CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA: AGREGANDO REFLEXÕES HISTÓRICAS E CONTEMPORÂNEAS ATRAVÉS DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA

Wagner Tadeu Jardim

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientadora: Profª. Drª. Andreia Guerra de Moraes

Rio de Janeiro
Junho de 2019

HISTORICAL EXPERIMENTS AND THE PHYSICS TEACHING: ADDING HISTORICAL AND CONTEMPORARY REFLECTIONS THROUGH THE CULTURAL HISTORY OF SCIENCE

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação.

Wagner Tadeu Jardim

Banca examinadora:

_____

Presidente, Professora/Dra. Andreia Guerra de Moraes (CEFET/RJ) (orientadora)

_____

Professor Dr. José Cláudio de Oliveira Reis (UERJ).

_____

Professora Dra Thaís Cyrino de Mello Forato (UNIFESP).

_____

Professora Dra Cibelle Celetino Silva (IFSC/USP).

_____

Professora Dra Marcília Ellis Barcellos (CEFET/Petrópolis).

Rio de Janeiro
Junho de 2019

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

J37 Jardim, Wagner Tadeu
Experimentos históricos e o ensino de física : agregando reflexões históricas e contemporâneas através da história cultural da ciência / Wagner Tadeu Jardim.—2019.
205f. : il. (algumas color.) , tab. ; enc.

Tese (Doutorado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2019.
Bibliografia : f. 191-205
Orientadora : Andreia Guerra de Moraes

1. Ciência - História. 2. Física - Estudo e ensino. 3. Física - Experiências. 4. Física - Eletricidade - História I. Moraes, Andreia Guerra de (Orient.). II. Título.

CDD 509

Elaborada pela bibliotecária Mariana Oliveira CRB-7/5929

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Tecerei aqui, breves e singelos agradecimentos a ~~todos~~ muitos (d)aqueles que, de alguma forma contribuíram na construção desta tese. O “todos” poderia parecer muito ambicioso levando-se em conta uma abordagem histórico-cultural, assim, tentarei apontar algumas pessoas e desde já, me desculpo por possíveis omissões.

Primeiramente, agradeço a minha amada e companheira Mary, que esteve ao meu lado durante todo o processo e me deu apoio durante a escrita de cada artigo, cada capítulo da presente tese. É muito bom construir minha carreira acadêmica ao seu lado. Obrigado a você e toda sua família. Te amo meu amor, poxa!

À minha família, e, em especial a minha mãe, Rosália Ribeiro que sempre me incentivou dentro das possibilidades, a seguir os estudos, desde o ensino básico e início da universidade, mesmo sem ter tido as mesmas possibilidades em sua vida. As suas batalhas travadas na vida e todas as dificuldades para educar eu e meu irmão serviram de exemplo manifestado no que vivi por ser criado por uma pessoa tão especial.

Ao meu irmão, Marco Tadeu e minha prima Gislaine que em alguns momentos esbarraram comigo no Rio de Janeiro, no período em que estava morando na referida cidade e dava andamento ao doutorado. Sempre presentes em minha vida de uma forma ou de outra, exemplificam o que é ser família.

Ao Fidel, gato esperto que digitou quase tanto quanto eu na construção desta tese ao caminhar pelos teclados do meu computador.

Às professoras doutoras Cibelle Celestino, Thaís Forato, Marcília Barcellos e ao professor doutor José Cláudio pela disponibilidade à comporem as bancas de qualificação e defesa da presente tese e por todas as contribuições que tanto agregaram para a versão final deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa, NIEHCC, que merece o título de co-autor do processo, onde discussões semanais, novos artigos e temas analisados incessantemente indicaram caminhos a seguir e a não seguir, além das amizades construídas.

Aos amigos Marlon Alcântara, Thiago Peron e Clarice Senra, amigos da academia e da vida, sempre prontos a colaborações que nos permite crescer juntos e sempre.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Juiz de Fora por todo o apoio e incentivo, cruciais para a concretização de uma tese de doutoramento de qualidade que apresenta uma pequena contribuição a um panorama onde a educação muitas vezes tão desvalorizada.

Ao CEFET e todo o seu contexto, instituição que me acolheu desde 2010, quando entrei para ~~comprar uma Coxinha e~~ iniciar meus estudos no mestrado, mesmo sem saber muito bem o que seria seguir uma vida acadêmica no Ensino, por ter, em minha graduação, aprendido que esse caminho era menor e irrelevante.

Ao professor Dr.Peter Heering, seu grupo de pesquisa e a Universidade de Flensburg por toda a experiência e troca no período de doutorado sanduíche. Ainda neste ponto, um agradecimento à CAPES se torna oportuno pelo suporte financeiro que possibilitou minha permanência na Alemanha nesse processo. E pelos caminhos seguidos nesta tese, também merece um agradecimento especial, os técnicos de laboratório, *the hidden figures* que me auxiliaram na construção da garrafa de Leiden, em especial René pelas diversas conversas sobre materiais e métodos.

Um agradecimento mais do que especial a minha orientadora Andreia Guerra, que não pode ser considerada “apenas” uma orientadora, mas uma amiga, colega de trabalho e um exemplo a ser seguido. Agradeço, durante o mestrado e o doutorado, cada palavra trocada, cada “confuso, rever isso!”, cada bate e volta de um artigo a ser revisto e cada palavra acadêmica ou não que tomou espaço em nossas infinitas conversas e “influenciaram” muito em minha formação enquanto pesquisador, professor e pessoa. Espero que essa etapa não seja uma etapa final nessa parceria =D

Enfim, a todos que contribuíram, torceram e, muitas vezes, sentiram minha ausência durante a concretização desta pesquisa, Obrigado!

E a você, que mencionado ou não, se leu até aqui, é porque de alguma maneira o trabalho tem alguma relevância para ti, muito obrigado!

RESUMO

EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA: AGREGANDO REFLEXÕES HISTÓRICAS E CONTEMPORÂNEAS ATRAVÉS DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA

Wagner Tadeu Jardim

Orientadora:
Andreia Guerra de Moraes

Resumo da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação.

Existe uma ampla preocupação entre acadêmicos e professores na área do ensino de ciências, para que se desenvolva a formação de estudantes que sejam aptos a se posicionar criticamente em assuntos que se referem a ciência e que perpassam por diversos seguimentos da sociedade. Nesse sentido, a presente tese pretende apresentar sua colaboração que se pauta no estudo de experimentos históricos em uma abordagem que possibilita, dentro do âmbito do ensino, levantar questões históricas e contemporâneas que permitam problematizar o papel das ciências como uma construção humana e indissociável do contexto sócio-cultural no qual se constrói. Para desenvolver um *overview* da área, realizamos uma revisão bibliográfica que indicou que trabalhos com experimentos históricos, de maneira geral, se pautam principalmente nos conceitos científicos específicos e na cultura material dos experimentos. Essa primeira análise nos levou à construção de narrativas históricas a partir da vertente historiográfica da História Cultural das Ciências que objetiva destacar as práticas científicas, exaltando o caráter coletivo do saber científico, resgatando personagens frequentemente negligenciados na História das Ciências. O Recorte histórico recaiu sobre o século XVIII e início do XIX no que tange o panorama que permeia a construção de experimentos relacionados a eletricidade, tais como a garrafa de Leiden e a pilha de Volta, por se mostrar um período frutífero para os objetivos almejados, onde a República das Letras e as academias e sociedades científicas recebem destaque por possibilitarem discutir práticas de disseminação do conhecimento e financiamento em ciências oriundos de um tempo e espaço específico. A partir dessas considerações, desenvolvemos um trabalho empírico em salas de aulas do ensino médio técnico que contou com atividades relacionadas aos temas históricos que nos permitiu construir discussões sobre aspectos contemporâneos da ciência. Por fim, apresentamos os dados obtidos em sala de aula a partir da metodologia da pesquisa-ação e a análise pautada na Análise textual discursiva, bem como dificuldades e direcionamentos advindos dos caminhos traçados na pesquisa.

Palavras-chave: História Cultural das Ciências; Experimentos Históricos; Ensino de Física; Garrafa de Leiden; Pilha de Volta

Rio de Janeiro
Junho de 2019

ABSTRACT

HISTORICAL EXPERIMENTS AND THE PHYSICS TEACHING: ADDING REFLECTIONS THROUGH THE CULTURAL HISTORY OF SCIENCE

Wagner Tadeu Jardim

Advisor:
Andreia Guerra de Moraes

Abstract of Thesis submitted to Programa de Pós-graduação em Ciências, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/ RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of PhD in Science, Technology and Education.

There is a concern among academics and teachers in the area of science education to develop a teaching that contribute the students to become capable of critically positioning themselves in matters that refer to science and that run through various aspects of society. In this sense, the present thesis intends to present its collaboration that is based on the study of historical experiments in an approach that allows, within the scope of teaching, to raise historical and contemporary questions that allow to problematize the role of the sciences as a human construct and inseparable from the socio-cultural context in which it is built. To develop an overview of the area, we carried out a bibliographical review that indicated that work with historical experiments, in general, is based mainly on the specific scientific concepts and material culture of the experiments. This first analysis led us to the construction of historical narratives from the historiographical aspect of the Cultural History of Sciences that aims to highlight scientific practices, exalting the collective character of scientific knowledge, rescuing characters often neglected in the History of Sciences. The historical cutback fell on the eighteenth and early nineteenth century in what concerns the panorama that pervades the construction of experiments related to electricity, such as the Leiden jar and the Voltaic pile, for showing as a fruitful period for the objectives, where the Republic of Letters and the academies and scientific societies are highlighted because they make it possible to discuss practices of dissemination of knowledge and founding in sciences from a specific time and space. From these considerations, we developed an empirical work in classrooms of the technical high school that counted on activities related to historical themes that allowed us to construct discussions on contemporary aspects of science. Finally, we present the data obtained in the classroom based on the methodology of the action-research and the analysis based on the Discursive textual analysis, as well as difficulties and directions arising from the paths traced in the research.

Keywords: Cultural History of Science, Historical Experiments; Science Teaching; Leiden Jar; Volta Pile.

Rio de Janeiro
June 2019

Sumário

INTRODUÇÃO **16**

1 ARTIGO PUBLICADO: EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA: AGREGANDO REFLEXÕES A PARTIR DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA ÁREA E DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA **21**

1.1. Resumo do capítulo I 21

1.2. Introdução do capítulo I 22

1.3. O Papel dos Experimentos Históricos no Ensino de Física 25

1.4. Procedimento metodológico para a Revisão Bibliográfica 27

1.5. Categorias de Análise; Experimentos Históricos e o Ensino de Física 29

1.5.1. O trabalho com experimentos históricos: reconstruindo aparatos históricos 29

1.5.2. O trabalho com experimentos históricos a partir de Narrativas 31

1.5.3. O trabalho com experimentos históricos a partir de diários de laboratório 35

1.5.4. O trabalho com experimentos históricos em Museus de Ciências 36

I.6. Análise Geral dos Trabalhos com Experimentos Históricos da Literatura e a História Cultural da Ciência como alternativa 38

I.7. Exemplificando o viés da História Cultural da Ciência e sua potencialidade para o Ensino de Física 41

I.8. Considerações Finais 46

2 NARRATIVAS HISTÓRICAS CONSTRUÍDAS A PARTIR DA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CULTURAL: ELETRICIDADE NO SÉCULO XVIII E INÍCIO DO XIX **47**

2.1 Artigo Publicado: República das Letras, Academias e Sociedade2 Científicas no Século XVIII: A Garrafa de Leiden e a Ciência no Ensino 47

2.1.1. Resumo 47

2.1.2 Introdução 48

2.1.3. O Contexto de Dufay: se comunicando e sendo comunicado. 50

2.1.4 A “República das Letras” - divulgando e produzindo ciência na Europa do século XVIII 52

2.1.5 Outros formas de divulgação 56

2.1.6 A Caminho da Garrafa de Leiden 57

2.1.7 Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa. 63

2.1.8 Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa – parte 2 64

2.1.9 Considerações Finais 66

2.2 Artigo Publicado: Práticas Científicas e Difusão do Conhecimento sobre Eletricidade no Século XVIII e Início do XIX: Possibilidades para uma abordagem histórica da Pilha de Volta na Educação Básica 69

2.2.1 Resumo 69

2.2.2 Introdução 69

2.2.3Eletricidade Medicinal no século XVIII: Instrumentando o saber e saber Instrumentado. 73

2.2.4 O movimento muscular e a eletricidade 80

2.2.5 Arraias e Enguias elétricas 82

2.2.6 Bolonha e o Contexto de Galvani 85

2.2.7 Os Experimentos de Galvani e a Eletricidade Animal 86

2.2.8 A Eletricidade Animal e sua Repercussão 88

2.2.9 O Contexto de Volta em Como e Pavia 90

2.2.10 Alessandro Volta e a Eletricidade Animal 92

2.2.11 A Pilha de Volta e sua Repercussão: Terminando uma Controvérsia? 94

2.2.12 Considerações Finais 98

2.3 Algumas Considerações finais a respeito da Pesquisa Teórica 101

3 METODOLOGIA DE PESQUISA 104

3.1 Pesquisa Qualitativa 104

3.2 Uma aproximação a Pesquisa-ação 105

3.3 Análise Textual Discursiva 110

3.4 Doutorado Sanduíche e o Método da Replicação: Replicando a Garrafa de Leiden. 111

3.4.1 Laboratório de História da Ciência (histolab) 113

3.4.2 Replicando a garrafa de Leiden: Pensando os procedimentos 115

3.4.3 Replicando a garrafa de Leiden: Simulando com a "Garrafinha de Leiden" 121

3.4.4 Replicando a garrafa de Leiden 126

4 CONTEXTO DA PESQUISA EMPÍRICA 131

4.1 Contexto da Pesquisa Empírica 131

4.2. Atividades desenvolvidas a partir do Diário de Campo 134

4.2.1. Semana I: A Atividade da Caixa (2 aulas de 50 minutos cada) 136

4.2.2 Semana I: Primeiros conceitos de eletricidade (1 aula de 50 minutos) 139

4.2.3 Semana II: O Contexto de Dufay e do pesquisador contemporâneo, as máquinas eletrostáticas e o laboratório de Física (2 aulas de 50 minutos cada).. 141

4.2.4 Semana II: Máquinas Eletrostáticas, experimentos e o laboratório de Física (1 aula 50 minutos) 145

4.2.5 Semana III: República das Letras, Instituições da ciência e publicações científicas; Um paralelo entre o moderno e o contemporâneo (2 aulas de 50 minutos cada) 146

4.2.6 Semana III: Locais de divulgação do conhecimento no séc. XVIII; Palestras Itinerantes, Aulas Particulares e Universidades: experimentação, instrumentadores e instrumentos. (1 aula de 50 minutos) 151

4.2.7 Semana IV: A Garrafa de Leiden (2 aulas, 50 minutos cada) 152

4.2.8 Semana IV: Eletricidade Medicinal (1 aula de 50 minutos) 157

4.2.9 Semana V: Resumo construído coletivamente e Exercícios de Lei de Coulomb (3 aulas 50 minutos cada). 158

4.2.10 Semana VI: Exercícios de Lei Coulomb e introdução à Controvérsia Galvani x Volta (3 tempos de 50 minutos cada). 158

4.2.11 Semana VII: A Controvérsia Galvani e Volta e o financiamento na Ciência (Terça-feira; 1h e 40 min). 160

IV.2.12 Semana VIII: A avaliação 163

5 ANÁLISE DOS DADOS (ATD) 164

5.1 Categorização a partir do processo da unitarização 164

5.1.1 Extratos dos resumos coletivos que originaram as categorias construídas 167

5.2. O metatexto 179

5.2.1 O metatexto e o discurso dos estudantes 179

CONSIDERAÇÕES FINAIS 187

REFERÊNCIAS 191

Lista de Figuras e Ilustrações

Figura 1 – Montagem Experimental proposta por Dr. Tymothy Lane (1767) 63

Figura 2 - O Eletróforo de Volta carregando uma garrafa de Leiden (PANCALDI, 2005,, p.74) 64

Figura 3 - Representação do *Torpedo* artificial desenvolvido por Henri Cavendish 69

Figura 4 - Esquema que ilustra o laboratório de Galvani: 73

Figura 5 – Esquemas de pilhas conectadas por arcos imersos em água salgada e pilha em coluna 79

Figura 6 - Fluxo das principais comunicações que anunciavam a bateria voltaica, de 20 de março ao outono de 1800 81

