes de cortá-lo.

Figura 4. Da esquerda para a direita: fig 1. Representa a parte superior dos pólipos com os “chifres” e duas partes (fig 2 e 3) a parte inferior. Fig 7 representa a metade de um pólipo cortado de forma longitudinal e a fig 9., parte da tesoura de ponta fina usada na experiência (TREMBLEY, 1744, p, 75).

A observação dessa experiência, mais bem-sucedida do que Trembley esperava, o levou novamente a crer que pudessem ser plantas. E plantas que se desenvolvem por *estaquia*. Mas e

os movimentos?! Como tomar qualquer decisão ante a espontaneidade dos movimentos dos pólipos, conhecidos numa infinidade de animais, mas totalmente incomuns às plantas!

Diante desses fatos, Trembley resolveu procurar outras características que pudesse ajudá-lo a descobrir a natureza desses organismos.

Eu estava muito inclinado a crer que esses objetos eram animais; mas com essa nova característica; comecei a imaginar que esses organismos seriam um tipo de animal-planta; um meio-termo entre essas duas classes de corpos organizados. (TREMBLEY, 1744, p, 19).

Passados seis meses de muitas observações e experiências, Trembley não sabia ainda o que eram esses objetos. Foi quando decidiu escrever e reportar tudo que havia observado, a um renomado naturalista francês René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). Réaumur, autor do trabalho *Memória para servir a história dos insetos*, (obra lida meticulosamente por Trembley) pode ser considerado como um especialista na arte de observar insetos na época.

Réaumur escreveu a Trembley em janeiro de 1741 reportando que ficou extremamente curioso a respeito desses pequenos corpos organizados e o pediu que enviasse amostras desses objetos. Mas, Réaumur não pôde concluir a favor de animais ou plantas e questionou a Trembley:

“De acordo com as suas últimas experiências [corte dos pólipos], você parece estar decidido em favor das plantas. Mas plantas caminham? É mais fácil plantas aquáticas se moverem do que plantas terrestres; assim como as plantas na água se movem em direção à luz ou calor de forma semelhante às plantas terrestres; ou como as plantas nas cavernas que buscam pela luz e ar aberto por meio de frestas e buracos. Contudo, o que me impressiona mais é que seus objetos caminham no vidro!” (RÉAUMUR, 1741, apud DAWSON).

Quase um mês depois, Trembley enviou para Réaumur, em Paris, uma amostra contendo cinquenta organismos. Réaumur os recebeu em 27 de fevereiro de 1741, mas estavam todos mortos. Réaumur então retornou outra carta para Trembley comunicando o ocorrido e sugeriu que enviasse os frascos fechados com cortiça e num contêiner aberto.

Em março Trembley enviou uma nova amostra para Réaumur. Contudo, para assegurar que chegariam vivos, Trembley realizou uma “viagem experimental”. Armazenou alguns pólipos numa pequena garrafa de vidro fechada com cortiça e passeou por 40 km. Ao perceber que estava tudo em ordem, Trembley enviou novas amostras para Paris, uma viagem de quatro a sete dias no trotar de um cavalo.

Ansioso e impaciente pela resposta de Réaumur, Trembley continuou fazendo observações com seus organismos.

No final de fevereiro, Trembley havia notado uma pequena excrecência, um ponto verde-escuro preso a um desses organismos localizados na parede do vaso de vidro. Aquilo chamou a sua atenção e ele decidiu separar esse organismo e colocá-lo em outro recipiente. Sem levantar qualquer julgamento precipitado, Trembley começou a suspeitar que aquela excrecência poderia se tornar um outro organismo (TREMBLEY, 1744, p, 151).

Com o auxílio de uma lupa, Trembley observava diariamente e notava que aquela pequena excrecência aumentava e crescia de maneira perpendicular ao corpo do organismo maior.

No dia 18 de março de 1741, ele afirmou testemunhar o momento exato em que esse pequeno corpo organizado se destacava do organismo “mãe”. Ciente da possibilidade de estar diante de um fato totalmente incomum para a época (o nascimento virgem de um organismo animal), Trembley não falhou em isolar esse pequeno novo corpo, evitando qualquer chance de fecundação!!

No momento em que Trembley se aprazia com essa nova descoberta, a carta enviada por Réaumur chegava em suas mãos com uma notícia que ele esperava ansiosamente. Após Réaumur repetir algumas experiências e ver pessoalmente todos os movimentos do intrigante objeto enviado por Trembley, Réaumur os classificou como animais e deu o nome de **Pólipos**, devido à semelhança com os polvos marinhos.

Todavia, diante da sua recente descoberta, Trembley novamente se questionou se esses organismos não poderiam ser plantas. Afinal, esse modo de reprodução por brotos era uma característica mais próxima às plantas do que aos animais.

Ao comunicar essa nova descoberta em outra carta, Réaumur não concordou plenamente com essa observação sobre o fenômeno de brotamento.

A maneira pela qual esses pólipos se reproduzem é outra estranheza (...). O que você observou é extremamente curioso, mas pode ser que não tenha visto tudo. Por exemplo, pode ser que haja algum ovo preso ao pólipo mãe, como ocorre em lagostas, em que os ovos se mantêm presos à cauda. NO caso dos pólipos, quando esse ovo começar a se desenvolver, ele pode crescer para fora, como você têm observado. Talvez o próprio corpo da mãe pólipo possa servir de nutrição ao pólipo recém-nascido. (RÉAUMUR, 1741 apud DAWSON)

Para investigar essa questão, Trembley decidiu fazer uma experiência para analisar a estrutura desses pólipos e percebeu que não havia qualquer tipo de ovo. O jovem pólipo estava realmente unido à mãe, formando uma membrana verde e contínua entre os dois corpos, da mesma forma que galhos presos ao tronco das plantas (figura 4). Trembley percebeu que os grânulos no interior dos corpos dos pólipos podiam passar livremente entre os dois corpos, sem qualquer barreira (figura 5).

Figura 4. À direita uma pequena excrescência crescendo lateralmente ao pólipo mãe. À esquerda o organismo preso à mãe, quase totalmente formado.

Figura 5. Da esquerda para a direita: a secção da pele de um pólipo representando a ausência de barreira entre os dois corpos (fig 5 e 6) e a excrescência em desenvolvimento (fig 10).

Como vocês puderam perceber, Trembley não hesitou em realizar as mais variadas observações e experiências para tentar responder ao enigma que ele havia encontrado. Mas, até momento, quanto mais ele estudava, mais dúvidas apareciam. Ele estava fortemente inclinado a reconhecer que esse objeto era um animal por todos os movimentos que os viu fazer.

Mas, é possível que animal possa se reproduzir como uma planta, se regenerar como uma planta? Seria possível fazer uma linha dividindo o reino de animais e plantas? Os pólipos seriam uma nova classe de corpos organizados entre os dois reinos?

Quais outras observações e experiências ele poderia ter feito para defender a sua posição em favor de animais ou plantas? No lugar de Trembley, o que você faria para “botar um fim” nessa questão?

As descobertas feitas por Trembley não se restringiram ao conhecimento local, mas foram divulgadas e geraram interesse de naturalistas e do público em geral em vários países Europa. Entretanto, a ideia da existência de um animal que ao ser cortado em várias partes, produziria novos seres, foi alvo de incredulidade, criticismo e até mesmo ironias e piadas.

O que você acha que Trembley fez (e ele fez) para calar esses críticos e provar a veracidade dos seus resultados? O que você faria?

Anexo 5: Narrativa histórica “O enigma do pulgão”. Material instrucional componente da primeira versão da SD.

História da biologia e natureza da ciência em uma intervenção didática para licenciandos em biologia [Tese em andamento]

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Genética)

Instituto de Biociências, USP

Autor: Filipe Faria Berçot

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Maria Elice Brzezinski Prestes

Narrativa histórica: *O enigma do pulgão*

por: Filipe Faria Berçot

'O enigma do pulgão'

A história aconteceu no verão de 1740, em Genebra.

Casa de Charles Bonnet, Thônex, Genebra. Início do século XVIII

Como em outras partes da Europa na época, a população de Genebra era predominantemente cristã, tanto entre os membros da nobreza, quanto entre o público em geral. As posições sociais mais importantes eram exclusivamente masculinas, da política à ciência. No que concerne à ciência, o problema aqui posto foi proveniente dos estudos em História Natural.

Na época, os estudos em História Natural, em especial dos seres vivos, buscavam descrever e classificar os organismos que foram concebidos por um Criador. Ou seja, a ideia da criação divina era unânime entre os naturalistas. Portanto, não havia interesse em entender a origem dos organismos, mas sim, conhecer como a obra divina se perpetuava – reprodução.

Para tentar explicar como ocorria a multiplicação dos seres vivos, os naturalistas se apropriavam de duas teorias concorrentes: A teoria da preformação e a teoria da epigênese. Os adeptos da preformação alegavam que todos os organismos vivos existentes foram criados por

Deus, no início dos tempos. Essa teoria era dividida entre (1) ovistas, aqueles que defendiam que o “germe” (ou ser preexistente) estava localizado no órgão reprodutivo da fêmea desde o momento da Criação e (2) os animalculistas, os que argumentavam em favor da localização do “germe” no esperma ou líquido seminal do macho.

Por outro lado, os defensores da epigênese alegavam que o embrião era formado por uma substância amorfa, indiferenciada. Diferente da preformação, para os epigenistas, o organismo não está formado no ovo fertilizado, mas cresce gradualmente a partir das alterações ocorridas durante a formação do embrião. Ademais, atribuíam-se à natureza uma autonomia ou um poder formador que independia da ação divina, conduzindo a um pensamento materialista. Outra importante consideração era que a epigênese admitia a mudança, o que contrariava a crença na estabilidade ou constância da natureza.

No contexto social do século 18 não é difícil imaginar qual das duas teorias possuíam mais adeptos!

Mas, apesar das discordâncias teóricas, havia o consenso de que para haver reprodução era necessária a participação de ambos os sexos, especialmente no reino animal.

Contudo, em meio à diversas espécies de animais já conhecidas, havia um inseto que vinha intrigando naturalistas e amadores desde o século XVII, principalmente devido à maneira pela qual eles geravam seus filhotes. O que, aparentemente, contrapunha tudo o que era aceito pela comunidade científica da época.

A dúvida de como os pulgões (figura 1) se multiplicavam fomentou o surgimento de várias hipóteses:

Figura 1. Pulgão da Fava. À esquerda, ilustração em BONNET, 1745.
À Direita, pulgões da espécie *Aphis fabae* (pulgão preto da fava)

Em Middelburg cidade portuária na Holanda, havia muitos naturalistas e amadores interessados em coletar e cultivar plantas e animais. Nesse contexto, Johannes Goedaert (1617-1668) um entusiasta da história dos insetos, ao realizar algumas observações com pulgões nos ramos de plantas, considerou que esses insetos nasciam de um tipo de “humor” (líquido) rejeitado por formigas e eram “vivificados” pelo calor do sol (Figura 1).