Figura 7 – O espiral da pesquisa-ação 93

Figura 8 – Máquina Eletrostática, Histolab, Flensburg 98

Figura 9 - Experimentos utilizados em uma aula do curso de História das Ideias da Licenciatura em Física. 99

Figura 10 - Uma das salas pertencente a uma das oficinas da Universidade 99

Figura 11 - Réplica das primeiras garrafas de Leiden - Histolab (Flensburg) 100

Figura 12 – Réplica das primeiras garrafas de Leiden - Histolab (Flensburg) 101

Figura 13 – Garrafas de Leiden mais comuns no século XVIII 101

Figura 14 - Teyler's Museum. Gerador eletrostático (1784-1791) produzido pelo instrumentador inglês John Cuthbertson para Martinus Van Marum e "Bateria" de Garrafas de Leiden (1789). 102

Figura 15 - Material para a replicação da garrafa 103

Figura 16 - Molde de papel para a superfície interna da garrafa de Leiden. 104

Figura 17 - Molde de papel para a superfície interna inferior da garrafa de Leiden 105

Figura 18 - Banho Maria na tentativa (sem sucesso) de derreter a cola de cristais de osso lentamente. 106

Figura 19 - Ajeitando a folha de estanho interna a "garrafinha de Leiden" com a escova de dentes e com os dedos. 107

Figura 20 - "garrafinha de Leiden" em construção, folhas de estanho internas afixadas e folha circular externa inferior afixada. 108

Figura 21 – Técnico do laboratório soldando a corrente de cobre na parte inferior da haste de cobre. 109

Figura 22 - “garrafinha de Leiden” pronta. 109

Figura 23 - Material utilizado para a reprodução da garrafa de Leiden seguindo o método da replicação. 111

Figura 24 – Pincéis utilizados para fixar as folhas metálicas internas da garrafa de Leiden. 111

Figura 25 - Processo de afixamos as folhas de estanho internamente à garrafa de Leiden. 112

Figura 26 - Processo de afixamos a folha de estanho na superfície externa ao recipiente. 112

Figura 27 - Haste de bronze acoplada à esfera de bronze. 113

Figura 28 – As componentes da Garrafa de Leiden replicada. 113

Figura 29 – Garrafas de Leiden replicadas em Flensburg e garrafa encomenda de Oldenburg 114

Figura 30 – Esquema de sala de aula da turma do 3º ano de Segurança do Trabalho 116

Figura 31 – Esquemas da sala de aula da turma do 3º ano de Informática 117

Figura 32 – Caixas utilizadas na atividade 121

Figura 33 – garrafas de Leiden replicadas em Flensburg e garrafa encomenda de Oldenburg 114
Figura 30 – Esquema de sala de aula da turma do 3º ano de Segurança do Trabalho 116

Figura 31 – Esquemas da sala de aula da turma do 3º ano de Informática 117

Figura 32 – Caixas utilizadas na atividade 121
Figura 33 – Estudantes manipulando as caixas 122

Figura 34 – Experimento realizado: Bastão de PVC atritado com jornal atraindo pequenos pedaços de papel alumínio e de papel. 124

Figura 35 – Slide do Curso: Rede de Contatos de Dufay e seu pai e apoiadores da candidatura de Dufay A um cargo na Academia de Ciência de Paris. 126

Figura 36 – Ártur Ávila, brasileiro/francês ganhador da medalha Fields 2014. 127

Figura 37 – Laboratório de Física, apresentando Máquinas eletrostáticas, eletroscópio e conceitos físicos. 130

Figura 38 - Slide do Curso: Densidade de correspondências entre Voltaire por região. 132

Figura 39 - Figura 35 – Slide do Curso: Rede de Contatos de Dufay e seu pai e apoiadores da candidatura de Dufay A um cargo na Academia de Ciência de Paris. 133

Figura 40 – Slide do Curso; artigos indicados para que os estudantes tentassem realizar o download em sala. 134

Figura 41 – Garrafas de Leiden; Réplica e versão didática 139

Figura 42 – Slide do Curso, Divulgação inicial do primeiro condensador de cargas a partir de Kleist e a partir de Musschenbroek 140

Figura 43 – Replicação do experimento de circuito elétrico formado por pessoas 141

Figura 44 – Slide do curso: Slide Experimento de Nollet utilizando uma Garrafa de Leiden e soldados para formar um circuito elétrico 141

Figura 45 – Momento da descarga elétrica a partir da Garrafa de Leiden 142

Figura 46 – Slide do Curso, a lei de Coulomb e a influência da mecânica newtoniana. 143

Figura 47 – Slide do Curso 146

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Número de artigos encontrados a partir dos critérios de busca antes e após a triagem 13

Tabela 2 – Conteúdos curriculares, aspectos contemporâneos e históricos destacados na aulas 119

INTRODUÇÃO

Enquanto aluno de graduação do curso de Física na Universidade Federal de Juiz de Fora, em 2005, existia a possibilidade de cursar a licenciatura, o bacharelado ou ambos. Naquela estrutura, o estudante tinha a liberdade de escolher quais as disciplinas cursaria e em qual semestre, respeitando os pré-requisitos de cada uma delas. A estrutura da licenciatura e do bacharelado não divergiam muito e, principalmente até a metade da grade curricular (4º período de um total de 8), os dois seguimentos eram praticamente idênticos. Talvez por influência da própria cultura do curso de física, eu estava inclinado a cursar o bacharelado por apresentar um bom rendimento acadêmico nas disciplinas de Física. O discurso propagado por professores e veteranos era semelhante, para os que possuem um bom rendimento acadêmico, o melhor caminho é seguir o bacharelado. Inspirado nesse discurso, concorri a uma bolsa de iniciação científica e a partir do terceiro período me envolvi com pesquisa em física teórica.

Em meados do 4º período, no entanto, era o momento, para os que se encontravam em dia com a grade curricular optar por uma maior ênfase na licenciatura ou no bacharelado, visto que algumas vezes, disciplinas dos dois seguimentos apresentavam coincidência de horário. Ao contrário do caminho “natural”, o bacharelado administrava doses de desmotivação intensas naqueles alunos que procuravam compreender um conceito físico além da mera resolução de exercícios ou buscavam os aspectos fenomenológicos de um experimento além da mera coleta de dados. Este panorama e o menosprezo pela licenciatura por parte dos que deveriam formar novos professores me conduziram em um desvio do bacharelado para a licenciatura e início da carreira como professor do ensino básico, na rede privada e estadual, pouco antes da formatura em 2009. As vésperas de concluir o curso, eu não tinha outras perspectivas, além do exercício imediato da docência. Na Universidade, eu aprendi bem que carreira acadêmica seria ou em Física Teórica ou em Experimental. Convidado por um amigo de faculdade, que iria se inscrever para o processo seletivo para o mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática do CEFET-RJ, iniciei o mestrado como bolsista, o que me fez abandonar os empregos que possuía em Minas Gerais.

No mestrado, tive pela primeira vez contato com discussões acadêmicas acerca do ensino das ciências. O encontro com a linha de pesquisa de História da Ciência e ensino abriu portas para uma prática educacional voltada a buscar um maior sentido para o Ensino da Física, principalmente, para os alunos do Ensino Médio que não seguiriam uma carreira nas Ciências Exatas. Em 2012, meses antes de terminar o mestrado, uma aprovação no concurso do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Juiz de Fora (IFSEMG/JF) proporcionou não só o trabalho em turmas para alunos do ensino médio/técnico, mas também, na Licenciatura em Física que ali se iniciara poucos anos antes. Lecionar disciplinas como "Metodologia para o Ensino de Física" e "História da Física" para a licenciatura em Física e física básica para o ensino médio por alguns anos me levou à necessidade de um aprofundamento acadêmico que, independente da carreira (no qual um título de doutor não mais exerceria um impacto financeiro), me fez retornar ao CEFET-RJ, agora no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação para o curso de Doutorado.

Em contato com o novo grupo de pesquisa em História da Ciência e Ensino que ali se estabeleceu, percebi que, apesar de algumas semelhanças com as discussões do mestrado, os cerca de 3 anos que estive fora me colocavam em uma posição que indicava a necessidade de aprofundamento em novos referenciais teóricos. O mestrado foi essencial para minha formação acadêmica e me levou para um contexto totalmente diferente do quase nada (sobre a prática do ensino) adquirido de minha licenciatura. Todavia, no doutorado, muito mais estava por vir... O grupo de pesquisa, que, pouco depois de meu ingresso, passou a se identificar como NIEHCC[1], é constituído por mestrandos, doutorandos, doutores que se formaram no grupo e uma pesquisadora colaboradora da FIOCRUZ. O grupo é coordenado pela orientadora e líder do grupo, Profª Drª Andreia Guerra. O NIEHCC, no momento de meu ingresso no doutorado, discutia uma base historiográfica que permitisse problematizar questões da prática científica e da construção do conhecimento científico que permeassem os trabalhos construídos no grupo. A base historiográfica adotada pelo grupo para cumprir tal objetivo foi a História Cultural da Ciência (HCC).

Dentre os diferentes focos de trabalho em sala de aula, e em consonância com os objetivos propostos pelo grupo, que serão explicitados ao longo desta tese, a abordagem dos Experimentos Históricos no Ensino de Ciências se tornou o objeto de estudo principal da presente pesquisa. Assim, após uma atualização dos referenciais

[1] Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (https://niehcc.wordpress.com/)

adotados pelo grupo, foi possível a construção de um projeto de ingresso no doutorado que, após reflexões e discussões em grupo, amadureceram e se moldaram na presente tese.

Assim, a pesquisa aqui apresentada buscou analisar que contribuições o aporte da História Cultural da Ciência poderia agregar ao trabalho de Experimentos Históricos no âmbito da pesquisa em História da Ciência e ensino. Com vistas a construir subsídios para cumprir esse objetivo geral, entendemos que era necessário tanto a delimitação de um recorte histórico, quanto a delimitação de um espaço educacional, em que pudéssemos desenvolver uma pesquisa empírica com vistas a complementar respostas ao objetivo geral. O espaço educacional possível ao longo da construção do trabalho levou-nos a focar a pesquisa no desenvolvimento da garrafa de Leiden e da pilha de Volta. Dessa forma, encontramos a pergunta que guiou a pesquisa da tese:

Quais questões sobre as práticas científicas são agregadas a partir do aporte historiográfico da História Cultural da Ciência ao estudo de experimentos históricos, garrafa de Leiden e pilha de Volta, no Ensino de Física?

A partir da pergunta central da pesquisa, emergem os seguintes objetivos específicos de pesquisa que delinearam a construção da presente tese:

- Analisar que questões sobre práticas científicas podem ser agregadas à replicação de experimentos históricos no Ensino das Ciências, quando da abordagem da História Cultural da Ciência em relação aos estudos já existentes na literatura.

- Desenvolver aulas de Física, em turmas do Ensino Médio, para promover discussões de práticas científicas contemporâneas, a partir do estudo histórico-cultural da garrafa de Leiden e da pilha de Volta.

- Analisar que questões históricas trabalhadas em sala de aula são apropriadas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas para se discutir as práticas científicas contemporâneas.

Para cumprir com os objetivos gerais e específicos, a presente tese será composta de 5 capítulos.

O capítulo 1 apresentará a revisão da literatura da área de pesquisas com experimentos históricos voltados ao ensino em âmbito nacional e internacional, constituindo as bases de entendimento e justificativa desta pesquisa. Esse capítulo teve seu conteúdo publicado, na íntegra, no final de 2017 (JARDIM, GUERRA, 2017a)[2] onde, após detalharmos os critérios da revisão bibliográfica, analisamos as principais abordagens encontradas na literatura, indicando como um olhar pautado na HCC pode contribuir para o trabalho com experimentos históricos em uma perspectiva que ressalte, também, aspectos das práticas científicas extra-laboratoriais e, assim, permita analisar os processos de construção da ciência de forma a evitar análises estruturalistas e/ou relativistas sobre o fazer ciências.

Seguindo nosso levantamento inicial, no capítulo 2, apresentamos resultados de uma pesquisa histórica e teórica. Nesse sentido, construímos narrativas históricas que abarcassem os estudos da eletricidade nos séculos XVIII e início do XIX e os experimentos históricos que selecionamos como objeto de investigação, a Garrafa de Leiden e a Pilha de Volta. Escolhemos esse tema de estudo, pois era tema da ementa curricular das turmas onde decorreu o processo empírico. O capítulo 2 é dividido em duas narrativas históricas, mas que se comunicam por diversos aspectos de interseção. As duas narrativas tiveram seus conteúdos publicados, também na íntegra, nos anos de 2017 e 2018 (JARDIM, GUERRA[3], 2017b; JARDIM, GUERRA, 2018)[4]. A primeira recai sobre o panorama que permeia a construção do primeiro condensador de eletricidade (capacitor), a Garrafa de Leiden, tendo por foco as práticas científicas que evidenciam como o conhecimento científico produzido no contexto de produção daquele aparato era comunicado (JARDIM, GUERRA, 2017b). Na segunda narrativa, focamos nas práticas científicas que rondam a utilização da eletricidade nas práticas medicinais e nas controvérsias que antecedem e se relacionam com o advento da Pilha de Volta (JARDIM, GUERRA, 2018). Em ambas narrativas, encontraremos uma construção historiográfica pautado em fontes primárias e secundárias que nos permitiu construir uma discussão histórico-cultural dos experimentos selecionados, além disso, apresentamos em cada uma das narrativas, as justificativas iniciais sobre a escolha

[2] 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 Ciências." Investigações em Ensino de Ciências, v. 22 (3). Dez. p. 244-263(2017).

[3] JARDIM, W.T.; GUERRA, A. "República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no Século XVIII: A Garrafa de Leiden e a Ciência no Ensino." Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34 (3), Dez. 774-797, (2017)

[4] JARDIM, W.T., GUERRA, A "Eletricidade mecicinal, Instrumentos Científicos e Difusão do Conhecimento no Século XVIII e Início do XIX: Caminhos para o Estudo da Pilha de Volta na Educação Básica" Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, p. e3603 (2018).

dos instrumentos e do recorte histórico realizado e reflexões posteriores que buscam ressaltar o potencial apresentado pela abordagem proposta para o trabalho no Ensino de Ciências em sala de aula. Além disso, ao final do capítulo 2, construímos uma seção onde comentamos como alguns aspectos das narrativas apresentadas coadunam com os objetivos de ensino propostos a partir da perspectiva da HCC

Concluída a justificativa da abordagem proposta na presente tese e apresentadas as narrativas históricas construídas e pautadas na HCC, o capítulo 3 discutirá a escolha metodológica que guiou a pesquisa empírica, a metodologia da pesquisa-ação em acordo com nossa postura em relação à pesquisa realizada em sala de aula e a Análise Textual Discursiva (ATD) que auxiliou na apresentação e análise dos dados. Para isso, será traçado um paralelo entre o período de pesquisa realizado em Flensburg na Alemanha, que nos permitiu uma maior imersão nas questões encontradas na literatura acompanhando um reconhecido trabalho com experimentos históricos voltados ao ensino e que conversa diretamente com a abordagem aqui desenvolvida.

No capítulo 4, apresentaremos e discutiremos a pesquisa empírica, a partir do diário de campo que foi construído pelo professor acompanhante durante as aulas e implementado pelas reflexões do professor pesquisador, a partir de uma descrição interpretativa, detalhando o desenvolvimento da proposta, explicitando quais os aspectos foram trabalhados e quais as possibilidades apresentadas pela abordagem proposta e desenvolvida em sala de aula.

No capítulo 5, apresentaremos a análise dos dados escritos obtidos nas avaliações realizadas pelos estudantes, que serão descritos com base na metodologia da Análise Textual Discursiva mediante os processos de unitarização de textos, categorização das unidades e construção de um metatexto.

Por fim, no capítulo 6, concluiremos a presente tese, avaliando o trabalho de pesquisa como um todo e indicando futuras perspectivas para o trabalho com a base historiográfica da HCC no campo dos experimentos históricos no Ensino de Ciências.

1 – ARTIGO PUBLICADO[5]: EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E O ENSINO DE FÍSICA: AGREGANDO REFLEXÕES A PARTIR DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA ÁREA E DA HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA.

1. 1 - Resumo do capítulo 1

No presente artigo apresentamos uma discussão acerca dos objetivos de ensino encontrados na literatura relacionada ao trabalho com experimentos históricos. Como ponto de partida, realizamos uma revisão bibliográfica, nos websites de seis periódicos de grande relevância nacional para a área do ensino de ciências, e em especial, para o Ensino de Física. O critério de busca se baseou, a princípio, em trabalhos publicados entre os anos de 2001 a 2016, a partir de termos como "experimentos históricos", "museus" e "experiência". Em um segundo momento, devido ao grande número de publicações encontrado, foi desenvolvido um processo de triagem a partir da análise de títulos, resumos, palavras-chave e, quando necessário, do corpo do texto, tendo como intuito o de identificar quais as pesquisas enfatizavam o trabalho com experimentos históricos no ensino de Física, seja em uma perspectiva teórica, seja na manipulação de uma réplica de um aparato histórico. As propostas selecionadas foram dispostas em categorias adaptadas do trabalho de Heering e Höttecke (2014) para que pudéssemos traçar um paralelo entre a produção nacional e internacional que acabaram por apresentar escopos consonantes. Além disso, análise dos resultados nos leva a inferir que, de maneira geral, fatores extra laboratoriais, inerentes a ciência, quando não negligenciados, são colocados de maneira periférica. Assim, traçamos considerações teóricas baseadas em Historiadores da Ciência, que se pautam no viés da História Cultural da Ciência, buscando agregar reflexões ao que vem sendo desenvolvido acerca dos experimentos históricos no ensino de Física até o momento.

Palavras-Chave: Experimentos Históricos; Ensino de Física; Revisão Bibliográfica; História Cultural da Ciência; História da Ciência.

[5]O texto deste capítulo foi publicado na íntegra na revista IENCI "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. 244-263, 2017.

1.2 Introdução do Capítulo 1

No âmbito do Ensino de Ciências, existe grande concordância que, em uma sociedade altamente científico-tecnológica, é importante trazer às salas de aulas discussões sobre como a Ciência se constrói, como ela se estabelece e quais suas possibilidades e limites (IRZIK & NOLA, 2011; MARTINS, 2015; MATHEWS, 1994; MAURINES & BEAUFILS, 2013; McCOMMAS 1998; MOURA & GUERRA, 2016; SILVA, 2016; WIVAGG & ALLCHIN, 2002). Nesse caminho, muitos pesquisadores defendem que o enfoque pautado na História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) se constitui um possível caminho para atingir esse objetivo, explorando as potencialidades dessa abordagem, no intuito de possibilitar aos estudantes compreenderem o processo de construção do conhecimento científico (ARRUDA & VILLANI, 1996; GUERRA, REIS & BRAGA, 2004; HÖTTECKE & SILVA, 2011; JARDIM, 2016; MARTINS, 2007).

No entanto, como a ciência se constrói? Em uma perspectiva resumida, a resposta a essa questão pode recair sobre a dicotomia de uma base estruturalista-normativa versus a relativista. A primeira busca uma estrutura capaz de predizer como a ciência se desenvolveu e como ela se desenvolverá, pretendendo, assim, enquadrar todo o saber científico em modelos pré-determinados. Podemos exemplificar, nessa linha, os neopositivistas e os metodologistas. Os neopositivistas buscam uma estrutura, que seria a essência de uma ciência, alheia à história e ao contexto no qual uma teoria foi construída (CARVALHO, 1988). Já os metodologistas, se colocam contra a descontextualização da ciência e buscam ressaltar o contexto em que o cientista trabalhou. Nesse processo, consideram importantes os atos cognitivos dos cientistas, de forma a identificar regras metodológicas para a ciência (McGUIRE & TUCHANSKA, 2013). No entanto, para os críticos dos metodologistas, considerar atos cognitivos como a preferência, a rejeição e a aprovação de proposições científicas no processo de construção da ciência, não implica em uma visão não idealizada da mesma. Isto porque quando os metodologistas defendem uma estrutura normativa para o desenvolvimento da ciência, eles acabam por defender a existência de procedimentos específicos do fazer ciência, nos quais os exemplos históricos servem para respaldar tais procedimentos, considerados universais e atemporais. Dessa forma, os metodologistas, ao final, entendem a ciência como um conjunto de conhecimentos independentes da história e, portanto, universalmente válidos (McGUIRE & TUCHANSKA, 2013).

Apesar dos esforços de décadas, como ressalta Daston (2016), nenhuma estrutura fechada conseguiu, de maneira indiscutível, representar a ciência em toda sua amplitude. Ainda segundo Daston, a busca por uma estrutura que explicite o que é a ciência *"é uma tarefa difícil, poderia ser dito que essa busca é tão desesperançosa quanto tentar detectar uma espinha dorsal em uma água-viva*" (DASTON, 2016, p.130 tradução nossa).

Para a segunda perspectiva, a dos relativistas, a construção da ciência é explicitada exclusivamente pela atividade histórica e de relacionamento social dos cientistas, ressaltando, assim, o pluralismo de tradições e valores, não sendo necessárias análises e justificativas adicionais. A perspectiva relativista é também alvo de críticas. Os críticos inferem que essa posição levaria ao niilismo, uma vez que, na ausência de um núcleo racional, pode-se entender que na ciência existe "um tudo vale" (McGUIRE & TUCHANSKA, 2013). Dessa forma, a postura relativista iria contra a premissa de que a ciência explica o mundo real, levando a crer que "*os resultados da ciência seriam apenas ficções*" (VIDEIRA, 2007, p. 125).

A pergunta "como a ciência se constrói?", também ocupa o debate entre os que se dedicam à educação científica. Surgem, assim, questões que não recaem apenas sobre como as ciências se constroem, mas também, sobre quais seriam os melhores caminhos para se introduzir esta problemática no ensino (ALLCHIN, 2014; IRZIK & NOLA, 2011; MARTINS, 2015; McCOMMAS, 2008). Apesar de reconhecermos o debate, não teremos como objetivo aqui apresentá-lo. Nosso propósito, no presente artigo, é apresentar os resultados de um estudo, que buscou construir subsídios para a área da pesquisa em ensino das ciências, com o intuito de promover em aulas de ciências, discussões sobre o processo de construção da ciência a partir da abordagem histórica no ensino. Para situarmos nosso trabalho, será importante, entretanto, algumas considerações a respeito dos caminhos apresentados pela pesquisa em ensino de ciências para o desenvolvimento de práticas pedagógicas em torno à abordagem pretendida.

Um dos apontamentos observados na literatura é o uso de "Narrativas Históricas" como caminho para concretizar as discussões de e sobre as ciências nas salas de aula. Nesse caso**,** propõe-se a utilização de textos literários ou não**,** os quais podem ser aqueles encontrados na literatura ou construídos pelos autores da proposta, no intuito de instigar a curiosidade e a reflexão dos estudantes (KLASSEN, 2007; SCHIFFER & GUERRA, 2014; WISE, 2007).

Outra estratégia considerada pela literatura da área é a utilização de "Controvérsias Históricas". Defende-se que essa abordagem permite explorar a não

linearidade da construção do conhecimento científico, possibilitando a inserção de discussões acerca do processo de construção das ciências capazes de contribuir de maneira relevante ao combate a falsos mitos e crenças propagados em diferentes meios acerca da construção do conhecimento científico (BRAGA, GUERRA & REIS, 2012; NIAZ, 2009; NIAZ & RODRIGUEZ, 2005).

A utilização de “Episódios históricos” é também uma das propostas defendidas por aqueles que trabalham com HFC no ensino. A proposta seria fazer um recorte temporal e espacial de um tema da História da Ciência, com vistas a tratar com profundidade o assunto e, assim, evitar erros históricos (BATISTA, DRUMMOND & FREITAS, 2015; FORATO, PIETROCOLA & MARTINS, 2011; PORTO, 2010).

Destacamos até aqui, alguns dos caminhos discutidos e aplicados na literatura e que se dispõem a efetivar práticas pedagógicas em uma abordagem histórica para o ensino de Ciências. Dentre essas e outras possibilidades, no entanto, optamos por focar nossa investigação no campo denominado experimentos históricos. Quando recorremos à História da Ciência em uma tentativa de se compreender como a Ciência se constrói, podemos perceber que os experimentos ocupam um papel de grande importância nesse processo, sendo tomados, ao longo da história, como símbolos de decisão de controvérsias e avanço científico. Empreendimentos empíricos são tomados, constantemente, como argumento de validação ou refutação de teorias (GALISON, 1987). Dessa forma, consideramos que trazer às salas de aulas discussões sobre as ciências, a partir do estudo de experimentos e práticas experimentais desenvolvidas ao longo da história, pode ser um caminho promissor ao ensino de ciências numa abordagem histórica, com vistas a ultrapassar a visão estruturalista e relativista para o empreendimento científico.

Essas considerações levaram-nos a desenvolver, o estudo aqui discutido, que tem por foco os experimentos históricos e que, partindo de resultados de pesquisas da área a respeito do tema, pretende argumentar sobre quais aspectos da linha historiográfica denominada História Cultural da Ciência (HCC) podem ser agregados à proposta de *reconstrução de experimentos históricos*, com o objetivo de trazer o debate sobre a ciência para a sala de aula, sem recair em análises estruturalistas ou relativistas. Nesse intuito, buscamos a perspectiva de historiadores da ciência como Daston (2016), Galison (1987), Pimentel (2010), Brockliss (2013), Roberts (1999) e Klein (2003) que discutem a ciência a partir de aspectos histórico-culturais do processo de sua construção, abordando as práticas científicas que moldaram o conhecimento hoje estabelecido.

1.3 O Papel dos Experimentos Históricos no Ensino de Física

A realização de experimentos quantitativos e qualitativos na educação básica é de um modo geral, considerada de grande relevância para o ensino de Ciências (ARAÚJO & ABIB, 2003; BORGES, 2002; CARDOSO & PARAÍSO, 2014; HEERING & HÖTTECKE, 2014; RINALDI & GUERRA, 2011; TRUMPER, 2003;). A partir do início do século XX, as práticas de laboratório foram acolhidas como parte obrigatória do último seguimento do ensino básico dos Estados Unidos e, nesse mesmo período, uma comissão na Alemanha ressaltou a importância do trabalho prático na educação científica de nível básico como forma de valorizar as habilidades processuais dos estudantes e trabalhar, em sala de aula, conceitos gerais de precisão e observação. Tal comissão ressaltou, também, que essa abordagem, deveria levar ao ensino o exemplo de como o conhecimento científico é adquirido através de experimentação (HEERING & HÖTTECKE, 2014).

No Brasil, quando nos referimos às discussões relacionadas à educação científica, as práticas de experimentação, apesar de ausentes na maioria das escolas brasileiras, são apontadas pelos documentos nacionais (BRASIL, 2000, 2002) e pelos professores como indispensáveis para sua melhoria (BORGES, 2002). Um movimento nacional, para a introdução de práticas experimentais no ensino das ciências, teve início sob influência do método proposto pela Escola Nova, com a instalação do IBECC[6] em 1946. Tal movimento, entretanto, esteve baseado no behavorismo e como consequência difundiu projetos escolares, como feiras e clubes de ciências e, alguns anos depois, kits experimentais (CARDOSO & PARAÍSO, 2014).

Apesar das mudanças ocorridas nos pressupostos da educação científica ao longo dos anos, a defesa de que o ensino de ciências deve ter cunho prático e laboratorial continua presente na literatura, desempenhando um importante papel nas discussões acerca do ensino das Ciências na atualidade (KIPNIS, 1998; HEERING & HÖTTECKE, 2014). Importante destacar que existem diferentes enfoques e finalidades dos quais um experimento pode se apropriar ao ser abordado no ensino das ciências. Podemos, por exemplo, escolher abordagens que explorem práticas experimentais quantitativas, com construções de tabelas e gráficos, ou práticas que priorizem o aspecto qualitativo e explicativo do fenômeno estudado. Dentro dos dois grupos, qualitativo e quantitativo, podem-se desenvolver aulas que enfatizem a demonstração e observação de certo fenômeno ou aquelas que explorem a investigação. Defende-se que cada uma dessas escolhas deve se enquadrar aos objetivos educacionais

[6] Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura.

propostos e estrutura/ambiente disponível, seja ela a de um laboratório ou de sala de aula (ARAÚJO & ABIB, 2003). Percebe-se, também, diferença em relação às propostas que enfocam o uso de experimentos históricos. Vale ressaltar que há uma concordância entre os pesquisadores da área de que propostas para o trabalho com experimentos (históricos ou não) que levem os estudantes a seguir passos de uma sequência pré-determinada, alcançando resultados preestabelecidos, pouco contribui para a formação desses estudantes (ARAÚJO & ABIB, 2003; DEVONS & HARTMANN, 1970; GERMANO, LIMA & SILVA, 2012; HEERING, 2000; HEERING & WITJE, HÖTTECKE; 2000; 2012; KIPNIS, 1996).

Existe, na literatura da área, uma longa tradição no que se refere a "prática a ser feita", ou seja, discussões que guiam o caminho de investigação a ser seguido por estudantes e indicam como os mesmos devem realizar ou construir experimentos, coletar dados, gerar conclusões, discutir e negociar resultados. Dentro desta perspectiva, segundo HEERING e HÖTTECKE (2014), a noção de um viés histórico-investigativo (*historical-invetigative approach*) para o ensino de ciências foi introduzida por Nahum Kipnis (1996)[7]. No intuito de realizar um trabalho mais completo no ensino de Física, Kipnis optou por trabalhar a História e Filosofia da Ciência (HFC) no intuito de explorar prioritariamente o caráter indutivo da ciência.

Kipnis (1996) argumenta que o laboratório didático em seu formato padrão, onde existe um roteiro fechado de passos e medidas a serem realizados, não é muito adequado ao ensino, pois serve apenas para comprovar algo já esperado. Em contrapartida, ressalta a iniciativa dos "experimentos em aberto". Nesses casos, como caminho para despertar o interesse, o professor assume o papel de facilitador do processo e os estudantes não têm conhecimento de resultados que "deveriam" ser encontrados. No entanto, o autor destaca que o alcance dessa estratégia é de apenas alguns poucos estudantes e que a exploração de resultados obtidos pelos estudantes nesse tipo de prática laboratorial são, muitas vezes, coletados sem o devido rigor, o que pode ilustrar uma imagem de "ciência fácil". Kipnis propôs, então, um meio termo entre o laboratório altamente estruturado e os experimentos em aberto, onde deve ocorrer interação entre os estudantes e o resultado esperado. Essa interação ocorre, na proposta de experimento histórico-investigativo de Kipnis, quando os estudantes alcançam uma espécie de consenso sobre a investigação ter ocorrido de forma adequada. Nesse sentido, o experimento histórico não precisa ser replicado de forma

[7] Vale ressaltar que, segundo Heering e Höttecke (2014), processos onde os estudantes aprendem ciência "fazendo" já vinham sendo desenvolvidos em momentos anteriores ao trabalho de Kipnis.

fiel aos materiais e estrutura original, deve-se, no entanto, conservar as características que forem mais relevantes à investigação (KIPNIS, 1996).

A proposta de Kipnis não foi a única para o trabalho de experimentos históricos. Assim, para cumprir o objetivo desse estudo, apresentaremos inicialmente uma revisão da literatura da área a respeito do uso de experimentos históricos no ensino. Para tal, descreveremos a metodologia seguida para compor a referida revisão.

1.4 Procedimento metodológico para a Revisão Bibliográfica

O trabalho de revisão teve início com o encontro do trabalho de Heering e Höttecke (2014), no qual os autores construíram um panorama geral da área – experimentos históricos no ensino de Física - em âmbito internacional. Na análise apresentada, Heering e Höttecke (2014) dividem as propostas de experimentos históricos em cinco categorias: instrumentos históricos, narrativas, diários de laboratório, experimentos históricos a partir de materiais modernos e museus de ciência. A partir do conhecimento desse trabalho, realizamos a revisão bibliográfica aqui descrita restringindo-nos a periódicos nacionais.

Como nosso trabalho concentrava-se no ensino de Física selecionamos os dois periódicos nacionais voltados a essa modalidade de ensino: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF). Porém com vistas a ampliar o escopo, analisamos os artigos publicados nos periódicos: Ciência e Educação (CE), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), todos esses classificados no extrato A1 e A2 do webqualis CAPES.

A busca se deu no website de cada periódico, em trabalhos publicados entre 2001 e 2016, a partir das palavras “experimento histórico” “experimentos históricos”, “experiência”, “experiências”, “museu” e “museus” com aspas e sem aspas. Na tabela a seguir (tabela 1), apresentaremos o número de artigos encontrados em cada busca e, após o processo de triagem, qual o número de resultados restantes. O processo de triagem buscou verificar quais as pesquisas enfatizavam o trabalho com experimentos históricos, seja em discussão teórica ou com a manipulação de uma réplica do aparato. Os trabalhos que mencionam a importância de se abordar experimentos em um viés histórico, mas não detalham o assunto, não foram enquadrados como “artigos após a triagem”. Para tal seleção, foram analisados, a princípio, o título dos trabalhos,

palavras-chaves e resumos. Quando essa análise primeira não deixou claro o enquadramento ou não dos artigos em nossa classificação, recorremos ao corpo do texto para esclarecimento. Os artigos selecionados “após a triagem” têm seus objetivos explicitados nas categorias de análise da secção seguinte.