Também na Holanda, em 1695, Antonie Philips van Leeuwenhoek (1632-1723) tentou compreender a geração desses organismos procurando por ovos, como ocorria em muitos insetos já conhecidos. Como não encontrou, alegou que as fêmeas eram vivíparas, ou seja, o embrião se desenvolvia dentro do corpo da mãe.

Na Itália, país com presença importante nos estudos em história natural, o naturalista Giacinto Cestoni (1637-1718) havia atestado (com base em observações pessoais), que pulgões eram hermafroditas, pois eram capazes de gerar descendentes e jamais tinham sido vistos copulando.

No início do século XVIII, o naturalista francês Gabriel Phillipe de La Hire (1640-1718) publicou uma *memória* em 1703, considerando que esses insetos se reproduziam por meio de ovos, como fazem as moscas comuns. Ele constatou que os insetos se refugiavam em tocas durante o inverno e saíam na primavera para botar seus ovos.

Em 1724, outro naturalista francês, Claude-Joseph Geoffroy (1685-1752) escreveu uma *memória* afirmando que a espécie de pulgão com asas que se alimenta do olmo era vivípara. Ao observar o nascimento dos pulgões, verificou que eles possuíam a mesma forma da mãe, porém, sem asas; um tempo depois, esses filhotes se tornavam alados. Essas observações trouxeram um novo problema, pois, era sabido, por meio de observações e analogias com outros tipos de insetos, que indivíduos com asas normalmente eram machos e sem asas, fêmeas.

Diante dessas suspeitas, um renomado e experiente naturalista francês, René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) decidiu investigar a geração dos pulgões e publicou suas observações numa de suas *Memórias* em 1737. Contudo, mesmo tendo feito diversas observações, ele não conseguiu desvendar o mistério da reprodução desses insetos. Réaumur disse:

Em toda a família dos pulgões existem tipos alados e sem asas; segundo a analogia usual, alados seriam os machos e sem asas, as fêmeas. Mas, o que parece uma grande singularidade na história desses insetos é que ambos são fêmeas. Eu não consegui observar machos que fossem capazes de engravidar nenhum dos dois tipos.

(RÉAUMUR, 1737)

Ademais, Réaumur chegou a algumas conclusões, obtendo, inclusive, evidências para a afirmação de viviparidade em algumas espécies.

Mas, para se convencer que [esses pulgões alados] são vivíparos, basta pressionar suavemente próximo ao meio do ventre, forçando até que os pequenos corpos saiam pela parte de trás. Qualquer observador, usando

uma lupa e que olhe os pequenos corpos, facilmente reconhecerá que os pulgões estavam formados e prontos para nascer (RÉAUMUR, 1737, p.326).

Como notado, naturalistas de diversos lugares não conseguiram chegar a um consenso acerca de como esses insetos se multiplicam. Ou seja, muitas ideias hipóteses foram aventadas, mas nenhuma delas conseguiu fornecer evidências plausíveis que fossem favoráveis a uma ou outra ideia.

Pense! Todos esses naturalistas estavam olhando para dados semelhantes (pulgões), apesar da variação das espécies. Mas, ainda assim, eles chegaram a conclusões diferentes sobre como esses insetos se reproduziam. Por que você acha que diferentes explicações surgiram na tentativa de explicar o mesmo fenômeno?

Como ressaltado anteriormente, em 1737 o naturalista francês Réaumur foi um dos últimos a tentar entender a reprodução dos pulgões, mas ele não conseguiu obter êxito com seus resultados.

Três anos depois, Réaumur decidiu convidar um jovem naturalista que vivia em Genebra, Charles Bonnet (1720-1793), para estudar essa questão. Mas, por que, Bonnet?

Bonnet foi formado em Direito pela Academia de Genebra, mas a sua paixão pela história natural dos insetos havia sido despertada desde os 17 anos de idade, enquanto ainda estudante de filosofia na Academia de Genebra (atual Universidade de Genebra). Bonnet conheceu a história natural dos insetos por meio da leitura da obra *Memórias para servir a história dos insetos*, de Réaumur.

Ele não se contentou apenas com a leitura das histórias, mas repetiu algumas das observações feitas por Réaumur. Aos 18 anos de idade, Bonnet repetiu uma observação com um tipo de lagarta processionária “Livrée”, comum nos arredores de Genebra (Figura 2). Bonnet capturou um ninho dessas lagartas no jardim de sua residência, em Thonêx, e levou para o seu quarto, alojando-o na base da janela e observou por vários dias.

Figura 2. Esquerda, lagarta processionária (livrée). Ilustração em RÉAUMUR, 1737. Direita, lagartas em fila da espécie *Thaumetopoea pityocampa* (processionária)

A curiosidade a respeito dessas lagartas era o fato delas caminharem longas distâncias, afastando-se dos seus ninhos, sempre em fila (procissão) e retornarem exatamente pelo mesmo caminho!

Eu sabia que as lagartas não eram desprovidas de visão, pois eu já tinha observado seus olhos com uma lupa (...); mas, apesar disso, eu não estava muito seguro sobre o papel da visão dessas lagartas; e eu não estava convencido que seus olhos seriam o suficiente para guiá-las por caminhos tão diferentes e distantes(...). (BONNET, 1779, p, 19)

Então, como elas se guiavam? Bonnet se propôs a entender como isso acontecia. Se os olhos não eram o bastante, será que elas teriam algum tipo de sensibilidade?

À noite, Bonnet aproximou das lagartas uma vela acesa e notou que elas se moviam em relação ao centro do ninho, se escondendo. Além disso, ele bateu uma lata próximo ao ninho, mas dessa vez, não percebeu nenhuma mudança de comportamento com esses insetos. Portanto, ele concluiu haver sensibilidade à luz (ou calor), mas não ao som. Entretanto, nada disso o ajudava a entender como esses animais caminhavam em fila, sem se perder!

Numa manhã, enquanto as lagartas saíam para forragear, Bonnet notou um estranho brilho dourado refletido pelo sol, vindo de uma linha onde elas tinham acabado de passar. Bonnet imaginou ser um fio de teia de aranha deixado durante a noite. Mas, as lagartas que abandonavam o ninho, também seguiam exatamente esse fio dourado. Aquilo o intrigou e ele decidiu olhar com mais atenção e o que descobriu o deixou eufórico! O fio dourado não era de aranha alguma! As primeiras lagartas produziam esse tipo de seda e parecia que as outras usavam esse fio para se guiar.

Bonnet decidiu observar melhor percebeu que havia uma espécie de “tapete de seda” produzida pelas primeiras lagartas que serviam de guia para as demais. Tanto para ir, quanto para retornar ao ninho. Para se certificar que era essa “tapeçaria” a responsável pela condução das lagartas e não a visão, Bonnet realizou um procedimento bastante simples! ***O que você acha que ele fez? Em seu lugar, o que você faria?***

Bonnet esperou a fila se formar e usou o dedo para cortar o “tapete de seda”. Imediatamente as lagartas da parte de trás da fila pararam (e algumas vezes até retornavam)! Enquanto as da frente seguiram a sua marcha. Ele repetiu essa experiência outras vezes para assegurar não ter sido apenas uma coincidência, encontrando sempre as mesmas ocorrências.

Após ter descoberto o meio como essas lagartas percorriam grandes distâncias, Bonnet decidiu escrever ao célebre naturalista Réaumur, em Paris, reportando em detalhes tudo o que havia visto. Réaumur tinha feito várias observações com essas lagartas procecionárias, mas esse fato peculiar o havia escapado.

É possível que Bonnet tenha escrito sem esperança de retorno. Afinal, Réaumur, um experiente e ocupado naturalista, talvez não tivesse tempo para responder a um jovem curioso de outro país. Mas, para a sua surpresa, Réaumur disse:

Seus talentos [de Bonnet] para as observações em história natural se manifestaram cedo; (...) ele era ainda um estudante de filosofia quando me enviou as suas observações que demandaram toda paciência e sagacidade dos mestres da arte de observar (RÉAUMUR, 1742, p. 319).

Charles Bonnet realizou diversas outras observações próprias durante a sua juventude, além de repetir experiências de outros naturalistas. No entanto foram as observações e a descoberta peculiar sobre essas lagartas que o permitiu entrar em contato com o naturalista Réaumur e dar início do que seria uma longa e importante amizade.

Tendo conhecimento das pacientes habilidades de Bonnet para a observação de insetos, Réaumur o convidou, em 1740, a tentar solucionar o enigma dos pulgões. Como esses pequenos insetos se reproduziam?

Bonnet já sabia das tentativas de outros naturalistas e dos insucessos de Réaumur. E assim como eles, Bonnet não conseguiu perceber nada que se assemelhasse à cópula entre esses insetos. Mas ainda assim eles continuavam a se multiplicar nos galhos e folhas das plantas.

Pense! A questão era: se a regra aceita para a reprodução animal era a participação de ambos os sexos, como ocorria a multiplicação em pulgões se nunca foram vistos copulando? No lugar de Bonnet, o que você faria para responder essa questão?

Anexo 6: Questionário VNOS-C, versão adaptada. Instrumento de coleta de dados (pré-teste) da primeira versão da SD.

Instrumento de coleta de dados

Você está convidado (a) a responder este questionário que faz parte da coleta de dados da pesquisa: “A Geração dos seres no século XVIII por Charles Bonnet (1720-1793) e Abraham Trembley (1710-1784): a história da biologia numa intervenção de ensino para licenciandos em biologia”.

Todas as respostas serão mantidas em sigilo e você pode deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem qualquer justificativa.

Agradecemos desde já a sua participação.

Questionário: Visões da Natureza da Ciência – versão C

Adaptado de: Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. and Schwartz, R. S. (2002), Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. J. Res. Sci. Teach. 39: 497–521. **Traduzido por:** Filipe Faria Berçot

Nome: _____ Data: ____ / ____ / ____

Instruções

Por favor, responda cada uma das seguintes questões. Inclua exemplos relevantes sempre que possível. Você pode usar o verso de uma página se necessitar de mais espaço. Não há respostas "certas" ou "erradas" para as questões abaixo. Nós estamos interessados em conhecer a sua posição acerca de questões relacionadas à ciência

1 – É muito comum, na área das ciências, ouvir palavras como “teorias” para descrever um conhecimento científico.

a) O que é uma teoria?

b) Como as teorias são criadas?

c) Dê um exemplo para a aplicação de uma teoria.

2 – Após os cientistas desenvolverem uma teoria científica (por exemplo, teoria atômica ou teoria da evolução), ela é passível de mudanças? Se você acredita que **sim**, as teorias podem mudar:

a) Explique por quê.

b) Defenda a sua resposta com exemplos.

Se você acredita que as teorias científicas **não** mudam:

a) Explique por quê.

b) Defenda a sua resposta com exemplos.

3 – O que é um experimento?

4 – Experimentos são necessários para o desenvolvimento de um conhecimento científico?

Se, sim, explique porque e forneça um exemplo para defender a sua opinião.

Se, não, explique porque e forneça um exemplo para defender a sua opinião.

5 – Acredita-se que os dinossauros foram extintos há aproximadamente 65 milhões de anos. Das hipóteses formuladas pelos cientistas, duas são amplamente aceitas. A primeira, formulada por um grupo de cientistas, sugere que um grande meteorito colidiu com a Terra há 65 milhões de anos, proporcionando uma série de eventos que ocasionou a extinção. A segunda hipóteses, formulada por outro grupo de cientistas, alega que uma série de massivas e violentas erupções vulcânicas foram responsáveis pela extinção. Como é possível obter **explicações diferentes**, se ambos os grupos de cientistas tiveram acesso e usaram o **mesmo conjunto de dados**?

6 – Cientistas elaboram experimentos /métodos de investigação quanto estão tentando encontrar respostas às suas questões. Durante a sua investigação, os cientistas usam de criatividade e imaginação?

Se você acredita que **sim**, cientistas **usam** criatividade e imaginação:

a) Explique por que, indicando em que momento isso ocorre (planejamento e desenvolvimento, durante a coleta de dados, após a coleta de dados).

b) Defenda a sua resposta fornecendo exemplos.

Se você acredita que **não**, cientistas **não usam** criatividade e imaginação:

a) Explique por quê.

b) Defenda a sua resposta fornecendo exemplos.

Anexo 7: Instrumento contextualizado de coleta de dados (pós-teste), aplicados junto aos licenciandos participantes da primeira versão da SD.

Instrumento de coleta de dados

Você está convidado (a) a responder este questionário que faz parte da coleta de dados da pesquisa: “A Geração dos seres no século XVIII por Charles Bonnet (1720-1793) e Abraham Trembley (1710-1784): a história da biologia numa intervenção de ensino para licenciandos em biologia”.

Todas as respostas serão mantidas em sigilo e você pode deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem qualquer justificativa.

Agradecemos desde já a sua participação

Nome: _____ Data: ____/____/____

1 - Ao longo da SD, enquanto trabalhávamos a narrativa histórica, você teve oportunidade de saber que o naturalista francês Réaumur solicitou que Trembley procurasse por ovos nas hidras a fim de contradizer a reprodução por brotamento. Essa solicitação de Réaumur deriva da ideia amplamente aceita na época e que havia sido proposta em 1651 por William Harvey (1578-1657), de que todos os animais, até mesmo os vivíparos, não excluindo o homem, provêm de um [tipo de] ovo. Essa ideia contribuiu para o desenvolvimento da teoria da pré-formação. Esta teoria alegava que os seres vivos já preexistem dentro dos corpos dos progenitores desde a Criação. No entanto, na época havia outra teoria concorrente: a epigênese, que defendia que o organismo não está formado no “ovo”, mas se desenvolve gradualmente a partir do processo de formação do embrião.

- a) Qual o papel que você acredita que as teorias da pré-formação e da epigênese desempenharam na produção do conhecimento sobre a natureza animal, vegetal ou intermediária das hidras?
- b) Ainda nesse aspecto, como visto, Trembley identificou vários aspectos de natureza vegetal, enquanto estudava as hidras. Por exemplo: a regeneração; a atração pela luz e a reprodução por brotamento. Apesar disso, ele insistia na natureza animal desses organismos. Como você explicaria a sua insistência por tal posição? Justifique

2 - Na narrativa histórica sobre Bonnet e o enigma do pulgão, foi visto que surgiram várias explicações para o fato de que os pulgões nunca tinham sido vistos copulando. Na época, acreditava-se que a geração animal poderia se dar de duas formas: por geração espontânea ou por reprodução sexuada.

Diante dessa situação, algumas explicações foram propostas: O holandês Johannes Goedaert (1617-1668), pintor e entusiasta da história dos insetos considerou que esses insetos nasciam de um tipo de “humor” (líquido) rejeitado por formigas. Também na Holanda, em 1695,

Leeuwenhoek (1632-1723) alegou que as fêmeas eram vivíparas. Já o naturalista italiano Giacinto Cestoni (1637-1718) defendeu a ideia de que pulgões eram hermafroditas. Em relação ao mesmo problema o naturalista francês Gabriel Phillipe de La Hire (1640-1718) alegou que esses insetos reproduziam por meio de ovos, como fazem as moscas comuns.

É curioso saber que o mesmo fato pode ter gerado explicações tão distintas. Como você explicaria explicações diferentes a respeito de um mesmo fenômeno?

3 - Frente ao dilema para tentar elucidar a natureza das hidras, Trembley planejou e conduziu diversos procedimentos experimentais, tais como: cortar uma hidra longitudinal e transversalmente, expor os organismos à luz, virar uma hidra do avesso, entre outros. Ao mesmo tempo, vimos também que Bonnet conduziu experimentos paralelos (hoje chamado controle) e observações em que promoveu o isolamento de um pulgão (afídeo) para tentar entender como esses insetos se reproduziam. Ambos os naturalistas estavam diante de formas incomuns de reprodução, que não eram conhecidas pela comunidade de estudiosos da época.

- a) Como você descreveria o papel dos experimentos para esses dois naturalistas?
- b) Há outros motivos para a realização de experimentos? Quais? Exemplifique.

Anexo 8: Instrumento contextualizado de coleta de dados (pré-teste), aplicados junto aos licenciandos participantes da segunda iteração da SD.

O presente questionário tem o objetivo de levantar concepções prévias para a pesquisa “*A Geração dos animais no século XVIII por Charles Bonnet (1720-1793) e Abraham Trembley (1710-1784): A história da biologia numa intervenção didática para licenciandos em biologia*”. As respostas aqui fornecidas NÃO serão utilizadas para sua avaliação individual na disciplina. O preenchimento desse questionário é estritamente voluntário, NÃO conferindo nenhuma forma de bonificação. A fim de manter o anonimato e possibilitar comparações ao longo da pesquisa, pedimos que escreva o seu número de matrícula no espaço indicado e preencha o questionário de forma individual. Desde já agradecemos a sua colaboração!

Nº matrícula: _____

1. Considerando a sua vida universitária, você já teve contato em aula com:

Natureza da Ciência?	Sim	☐	Não	☐	Não lembro	☐
Ensino de ciências por investigação?	Sim	☐	Não	☐	Não lembro	☐

2. O que você entende por *natureza da ciência*?

3. Considere o seguinte resumo histórico sobre a descrição da Doença de Chagas:

Carlos Chagas publicou em 1909 a descrição de uma nova doença tropical, identificada no pequeno povoado de Lassance (MG). A literatura relata que Carlos teve uma infância tranquila e abastada numa fazenda de café, no interior de MG. Ficou órfão de pai ainda pequeno e cresceu próximo a um tio que era médico. Em 1987, mudou-se para o RJ para cursar medicina, onde conheceu Oswaldo Cruz, quando procurava um orientador para o seu trabalho de conclusão de curso. Chagas publicou trabalhos sobre a malária e ao se formar dedicou-se ao estudo dessa doença, posteriormente assumindo um cargo público para atuar na primeira campanha antimalária do Brasil.

Em meados de 1907, foi para o interior de MG, para monitorar os surtos de malária nas construções da Estrada de ferro Central do Brasil, que estavam paradas devido ao elevado número de trabalhadores enfermos. No povoado de Lassance, identificou sintomas dispare aos da malária e as conversas com moradores e trabalhadores da região fizeram com que ele passasse a considerar a hipótese de uma nova doença. Chagas chegou a considerar que a doença poderia ser uma variação do bócio, devido às similaridades entre as enfermidades. Em conversas com um engenheiro de obras, ele soube da existência de um inseto que incomodava os moradores da região, devido ao seu hábito de sugar o sangue do rosto (o barbeiro).

Nessa época (final do sec. XIX e início do XX) muitas doenças tropicais (como a febre amarela) estavam sendo descritas e a medicina brasileira tentava acompanhar esse progresso. A observação dos hábitos do barbeiro, o envio sistemático de amostras sanguíneas de animais e de humanos doentes para o pesquisador Oswaldo Cruz (no RJ) e os testes laboratoriais via inoculações começaram a corroborar a suspeita de uma tripanossomíase. Entretanto, a presença de formas de tripanossomas no sangue de saguis doentes não batia com a aparente ausência de tripanossomas no sangue de humanos doentes. Ocorreram sucessivos desencontros metodológicos que dificultaram a compreensão da doença. Em meados de 1908, a família de uma criança (a pequena Berenice, de dois anos) que estava em estado grave chamou Carlos às

pressas para socorrê-la. Berenice não resistiu, mas teve seu sangue coletado e inoculado em cobaias, que posteriormente desenvolveram a mesma doença. Esse episódio foi uma das chaves para a descrição completa da doença por Chagas, que em seus artigos evidenciou a necessidade de combater a precariedade sanitária no interior do país.

(Fragmento adaptado do trabalho final da disciplina TNOS –USP 2015, de autoria de Nathália Helena Azevedo e Tiago del Corso)

Com base nesse relato e em suas concepções sobre ciência, assinale o seu grau de concordância em cada uma das seguintes afirmações:

Legenda:

Discordo totalmente

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Concordo totalmente

1-Os fatores econômicos e políticos podem influenciar o trabalho dos cientistas.	1	2	3	4	5
2-Os cientistas podem influenciar na política e na economia.	1	2	3	4	5
3-Os cientistas possuem motivações pessoais para realizarem suas atividades.	1	2	3	4	5
4-O acaso é importante para as descobertas científicas.	1	2	3	4	5
5-O conhecimento científico é passível de mudanças.	1	2	3	4	5
6-Os cientistas interagem entre eles para validarem descobertas.	1	2	3	4	5
7-Os cientistas interagem com a sociedade para chegar em suas descobertas.	1	2	3	4	5
8-A interação entre ciência e sociedade é uma prática válida para alcançar soluções.	1	2	3	4	5
9-Acontecimentos na sociedade interferem no trabalho dos cientistas.	1	2	3	4	5
10-Na ciência existe um método científico único.	1	2	3	4	5
11-Trabalhar um episódio histórico em sala de aula ajuda no ensino aprendizagem de natureza da ciência.	1	2	3	4	5

4. Além dos aspectos relatados nas afirmativas anteriores, você consegue identificar outros aspectos da natureza da ciência relacionados com o episódio histórico?

Anexo 9: Instrumento contextualizado de coleta de dados (pós-teste), aplicados junto aos licenciandos participantes da segunda iteração da SD.