Tabela 1 – Número de artigos encontrados a partir dos critérios de busca antes e após a triagem.

	Experimento histórico/ Experimentos históricos		Experiência/ Experiências		Museu/museus	
Resultados	Artigos	Artigos após a triagem	Artigos	Artigos após a triagem	Artigos	Artigos após a triagem
CBEF	10	5	90	1[8]	8	0
CE	1	1	5	0	8	0
EPEC	0	0	1	0	8	0
IENCI	0	0	17	0	17	0
RBPEC	1	1	15	0	8	1
RBEF	3	3	5	1	2	1
Total	15	10	133	2	51	2

Como ponto de partida para a divisão das categorias de análise, realizamos uma leitura prévia dos artigos selecionados. Nessa leitura, percebemos certa consonância da produção nacional com as categorias propostas por Heering e Höttecke (2014). Dessa forma, analisamos os artigos selecionados a partir das mesmas categorias indicadas por esses autores, o que nos permitiu acoplar à descrição de nossos resultados ao que se encontra descrito em Heering e Höttecke (2014). Assim, na seção seguinte apresentamos em cada categoria uma análise dos trabalhos identificados por Heering e Höttecke (2014), e os encontrados a partir de nossa revisão.

[8] O resultado encontrado aqui (JUNIOR et al, 2016) também aparece na busca pelo termo “experimento histórico”.

1.5 Categorias de Análise; Experimentos Históricos e o Ensino de Física

Apresentaremos a seguir, cada uma das categorias de análise que terão seus objetivos previamente detalhados[9]. Na apresentação das categorias, explicitamos os objetivos das mesmas, a análise dos artigos destacados por Heering e Höttecke (2014) e trabalhos nacionais encontrados a partir da nossa metodologia de revisão, mas que dão suporte para as suas definições. Após essa apresentação, destacamos, com base nas categorias, os resultados da revisão bibliográfica aqui discutida.

1.5.1 O trabalho com experimentos históricos: reconstruindo aparatos históricos.

Essa categoria de análise, segundo a classificação de Heering e Höttecke (2014) compreende trabalhos que visam a reconstrução de aparatos históricos de maneira fidedigna à sua versão original. Todavia, como será explicitado, ainda nessa seção, a análise do panorama internacional em paralelo com o nacional, nos levou a considerar, aqui, trabalhos que se propõem a reconstrução de experimentos históricos com materiais modernos, mas que conservem os objetivos para o ensino de Física encontrados na replicação fidedigna dos aparatos.

Um grupo que se destaca na reprodução de experimentos é o de Oldenburg que, nas últimas três décadas veio sistematicamente utilizando o método na formação de professores e na educação básica. O grupo se baseia na reconstituição dos aparatos científicos, a partir do método da replicação, dividido nas etapas: reconstrução do aparato, recriação do procedimento experimental e contextualização da experiência. A contextualização mencionada tem como foco principal as teorias científicas relacionadas ao experimento analisado, às hipóteses levantadas no período e como elas guiaram a construção, modificação e finalidade dos experimentos replicados. Como exemplo, encontramos, em Hottecke (2000), o trabalho desenvolvido a partir da replicação do experimento de rotação de Michael Faraday (princípios do motor elétrico), o qual defende que para se entender o aparato, é importante considerar o contexto histórico no qual o mesmo foi construído. Assim, ao delinear a estrutura contextual, o autor destaca alguns estudiosos que contribuíram para a construção do conhecimento acerca da eletricidade no período anterior ao

[9] A seção "Investigações Históricas com Materiais Modernos" discutida por Heering e Höttecke (2014) não será incluída aqui por entendermos já estar abarcada nos trabalhos que estamos apresentando nas seções "narrativas", "diários de laboratório" e "museus de ciência" que se dispõe a construir experimentos a partir de materiais mais acessíveis e disponíveis nos dias atuais.

experimento, indica seus respectivos focos de investigação e algumas das montagens experimentais realizadas, além de descrever alguns aparatos construídos em momentos posteriores com base nos princípios do experimento de Faraday (HÖTTECKE, 2000). Heering (2007a) desenvolve seu artigo, discutindo o trabalho experimental de Jean Paul Marat e suas relações com uma prática comum na época, as demonstrações públicas de experimentos científicos (HEERING, 2007a), todavia, apesar desse destaque, o foco do trabalho recai sobre as montagens experimentais realizadas por Marat, no que diz respeito às questões reativas aos materiais envolvidos e às teorias discutidas na época. Dessa forma, as "demonstrações públicas" são invocadas para alguns apontamentos e conclusão, não sendo discutidas em maiores detalhes.

Na reconstrução dos aparatos, o grupo de Oldenburg preza por resgatar tanto quanto possível, os materiais que eram empregados originalmente. Para eles, com esse procedimento insere-se um fator extra que é o da não familiaridade dos estudantes com a cultura laboratorial do período estudado, o que possibilita a discussão histórica acerca de um tempo particular.

Para o grupo de Oldenburg, o processo de replicação permite extrapolar os escritos dos cientistas como fonte de estudo. Isto porque com a reprodução do experimento é possível investigar as técnicas empregadas na fabricação dos mesmos, as dificuldades oriundas do desenvolvimento do experimento e outras questões próprias da construção do experimento que não necessariamente seriam percebidas a partir do conhecimento dos escritos dos cientistas. Assim, os instrumentos são caracterizados levando em consideração a cultura material do período estudado (HEERING, 1994, 2006; HEERING & HÖTTECKE, 2014). Todavia, o grupo reconhece a dificuldade do processo de replicação por parte dos professores e por isso desenvolveu materiais de suporte, como vídeos, que possibilitam a discussão em outros ambientes (HEERING, 2007b). Considerando as dificuldades de se replicar experimentos históricos de maneira fidedigna, encontramos um número restrito de trabalhos nessa linha, como a produção advinda do grupo de Oldenburg e alguns museus de ciências. No entanto, por conservar algumas diretrizes filosóficas inerentes aos trabalhos do grupo de Oldenburg, incluiremos aqui, propostas que buscam reconstruir experimentos com materiais modernos no intuito de discutir questões materiais envolvidas ao aparato, o papel do experimento na construção de determinada teoria e os conceitos físicos envolvidos.

Nessa perspectiva, encontramos, em nossa revisão, o trabalho de Oliveira e Silva (2014), que destaca o experimento de William Herschel, que evidenciou a

radiação infravermelha. Assim, são analisados as medidas e resultados obtidos por Herschel e qual a fundamentação experimental presente naquele contexto. Apesar de não apresentar uma proposta com a reprodução do experimento neste artigo, o trabalho mencionado é parte de uma dissertação de mestrado que apresenta um material paradidático, indicando os caminhos para a reconstrução do experimento desenvolvido por Herschel, assim como apresenta os resultados obtidos e os conceitos científicos relacionados (SILVA & OLIVEIRA, 2014). Outro trabalho na mesma linha, proveniente do mesmo grupo de pesquisa, é proposto por Souza, Silva e Araujo (2014) que, com o objetivo de problematizar a atividade experimental em sala de aula, reproduzem o experimento de Joule do equivalente mecânico do calor. Germano, Lima e Silva (2012) apresentam uma proposta para se introduzir controvérsias históricas e acontecimentos que contribuíram para a primeira pilha elétrica, propondo a construção de uma bateria voltaica no intuito de discutir a controvérsia entre Galvani e Volta e suas explicações sobre a eletricidade animal.

No trabalho de Chaib e Assis (2007), através da reprodução do experimento de Oersted com materiais de baixo custo, os autores discutem a relevância do experimento para as pesquisas que se seguiram e a unificação da eletricidade com o magnetismo. Raicik e Peduzzi (2016) propõe discutir os experimentos realizados por Stephen Gray, abordando as convicções teóricas do cientista bem como as características da ciência experimental no referido contexto. São enfatizados os procedimentos experimentais da física e os conceitos físicos envolvidos. Os autores sugerem que os experimentos propostos por Gray podem ser reproduzidos com materiais de baixo custo (RAICIK & PEDUZZI, 2016).

1.5.2 O trabalho com experimentos históricos a partir de Narrativas

No grupo “experimentos históricos a partir de Narrativas”, se enquadram aqueles que desenvolvem trabalhos baseados na utilização de textos narrativos, os quais podem ser textos encontrados na literatura ou aqueles construídos com base em fontes primárias e secundárias por pesquisadores e professores que desenvolveram o projeto. O intuito é que os textos instiguem a curiosidade e a reflexão dos estudantes. Vale ressaltar aqui que, desse grupo fazem parte, também, os trabalhos que propõem temas investigativos guiados pela história da ciência, mesmo que não resultem em (ou forneçam aos estudantes) um texto escrito, desde que uma narrativa acerca dos experimentos históricos seja enfatizada.

Dentro do presente grupo, Metz e Stinner (2007) desenvolveram estudos, conjugando as narrativas históricas com a replicação de experimentos históricos. Na utilização desses experimentos, os autores adaptaram as sequências “reconstrução do aparato”, “recriação do procedimento experimental” e “contextualização da experiência”, propostas por Heering (2005). Metz e Stinner (2007) ressaltaram a dificuldade de se reproduzir um experimento do passado de forma fiel e por isso não seguem o método de replicação proposto pelo grupo de Oldenburg a risca, modificando os materiais utilizados, mas mantendo inalterados os conceitos e procedimentos que serão trabalhados. Os autores justificam o uso de materiais modernos, argumentando que o objetivo de seu trabalho é a interação dos estudantes com a narrativa histórica através do experimento e a comparação dos dados recolhidos no manuseio experimental com os trabalhos originais vinculados ao experimento estudado. A partir dessa modificação, intitulam sua proposta de “representação histórica” (*historical representation*).

No trabalho de Chang (2011), o objetivo é replicar experimentos, com o propósito de resgatar aparatos e resultados passados, geralmente negligenciados, quando determinada teoria é discutida. O autor defende que com a exploração dessas situações é possível levantar questões relevantes ao ensino. Por exemplo, em Chang (2011), encontramos esforços na construção de uma narrativa em torno a experimentos desenvolvidos no início do século XIX para a determinação da temperatura de ebulição da água, onde aparecem resultados não esperados (mesmo atualmente), “anomalias”. Esses resultados inesperados surgem por conta de fatores normalmente ignorados, como o material do recipiente que contém a água, a maneira exata que se dá o aquecimento ou a quantidade de ar dissolvido no líquido. Essas “anomalias” se encaixam, em Chang (2011), como eixo condutor para se discutir as dificuldades do fazer ciência. De acordo com Chang, envolver professores e estudantes em um experimento histórico é uma ótima maneira de mostrar-lhes que o desenvolvimento da ciência pode ser mais difícil do que parece (CHANG, 2011). O autor argumenta que discutir esses resultados “esquecidos” pela História da Ciência serve como base para introdução de um processo investigativo. Por se tratar de questões que não são tidas como prioritárias, mas com grande potencial de ensino, Chang as denomina pelo termo de “ciência complementar”.

Medeiros e Monteiro (2001) realizaram uma pesquisa bibliográfica, inclusive de documentos históricos originais, para resgatar conceitos base para a reconstrução de aparelhos de áudio. O trabalho versa sobre a análise histórica de elementos constituintes desses aparelhos ao longo da história e a construção de um aparato com

os mesmos propósitos a partir de materiais modernos. A proposta se desenvolve utilizando os mesmos princípios científicos básicos utilizados historicamente em aparelhos de gravação de som, com vistas a destacar quais desses princípios continuam a ser utilizados atualmente.

Raicik e Peduzzi (2015) pretendem discutir com os estudantes, através de uma narrativa sobre o experimento, a relação entre teoria e experimento e as dificuldades em discutir hipóteses e fazer inferências. Para tal, se utilizam de vídeos, trechos de trabalhos originais de cientistas e realização de um experimento histórico, para reproduzir alguns resultados encontrados por Du Fay sobre a eletrização e repulsão elétrica. A reconstrução do experimento proposto não segue o caminho da replicação proposto por Heering (2005).

Tao (2003) e Vera et al. (2011) estruturam pesquisas que trabalham com narrativas e experimentos históricos. Tao (2003) não propõe a reconstrução de experimentos, mas busca explorar o uso de narrativas sobre experimentos históricos no intuito de trabalhar concepções pré-existentes nos estudantes acerca do tema "experimentação na ciência". Vera et. al. (2011) propõe a abordagem histórica se pautando no desenvolvimento de um experimento simples – uma vela acesa dentro de um recipiente fechado. Os autores, a partir desse experimento, constroem uma narrativa, não escrita, para explorar questões trabalhadas por Lavoisier a respeito do "ar" e do oxigênio. Os autores, com a narrativa, analisaram o experimento tanto com base nos conhecimentos científicos atuais, como apresentaram diversas interpretações possíveis para o observado com o experimento, a partir dos trabalhos desenvolvidos sobre o tema no século XVIII. Os autores conjugam ao experimento realizado e a narrativa sobre o mesmo uma sequência de observações, através de registros computacionais, que permitem analisar o experimento em diversos instantes subsequentes de tempo.

Além dos trabalhos destacados, encontramos na literatura nacional, a partir dos procedimentos destacados para estruturar a presente revisão, propostas que visam a discutir experimentos históricos e sua relação com a tecnologia, como o trabalho de Rinaldi e Guerra (2011), no qual estudantes construíram um transmissor de ondas eletromagnéticas, baseado no Arco de Poulsen (1890). Nessa proposta, os estudantes construíram o referido transmissor com materiais modernos e discutiram, ao longo processo de construção do aparato, textos narrativos, encontrados em livros paradidáticos de História da Ciência, sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.

Júnior et al. (2016) descrevem a pesquisa qualitativa realizada a partir de um curso de formação continuada de professores à distância. A proposta trabalhou um

caso histórico que envolve o experimento do pêndulo de Foucault realizado no Brasil. A partir do metatexto construído para analisar o papel do experimento de Foucault na proposta, é destacado como o mesmo possibilita discutir elementos de Natureza da Ciência, como o caráter coletivo da construção científica. É ressaltada a controvérsia entre as visões geocêntrica e heliocêntrica na religião e astronomia e as evidências que o experimento traz para a discussão.

Silva e Martins (2003) discutem elementos do trabalho sobre luz e cores publicado por Isaac Newton em 1672, com foco no experimento que buscou analisar a composição e decomposição da luz com prismas e lentes. O trabalho levanta diversas questões teóricas e implicações advindas dos resultados encontrados, a partir do trabalho experimental de Newton e que servem para problematizar a concepção de "método científico" presente em livros didáticos que e é, segundo os autores, amplamente carregada por professores e estudantes (SILVA & MARTINS, 2003). Em Martins (2012), encontramos uma discussão sobre os experimentos de *Michelson e Morley* e outros anteriores a este, que buscavam detectar o movimento da Terra em relação ao éter. Nesse caso, o objetivo foi discutir as implicações desses experimentos e relacioná-los aos conceitos físicos que estavam sendo discutidos no período.

Júnior, Cunha e Laranjeiras (2012) utilizam recursos computacionais e, enfatizando as dificuldades de se implementar o método de replicação proposta pelo grupo de Oldenburg, se utilizam da simulação como alternativa. Dessa maneira, a partir do programa *Modellus*, eles construíram uma simulação que permitiu discutir o experimento do plano inclinado de Galileu no que diz respeito à sua estrutura, coleta e análise de dados. Os autores extraem trechos da obra *Discursos e Demonstrações Matemáticas em Torno de Duas Novas Ciências* (1638) de Galileu para construir análises conceituais matemáticas e físicas.

Santos, Voelzke e Araújo (2012) apresentam seu trabalho que visa a reprodução do experimento realizado por Erastóstenes no intuito de medir o raio da Terra. Tendo como foco a interdisciplinaridade no Ensino Médio, os autores pretendem construir discussões que perpassem pelos conteúdos de Física, Astronomia, Geografia e Matemática e alguns temas históricos tais como a Biblioteca de Alexandria e a figura de Erastóstenes. Uma análise social do período é mencionada no artigo em questão, mas parece ocupar um lugar periférico na aplicação do trabalho. Dentre outros recursos, para o desenvolvimento e a análise dos dados, os alunos contaram com a utilização de programas de computador tais como o *Google Earth* e o *Stellarium*.