Questionário sobre natureza da ciência e história da biologia e ensino
Disciplina: Práticas Pedagógicas em Biologia
Unifesp campus de Diadema
Sobre vírus, mosquitos, cérebros e vacinas
Por: Filipe Faria Berçot

Em 1947, durante um monitoramento rotineiro de vigilância para a febre amarela na Floresta de Zika, na Uganda um grupo de cientistas isolou um vírus desconhecido em macacos Rhesus mantidos em cativeiro – o Zika vírus. O primeiro grande surto causado pela infecção por Zika, em 2007, foi notificado na ilha de Yap (Estados Federados da Micronésia). Em 2015, o Brasil notificou uma possível associação do vírus Zika e a microcefalia. Desde então, essa suspeita inicial de associação tem sido tema de intensas discussões na comunidade científica.

Um estudo conduzido em parceria entre pesquisadores brasileiros e americanos e publicado na *Nature* em maio de 2016, mostrou que a variedade do vírus em circulação no Brasil consegue atravessar a placenta de fêmeas de camundongo e prejudicar o desenvolvimento dos filhotes. Os roedores nascem miúdos e com menos da metade do peso normal, além de apresentarem o cérebro menor do que o de filhotes saudáveis.

Desde o final de 2015 já haviam dados indicando que o vírus Zika poderia ser o agente patológico responsável por parte dos casos de microcefalia identificados no país. O que levou a Organização Mundial da Saúde a afirmar que havia um “forte consenso científico” de que o Zika causava o problema. Entretanto, “Não era possível saber se era realmente o Zika ou havia algum outro fator associado causando os casos de má formação no Brasil (...). Nosso trabalho mostra que o vírus Zika brasileiro é suficiente para causar microcefalia e outros problemas congênitos” diz Alisson Muotri, pesquisador da Universidade da Califórnia em San Diego e um dos coordenadores do estudo publicado na *Nature*.

Além de a associação entre o vírus Zika e a microcefalia, o *Aedes aegypti*, mosquito transmissor do vírus da dengue, é também o mesmo vetor do vírus Zika. Isso levou pesquisadores do Instituto Butantã, em São Paulo, que estão tentando desenvolver uma vacina contra a dengue, a avaliar possíveis interações entre os dois vírus. Segundo Paulo Lee Ho, diretor da Divisão de Desenvolvimento Tecnológico e Produção (DDTP) do Instituto Butantan: “A ideia é verificar se a infecção pelo vírus da dengue facilita o contágio pelo vírus Zika, entre outras possíveis interações dos dois *flavivírus*, que são muito parecidos”.

Mas, um grupo de cientistas do Instituto Evandro Chagas, no Pará, em parceria com pesquisadores da universidade Medical Branch do Texas, EUA - um dos principais centros mundiais de pesquisas de *arbovírus* - vem tentando atacar outra frente do desenvolvimento de uma vacina contra o vírus Zika. “O desafio é produzir mutações em determinados genes do vírus que façam com que ele perca a capacidade de provocar a doença, mas sem que isso afete a indução da produção de anticorpos, que é o que protege contra a infecção”. (...) “Essa vacina tem uma vantagem porque o agente um vírus que sofre poucas mutações (...) além de ser estável, e de um único tipo, diferente da dengue que tem quatro cepas”, diz Pedro Vasconcelos, diretor do Instituto Evandro Chagas.

Como visto, a comunidade científica tem se esforçado em buscar e divulgar os resultados encontrados para os problemas causados pelo vírus Zika, vírus da dengue e outros agentes patológicos. Apesar disso, pouco tempo após o surto de microcefalia que ocorreu na região nordeste do Brasil, informações disseminadas na internet sobre outras possíveis causas de má formação neurológicas, acabaram causando alarde e preocupação, em especial às mulheres grávidas. Entre as informações veiculadas afirmava-se, por exemplo, que o Zika vírus teria aumentado sua incidência em vários estados brasileiros após a soltura de mosquitos transgênicos criados em laboratórios de pesquisa, ou que um lote vencido de vacinas contra a rubéola e aplicado em gestantes teria ocasionado microcefalias nos bebês dessas mulheres.

Após a “viralização” dessas informações, especialistas no assunto e o diretor do Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis do Ministério da Saúde, Cláudio Maierovitch, foram à mídia

a fim de explicar que muito do que se veiculava na internet e em aplicativos de celular tratava-se de boatos ou de informações sem qualquer embasamento ou correlação com a microcefalia. Além de reforçarem a importância da busca por informações sobre ciências em fontes confiáveis e seguras.

Referências:

- ELTON, A. (2016) Interações entre Zika e dengue serão estudadas durante testes de vacina brasileira. Agência Fapesp. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/interacoes_entre_zika_e_dengue_serao_estudadas_durante_testes_de_vacina_brasileira_/23526
- FERREIRA, I. (2015) Especialistas da USP desmentem boatos sobre o Zika vírus. Usp online Destaque: Disponível em: <http://www5.usp.br/102765/especialistas-da-usp-desmentem-boatos-sobre-o-zika-virus/>
- PORTAL BRASIL (2016). Entenda as fases de testes e como funcionará a vacina contra o zika. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/saude/2016/05/entenda-as-fases-de-testes-e-como-funcionara-a-vacina-contra-o-zika>
- PORTAL BRASIL (2016). Vacinas aplicadas no Brasil não têm relação com zika vírus, diz Ministério da Saúde. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/saude/2015/12/vacinas-aplicadas-no-brasil-sao-extremamente-seguras-e-nao-tem-relacao-virus-zika-diz-diretor-do-ministerio-da-saude>
- WHO (2016) The history of Zika virus. Disponível em: <http://www.who.int/emergencies/zika-virus/timeline/en/>
- ZORZETTO, R. Estudo comprova que zika causa microcefalia. Revista Fapesp. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/05/11/estudo-comprova-que-zika-causa-microcefalia/>

1 - O que você entende, hoje, por “natureza da ciência”?

(Resposta no verso)

2 - Com base nesse pequeno relato, nos seus conhecimentos gerais sobre o tema e nos aspectos da natureza da ciência discutidos na Sequência Didática (Trembley e Bonnet), assinale o seu grau de concordância em cada uma das seguintes afirmações:

Legenda: Discordo totalmente

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Concordo totalmente

1) A relevância e o acúmulo de evidências são importantes para a validação do conhecimento científico.	1	2	3	4	5
2) A informações da mídia interfere na tomada de decisões	1	2	3	4	5
3) A credibilidade das informações da mídia interfere no conhecimento científico	1	2	3	4	5
4) A conhecimento científico é resultado de estudos sistemáticos.	1	2	3	4	5
5) O acaso pode levar a novos conhecimentos científicos.	1	2	3	4	5
6) O conhecimento científico é passível de mudanças.	1	2	3	4	5
7) Os cientistas colaboram entre si para validarem um conhecimento científico.	1	2	3	4	5
8) A interação entre ciência e sociedade é uma prática válida para alcançar soluções.	1	2	3	4	5
9) Novas perguntas podem surgir de resultados inesperados e de uma mesma pesquisa.	1	2	3	4	5
10) Acontecimentos na sociedade interferem no trabalho dos cientistas.	1	2	3	4	5
11) Na ciência existe um método científico único.	1	2	3	4	5
12) Um caso contemporâneo permite explicitar aspectos da natureza da ciência em sala de aula.	1	2	3	4	5

3 - Além dos aspectos relatados nas afirmativas anteriores, que outros aspectos da natureza da ciência você consegue identificar no relato acima? Justifique.

(Resposta no verso)

4 - Por que elaborar uma Sequência Didática (SD) baseada no uso de episódios históricos seria importante para o ensino básico?

(Resposta no verso)

4.1 - O que poderia dificultar a elaboração e/ou aplicação da SD.

(Resposta no verso)

4.2 - Na sua opinião, quais os conhecimentos (ou saberes) que o professor necessita ter para elaborar essa SD?

(Resposta no verso)

Anexo 10: Narrativa histórica “ Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação”. Material instrucional componente da segunda iteração da SD.

História da biologia e natureza da ciência em uma intervenção didática para licenciandos em biologia
[Tese em andamento]

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Genética)

Instituto de Biociências, USP

Autor: Filipe Faria Berçot

Orientação: Prof^a. Dr^a. Maria Elice Brzezinski Prestes

Abraham Trembley e a criatura que desafiou a Classificação

Narrativa histórica por: Filipe Faria Berçot e Eduardo Cortez

Colaboração e revisão original (Inglês): Prof. Dr. Douglas Allchin

Colaboração e revisão da tradução (Português): Prof^a Dr^a Maria Elice Brzezinski Prestes

Esta história se passa na primeira metade do século XVIII, na Holanda, um importante centro de estudos em história natural da Europa. Em Sorvigliet, distrito próximo à Haia, no sul do país, um jovem genebrês, Abraham Trembley (1710-1784) está trabalhando como tutor particular dos dois filhos de um Conde Britânico, Willem Bentinck – Antoine, de seis anos de idade e Jean, de três anos. Trembley é formado em filosofia e possui um “PhD” em matemática. Além disso, ele é apaixonado por assuntos da história natural e pela prática de ensinar. Capturar insetos e observar a germinação de sementes ou as atividades em uma colmeia de abelhas são algumas das estratégias que ele utiliza para prender a atenção e instigar a curiosidade dos meninos. Com isso, ele aproveitava para ensinar matemática, lógica, moral, religião e, claro, história natural.

É uma manhã de verão, do ano de 1740. Como de costume, Trembley e os meninos estão no quintal da propriedade dos Bentinck, um lugar exuberante, composto por uma série de jardins bem projetados. Ali, há árvores aparadas em formato cônico, túneis de cerca viva, um sistema simétrico de caminhos interconectados levando de uma parte à outra dos jardins e um elegante sistema ornamental de fossos contendo diversas espécies de peixes exóticos. Nesse ambiente ao ar livre, Trembley e seus pupilos estão à procura de insetos aquáticos em fossos (Figura 1). Unidos de uma rede, eles coletam tudo que pode parecer intrigante e armazenam em recipientes de vidro para, mais tarde, analisarem com mais atenção.