1.5.3 O trabalho com experimentos históricos a partir de diários de laboratório.

No grupo “diários de laboratório”, foram enquadrados os trabalhos que apresentam experimentos históricos nas aulas de ciências, a partir de descrições encontradas em anotações originais extraídas dos diários de cientistas. Essas anotações servem de base para o levantamento e discussão de problemas enfrentados nos laboratórios dos cientistas. Nessa linha, destacam-se trabalhos de Crawford (1993) e de Barth (2000) que se utilizaram de algumas seções dos diários de Faraday, selecionando informações e anotações relacionadas a problemas e questões enfrentadas e descritas pelo cientista para apresentar aos estudantes. Essas informações serviram como elementos motivadores para estudantes e professores refletirem e produzirem suas próprias respostas acerca de fenômenos eletromagnéticos estudados.

Recorrer a rascunhos e escritos originais, enquanto é construída e ajustada a versão moderna do experimento, permitiu aos alunos, segundo Crawford (1993) e Barth (2000), se defrontarem com questões sobre o desenvolvimento do experimento, tais como as dificuldades ou não em relação à montagem experimental. Barth (2000) direciona a leitura dos originais com os estudantes para uma a reflexão sobre “quais dispositivos foram usados”, “quais experimentos foram feitos” e “o que foi observado” (por Faraday). Essas questões são consideradas pelos autores fundamentais para que os estudantes entendam, durante o fazer experimental, as dificuldades enfrentadas por cientistas no que diz respeito a calibrar um instrumento, controlar as condições experimentais, construírem explicações para novas observações entre outras. O trabalho de Barth (2000) termina com a reconstrução com materiais, por parte dos estudantes, da montagem experimental descrita por Faraday (Barth, 2000).

Nossa busca, não encontrou nos periódicos nacionais nenhum resultado que se enquadrasse melhor na presente secção do que em outras tais como “reconstruindo aparatos históricas” e “narrativas” já discutidas. Todavia, optamos por apresentar essa categoria, proposta por Heering e Höttecke (2014), por se tratar de uma abordagem relevante na literatura. Assim, conservar essa seção se mostra coerente com os objetivos deste trabalho, que ultrapassam uma revisão bibliográfica fechada, visando a traçar como a área “experimentos históricos e o ensino de Física” é abordada nacionalmente e em paralelo com a produção internacional.

1.5.4 O Trabalho com Experimentos Históricos em Museus de Ciência

Muitos Museus de Ciências, como por exemplo, o Museu de Ciências de Coimbra, trabalham na preservação de experimentos históricos. No final do século XVIII, no intuito de lançar iniciativas de modernização do tecido econômico de Portugal, Pombal devido ao seu contato com a cultura instrumentalista em torno a ciência, que estava se construindo pela Europa, se torna um dos principais incentivadores da construção de uma grande coleção de instrumentos científicos que seriam utilizados no Real Gabinete de Física da Faculdade de Filosofa da Universidade de Coimbra. Apesar de, muito ter se perdido, existe grande acervo preservado a partir do século XVIII (CARVALHO, 1997). Atualmente, os instrumentos ora utilizados no ensino, compõem o Museu de Física da Universidade de Coimbra, que faz parte da ideologia de um projeto de instaurar uma cultura científica que influenciaria toda uma tendência, pois,

> *"Se na linguagem de todos os dias, os valores, as atitudes e as expectativas de índole científica ou tecnológica não circularem nem se afirmarem, a capacidade de representar e manipular a realidade encontra-se severamente limitadas." (CARAÇA, pp. 15, 1997).*

Com foco em espaços semelhantes ao destacado no Museu de Física da Universidade de Coimbra, Chinelli e De Aguiar (2016) destacam a importância dos museus e centros de ciência no que diz respeito à interação, seja física ou observacional, que permita, em um processo subjetivo, relacionar o conhecimento antigo e o novo. No entanto, os autores em conjunto com professores em formação, investigam, a partir de visitas, como as exposições apresentadas nesses espaços - por museus e centros de ciências - muitas vezes acabam por contribuir para a afirmação de uma visão positivista de desenvolvimento da ciência, afastando, assim, de uma perspectiva de construção mais complexa sobre a mesma.

Autores como Valente (2005) defendem que os Museus de Ciência podem contribuir significativamente para o ensino de ciências, pois, além de um espaço de preservação, "aproximam-se dos aspectos da ciência contemporânea e também contemplam a visão de que a historicidade é característica relevante para se pensar cientificamente". (VALENTE, 2005). Em uma tentativa de aproximar o público em geral dos museus de ciência, a partir da segunda metade do século XX, os museus

europeus e norte-americanos começaram a promover a interação por meio de aparatos. Todavia, nesses esforços, focar na manipulação desses aparatos, muitas vezes, acarreta na perda dos aspectos culturais e históricos que acabam por se tornar secundários. Nesse sentido, articular a potencialidade de um museu de ciências com a História e Filosofia da Ciência (HFC) é uma alternativa apontada por Valente (2005) para traçar estratégias que permitam aproveitar de maneira mais eficiente os acervos disponíveis para fins educacionais.

Todavia, no contexto dos museus de ciências, nos deparamos com uma série de dificuldades quando nos referimos a experimentos históricos: as peças de museu[10] tem que ser preservadas e, em geral, não podem ser disponibilizadas para manuseio. Apesar dos obstáculos destacados, encontramos alguns exemplos em trabalhos com experimentos histórico em museus, como os de Cavicchi (2008), Eggen et. al (2012), Heering e Müller (2002).

Eggen et al (2012) desenvolveram um trabalho em um Museu de Ciências, explorando a decomposição da água a partir da eletricidade. Nesse trabalho, eles exploraram aspectos da química e física nos séculos XIX e XX, se utilizando de uma pilha voltaica como gerador de eletricidade. (EGGEN et al., 2012). Os autores utilizaram um aparato do acervo da própria Universidade, com exceção da pilha de Volta, que foi reconstruída por eles. A proposta foi aplicada na Universidade de Ciência e Tecnologia da Noruega e em escolas locais de Ensino Médio.

Cavicchi (2008) desenvolveu um trabalho, no qual ela se refere como exploração crítica (critical exporation). Nesse trabalho, um grupo de estudantes visitou a coleção de Telefones do museu do MIT, a biblioteca Burndy de livros científicos raros e a Subestação de Roslindale, com instrumentos elétricos. No museu do MIT, os estudantes tiveram oportunidade de manipular vários aparatos históricos, como telefones, que suscitaram discussões acerca da relação desses aparatos com a eletricidade, magnetismo, som e luz (CAVICCHI, 2008)[11]. O objetivo principal dessa proposta foi possibilitar uma experiência intensiva com os fenômenos físicos enquanto era discutido o contexto de emergência dos conceitos e aparatos construídos na época. Em contrapartida à manipulação direta de instrumentos históricos por estudantes, outra possibilidade quanto à utilização dos Museus de Ciência é a apresentada por Heering, Muller (2002) e Teichmann (2015) que consiste em colocar experimentos replicados lado a lado com o original, de forma que a interação com a

[10] Aqui estamos nos referindo as peças originais e não ao material produzido especificamente para interação do público ou réplicas de experimentos para fins didáticos.

[11] Vale ressaltar que eram apenas 2 estudantes e que, segundo a autora, possuíam os requisitos necessários para um trabalho laboratorial.

réplica possa ocorrer sem a preocupação de conservação normalmente atribuída aos experimentos com peças originais.

No caso da literatura brasileira, a relação entre o museu e a escola é apresentada a partir da discussão das possibilidades em discussões científicas e sociais que um museu ou centro de ciência pode criar para o ensino como espaço não formal. Nessa categoria, encontramos o trabalho de Rodrigues e Afonso (2015) que apresenta o resultado da análise de 97 diálogos produzidos entre alunos, de 14 e 15 anos, quando realizaram uma visita a uma seção de óptica de um museu. Na descrição da proposta, são apresentados três dos experimentos históricos observados. O trabalho conclui que o envolvimento cognitivo dos alunos foi superficial, sendo a presença de um educador em ciências um importante elemento para promover um maior processamento de informação associada aos temas apresentados (RODRIGUES & AFONSO, 2015).

Caldas, Lima e Crispino (2016) explicitam a iniciativa do Museu Interativo de Física (MINF) da Universidade Federal do Pará, que foi criado com o objetivo de incorporar a História da Ciência e a interatividade no ensino de Física a partir da extensão universitária. O museu conta com um acervo de réplicas de experimentos históricos adquiridos através de empresas especializadas na produção desse material para fins didáticos, além de aparatos que são frutos de construção própria. O trabalho se pauta nos cuidados que devem ser tomados em se delinear os objetivos de um trabalho dentro do museu e como essas atividades devem se relacionar com o que está sendo desenvolvido em sala de aula. É levantado que a manipulação dos experimentos serve como ponto de partida para fomentar discussões acerca de processos inerentes à ciência, tais como os de refutar ou estabelecer hipóteses além de remeter a questões temporais, do que se produzia em ciência em diferentes épocas. O trabalho destaca ainda, a importância de um olhar sócio-histórico para época do experimento analisado, no entanto, a forma como esse olhar é construído ou como os processos de estabelecimento da ciência se dão, não são detalhados no artigo que tem como foco, discutir as relações entre o museu e o ensino de Física na escola.

1.6 Análise Geral dos Trabalhos com Experimentos Históricos da Literatura e a História Cultural da Ciência como alternativa.

O levantamento e análise do que foi destacado até aqui indica que o trabalho pautado nos experimentos históricos, voltados ao ensino, se baseia em sua maioria no

método da replicação, seja com material original (como o grupo de Oldenburg) ou materiais modernos e adaptados. Mesmo que possam ter desdobramentos diferentes, tais como a exploração de uma narrativa ou a utilização de uma simulação, a relação da técnica e experimento, quando explicitada, refere-se ao emprego dos materiais disponíveis na reprodução do experimento ou em sua manipulação. O foco, destacado nos artigos analisados, recai sobre o experimento em si, ou seja, na análise dos materiais e equipamentos utilizados, nas técnicas diretamente relacionadas à coleta e interpretação de dados, nas questões que o experimento pretendeu responder, nos problemas oriundos da confecção do mesmo e nas respostas ou problemas que o experimento suscitou. As questões relativas ao contexto sociocultural em que o experimento analisado estava imerso não se configuram como elementos de destaque nos trabalhos aqui analisados. Assim, práticas científicas como os modos de publicitação dos resultados, as exigências estabelecidas no rigor das medições e dos seus cálculos, os critérios usados para estabelecer os ruídos a serem desprezados, os processos de validação do experimento desenvolvido e a questão da autoria não estão no foco das discussões a serem travadas com os estudantes.

Considerando as reflexões que emergem a partir da revisão bibliográfica realizada e com vistas a trazer subsídios para reflexões em torno ao potencial do trabalho com experimentos históricos na educação básica, focaremos nossa atenção nas questões não exploradas nos trabalhos, então, analisados. Para isso, se mostra coerente uma abordagem pautada na abordagem historiográfica denominada História Cultural da Ciência (HCC) (BROCKLISS, 2013; BURKE, 2005; DASTON, 2016; DASTON & GALISON, 2007; GALISON, 1987; KLEIN, 2003; MOURA & GUERRA, 2016; PIMENTEL, 2007, 2010; ROBERTS, 1999; SILVA, 2016).

A escolha por essa linha historiográfica se deve a estudos realizados pelo grupo de pesquisa, do qual os autores desse trabalho fazem parte[12]. No grupo de pesquisa, discussões e trabalhos são realizados com o intuito de trazer às salas de aula de ciências discussões sobre as práticas científicas, que privilegiem estudos a respeito do caráter histórico das mesmas. Dessa forma, são desenvolvidos trabalhos que buscam evidenciar o fazer cotidiano dos cientistas, como leitura e escrita de artigos, o papel central ou periférico dos que trabalharam no experimento analisado na rede de relacionamento científico, a procura de financiamentos, a discussão com os pares, o trabalho dos técnicos no desenvolvimento de aparatos, o trabalho de ilustradores, enfim o destaque em cada contexto histórico de práticas importantes ao desenvolvimento das ciências, mas, geralmente, negligenciadas, quando a análise

[12] Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC).

histórica fica voltada à história das ideias (MOURA & GUERRA, 2016; SILVA, 2016). Dessa forma, pretendemos discutir que os ditos “fatos científicos” são produtos culturais e, portanto, originados a partir de desdobramentos do processo de construção do conhecimento científico e, portanto, permeados por questões políticas, sociais e culturais.

Ao considerar as práticas científicas como elemento importante ao estudo da História das Ciências, a abordagem historiográfica da HCC se afasta de análises generalizantes que ressaltam apenas os feitos científicos, os centros produtores de ciência e os cientistas. Na abordagem da HCC, a cultura na qual determinado desenvolvimento científico ocorreu não é considerada apenas como um fator externo à produção do conhecimento científico e que interfere em seu caminhar. Entende-se que as práticas desenvolvidas pelos cientistas estão imersas no contexto cultural de sua produção (BURKE, 2008; MOURA & GUERRA, 2016; PIMENTEL, 2010; SILVA, 2016). Dessa forma, para estudar as práticas científicas não podemos nos basear em definições gerais e universais sobre o que as constitui, e, assim, considerações sobre processos de validação de experimentos, por exemplo, não podem ser considerações generalistas e universais. O que faz com que certo cientista ou grupo de cientistas decida se um experimento está terminado e pronto para ser divulgado faz parte do contexto em que o experimento foi construído, ou seja, está relacionado ao conjunto de práticas científicas aceitas no contexto da validação daquele experimento (GALISON, 1987).

Dessa forma, entende-se que o processo de validação científica, como outros inerentes às práticas científicas, muda com o tempo e local em que se desenvolve de forma tal, que estudar as mudanças dessas práticas e como as mesmas se estabelecem permite entender não apenas o processo de construção das ciências, mas os limites e possibilidades do conhecimento científico.

Historiadores que trabalham nessa vertente (DASTON, 2013; DASTON & GALISON; 2007; GALISON, 1987; KLEIN, 2003; SHAPIN, 1989) desenvolvem trabalhos investigando sistematicamente as práticas científicas utilizadas em torno ao processo de observação, experimentação e representação. Assim, no caso dos experimentos históricos, esses não se restringem aos registros escritos sobre os resultados experimentais e sobre os materiais utilizados e sobre dificuldades para a construção dos aparatos e coleta de dados. Vários outros aspectos são analisados para construir uma análise do processo de construção do conhecimento científico.

1.7 Exemplificando o viés da História Cultural da Ciência e sua potencialidade para o Ensino de Física

As análises realizadas nos levam a considerar que agregar ao trabalho com experimentos históricos questões levantadas por estudiosos que trabalham com a análise histórica das práticas científicas potencializa discussões sobre as ciências no ensino. Para aprofundarmos a discussão, apontaremos dois exemplos históricos.

Pimentel (2007) analisou o período largamente difundido como “Revolução Científica”. Ao centrar sua análise nas práticas científicas daquele contexto, o autor defende que para entender as ciências que ali se desenvolviam é importante analisar os locais da produção e divulgação dos conhecimentos científicos e os caminhos usados para divulgar entre pares os resultados dos estudos. Assim, Pimentel (2007) destaca o papel das academias científicas, dos jardins botânicos, dos anfiteatros de anatomia e dos gabinetes de curiosidade na produção e divulgação do conhecimento científico nos séculos XVI e XVII. Nesse contexto, a criação da imprensa se mostrou um fator fundamental para entender as mudanças estabelecidas nas práticas científicas. Com a imprensa, as obras científicas não precisavam mais passar pela mão daqueles que transcreviam repetidamente os textos. Isso não só ampliava o poder de reprodução e divulgação da obra, como fazia com que a obra não sofresse quaisquer interferências das mãos dos chamados copistas. Outro fator importante nessa nova prática de reprodução da obra científica foi que a ampliação do número de exemplares trouxe consigo a prática da leitura silenciosa e individual.

Com esse olhar para o processo de produção científica, o autor destaca a importância das grandes navegações e do encontro do europeu com outras culturas, ressaltando que o que se estabeleceu no período histórico denominado “Revolução Científica” foi um acontecimento processual e conflitante e não uma transição brusca como amplamente referenciada na literatura. Pimentel (2007), então, resgata historicamente, como a matemática e o saber técnico se relacionaram com aquela sociedade e se entrelaçaram ao saber científico ali produzido. A partir desse olhar, podemos inferir que estudar os experimentos desenvolvidos no período perpassa pela discussão das práticas ali estabelecidas, que moldaram não apenas as questões tratadas, mas os caminhos seguidos para encontrar as respostas pretendidas.