No interior da mansão, num espaço destinado ao seu gabinete de observação, sobre o peitoril da janela há muitos recipientes de vidro em que Trembley mantém insetos e plantas aquáticas obtidos de suas coletas anteriores. Os meninos estão observando o que eles coletaram no fosso. Armados com lupas de mão, eles notam algumas pequenas formas verdes presas às

plantas aquáticas (Figura 2). Dá para imaginar os meninos apontando os dedos e mostrando impacientemente ao seu tutor: *Olhe para isso! Parece um filete de grama!*

Figura 1: Trembley e seus pupilos coletando insetos aquáticos no fosso do jardim da mansão dos Bentinck. (Trembley, 1744)

Figura 2: Esq: Trembley com os meninos em seu gabinete na mansão (Trembley, 1744). Dir: *Chlorohydra viridissima*: Fonte/wikipedia

Imediatamente, Trembley posicionou a sua lupa de mão sobre aquelas “coisas” apontadas pelos meninos e o que ele vê parece, num primeiro momento, algum tipo de planta parasita. Ele sacode gentilmente o recipiente e, ao colocar contra a luz, nota que, com a agitação, aqueles “filetes” reduzem de tamanho e após parar de chacoalhar, eles lentamente se estendem para o tamanho original. Isso o deixa muito intrigado e Trembley chama a atenção do o ocorrido para os meninos: *Olhem isso, meninos! Essas “coisas”, aparentemente possuem algum tipo de movimento voluntário.* Após isso, Trembley escreve:

Pensando na ideia de ser uma planta [devido à imobilidade inicial e cor verde], eu dificilmente imaginaria que esses filetes [ou braços] afixados na extremidade do seu corpo eram seus. De alguma maneira eles pareciam se

mover por si, não pelo movimento da água...quanto mais eu observava esses “braços”, mais parecia que os movimentos ocorriam por uma causa interna, não externa. No caso, pela agitação da água (...) [além disso] as contrações e todos os outros movimentos que eles faziam tem revelado fortemente em mim, a ideia de um animal. Eu comparei aos caracóis e aos outros animais que tem a habilidade de se contrair e estender (...). No entanto, sua forma e sua cor ainda me impressionavam. Então, pode não ser um animal, mas uma espécie de planta sensitiva, daquelas que se movem quando tocadas. (TREMBLEY, 1744, p.9-10)

Aparentemente, Trembley está encarando um dilema: por um lado o organismo é verde como uma planta, por outro, parece possuir mobilidade voluntária, como um animal!

Vamos agora imaginar o contexto. Estamos na Europa Ocidental, na metade do século XVIII, onde muitos naturalistas e eruditos amadores (a maioria abastada financeiramente e com tempo livre) – estão interessados na natureza dos seres vivos com o propósito de admirar e conhecer as criações de Deus. Um pensamento compartilhado entre quase todos é a crença numa ordem natural e imutável imposta pelo Criador. Assim, há uma ideia consensual de que cada ser existente é um representante vivo dos primeiros organismos criados por Deus no começo do mundo.

Além disso, os estudiosos se baseiam em uma ideia muito antiga, segundo a qual os seres da natureza, desde os minerais até o homem, apresentam uma continuidade e gradação. Essa ideia era conhecida como a “cadeia dos seres”.

Essa ordem natural é subjacente a muitos estudos e observações conduzidos por naturalistas - como Carl von Linné, (1707-1778) em seu trabalho *Systema Naturae* (1735). Nessa obra em que Linné apresenta a sua proposta para a classificação dos seres, ele busca entender também o comportamento e conhecer como as criações divinas foram aptas a se perpetuar desde o Começo. A partir desses estudos, às vezes surgiam questões desconcertantes as quais os naturalistas tinham que lidar, como: *Se a cadeia dos seres é contínua e gradual, onde estariam os pontos de ligação entre os seres? Existiriam “elos perdidos” na cadeia dos seres? Os zoófitos (organismos conhecidos por compartilhar características tanto de plantas quanto de animais) seriam esses elos perdidos?*

Figura 3: A figura ilustra os modos como essas criaturas se locomovem: como lagartas (ponta-cabeça), fig. 1 a 4 e; por cambalhotas, fig. 6 a 9. (Trembley, 1744)

Enquanto Trembley e seus pequenos estudantes continuam a fazer atenciosas observações diárias, Trembley nota que, além da capacidade de contração e extensão desses “braços”, as criaturas possuem dois **modos particulares de locomoção** (Figura 3). Isso é uma característica animal! Mas eles são verdes e tem forma de planta!

THINK (1): Diante desse impasse, Trembley deve tomar uma posição. Com esses dados em mãos, o que você poderia dizer acerca da natureza desses organismos? O que justificaria a sua escolha a favor de um ou outro traço? O que “pesa” ou motiva tal opção?

Diante desse conflito, Trembley resolve considerar esses organismos como animais devido a sua capacidade de locomoção. Ou seja, ele credita a essa característica, uma importância maior do que a sua cor verde e sua forma de planta aquática. Com isso, ele ficou ainda mais interessado em seguir com os estudos sobre essas criaturas incomuns.

Desde que começou a observá-las, Trembley já tinha percebido que os “braços”, por vezes apareciam em número desigual no corpo dos organismos. Ao ponderar sobre isso, ele não pôde deixar de comparar esses “braços” com galhos e raízes, que também não seguem um padrão de igualdade. Assim, se esses “braços” fossem realmente equivalentes a galhos ou raízes, eles deveriam ser capazes de crescer novamente após terem sido cortados. Ao refletir sobre isso, Trembley decidiu fazer um experimento. Em vez de cortar apenas um “braço”, ele optou por dividir o organismo em duas partes.

Eu pensei que, se as metades do mesmo organismo permanecessem vivas e crescessem após terem sido separadas, seria óbvio que essas criaturas eram plantas. Contudo, como eu estava inclinado a acreditar que era um animal, eu não coloquei muita esperança nesse experimento. Eu esperei ver a morte desse organismo. (TREMBLEY, 1744, p.13)

THINK (2): Baseado em observações, Trembley acredita que as criaturas são animais. Ainda assim ele realizou o experimento de cortar o espécime. De que maneira os resultados obtidos por meio desse experimento poderiam orientá-lo na sua “pesquisa”?

Mas, o resultado desse experimento não foi o que ele imaginou. Isso deixou Trembley e os meninos perplexos e confusos! Após ter cortado cuidadosamente o organismo transversalmente ao

Figura 4: Corte transversal dividindo o organismo em três partes. (Trembley, 1744)

meio (Figura 4), ele posicionou cada metade do ser em dois pequenos pratos de vidro contendo

água. No início não parecia nada além de dois pequenos pontos verdes. Mas ao final do dia, ambas as partes haviam se estendido por completo e passados nove dias, nem Trembley e nem os meninos foram capazes de distinguir uma metade da outra. As metades se tornaram dois organismos completos e idênticos! Isso é uma característica de planta!

THINK (3): Anteriormente, movimentos voluntários e locomoção pareciam ser os critérios mais importantes para que Trembley considerasse o ser como um animal. E agora? O que fazer frente a esse novo resultado? Como essa nova evidência poderia ser interpretada à luz do dilema em questão? O que esse novo dado “diz” sobre natureza animal/planta do ser?

Trembley já conhecia a capacidade de regeneração que ocorrem em certas partes de animais, como a cauda de lagartos ou pata de lagostas. Mas, **a regeneração completa de um organismo animal?** Não! Animais não se “recriam” sozinhos. Ao que se conhece, tal evento é comum ocorrer apenas em plantas, como no fenômeno hoje denominado estaquia (Figura 5).

Figura 5: mudas de mandioca com brotos (estaquia).

Fonte/wikipedia

Como é consenso entre a maioria dos naturalistas da época, para a geração de uma nova vida animal, é obrigatório que haja acasalamento entre macho e fêmea, ou seja, **reprodução sexual**. Claro, segundo alguns naturalistas, também ocorre **geração espontânea** em certos casos, como, por exemplo, dos animálculos das infusões. Em meio a tantas novidades, Trembley se vê desorientado: *Plantas não “caminham”! Animais não se regeneram por completo! Mas esses organismos são capazes de ambas as façanhas!*

THINK (4): Nesse momento estamos diante de um dilema semelhante ao inicial (THINK 1), mas agora parece pior! Será um fim da linha!? É necessário ajustar as observações (mais experimentos ou mais informações?) ou você deveria rever seus conceitos de classificação? Explique!

...

Confuso, porém cada vez mais motivado a solucionar esse dilema, Trembley resolve escrever a Réaumur, em Paris. Diretor da Academia de Ciências, o renomado naturalista francês René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) tem desenvolvido estudos em diversas áreas, como a física (desenvolvimento de um termômetro) e processos industriais (pesquisa e produção de aço, vidro e cerâmica).

Além disso, Réaumur também desenvolve trabalhos em história natural, como a formação de pérolas em bivalves, anatomia e fisiologia de plantas e animais, locomoção de caramujos e estrelas do mar, regeneração de partes em crustáceos, descarga elétrica em peixes específicos, comportamento de aranhas e produção de seda e etc. Réaumur dedicou também muita atenção aos insetos, cujas observações e experiências estão detalhadas na sua obra *Memória para servir a história dos insetos*, dividida em seis volumes, publicados entre 1737 e 1742. Desses, os três volumes iniciais foram lidos avidamente por Trembley.

Na carta enviada a Réaumur, Trembley detalha tudo o que observou até então, incluindo os experimentos que conduziu. Mas Réaumur, experiente naturalista, prefere não se precipitar ao concluir algo sem ter visto pessoalmente esses organismos. Réaumur escreve como resposta a Trembley: *Se o senhor tiver muitos desses corpos organizados, talvez possa me enviar alguns deles...*

Prontamente, Trembley coleta quinze espécimes, coloca numa garrafa de vidro bem fechada e envia a Réaumur, em Paris. Mas, após quase uma semana de viagem, quando Réaumur recebe a garrafa ele percebe que os organismos chegaram mortos.

THINK (5): Relembrando que você está manipulando pequenos organismos aquáticos, por que você acha que eles não conseguiram sobreviver à viagem? Que procedimentos e cuidados você acha que seriam necessários para evitar a morte desses organismos durante a viagem?

Após a tentativa frustrada, Réaumur escreve a Trembley alegando que, devido ao seu excesso de zelo ao fechar as garrafas com cera, os organismos poderiam ter morrido sufocados. Réaumur aconselhou que em vez de cera, ele fechasse as garrafas com cortiça. Isso permitiria a difusão de ar para o interior do recipiente.

Usando o método sugerido por Réaumur, Trembley coletou alguns organismos, armazenou em três garrafas e percorreu um trajeto de cerca de 15 quilômetros a cavalo. Ao final do percurso ele observou que as criaturas estavam vivas. Assim, ele tinha encontrado uma forma segura de remeter novamente os organismos à Paris.

Nessa segunda vez, Réaumur recebe com sucesso os organismos e imediatamente inicia as observações e experimentos feitos por Trembley. Réaumur não tem dúvidas: aqueles pequenos seres verdes retirados dos fossos eram animais! E devido a sua aparência com polvos marinhos, Réaumur opta por nomeá-los “Pólipos”.

Enquanto isso, Trembley, na Holanda, segue com as suas observações. Nota algo parecido com uma pequena excrescência, um ponto verde-escuro, na lateral do corpo de um

dos seus pólipos. Intrigado, seguindo procedimento ensinado por Réaumur, ele isola esse organismo para observar melhor. Nesse momento, ele imagina estar vendo algo semelhante ao crescimento de um galho. Esse ponto verde-escuro cresce, de fato, como um galho, mas para sua surpresa, pouco tempo depois se destaca do corpo em que estava anexado. Torna-se um organismo isolado e semelhante ao original de onde se destacou!

Trembley novamente faz uso do procedimento de isolar o organismo sob observação. Ele separa aquele organismo que acabou de se destacar em outro recipiente. Seria, então, outra forma de reprodução? E o novo organismo repete o fenômeno sob os seus olhos. O objeto em forma de “galho” surge, cresce e, como anteriormente, se destaca formando um novo e completo ser (Figura 6).

Ambos, Trembley e Réaumur estão convencidos de que tal criatura é um animal, devido aos seus movimentos voluntários. Mas que ser intrigante! Esse novo resultado por geração por brotamento é outra característica típica de plantas!

Figura 6. Pólipo com uma excrescência (fig. 1) e após algum tempo com outro organismo semelhante ao adulto (fig. 2). Note que Trembley adotou um procedimento engenhoso para sua observação: passou um barbante sobre a superfície da água do recipiente, que servia de substrato para que o pólipo pudesse ficar inteiramente estendido na água. (Trembley, 1744)

THINK (6): Novamente estamos diante de um resultado “não esperado”. Como interpretá-lo e como essa observação poderia ajudá-lo a classificar o ser? Seria hora de mudar sua posição (ou seja, conceito animal-plantas)? Explique.

Mais uma vez, Trembley remete uma carta para Réaumur relatando as suas observações sobre essa “estranha” nova forma de reprodução observada nos pólipos. Porém, Réaumur não está muito convencido dessa possibilidade e responde dizendo que não deve haver brotamento algum: *Talvez você (Trembley) não esteja observando corretamente. É possível que haja algum ovo escondido em algum lugar no corpo da mãe pólipo, por exemplo, como ocorre em lagostas.* (Figura 7)

Figura 7. Lagosta fêmea com seus ovos “escondidos” na parte inferior do abdômen. Fonte/imagem: <http://cqmsjt.com/files5/lobster->

THINK (7): Quais as possíveis explicações para o ceticismo de Réaumur com relação ao brotamento nos pólipos? O que o teria motivado a não aceitar que um animal pode ser gerado por meio de brotamento? O que você faria para convencê-lo acerca das suas observações e a confiabilidade dos seus dados?

Ao ler a resposta de Réaumur, Trembley novamente se debruça sobre os espécimes que já havia isolado para repetir as observações dessa incomum forma de reprodução. Para atestar tal ocorrência, ele isola algumas gerações daqueles indivíduos que nasceram por brotamento e observa os mesmos resultados: todos geraram brotos e subsequentemente, novos organismos. Além disso, Trembley elabora um experimento a fim de investigar a existência de um possível ovo “escondido” no corpo da mãe pólipo.

Ele seleciona um indivíduo cuja excrescência ainda está bem prematura, e com bastante diligência, ele corta essa excrescência, removendo-a do corpo do pólipo mãe (Figura 8). Ao analisar as duas estruturas com auxílio de um microscópio ele

Figura 8. Secção da parede de um pólipo após o surgimento de um broto (seccionado do corpo – fig 10). (Trembley, 1744)

observa que a excrescência é nada mais do que o alongamento do corpo do pólipo e que **não há absolutamente qualquer vestígio de algo que se possa considerar um ovo.**

Após essas observações cautelosas, seria Trembley capaz de eliminar as ideias sobre a geração por ovos, cogitada por Réaumur?

O ceticismo de Réaumur com relação à capacidade dessa criatura se reproduzir por brotamento reside no fato de que ele (assim como a maioria dos naturalistas) desconhece outras formas de geração de vida animal que não contemple a participação de ambos os sexos – reprodução sexual. Ademais, Réaumur é adepto e defensor da teoria da preexistência dos seres, segundo a qual todos os animais existentes já preexistem em “sementes” (óvulo ou esperma) dentro dos corpos dos progenitores, desde a Criação. Assim, se pólipos são animais, deve haver um ovo em algum lugar.

Réaumur e Bernard de Jussieu (1699-1777), seu amigo e naturalista francês, estão conduzindo um experimento numa espécie de pólipos com tufos (*Lophopus*) (Figura 9). Após meses de observações contínuas, eles identificaram algo semelhante a grânulos escuros, os quais suspeitam ser ovos.

Dessa vez, Trembley é quem solicita ver esses organismos tão diferentes dos pólipos que ele vinha manipulando. Ao recebê-los, Trembley inicia as observações e confirma o que

Figura 9. (a) A espécie de "pólipo", que Réaumur e Jussieu estão estudando a fim de encontrar ovos. (Trembley, 1744). (b) um briozoário de água doce (*Pectinatella* sp.). Atualmente, esses animais pertencem ao filo Briozoas (não Cnidaria). Vivem em sua maior parte em colônias de indivíduos interligados. Fonte/imagem: blog scientific american.

Réaumur e Jussieu identificaram: os pólipos tufados possuem ovos. Todavia, enquanto os pólipos que Réaumur estava observando tinham uma coloração escurecida, os de Trembley eram verdes. Réaumur havia descrito que seus pólipos escuros tinham uma parte calcária, o que considerou ser um tipo de refúgio. Trembley, contudo, estudou melhor toda a estrutura desses pólipos enegrecidos e, por fim, alegou que se tratavam de duas espécies completamente diferentes! Apesar de todo o esforço, Trembley sabia que isso não seria suficiente para convencer Réaumur da inexistência de ovos...

Em outras palavras, isso parece outro fim de linha para Trembley. Será...?

...

Réaumur, assim como Trembley conclui que pólipos são animais devido aos seus movimentos. No entanto, animais não se regeneram completamente! E menos ainda nascem por brotamento! Que outros critérios seriam possíveis analisar?

Trembley usa estudos sobre nutrição para tentar solucionar o dilema

Até então, Trembley nunca havia visto as suas criaturas se alimentando. Portanto, ele desconhecia como (ou se) os pólipos absorviam nutrientes.

Durante as suas observações diárias e contínuas, ele finalmente identifica algo que talvez sejam traços de alimentação. Um pólipo está usando seus tentáculos para capturar um “verme” (uma larva de inseto) e leva-lo em direção à boca (uma abertura entre os tentáculos). Momentos depois, o verme estava dentro do “tubo”, o qual Trembley chamou de estômago.

Relembrando...

Primeiro, Trembley pensou que o pólipó podia ser uma planta porque era verde e, à primeira vista, imóvel. Depois, passou a considerar que era um animal, pois se locomove de forma voluntária. Porém, continuando as suas investigações, ele observa que esses organismos se reproduzem de forma similar às plantas. Agora ele observa a **capacidade de capturar alimento à maneira dos animais!**

THINK (8): Como esse resultado se enquadra no dilema da classificação? Você acha que a ação de capturar outro organismo seria suficiente para posicionar o pólipó no Reino Animal? Explique! Seria outro tipo de “fim de linha” ou você precisa obter mais conhecimentos? O que mais?

Trembley entende que a captura é só a metade da resposta (já que nas plantas carnívoras observa-se algo semelhante). Postula que esse aspecto deve ser também estudado à luz da absorção de nutrientes. Claro, plantas e animais absorvem nutrientes, mas de maneiras distintas.

Para essa tarefa, ele busca embasamento na obra *Elementa Chimie*, publicada pelo médico e botânico holandês, Herman Boerhaave (1668-1738), que, assim como Réaumur, era uma autoridade na área. Nesse livro, Boerhaave oferece uma distinção entre animais e plantas tendo como base os processos de nutrição.

Basicamente, as ideias apresentadas no trabalho de Boerhaave eram: a nutrição em plantas ocorre devido à absorção de nutrientes extraídos diretamente do solo por meio de raízes e em animais essa ação ocorre graças aos vasos internos. Para ele, **animais eram semelhantes às máquinas hidráulicas, cujos “vasos lácteos”, circulando dentro do corpo, transportavam líquidos (nutrientes) para todas as partes do corpo.** Respalado por essas ideias, Trembley procede alguns experimentos de dissecação **a fim de encontrar** aqueles “vasos lácteos” característicos de animais e que, talvez, possam elucidar a forma de nutrição dos pólipos.

O primeiro experimento consiste em cortar longitudinalmente um pólipó, dividindo em dois segundo o comprimento do seu “estômago” (Figura 10). Trembley levou as metades ao microscópio e em vez de encontrar os “vasos lácteos”, a única coisa que conseguiu observar foram pequenos grânulos verdes idênticos, espalhados, tanto na parte interna quanto externa do “estômago” do

Figura 10. Corte longitudinal de um pólipó. (a) “estômago. (Trembley, 1744)

pólipó. Do mesmo modo que no procedimento de corte transversal, ele colocou cada metade

em pratos de vidros separados e identificados. Entretanto, em vez de levar nove dias para regenerar, nessa segunda experiência os pólipos se reconstituíram completamente em apenas um dia!

O segundo experimento é inspirado por ideias propostas no livro *História física do Mar*, publicado em 1725 pelo naturalista italiano Luigi Marsigli (1658-1730). Marsigli **alegava que algumas plantas marinhas possuíam glândulas ou vesículas capazes de extrair nutrientes da água do mar e em ‘sucos nutritivos’**. Assim, Trembley mergulhou alguns pólipos numa solução de suco nutritivo (água e nutrientes os quais se pensava serem absorvidos pelas plantas) e observou se tal absorção ocorreria. Após atentas e seguidas horas de observação constante, ele não notou nenhum tipo de ocorrência do tipo descrito por Marsigli.

THINK (9): Trembley busca respaldo em diferentes conhecimentos teóricos acerca da nutrição em animais e plantas. No entanto, aparentemente, nenhuma dessas teorias parecem ajuda-lo com o seu problema. Por que, então, Trembley buscou suporte teórico?

Trembley, portanto, não desiste de entender a forma como os pólipos se nutrem. Retomando as observações, ele direciona a sua atenção àquilo que havia notado previamente no corte: os grânulos verdes espalhados ao longo do estômago do pólipo.

Para poder reexaminar esses grânulos, Trembley induz um pólipo isolado a ingerir um “verme”. Após um tempo ele coleta esse pólipo e ao observar no microscópio, vê que os grânulos parecem inchados e preenchidos com partículas dissolvidas! Ao observar esse fato, Trembley pensou:

Se os grânulos externos da sua pele estiverem próximos o bastante dos sucos nutritivos, eles poderiam ser os primeiros a se tornar preenchidos; e talvez o pólipo poderia ser nutrido tão completamente quanto os sucos passarem primeiramente para o revestimento interno das paredes do estômago. (TREMBLEY, 1744, p. 254)

As observações desses grânulos preenchidos levaram-no a pensar e realizar um dos seus mais laboriosos experimentos: virar um pólipo do avesso (como uma meia) – imagine virar do avesso uma criatura de menos de 2 mm de comprimento por menos de 1 mm de espessura!