No contexto da “Revolução Científica”, uma figura que se destaca é Galileu Galilei (1564-1672). Imerso em um espaço-tempo de novos instrumentos e práticas, Galileu desenvolveu seu trabalho, reconhecendo que a filosofia escolástica tinha

legitimidade, apesar de ser questionada. Para os escolásticos, as experiências eram um feito universalmente aceito, aquilo que todo homem sabia ou podia saber. Por exemplo, o Sol sair do leste para o oeste, o fato dos corpos sólidos caírem para a Terra eram fenômenos naturais experimentados por todos e considerados relevantes para gerar conhecimento válido. Os fatos singulares, ou seja, aqueles fenômenos isolados e observados apenas por um indivíduo em condições especiais não seriam capazes de produzir conhecimento válido. Esses fenômenos singulares não poderiam gerar princípios fundamentais, visto que eles eram vistos como extravagantes, ligados ao extraordinário e, algumas vezes, como decorrente de um milagre. Assim, não era uma prática científica dos escolásticos realizar experimentos controlados em um ambiente fechado ou usar instrumentos específicos para produzir uma situação especial (PIMENTEL, 2007).

Todo esse contexto de certa forma conduziu a forma como Galileu escreveu seus textos e como conduziu suas ações. Galileu utilizou de novos instrumentos para obter conhecimento, considerou que fenômenos a princípios entendidos como singulares, como corpos em queda livre, geravam conhecimento válido. Entretanto, na divulgação de suas proposições buscou convencer seus pares da naturalidade de suas experiências, assim, construiu seus escritos de forma a convencer o leitor de que os fenômenos tratados não descreviam o extraordinário. Junto a isso, Galileu deu destaque ao testemunho de pessoas investidas de autoridade naquele contexto. Na Praça de São Marco, Galileu posicionou seu telescópio para o céu e atores sociais com papéis de destaque naquela cultura foram chamados a testemunhar as observações. Dessa maneira, como destaca Pimentel (2007), Galileu se utilizou da retórica escolástica e descreveu os experimentos de forma a colocá-los como algo mais natural e do cotidiano (PIMENTEL, 2007). Essa foi uma prática fundamental para o reconhecimento de seu trabalho e para que pudesse obter condições de produzir e divulgar seus estudos, pois como destaca Pimentel (2007):

> *"Não havia acordo sobre quando validar nem tampouco consenso sobre a forma de obter uma experiência fidedigna. Como se demonstra algo? Como se traduz um conjunto de observações em uma lei? O que é uma evidência?"* (PIMENTEL, 2007 pp.200, tradução nossa).

Questões como essas são fundamentais para se compreender como os trabalhos de Galileu foram produzidos e validados e, assim, essas são questões

importantes a serem levadas para sala de aula, quando pretendemos um ensino sobre as ciências. Entretanto, entendemos que essas problemáticas não ficariam explícitas num trabalho em sala de aula focado, por exemplo, no processo de produção do telescópio usado por Galileu, na acuidade do aparelho e nas observações realizadas. No caso de uma abordagem histórica pautada na vertente historiográfica da História Cultural da Ciência, será importante destacar as práticas que Galileu seguiu em seus trabalhos. Fora isso, será importante ressaltar que ele não se defrontou de maneira direta com as formas usuais de se constituir o saber, ele participou de uma transição de caráter processual mais suave. No que diz respeito ao poder da autoridade, "Galileu investiu no poder da autoridade, colocando atrás de seus telescópios, homens cultos e *experts*, as pessoas deveriam se acostumar ao uso dos telescópios" (PIMENTEL, 2007, tradução nossa).

Uma questão importante a ser considerada sobre o experimento, quando em sala de aula trabalhamos com a perspectiva de um ensino sobre as ciências, diz respeito às formas e estratégias de validação do conhecimento científico. Galison (1987) traz um olhar científico-cultural ao analisar como a ciência se estabelece através de fatores diretamente interligados no alcance do consenso dentro da comunidade científica, tais como autoridade, recursos, reputação e relação teoria-experimento. Ao abordar as práticas científicas em torno ao desenvolvimento de experimentos desenvolvidos no início do século XX para investigar propriedades inerentes à estrutura da matéria e baseados em um giroscópio magnético, o autor discute diversos fatores envolvidos no processo da experimentação no âmbito da Física Moderna daquele contexto. Ele analisa, então, quando determinado experimento deixa de ser explorado pela comunidade científica, ou seja, quando e como foi considerado que o experimento cumpriu seu papel e por isso deveria ser considerado terminado (GALISON, 1987). Galison (1987) discute as investigações do mundo atômico no início do século XX desenvolvidas a partir de aparatos macroscópicos. O estudo construído por Galison (1987) ultrapassa os materiais usados e as montagens experimentais desenvolvidas por Einstein, De Haas, Barnett, Arthur Schuster e vários outros cientistas no início do século XX.

Em relação aos experimentos desenvolvidos por Einstein e de Haas com giroscópios, o autor destaca que os dois cientistas procuravam encontrar evidências experimentais da proposta de Ampère, de que as supostas correntes nos ímãs se davam a nível molecular. Essa questão, quando estudada por Einstein e Haas, estava atrelada à tese de que os elétrons eram responsáveis pela corrente amperiana e que os mesmos possuíam inércia. Para tal, eles precisavam ir além de experimentos que

analisavam a questão de forma qualitativa, se mostravam essenciais naquele contexto, as medidas quantitativas. O caminho encontrado pelos dois cientistas para o desejado foi a utilização de um instrumento muito comercializado e divulgado à época, o giroscópio magnético.

Nesse ponto, é importante destacar que Einstein enquanto funcionário do escritório de patentes havia participado do julgamento da disputa de patentes relacionadas a giroscópios magnéticos. Esses eram instrumentos muito comercializados à época por conta de serem usados para localização em navegações. O reconhecimento do instrumento como um caminho para resolver o problema físico das correntes amperianas esteve relacionado ao papel do mesmo naquele contexto e aos caminhos profissionais trilhados por Einstein. Da mesma forma, a participação de Haas nesse trabalho teve, de certa forma, relação com a amizade de Lorentz e Einstein e com o fato de Haas, um recém doutor na época, ser genro de Lorentz. Importante ainda destacar que os princípios de funcionamento do giroscópio se tornaram a base para discutir diversas hipóteses eletromagnéticas e quânticas consideradas capazes de responder as perguntas que guiavam os experimentos citados.

Assim, questões como a precisão necessária para que uma montagem experimental fosse aceita como válida pela comunidade científica, os recursos necessários para a execução das diversas montagens experimentais propostas e como dados laboratoriais considerados como erros experimentais foram tratados por cientistas receberam destaque no estudo de Galison (1987). Além de explorar o trabalho de Einstein no escritório de patentes e um lado pouco evidenciado de um Einstein experimentalista, Galison (1987) destaca as colaborações de outros cientistas no desenvolvimento das montagens experimentais que partem do giroscópio magnético. O autor também dedica atenção aos pressupostos teóricos de cada um dos cientistas envolvidos e como esses pressupostos guiaram suas pesquisas e possibilitaram que seus experimentos fossem capazes de confirmar algo que mais tarde veio a se mostrar inviável. Como destaca Galison (1987), a teoria eletrônica de Lorentz, a corrente amperiana e as energias do ponto zero estavam em jogo nos experimentos desenvolvidos com o giroscópio. Assim, a teoria para o elétron iluminou os fenômenos analisados com os giroscópios. Mas não se pode esquecer que os cientistas imersos naqueles estudos experimentais criaram sua própria linguagem para tratar dos elétrons, de forma que a relação teoria-experimento não é uma simples relação de determinação de um sobre o outro. Dessa forma, o trabalho desenvolvido deixa claro que no episódio discutido, a aceitação dos resultados foi algo complexo,

que enfrentou vários conflitos não passíveis de serem entendidos quando nos detemos apenas à análise do experimento em si (GALISON, 1987).

Esses breves exemplos nos sugerem que na reprodução dos experimentos históricos é importante agregar discussões que ultrapassem o experimento em si. Discussões essas que vão além das portas do laboratório e permitam discutir como determinados instrumentos tornam-se protagonistas nos experimentos e, como esse protagonismo, junto aos pressupostos teóricos, inferem nos fenômenos a serem observados e na precisão estabelecida para entender a validade de um experimento. É importante problematizar o experimento como simples provedor de resultados que refutem ou comprovem indubitavelmente uma teoria e com isso, construir caminhos que agreguem ao trabalho com experimentos históricos discussões a respeito das controvérsias existentes no estabelecimento do processo final do experimento, as dificuldades decorrentes do processo de coleta de dados, os critérios de escolha do que deve ser tratado como erro ou dado confiável, a comunicação entre cientistas e destes com a sociedade, os financiamentos e questões políticas.

Imersos nos argumentos apresentados, se encontram os instrumentos científicos não mais como referência a algo pré-estabelecido, mas algo a ser tomado como uma construção de laboratório, a partir dos resultados de práticas materiais, sociais e culturais. Os processos instrumentais dificilmente se mantêm fixos, eles se alteram ao longo do desenvolvimento de um experimento e a experimentação deixa de ser invocada apenas como teste de suposições teóricas.

1.8 Considerações Finais

A partir do estado da arte apresentado na literatura, acerca dos trabalhos com experimentos históricos no Ensino de Ciências, o presente artigo se propôs a uma discussão teórica. De maneira geral, os trabalhos encontrados na pesquisa realizada se atêm aos conceitos científicos diretamente envolvidos na manipulação de aparatos, coleta e análise de dados, onde são destacadas as dificuldades encontradas por cientistas, os “erros” cometidos e outros aspectos diretamente relacionados à confecção do aparato e à coleta de dados. Parte dos autores extrapola a manipulação de instrumentos científicos e abordam, também, a materialidade envolvida. Nesses casos, quando destacam elementos “extra-laboratório”, em geral, os trabalhos colocam essa discussão como periférica. Muitas vezes, encontramos na descrição dos objetivos das propostas ou introdução do trabalho a importância do contexto histórico, no qual o experimento se constrói. Todavia, percebemos que, essa contextualização

recai, usualmente, sobre os conceitos científicos envolvidos na execução experimental ou manipulação dos materiais envolvidos.

Concordamos que a reprodução dos experimentos históricos traz questões importantes ao ensino das ciências. Porém consideramos importante agregar a essa proposta, discussões que destaquem os locais de produção e validação do conhecimento, assim como, os critérios usados para representar os dados coletados. Dessa forma, o que defendemos aqui, é que a experimentação pautada em um viés histórico-cultural carrega um grande potencial no ensino das Ciências, mesmo quando não se disponha de estruturas como as dos grandes museus e centros de ciências. Contudo, em uma forma complementar às mais diversas abordagens que vem sendo discutidas, ressaltamos a importância de que elementos histórico-culturais sejam trabalhados concomitantemente aos experimentos históricos, de maneira a potencializar um ambiente que fomente a reflexão sobre outros temas estruturantes da construção do saber científico. Vale ressaltar que nossa defesa se volta para a História Cultural da Ciência, como uma possível alternativa ao que vem sendo discutido na literatura, mas não uma antítese, pois a mesma se debruça sobre as práticas científicas que permeiam o ambiente analisado e as colocam de forma inseparável ao que ocorre por detrás das portas do laboratório, podendo ser trabalhada de forma complementar ao experimento em si. Entendemos que quando o contexto sociocultural for discutido de forma a tecer as devidas relações com a construção dos experimentos ou a elaboração de uma teoria podemos conectar de forma mais direta a ciência e contexto sociocultural de sua produção.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq o apoio à pesquisa. Agradecemos aos companheiros do Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC) pela leitura crítica e contribuições fundamentais para a versão final desse material.

2 - NARRATIVAS HISTÓRICAS CONSTRUÍDAS A PARTIR DA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CULTURAL: ELETRICIDADE NO SÉCULO XVIII E INÍCIO DO XIX

Neste capítulo apresentaremos as narrativas históricas em torno ao desenvolvimento dos aparatos Garrafa de Leiden e pilha de Volta construídas a partir dos resultados da pesquisa teórica. O presente capítulo é dividido em duas narrativas históricas, mas que se comunicam por diversos aspectos de interseção. As duas narrativas tiveram seus conteúdos publicados na íntegra, nos anos de 2017 e 2018 (JARDIM, GUERRA[13], 2017b; JARDIM, GUERRA, 2018)[14]. A primeira recai sobre o panorama que permeia a construção do primeiro condensador de eletricidade (capacitor), a Garrafa de Leiden, tendo por foco as práticas científicas, que evidenciam como o conhecimento científico produzido no contexto de produção daquele aparato era comunicado (JARDIM, GUERRA, 2017b). Na segunda narrativa, focamos nas práticas científicas que rondam a utilização da eletricidade em atividades medicinais e as controvérsias que antecedem e se relacionam com o advento da Pilha de Volta (JARDIM, GUERRA, 2018). Em ambas narrativas, encontraremos uma análise historiográfica pautada em fontes primárias e secundárias, a partir da qual construímos uma discussão histórico-cultural do desenvolvimento dos artefatos selecionados, além disso, apresentamos em cada uma das narrativas, as justificativas iniciais sobre a escolha dos instrumentos e do recorte histórico realizado e algumas breves reflexões sobre potencial da abordagem proposta para o Ensino de Ciências.

2.1 ARTIGO PUBLICADO: REPÚBLICA DAS LETRAS, ACADEMIAS E SOCIEDADES CIENTÍFICAS NO SÉCULO XVIII: A GARRAFA DE LEIDEN E A CIÊNCIA NO ENSINO.

2.1.1 Resumo:

Neste artigo, apresentaremos o panorama que permeia a construção do primeiro condensador elétrico, conhecido como a Garrafa de Leiden. Apresentaremos, também, elementos a respeito da construção da ciência que podem ser elencados em aulas de

[13] JARDIM, W.T.; GUERRA, A. "República das Letras, Academias e Sociedades e Científicas no Século XVIII: A garrafa de Leiden e a Ciência no Ensino." Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34 (3), Dez. 774-797, (2017)

[14] JARDIM, W.T., GUERRA, A "Eletricidade Medicinal, Instrumentos Científicos e Difusão do Conhecimento no Século XVIII e Início do XIX: Caminhos para o estudo da pilha de Volta na Educação Básica" Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, p. e3603 (2018).

Física, a partir do estudo do desenvolvimento desse aparato. Para isso, a partir de fontes primárias e secundárias, construímos uma narrativa histórica guiada por um olhar pautado na vertente historiográfica denominada História Cultural da Ciência. Buscamos, assim, salientar como as formas de divulgação do conhecimento no contexto das Academias Científicas, Sociedades científicas e da República das Letras no século XVIII constituem práticas extra-laboratoriais substanciais para uma compreensão do desenvolvimento da Garrafa de Leiden. Por fim e em acordo com resultados de pesquisas na área do Ensino de Ciências, promovemos uma reflexão de quais elementos dessa narrativa poderiam ser levados à sala de aula.

Palavras-chave: História Cultural da Ciência, Práticas Científicas, Garrafa de Leiden, Eletricidade, Regra de Dufay, Ensino de Física.

2.1.2 - Introdução

Entre os pesquisadores que se dedicam à educação científica, é amplamente reconhecida a importância de discussões que promovam reflexões sobre as ciências, seu processo de construção e legitimação na educação básica. Dessa forma, defende-se que o trabalho em sala de aula não pode visar apenas o estudo dos conceitos científicos (MATHEWS, 1994; McCOMMAS 1998; ALLCHIN, 2011; IRZIK e NOLA, 2011; MARTINS, 2015; DRUMMOND et. al., 2015). Nessa perspectiva, um dos caminhos destacados pela literatura da área para o ensino das ciências é a abordagem histórico-filosófica (HFC).

Pesquisas apontam que através dessa abordagem é possível problematizar o processo de construção do conhecimento científico (ARRUDA E VILLANI 1996; GUERRA, REIS E BRAGA 2004; MARTINS, 2007; HÖTTECKE e SILVA, 2011; JARDIM, 2016), promover discussões de contexto em diferentes momentos históricos, a partir do estudo de conceitos científicos, como tempo, espaço e calor (SILVA, FORATO, GOMES 2013; REIS, REIS, 2016) ou construir caminhos que relacionam segmentos da cultura que, à primeira vista, podem parecer totalmente desconexos, tais como Ciência e Arte (REIS, GUERRA, BRAGA, 2006; ZANETIC, 2006; GALILI, 2013, ALCÂNTARA E JARDIM, 2014; JARDIM, 2015).