Para empreender a laboriosa tarefa, Trembley procedeu uma série de passos cuidadosos e delicados até inverter o pólipo. Ao final, ele enlaçou e amarrou o pólipo invertido no meio de um vaso de vidro, impedindo qualquer contato do pólipo, a fim de prevenir que retornasse ao estado original (Figura 11). Trembley estudou meticulosamente o seu “pólipo do avesso” e novamente viu que a criatura não somente sobreviveu, mas também continuou a se reproduzir e comer naturalmente, capturando e ingerindo alimento!

Inevitavelmente, esse ineditismo experimental seria alvo de dúvidas e ceticismo. Ciente disso, Trembley convida outros naturalistas a testemunhar a veracidade e complexidade de tal experimento. Entre os convidados estavam Pierre Lyonet (1708-1789), seu amigo e naturalista holandês, Jean-Nicolas-Sébastien Allamand (1713-1787), também naturalista holandês e Bernhard Siegfried Albinus (1697-1770), um anatomista alemão que vivia na Holanda, sucessor de Boerhaave. Todos eles puderam testemunhar e certificar a inversão do pólipo conduzida por Trembley.

...

Ao olhar para todos esses resultados obtidos por meio de cuidadosos experimentos e observações, Trembley chegou às mesmas conclusões sobre os pólipos.

O pólipo não revelou estrutura similar àquelas encontradas no corpo de um animal. Com relação às afirmações de Boerhaave, não foram localizados nem os vasos lácteos e tampouco raízes nos pólipos. Contudo, o fato de que os pólipos (mesmo invertidos) realizavam a digestão no interior dos seus corpos, estava de acordo com a definição sobre digestão interna, como os animais mais complexos.

A partir disso, para Trembley, a principal conclusão era que o pólipo poderia ser um animal simples, formado por um único vaso nutritivo, formado por um tubo aberto em ambas as extremidades. O pólipo em si, era o vaso nutritivo, diferente de outros animais, cujos vasos estão localizados dentro de seus corpos, como vermes ou lagartas.

Posto isso, desde o início, Trembley estava mais inclinado a acreditar que pólipos eram animais, especialmente devido aos seus movimentos..., mas a quantidade de características “intermediárias” de plantas trouxe certa desconfiança. Assim, ele sempre buscava mais e mais evidências até defender a sua posição final. Ele escreveu:

Figura 11. Um pólipo “invertido” no interior de um recipiente de vidro com água. A linha que amarra o pólipo está representada pelas letras (a), (n) e (c). (Trembley, 1744)

A fim de ser capaz de decidir que um corpo organizado não é nem um animal, nem uma planta, mas deva ser localizado numa classe intermediária entre animais e plantas; a fim de ser capaz de decidir, eu digo que seria necessário conhecer precisamente todas as propriedades as quais tanto animais, quanto plantas estariam suscetíveis. Como temos visto, nós estamos muito longe deste conhecimento, somente quando alcançarmos tais conhecimentos é que poderemos criar novas classes de corpos organizados. Enquanto esperamos isso, é muito mais natural considerar os Pólipos e outros corpos organizados que tem recebido o nome Zoófitos, como animais; animais que tem mais similaridades com plantas do que outros. (TREMBLEY, 1744, p. 308)

Os pólipos de Trembley: dos fossos à fama

A propriedade incomum de regeneração dos pólipos suscitou a curiosidade de Réaumur e ele julgou digno de apresentar esse fenômeno à Academia de Ciências de Paris, após permissão de Trembley.

Durante vários dias, Réaumur apresentou os experimentos de regeneração dos pólipos, tanto aos eruditos da Academia quanto à corte da cidade, causando furor entre as audiências ao mostrar um organismo quer era capaz de se reconstituir por completo e gerar outros iguais.

A apresentação não ficou restrita apenas à academia francesa. Pouco tempo depois, muitos estudiosos da natureza de vários lugares da Europa tiveram a oportunidade de conhecer as “incríveis” propriedades de regeneração da “fênix dos fossos”. Contudo, mesmo após diversas demonstrações públicas, algumas pessoas ainda não estavam totalmente convencidas de que um animal, depois de cortado duas ou três vezes, seria capaz de se regenerar por completo. Há uma forte desconfiança entre alguns estudiosos, em especial na Inglaterra. Após o tópico ter sido publicado na prestigiada revista da *Royal Society, Philosophical Transactions*, a descoberta das habilidades regenerativas dos pólipos foi alvo de críticas, ironias e ceticismo para muitas pessoas.

THINK (10): Por que, mesmo após diversas apresentações públicas e testemunhadas por muitos, ainda havia resistência na aceitação da capacidade de regeneração dos pólipos? Quais seriam as razões para tamanho ceticismo? O que poderia ser feito para responder aos incrédulos?

Em Londres, a fama, o ceticismo e a descrença sobre as características incomuns dos pólipos se espalhou rapidamente entre os corredores da *Royal Society*. Martin Folkes, o então presidente da sociedade, tentando pôr um fim na questão, escreve ao Conde Willem Bentinck, patrão de Trembley, pedindo para que ele possa confirmar os experimentos de seu subordinado.

Prontamente, o Conde solicita a Trembley que prepare e envie uma remessa de pólipos ao presidente da *Royal Society*.

Ao receber os organismos, Folkes segue as instruções de Trembley e conduz os experimentos de regeneração em sua própria residência, na presença de vinte membros da sociedade londrina. Algumas semanas depois, ele repete esses experimentos em um encontro da sociedade e, durante uma semana, mais de 150 pessoas puderam testemunhar o fenômeno.

Por meio dessas apresentações públicas e outras seguintes, Folkes conseguiu minimizar as críticas e ironias daqueles “incrédulos”, ao menos em Londres.

Agora, Trembley, aquele simples tutor dos filhos de um importante político é visto como uma “celebridade”, em um dos maiores centros intelectuais da Europa. Suas habilidades experimentais, seus estudos rigorosos sobre os pólipos e a sua “estratégia de generosidade”, na qual ele distribuía espécimes vivos em sistemas aquáticos (contendo instruções, tanto para conservação quanto para condução dos experimentos) o projetaram para a fama entre os naturalistas e todo o mundo erudito.

Todos esses fatores foram dignos de mérito e, em 1743, três anos após o início dos estudos com os pólipos, Martin Folkes congratula Abraham Trembley com a Medalha Copley, um dos mais importantes reconhecimentos científicos! Ele escreveu

Nós não somos menos sensíveis à sua grande candura, à prontidão e disponibilidade que você tem mostrado, não apenas em transmitir-nos resumos fiéis de seus próprios experimentos, mas também de enviar-nos os próprios Insetos, pelos quais nós temos sido capazes de examinar e ver com nossos próprios olhos a Verdade e os Fatos surpreendentes que você anteriormente identificou e reconheceu (FOLKES, 1743).

Todavia, a estratégia de generosidade de Trembley e sua fama como o naturalista da descoberta da “fênix”, atraiu interesse, mas também ciúmes e inveja...

Henry Baker é um naturalista inglês que estuda química e tinha sido contemplado com uma medalha da sociedade londrina por suas habilidades de observações sobre cristais. Baker está bastante interessado nos trabalhos de Trembley com pólipos. Como membro da *Royal Society*, ele tem acesso às cartas trocadas entre os naturalistas, entre as quais aquelas remetidas e recebidas por Trembley e Folkes. Ao ver a oportunidade de aumentar a sua reputação como naturalista, Baker rapidamente replica alguns experimentos conduzidos por Trembley descritos nas cartas, mas não publicados formalmente. Ao obter os resultados ele publica, em 1743, um trabalho intitulado: *Tentativas de explicar a história natural dos pólipos*. Esse trabalho alcança o público pouco antes da publicação do livro de Trembley.

THINK (11): O que fazer frente a esta situação real de plágio? Você acha que essa situação poderia influenciar a sua "estratégia de generosidade? Como? Quais poderiam ter sido as consequências para Baker?

...

Subsidiado pela cultura bem estabelecida de cultura de patronagem (incentivo ou suporte financeiro oferecido por naturalistas ricos ou patrões para subsidiavam as despesas de “pesquisa” e divulgação), quatro anos após ter encontrado aquelas pequenas criaturas verdes, Trembley publica, em 1744, em Leiden, na Holanda, um livro intitulado: *Memórias para servir a um gênero de pólipos de água doce com braços em formas de chifres* (Figura 12). No seu livro, Trembley descreve com muita precisão os experimentos e observações, ilustrando com desenhos como os vistos aqui. Além disso, incluiu tabelas que testemunham ter elaborado registros sistemáticos das observações e experiências realizadas. Dentro de poucos meses, seu trabalho foi também publicado e amplamente divulgado em Paris. O seu trabalho experimental passou a ser citado, ao lado de Réaumur e outros, como modelo a ser seguido por todo aquele que pretende desvelar o funcionamento dos organismos.

Figura 12. Capa do trabalho publicado por Trembley, em 1744. Intitulado: “Memória para servir a um gênero de

Epílogo

No século XVIII, quando o Iluminismo se disseminava por muitos cantos da Europa, quando o pensamento racional “lutava” contra o dogmatismo religioso, a ideia de uma ordem natural (ou divina) era de suprema importância. Assim, organizar e classificar o universo natural dos seres vivos era uma meta almejada por muitos naturalistas dessa época.

Entretanto, alguns organismos – então denominados zoófitos – apresentavam uma natureza peculiar, trazendo problemas com sua ordenação.

Guiado por um desses “problemas” e amparado por habilidades experimentais cuidadosas, Trembley conduziu procedimentos e observações, criou e elaborou técnicas e instrumentos a fim de tentar entender a fundo a natureza dos seus pólipos.

Eu tinha ao mesmo tempo diversos vidros contendo pólipos operados; então eu distinguia cada vidro por um número ou letra, e os pólipos eram distinguidos pelas mesmas marcas no meu caderno de observação. Ninguém a não ser eu mesmo mexia nos vidros, e eu tomei sempre

muito cuidado para não cometer nenhum erro quando trocava a água. Eu tomei sempre precauções com todos os pólipos usados nos experimentos registrados nesta memória. (TREMBLEY, 1744, p.230)

A pesquisa de Trembley, contudo, não conferiu visibilidade pequeno animal das águas doces apenas entre os que se dedicavam ao estudo dos seres vivos e eram ligados às academias de eruditos. Desde a divulgação dos seus resultados até ao final do século XVIII, muitos estudiosos e amadores esclarecidos de várias partes da Europa, quiseram testemunhar o que de mais interessante havia nesse animal, **as suas formas de reprodução?** *Como é possível um animal se regenerar por completo? Brotar como uma planta?* Isso fez dos pólipos - mais tarde nomeados “hidras” (*Hydra viridissima*), por Carl von Linné – personagem principal a animar as conversas nos salões de nobres eruditos europeus.

...

Ao longo de sua jornada, Trembley foi confrontado com o “dilema do zoófito” – *Essas pequenas criaturas seriam animais ou plantas?* Em um dado momento Trembley se questiona: *Seria possível traçar uma linha clara, separando os reinos das plantas e dos animais? Teria eu descoberto uma nova classe de corpos organizados entre os dois reinos?*

...

Um “planimal”? Hoje em dia? Isso soaria certamente como uma piada! Mas...(?)

“Movida a energia solar” lesmas do mar podem sobreviver no escuro

Processo similar à fotossíntese é encontrado em insetos (Afídeos)

Referências:

- DAWSON, V. P. **Nature's Enigma: The Problem of the Polyp in the Letters of Bonnet, Trembley and Réaumur.** [s.l.] American Philosophical Society, 1987.
- GIBSON, S. **Animal, Vegetable, Mineral?. How eighteenth-century science disrupted the natural order.** 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- LENHOFF, H. M.; LENHOFF, S. G. Challenge to the Specialist: Abraham Trembley's Approach to Research on the Organism—1744 and Today. **American Zoologist**, v. 29, n. 3, p. 1105–1117, 1989.
- MOSCOSO SANABRIA, J. Experimentos de regeneración animal: 1686-1765. ¿Cómo defender la preexistencia? **Dynamis: Acta Hispanica ad Medicinae Scientiarumque. Historiam Illustrandam**, v. 15, p. 341–373, 1995.

- PRESTES, M. E. B. A biologia experimental de Lazzaro Spallanzani (1729-1799). São Paulo, 2003. 401p. Tese (doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo
- PRESTES, M. E. B.; MARTINS, L. A.-C. P. Observação e Experimentação Animal no Século XVIII: os estudos de Abraham Trembley sobre a hidra. **ACTA SCIENTIAE**, v. 16, n. 2, 25 ago. 2014.
- RATCLIFF, D. M. J. **The Quest for the Invisible: Microscopy in the Enlightenment**. [s.l.] Ashgate Publishing, Ltd., 2013.
- RATCLIFF, M. J. Abraham Trembley's strategy of generosity and the scope of celebrity in the mid-eighteenth century. **Isis; an International Review Devoted to the History of Science and Its Cultural Influences**, v. 95, n. 4, p. 555–575, 2004.
- RATCLIFF, M.; FOURNIER, M. Abraham Trembley's impact on the construction of microscopes. p. 92–112, 2007.
- TREMBLEY, A. et al. **Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes**. [s.l.] A Leide : Chez Jean & Herman Verbeek, 1744.
- VUILLEMIN, N. **Les beautés de la nature à l'épreuve de l'analyse: programmes scientifiques et tentations esthétiques dans l'histoire naturelle du XVIIIe siècle, 1744-1805**. [s.l.] Presses Sorbonne Nouvelle, 2009.

Anexo 13: Resposta às questões de NdC. Atividade de narrativa histórica: “Pólipo, um zoófito?” Material instrucional componente à primeira iteração da SD

História da biologia e natureza da ciência em uma intervenção didática para licenciandos em biologia [Tese em andamento]

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Genética)

Instituto de Biociências, USP

Autor: Filipe Faria Berçot

Orientação: Prof^{fa}. Dr^a. Maria Elice Brzezinski Prestes

Narrativa histórica: Pólipo, um zoófito ??

por: Filipe Faria Berçot

Respostas às questões de NdC

Data 18/08/2015

Mas, é possível que animal possa se reproduzir como uma planta, se regenerar como uma planta? Seria possível fazer uma linha dividindo o reino de animais e plantas? Os pólipos seriam uma nova classe de corpos organizados entre os dois reinos?

Questão 1 - Quais outras observações e experiências ele poderia ter feito para defender a sua posição em favor de animais ou plantas? No lugar de Trembley, o que você faria para “botar um fim” nessa questão?

As descobertas feitas por Trembley não se restringiram ao conhecimento local, mas foram divulgadas e geraram interesse de naturalistas e do público em geral em vários países Europa. Entretanto, a ideia da existência de um animal que ao ser cortado em várias partes, produziria novos seres, foi alvo de incredulidade, criticismo e até mesmo ironias e piadas.

2 - O que você acha que Trembley fez (e ele fez) para calar esses críticos e mostrar a legitimidade dos seus resultados? O que você faria?

Grupo 1:

As pesquisas de Trembley provavelmente eram financiadas pelos nobres que o contrataram para educar seus filhos. Os principais custos poderiam estar relacionados com a compra de materiais (como lupas e microscópios) e transporte de amostras para outros naturalistas. [Questão de natureza da ciência inserida na narrativa]

1 - Para aprofundar sua pesquisa, Trembley deveria ter investigado mais os hábitos alimentares desses organismos, dividindo-os em quatro grupos:

- *no claro com alimento
- *no claro sem alimento
- *no escuro com alimento
- *no escuro sem alimento

2 - Assim, acreditamos que Trembley realizou o experimento descrito acima e, além disso, estudou se os organismos se reproduziam como animais (sexuada), além da reprodução semelhante às plantas, já observada por ele.

Grupo 2:

1 – Para botar um fim nessa questão propusemos um experimento no qual valorizamos o critério “alimentação”. Para isso utilizamos uma porção de água na qual foram inseridos os pólipos e outro recipiente igual com água do lago para servir de controle do experimento. A porção de água estéril foi separada em dois grupos para verificar a importância da luz na sobrevivência dos pólipos.

Assim, se a população que está na porção de água estéril, que foi colocada no escuro, morrer e a população que foi colocada no claro sobreviver, concluímos que a luz é um fator importante para a sua sobrevivência, assim como para as plantas.

Se ambos morrerem (os que ficaram no claro e os que ficaram no escuro) concluímos que são animais e que morreram pela falta de comida.

2 – Apresentou um experimento na Royal Society of London

Grupo 3:

1 – Partindo da dúvida entre animal e planta, vamos buscar descobrir se o organismo faz reprodução assexuada ou sexuada. Como hipótese inicial, propomos que a reprodução é assexuada e, para testar a hipótese decidimos isolar os organismos em diferentes frascos por várias gerações (como forma de evitar possível fecundação). Caso eles continuem se reproduzindo (por brotamento, como observado) podemos concluir que a reprodução é assexuada.

Voltando para a dúvida inicial, ou seja, se o organismo se trata de um animal ou planta, consideraremos a forma de alimentação. Considerando que se sabe que o organismo tende a buscar a luz, decidimos deixa-lo no escuro, fazendo a manutenção do frasco (troca de água). Caso ele continue vivo, podemos concluir que a sua alimentação não depende de luz, portanto, não é uma planta.

2 – Para comprovar sua descoberta (animal com reprodução assexuada) poderíamos enviar os organismos para os críticos, junto com o protocolo de cultivo e passo-a-passo experimental. Tendo, assim, a possibilidade de replicação (*semelhante ao atual método científico*). [grifo do instrutor]

Anexo 14: Resposta às questões de NdC. Atividade de narrativa histórica: “O enigma do pulgão no século XVIII?” Material instrucional componente à primeira iteração da SD

História da biologia e natureza da ciência em uma intervenção didática para licenciandos em biologia [Tese em andamento]

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Genética)

Instituto de Biociências, USP

Autor: Filipe Faria Berçot

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Maria Elice Brzezinski Prestes

Narrativa histórica: *O enigma do pulgão*

por: Filipe Faria Berçot

Data 01/09/2015

Questão 1 - Pense! Todos esses naturalistas estavam olhando para dados semelhantes (pulgões), apesar da variação das espécies. Mas, ainda assim, eles chegaram a conclusões diferentes sobre como esses insetos se reproduziam. Por que você acha que diferentes explicações surgiram na tentativa de explicar o mesmo fenômeno?

Questão 2 - Pense! A questão era: se a regra aceita para a reprodução animal era a participação de ambos os sexos, como ocorria a multiplicação em pulgões se nunca foram vistos copulando? No lugar de Bonnet, o que você faria para responder essa questão?

Grupo 1:

1 – Diferentes explicações surgiram para explicar um mesmo fenômeno porque cada pesquisador explica de acordo com sua crença, ou seja, dependendo do que se acredita tem-se olhar diferente sobre determinado fenômeno/situação. Além disso, o meio em que o pesquisador está inserido (laboratório em que está, por exemplo) e suas experiências anteriores influenciam em como ele interpreta o fenômeno observado.

2 – Uma possibilidade seria isolar indivíduos coletados e observá-los durante muito tempo. Os indivíduos nascidos deverão ser isolados novamente e observados. Isso deveria ser feito ao longo de diversas gerações.

Além disso, alguns dos indivíduos nascidos da primeira “leva” poderiam ser separados em duplas e poderia se observar em diversas duplas se ocorreria cópula ou não, por exemplo.

Grupo 2:

2 - Seguiremos o seguinte modelo experimental:

Colocaremos os organismos em potes de vidro com alimento (plantas e luz). Os potes serão fechados de modo a impedir a saída dos pulgões e permitir a entrada de oxigênio (uso de rede, por exemplo).

Haverá um pote extra com formigas, também fechado com rede fina para evitar que elementos externos entrem. Será feita a observação para identificar se no humor rejeitado por elas nascem pulgões (como observado por Goedaert).

No caso dos pulgões, deve ser feita a observação contínua, durante o maior tempo possível. Se os filhotes forem originados, estes devem ser separados e colocados em novos potes imediatamente e observados assim como seus pais. Esse procedimento deve ser feito para evitar erros decorrentes da criação de pulgões previamente fecundados.

Quando colocamos frascos com apenas 1 indivíduo e outro com 2 indivíduos é para identificar se eles conseguem se reproduzir sozinhos.

Quando separamos os indivíduos de acordo com a presença ou ausência de asa é para identificar se há dimorfismo sexual na espécie.

1 – Diferentes explicações foram possíveis por conta das concepções prévias e das hipóteses que foram formuladas. Essas concepções influenciaram as interpretações dadas às observações que foram feitas.

Grupo 3:

Pergunta 1: Acreditamos que diferentes explicações surgiram para o mesmo fenômeno pois cada pesquisador possui suas concepções e crenças, de forma que lidam com os dados e informações de forma diferente (de acordo com essas concepções). Além disso, o momento da observação também influencia.

Pergunta 2: Para verificar se a forma de reprodução realmente dependia do macho e da fêmea, podemos separar indivíduos recém-nascidos (que acabaram de sair da fêmea ou do ovo) em frascos individualizados para verificar se eles se reproduzem sozinhos.

Caso os indivíduos isolados consigam se reproduzir sozinhos, podemos concluir que a reprodução não depende dos dois sexos. Caso contrário, teríamos que concluir que não é possível ter reprodução sem a participação de outro organismo da espécie. Mas será que essa participação é uma forma de cópula?

Para verificar essa ideia teríamos que observar os indivíduos em um ambiente de laboratório (com condições naturais reproduzidas) por um longo período de tempo. Essa observação teria que ser meticulosa, para que fosse possível verificar qualquer substância depositada no ambiente que pudesse servir como forma de fecundação da fêmea, mesmo sem cópula.