Na promoção de debates sobre as ciências em sala de aula, pesquisas apontam ainda, ser relevante destacar as ciências como empreendimento social, elaboradas por mulheres e homens, considerados em um espaço e tempo específicos (MILNE, 2011; BRAGA, GUERRA, REIS, 2012; FORD, 2015). Isso, entretanto,

significa se enveredar em teias de complexidade que envolvem o processo de construção das ciências. Todavia, essa complexidade merece ser avaliada quando pensamos em trazer discussões históricas sobre as ciências para as salas de aula. Isto porque análises simplistas podem construir imagens relativistas para as ciências, onde tudo vale ou imagens estruturalistas que desconectam a produção científica dos demais segmentos da sociedade.

Na busca de caminhos para desenvolver trabalhos em aulas de ciências, sem deixar de considerar a complexidade do processo de construção do conhecimento científico, encontramos na História Cultural da Ciência (HCC) uma base historiográfica pertinente (MOURA, GUERRA, 2016). A HCC considera como elemento importante para análise historiográfica, as práticas científicas, de maneira a chamar atenção à complexidade cultural na qual as ciências se desenvolveram. Ao estudar as práticas científicas, a HCC considera importante as práticas de diferentes agentes sociais envolvidos diretamente ou indiretamente no desenvolvimento das ciências (PIMENTEL, 2010). Dessa forma, os estudos históricos baseados nessa vertente historiográfica buscam se afastar de análises generalizantes, que ressaltam apenas os feitos científicos, os centros produtores de ciência e os cientistas (DASTON, GALISON, 2007; BURKE, 2008; PIMENTEL, 2010; MOURA, GUERRA, 2016; SILVA, 2016).

Pautando-nos na argumentação acima, realizamos um estudo que pretende trazer subsídios para área da pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência e educação científica, elencando elementos a respeito das práticas científicas envolvidas no processo de construção da Garrafa de Leiden, que poderiam ser trabalhadas no ensino de Física. Escolhemos a Garrafa de Leiden como tema a ser explorado, visto que a mesma é reconhecida como o primeiro condensador elétrico construído e que, por seu poder de armazenar energia, tornou-se um artefato de grande importância no mundo científico e tecnológico. Além disso, o estudo do desenvolvimento desse artefato nos permite promover discussões importantes sobre as ciências, destacando tanto o caráter temporal de suas práticas como a importância das práticas não laboratoriais no processo de construção e divulgação do aparato.

Neste estudo, trabalhamos com fontes primárias e secundárias de forma a construir uma narrativa história que nos permitisse destacar elementos das práticas científicas que se encontram imbricados no processo de construção do artefato denominado Garrafa de Leiden e, assim, promover uma discussão acerca de quais elementos dessa narrativa poderiam ser levados à sala de aula.

2.1.3 - O Contexto de Dufay: se comunicando e sendo comunicado.

A garrafa de Leiden foi construída no século XVIII na Europa, em um contexto em que estudos ligados ao tema eletricidade tinham grande destaque. Assim, para trazermos questões a respeito dessa construção, será importante destacarmos os trabalhos de Charles François de Cisternay Dufay (1698-1739), visto que conclusões de seu estudo, como a denominada Regra de Dufay, guiaram muitas das pesquisas em eletricidade e foram importantes para os caminhos seguidos na construção do artefato destacado.

Dufay era filho de um oficial da guarda francesa e ingressou jovem na carreira militar, seguindo os passos do pai. Todavia, aos vinte e cinco anos, sem nenhuma publicação científica, candidatou-se e foi contemplado a um posto de químico na Academia de Ciências de Paris (*Academie des Sciences de Paris*). Dufay entrou na academia por conta da influência de seu pai, que tinha bons contatos na alta escala da sociedade francesa (HEILBRON, 1979; BOSS, CALUZI, 2007). O pai de Dufay era amigo, desde a época escolar, de um dos apoiadores da entrada de Dufay na Academia, Armand Gaston Maximilian (1674-1749), cardeal de Rohan, nobre e principal clérigo da França na época. Outros apoios recebidos por Dufay vieram por parte de Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), destacado membro da Academia, e o do abade Jean-Paul Bignon (1662-1743), então, presidente da mesma instituição (HEILBRON, 1979; BOSS, CALUZI, 2007).

A entrada de Dufay na Academia de Ciências de Paris foi um fator preponderante em sua trajetória. As chamadas academias e sociedades científicas[15] tiveram um papel importante na construção e divulgação das ciências do século XVIII. Essas instituições exerceram grande impacto sobre as formas de organização, validação e estabelecimento do conhecimento científico como discutiremos no decorrer do presente trabalho.

O papel desempenhado pelas academias científicas na construção da ciência do século XVIII acabou por fazer com que o número delas crescesse na Europa. No início do século, existiam algumas poucas além da *Royal Society* de Londres e da Academia de Ciências de Paris, já no final do período, eram pelo menos uma centena

[15] Distinguir academias e sociedades científicas no século XVIII, nem sempre é algo tão direto, mas, de uma forma bem geral, podemos considerar que as Sociedades tinham um maior número de afiliados e se apresentavam menos estruturadas, recebendo, também, menos apoio dos governos, o que implicava em maior independência das Sociedades em comparação com as Academias. No entanto, vale ressaltar que apenas o nome da instituição não constitui informação suficiente para classificá-la, A *Société royale des sciences* de Montpellier, por exemplo, era considerada uma academia. Apesar das diferenças reais entre os dois tipos destacados, não exploraremos as diferenças entre elasno presente trabalho, por não se mostrarem cruciais no desenvolvimento da discussão. Para informações mais detalhadas, ver McClellan (2003) e Klancher (2013).

destas instituições científicas espalhadas por toda a Europa. Importante destacar que nesse momento começaram a ser fundadas academias científicas também nas Américas[16]. No século XVIII, o número de academias e sociedades às quais um estudioso era afiliado servia como parâmetro de medida para seu status científico (MCCLELLAN 2003; BROCKLISS, 2013).

A presença de Dufay em uma academia de prestígio da Europa do século XVIII colocou seus trabalhos em destaque na comunidade científica europeia da época. Enquanto associado à Academia de Ciências de Paris, ele desenvolveu trabalhos em diferentes temas, sendo autor de grande número de publicações e, em 1732, tornou-se superintendente dos *Jardins Du Roi* de Paris.

A eletricidade foi um dos assuntos mais estudados por Dufay. Ele desenvolveu estudos acerca da eletrização dos corpos, por atrito e por indução[17], concluindo que todos os materiais poderiam ser eletrizados, exceto os metais, materiais considerados muito macios[18] e líquidos. Pouco tempo depois, Dufay desenvolveu vários experimentos, concluindo que todos os corpos têm capacidade de se tornarem elétricos - após contato com algo que os excitasse. Porém, destacou que para que o procedimento de eletrização tivesse êxito, era necessário cuidado no procedimento, de forma a amparar o objeto a ser eletrizado numa superfície espessa, que hoje reconhecemos por uma superfície isolada. O isolamento era, segundo Dufay, o fator preponderante para o sucesso da eletrização pretendida (HEILBRON, 1979; HANKINS, 2010). Esse procedimento acabou por ser denominado na época de “Regra de Dufay”.

O fato de as conclusões de Dufay, a respeito do modo de eletrização, receber status de regra, revela o destaque daquele trabalho na Europa. Como destacamos, Dufay fez parte de uma academia de grande prestígio, o que lhe conferiu status e maior acesso a outros estudiosos e instituições além de permitir que seus trabalhos fossem publicados tanto em francês quanto em inglês, implicando em grande visibilidade para suas obras. Por exemplo, na publicação de volume 38 da *Philosophical Transactions* da *Royal Society* (1733/1734), encontramos uma tradução para o inglês de uma carta[19] de Dufay ao duque de Richmond. Essa carta contém um

[16] Por volta do século XVIII, muito por influência da “República das Letras”, que trataremos mais adiante em nosso artigo, diversas academias foram abertas fora da Europa, acontecimento que alcançou o Brasil na segunda metade do século XVIII, com a abertura da Academia Científica do Rio de Janeiro em 1772 (MCCLELLAN, 2003; MARQUES, 2005; BURKE, 2011).

[17] Os primeiros estudos da condução elétrica, anos antes, construíram evidências que levaram os filósofos naturais da época a defender a existência de um fluido elétrico (HANKINS, 2010).

[18] Sobre “materias macios”, Dufay se refere aos materiais que derretem quando aquecidos (BOSS, CALUZI, 2007).

[19] Era prática comum enviar cartas com a descrição do seu trabalho para membros das grandes Academias, pois assim, o conteúdo poderia ser apresentado a demais membros e constar em suas

resumo de suas primeiras quatro memórias, publicadas anteriormente na *Histoire de L'Académie Royale des Sciences,* nas quais ele disserta sobre suas observações e conclusões acerca da eletricidade, discutindo também, trabalhos anteriores, como o do inglês Stephen Gray (1666-1736).

Importante destacar que a comunicação de Dufay com outros cientistas foi um fator importante não apenas para divulgar seus trabalhos, mas também, para desenvolver suas próprias pesquisas. Stephen Gray, em 1731, em uma de suas cartas a *Royal Society,* discutiu a possibilidade de eletrização da água (GRAY, 1731). Dufay tomou conhecimento dessa carta, afirmando que após conhecer as observações de Gray realizou novos estudos sobre eletrização que o levaram a concluir, como indicado por Gray, que líquidos também podiam ser eletrizados (DUFAY, 1733). Tomar conhecimento de trabalhos de filósofos naturais de outros locais e ter divulgação de trabalhos de forma rápida eram fatores fundamentais para que os estudiosos da época conquistassem reconhecimento acadêmico. Naquele contexto, as cartas trocadas entre os filósofos naturais eram importantes tanto para o conhecimento do trabalho de outro filósofo natural, quanto para a divulgação de seus próprios estudos. A participação em um núcleo acadêmico reconhecido era fundamental para que um filósofo participasse da rede de trocas de cartas de forma a ser beneficiado (HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013).

2.1.4 A "República das Letras" - divulgando e produzindo ciência na Europa do século XVIII.

A utilização de troca de correspondências como forma de divulgação de trabalho científico foi algo com início nos séculos XVI e XVII. Nessa época, muitos estudiosos começaram a se utilizar de correspondências escritas, as cartas, para se manterem próximos uns dos outros. Essa prática possibilitou que a correspondência à distância se tornasse a chave para a subsistência no campo científico, processo intensificado consideravelmente pelos serviços postais estatais no final do século XVII (BROCKLISS, 2013). Assim, as cartas acabaram por constituir, no início do século XVIII, o principal meio de comunicação entre os que se dedicavam à construção do conhecimento científico (DASTON, 1991; GOODMAN, 1996). A prática de troca de correspondência entre estudiosos e interessados foi algo comum tanto nas áreas reconhecidas como ciências naturais, quanto nas áreas de humanas. A abrangência da prática foi de tal ordem, que o período acabou por constituir uma grande

publicações periódicas, o que garantiria grande visibilidade do trabalho.

comunidade virtual, denominada “República das Letras”[20] (GOODMAN, 1996; ALMÁSI, 2009).

Ao estudar todo o processo estabelecido de trocas de cartas, é possível afirmar que por detrás dessas trocas, existia um ideal de que os estudos comunicados deveriam estar a serviço da melhora da humanidade, da moralidade e da relação das pessoas com os aspectos materiais da vida. Os conteúdos das cartas não deveriam pautar-se em interesses próprios dos correspondentes. Dessa forma, os que participavam da troca de correspondências fariam parte de uma república virtuosa, sem fronteiras físicas, pautada na ética da reciprocidade, na qual se defendia que os seres humanos tinham o dever de se ajudar mutuamente independente de quaisquer diferenças (DASTON, 1991; GOODMAN, 1996; BURKE, 2011).

Ao longo do século XVIII, a abrangência da “República das Letras” cresceu. Em fins do século XVIII, no auge da Revolução Francesa, essa grande comunidade virtual contava com pelo menos 30.000 membros em atividade, estando eles na Europa e nas colônias europeias (BROCKLISS, 2013). A maior parte desses membros integrava a elite influente da época, ou seja, eram príncipes, aristocratas, sacerdotes, advogados e doutores (médicos e não os cirurgiões, considerados à época como profissionais inferiores). Os componentes da “República das Letras” eram, quase em sua totalidade, homens com formação universitária ou, pelo menos, com uma boa educação clássica. Importante destacar, entretanto, que a Itália teve um reconhecido grupo de mulheres e no primeiro império Britânico, mercadores ou mesmo artesões e inventores, como foi o caso de Benjamin Franklin (1706-1790), participaram de forma não periférica da comunidade (BROCKLISS, 2013).

As atividades da “República das Letras”, nesse contexto, contavam também com a contribuição de centenas de participantes periféricos advindos de diversos segmentos sociais. Como exemplo, podemos mencionar a contribuição de camponeses quando coletavam itens, como antiguidades, plantas ou quaisquer outros objetos que despertassem interesse acadêmico. Os camponeses e outros cidadãos periféricos da “República das Letras”, no entanto, cobravam um preço para disponibilizar suas coleções e achados como objetos de estudo. Essa via de colaboração ilustra interesses pessoais articulados naquela comunidade que contrariam, de certa forma, os ideais de reciprocidade que eram destacados como

[20] “A expressão *respublica litterarum* foi cunhada no século XV e permaneceu em uso regular desde a época de Erasmo, por volta de 1500, até o final do século XVIII” (BURKE, 2011, p1). Apesar de o termo datar do período mencionado, A República das Letras alcança seu auge se tornando algo mais “concreto”, apenas no final do século XVIII e início do século XVIII (DASTON, 1991)

importante pilar para a dinâmica do funcionamento da “República das Letras” (DASTON, 1991; BROCKLISS, 2013).

Além disso, existia uma hierarquia entre os membros que decorria do reconhecimento alcançado e de influências acadêmicas adquiridas. Assim, os integrantes da “República das Letras”, em sua maioria, não se contentavam em repousar nos níveis mais baixos da hierarquia, buscando alçar posições de destaque. Era sabido que ser reconhecido naquela estrutura possibilitava desfrutar de vantagens que não eram acessíveis a todos, tais como o acesso a maior quantidade de informações e objetos além de maior rapidez em receber respostas das cartas. Nesse sentido, alguns fatores como ter uma grande rede de correspondentes, receber visitas ilustres, ser afiliado a um grande número de academias e divulgar a ciência ajudavam consideravelmente o desenvolvimento do trabalho científico de um grupo social (BROCKLISS, 2013). Existia o ideal hasteado pela bandeira da República das Letras que se referia à igualdade e troca de conhecimento entre pares, no entanto, na prática, se mantinham os mestres, discípulos, aprendizes, patronos e clientes (BURKE, 2011).

Apesar de reconhecida, a hierarquia sofreu críticas de seus integrantes, como ilustrado na correspondência de Peter Collinson (1694 - 1768) para Carl Linnaeus (1707-1778). Collinson, um botânico com certo reconhecimento na época e que não se encontrava no topo da hierarquia da “República das Letras”, se referiu a Linnaeus como alguém que quebrara os princípios da reciprocidade. Em uma carta enviada a Linnaeus, em que tratava do envio de sementes a serem utilizadas por ele em experimentos, Collinson solicitou a seu correspondente o envio de livros que havia lhe prometido, mas que nunca chegaram até ele, escrevendo que é “Uma reclamação geral que o Dr. Linnaeus recebe tudo e nada retorna[21]” (COLLINSON, 1748, tradução nossa).

Alguns personagens, como Dufay, tinham uma rede de comunicação que facilmente atravessava as barreiras nacionais, permitindo que seu trabalho estivesse plenamente conectado à rede acadêmica da época, seja por receber os resultados de pesquisas desenvolvidos por outras pessoas em outros locais, seja por rapidamente ver seus resultados divulgados e comentados[22]. Importante destacar que as ramificações de contatos tinham sua dinâmica alterada devido a fatores como a entrada de novos membros na comunidade ou interesses pessoais (BROCKLISS, 2013).

---

[21] Tradução livre dos autores do trecho “It is a General Complaint that Dr Linnaeus Receives All & Returns nothing. (Collinson 1748, in ARMSTRONG, Alan W. **Forget Not Mee and My Garden**. American Philosophical Society, 2002, p. 144).

[22] Uma pesquisa em desenvolvimento que visa a mapear a rede de correspondências de alguns membros da *Republic of Letters* pode ser encontrada em http://republicofletters.stanford.edu/ (último acesso em 13/03/2017)

Apesar da complexidade da rede da “República das Letras”, adentrar na comunidade não era algo tão complicado quanto possa parecer à primeira vista. Para ser um membro correspondente, era importante saber latim, ter interesse por alguma área das ciências ou humanidades e conhecimento dos livros que fossem considerados mais relevantes sobre a área de interesse. Brockliss (2013) ressalta que não é fácil saber a motivação exata que levava novos membros a ingressar na “República das Letras”. Apesar disso, o autor argumenta que o interesse em adentrar a essa comunidade virtual surgia no período em que o candidato estava se formando nas Universidades e/ou pelo contato com outros membros, isto porque, a maioria das instituições de ensino possuía ao menos um integrante da “República das Letras” (BROCKLISS, 2013).

Para aqueles os quais as Universidades não abriam as portas, como no caso das mulheres, buscar conhecimento acadêmico fora das instituições de ensino, através do contato com membros da República das Letras, era uma alternativa viável. Alguns membros acabavam por acolher pessoas que estariam naturalmente fora da comunidade. Por exemplo, Gaetano Tacconi (1689-1782), professor da Universidade de Bolonha, membro da Academia de Ciências da mesma cidade e médico da família de Laura Bassi (1711-1788), ao perceber as habilidades intelectuais da jovem, começou a lhe ensinar lógica, metafísica e alguns elementos de ciências tais como o *Opticks* do Newton. Laura, aos 20 anos e após 7 anos de aulas com Tacconi, defendeu tese e recebeu o título de doutora em filosofia – algo que se transformou em um grande evento na cidade por se tratar de uma mulher e da mesma não ser nobre. Laura no mesmo ano que recebeu o título de doutora tornou-se professora na Universidade de Bolonha e membro da academia daquela cidade (FRIZE, 2013). Alguns anos depois, Laura e seu marido, Guiseppe Veratti, desenvolveram diversos estudos experimentais acerca de efeitos elétricos sobre a fisiologia animal que foram conhecidos por Luigi Galvani (1737–1798) e Alessandro Volta (1745-1827), tendo inclusive este último, se correspondido com Laura Bassi (FRIZE, 2013).

O estabelecimento da correspondência de cartas, apesar de contribuir para a circulação do conhecimento, não impedia que alguns personagens integrantes da “República das Letras” se situassem na periferia, visto que diferenças nas condições de carreira e culturas acadêmicas entre países interferiam no trabalho desenvolvido (HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013). Uma coisa era possuir os contatos das cartas, outra era ter acesso real a todas as correspondências e conseguir com que pessoas consideradas importantes lessem as suas correspondências. Os líderes da “República das Letras” não se tornavam patronos de alguém sem bons motivos. Para

ascender dentro da “comunidade virtual, era necessária alguma mercadoria de troca como: livros, sementes, moedas, artefatos ou instrumentos” (BROCKLISS 2013, p.91). Assim, muitos iniciantes podiam acabar se tornando uma espécie de servos nessa estrutura. Uma saída para a independência em relação a um patrono era buscar aprovação institucional através das academias e sociedades ou participar das competições promovidas no intuito de oferecer glória aos que se destacassem.

No século XVIII, as academias podem ser percebidas como uma forma institucional da “República das Letras” (GOODMAN, 1996; HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013). Dufay como membro efetivo da Academia de Ciências de Paris não era alguém que se estabelecia na periferia da “República das Letras”. Dessa forma, não apenas ele tinha acesso às correspondências, como suas cartas atingiam grande público e como vimos eram publicadas em diferentes línguas.

2.1.5 Outras formas de divulgação.

Apesar da importância e abrangência das cartas como forma de divulgação da ciência produzida no século XVIII, as publicações impressas ganharam espaço nesse contexto (FIERING, 1976; BURKE, 2011). No caso desse tipo de publicação, é importante considerar o surgimento de uma nova classe profissional: os editores (MCCLELLAN, 2003).

Os editores comerciais, em geral, apenas se interessavam por obras históricas ou livros excitantes. Obras científicas para serem publicadas comercialmente tinham que estar relacionadas a temas considerados moda e com perspectiva de bom lucro, tal como a botânica e, a partir de meados do século XVIII, a eletricidade. Assim, as publicações impressas pelas academias científicas eram opções para publicações não enquadradas nesse padrão. As academias publicavam trabalhos de autores com reconhecimento e outros sem reconhecimento da comunidade acadêmica. Para esses últimos, ter um artigo publicado por uma academia era a possibilidade de obter reconhecimento e conseguir posições de destaque no mundo acadêmico. As competições patrocinadas pelas academias eram caminhos para que desconhecidos, estrangeiros ou não, conseguissem publicar seus trabalhos (DASTON, 1991; BROCKLISS, 2013). Importante destacar que as academias e as sociedades que conquistassem reconhecimento oficial recebiam recursos do governo para publicação de trabalhos considerados sérios. No entanto, o limite dos recursos, muitas vezes, fazia com que os autores arcassem com parte das despesas de suas próprias publicações. A partir da segunda metade do século XVIII, aumentaram os

investimentos e as possibilidades de imprimir os trabalhos sem a necessidade de dispor de recursos financeiros próprios. Assim como os livros, os periódicos tinham os editores como os intermediários entre a obra e a publicação. Dessa maneira, o editor foi um importante agente social a compor as práticas científicas daquele contexto (HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013).

Os editores acabavam por deter o poder de decidir se um trabalho seria ou não publicado, de forma que nem todos os que possuíam um bom trabalho conseguiam uma publicação impressa. Nesse processo, provavelmente, muito material se perdeu e interesses se confundiram. E apesar de as academias possibilitarem ascensão social sem gastos exorbitantes, os estudiosos marginalizados continuavam a precisar, necessariamente, de um patrono como intermediador (BROCKLISS, 2013; FRIZE, 2013). Na segunda metade do século XVIII, as publicações periódicas começaram a padronizar critérios para a atividade científica, o que concedeu às instituições e pessoas que estavam à frente da organização do que seria publicado, certo controle sobre tal atividade (DASTON, 1991; BROCKLISS, 2013).

No contexto em que Dufay trabalhou, as sociedades, as academias e a "República das Letras" foram os vetores fundamentais do conhecimento. Pertencer a essas comunidades era fundamental para o reconhecimento do trabalho, cuja produção ocorria cada vez mais descentralizada das Universidades (ROBERTS, 1999; HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013).

2.1.6 A caminho da Garrafa de Leiden

No contexto de desenvolvimento dos estudos de eletricidade na primeira metade do século XVIII, é importante dar atenção ao contexto da Holanda. A Holanda, naquela época, representava o caminho de conexão com a Inglaterra e o restante da Europa, tanto comercialmente e artisticamente, quanto na produção de conhecimento acadêmico. "Ser holandês naquele cenário, significava, não só estar engajado em um complexo conjunto de distintas práticas culturalistas, mas servir aos fornecedores do conhecimento nascido no estrangeiro..."[23] (ROBERTS, 1999 p. 351, tradução nossa).

Desde o século XVII, a Holanda teve grande destaque no mundo da ciência, e, em particular, no da ciência experimental. No final do século XVII e início do XVIII, as Universidades de Pádua e Leiden firmaram uma parceria que fez com que esses dois espaços dominassem os estudos de anatomia na Europa por uns 50 anos (DONATO,

[23] Tradução livre dos autores do trecho "To be Dutch according to this scenario meant not so much to engage in a complex set of culturally distinct practices, but to serve as purveyors of foreign-born knowledge […] (ROBERTS, 1999, p. 351).,

2013). Com a parceria, os teatros de anatomia holandesa seguiram a arquitetura que havia sido desenvolvida anteriormente em Pádua. Nos anfiteatros holandeses, havia constantemente sessões de apresentação de anatomia que envolviam dissecações de cadáveres humanos. Devido ao grande número de interessados, os lugares para essas sessões eram vendidos antecipadamente. A disposição dos lugares se dava de acordo com a classe social e importância das pessoas que os ocupavam. Uma das justificativas para o grande interesse pelas sessões seria a afinidade entre as apresentações e as execuções dos criminosos, cujos cadáveres eram utilizados para as dissecações, visto que segundo a crença popular da época, pedaços de corpos de criminosos tinham propriedades de cura. Deve-se ainda destacar que naquele contexto observar o ser humano na forma mais visceral era considerado um caminho capaz de desvelar o trabalho magnífico de Deus (ROBERTS, 1999).

Não só na área da anatomia a Universidade de Leiden se destacou. A universidade, em 1669, começou a adquirir uma grande quantidade de instrumentos destinados a experimentos científicos em química e física. Nesse período, foi concedido ao professor Carolus Dematius, o direito de incorporar aulas de física experimental aos cursos dados no laboratório de química. Burchard De Volder (1643 – 1709) - que também havia adquirido permissão de incorporar nos seus cursos de filosofia natural, aulas de física experimental, visitou a Royal Society de Londres e encantado com o trabalho experimental da instituição retornou à Leiden em 1674 peticionou aos curadores da Universidade uma permissão para ali instituir um curso de física experimental. Assim, no ano seguinte, recursos foram disponibilizados para a aquisição de instrumentos e de uma casa, que convertida em auditório, foi destinada ao estudo da disciplina (RUESTOW, 1973). Para De Volder, o ensino experimental tornaria mais fácil e mais claro o estudo da física, servindo ao propósito de entreter e disciplinar estudantes. Dessa maneira, a física experimental passou a compor a grade dos cursos da faculdade de filosofia nos quais, tradicionalmente, os estudantes adquiriam sua primeira graduação[24]. Nesse contexto, nasceu o teatro de física de Leiden, que, de maneira análoga aos teatros de anatomia, era um local de demonstrações e exibição (ROBERTS, 1999).

Willem Jacobs Gravesande (1688–1742) professor de física experimental em Leiden, não encontrou dificuldades em ter equipamentos adequados para suas aulas e trabalhos. Desde a época em que De Volder introduzira aulas de filosofia natural com o aporte de experimentos em Leiden, era fácil encontrar fabricantes de instrumentos relacionados às práticas científicas (VAN BERKEL, VAN HELDEN, PALM, 1999).

[24] A primeira graduação era uma espécie de ciclo básico, anterior ao curso de graduação almejado.

Oficinas, como as dos Musschenbroek, fabricavam diversos instrumentos, principalmente ópticos e médicos. Esses instrumentos eram comercializados não apenas na Holanda, mas também, na Alemanha, Itália e Suécia.

Em 1721, Gravesande publicou, em latim, o livro intitulado “Os princípios matemáticos da Física confirmados por experimento ou Introdução à Filosofia Newtoniana” (*Physices elementa mathematica, experimentis confirmata, sive introducio ad philosophiam newtoniana).* O livro, que foi traduzido para o holandês em 1743, vinculava-se à tradição newtoniana. Naquele contexto, Gravesande defendia que os experimentos deveriam ser desenvolvidos de forma a não enganar os observadores. Assim, argumentava que todo trabalho experimental deveria ser desenvolvido evidenciando o que fora observado, de forma que todos pudessem compreendê-lo. Gravesande teve um papel de destaque na Universidade de Leiden, tendo seus preceitos sido defendidos pelo fisiologista Albrecht Von Haller, também professor daquela universidade por um tempo (DE ANGELIS, 2013).

Na primeira metade do século XVIII, a física experimental na Universidade de Leiden teve grande destaque pedagógico, atraindo muitos estudantes e trazendo glória para a instituição. Nesse período, ter uma coleção de instrumentos era algo considerado importante para manter o status de uma Universidade. Em 1742, ano que Gravesande morreu, a Universidade de Leiden tinha a melhor coleção de instrumentos da Europa, contando com bombas de vácuo, máquinas a vapor e máquinas eletrostáticas. O papel de destaque da Universidade de Leiden durou por vários anos nas mãos dos que sucederam Gravesande. Todavia, muitas instituições, seguindo a tendência experimental, começaram a investir muito em seu instrumental e, pelo fato da Holanda perder prestígio comercial ao longo do século XVIII, os investimentos na Universidade de Leiden não acompanharam os de outras universidades europeias, fazendo com que no final deste século a instituição não tivesse uma posição de superioridade como antes (ROBERTS, 1999).

Na primeira metade do século XVIII, na Europa, a física experimental não se restringia aos limites da Universidade. Petrus Van Musschenbroek (1692-1761), em sua obra *Princípios da Física, Descritos em serviço de meus compatriotas (Beginselen der Natuurkunde, Beschreven ten dienste der Landgenooten)* (1736) destacou que o número de pessoas interessadas em ciências naquele momento era muito grande e que nunca antes tantas pessoas haviam se interessado por ciências. Naquele contexto, aumentava o número de aulas de física experimental oferecidas fora das Universidades para pessoas leigas interessadas. Para muitas dessas pessoas,

adquirir o conhecimento científico não era visto como obrigação ou dever, mas como objeto de prazer, negócios e trabalhos manuais (ROBERTS, 1999).

Gabriel Fahrenheit, no final da década de 1710, se dedicava à construção de equipamentos para serem utilizados em cursos que oferecia fora das Universidades. Ele oferecia muitos cursos aos Menonitas (uma comunidade Cristã), cujos integrantes dedicavam-se ao comércio e se mostravam cada vez mais interessados nos estudos sobre a natureza. Esse tipo de empreitada contribuiu de forma significativa para a divulgação científica fora do ambiente das Universidades[25]. Alguns anos depois do início da empreitada de Fahrenheit, John Theophilus Desaguliers (1683-1744) ministrou em Haia e Roterdã cursos de física experimental em inglês e francês. Nesses cursos, voltados a um público sem grande conhecimento de matemática, ele dispôs de uma grande variedade de equipamentos, fazendo apresentações de fenômenos através de experimentos (ROBERTS, 1999). Esse viés experimental teve sucesso nas Universidades e nos outros espaços de ensino, mostrando-se eficiente no sentido de cativar o público, incentivando o desenvolvimento de muitos cursos experimentais e alterando a estrutura de cursos já ministrados, como ocorreu com as aulas particulares ofertadas por Benjamim Bosma em Amsterdã, que só começaram a cativar um público maior, a partir do momento em que Bosma alterou os objetivos principais de seus cursos de lógica, metafísica e matemática para maior ênfase na física experimental.

Os novos espaços de ensino significaram também, novas formas de comunicar o conhecimento. Nesse contexto, a língua francesa, por conta do prestígio da *Académie des Sciences* e, em menor medida, a língua inglesa, por conta da Royal Society, começaram a permear as novas condições de troca científica. A ampla divulgação do conhecimento para um público cada vez mais variado demandava conhecimento de diferentes idiomas, não mais se limitando ao Latim[26]. Nesse contexto, as publicações dos trabalhos de Dufay em língua francesa e inglesa contribuíram, como já destacamos, para o alcance em larga escala da reconhecida "Regra de Dufay".

---

[25] A relação entre as Universidades e comunidades, como a dos *Menonitas,* não foi muito cordial. Por exemplo, De Volder, teve que renunciar quaisquer ligações com os *Menonitas* para alcançar uma posição na Universidade de Leiden. Já Benjamim Bosma, que oferecia aulas particulares na cidade de Franeker, teve que se mudar para Amsterdã, pois a Universidade de Franeker, na qual ele se formara, começou a exigir licença para o exercício de aulas particulares. Em Amsterdã, as restrições ao exercício de aulas particulares era menor e Bosma exerceu a função com menos empecilhos, tendo por alunos médicos, amadores de ciência, mercadores. Ele, inclusive, deu aulas para membros da comunidade dos Mennonitas.

[26] Como o caso de Leeuwenhoek que, não tendo formação "adequada", envia suas observações, escritas em Holandês, para a Royal Society. Apesar deste assunto ter ficado de lado por um tempo, a Royal Society enviou uma comissão para avaliar a veracidade das informações e as tomaram como de grande valia.

Nos estudos de eletricidade, um nome a ser destacado é o de Petrus Van Musschenbroek, filho e irmão dos donos da oficina dos Musschenbroek. Em 1717, dois anos após ter se graduado em medicina em Leiden, ele viajou para Inglaterra, onde conheceu Isaac Newton (1643-1727) e seu discípulo Desaguliers, cujas palestras públicas, baseadas na experimentação, contribuíram muito para a divulgação do trabalho de Newton. A Inglaterra mantinha relação comercial com a Holanda e era um centro de produção científica considerado importante. Isso estimulava viagens como a de Musschenbroek, que não eram incomuns naquele contexto. Em 1739, Musschenbroek retornou a Leiden, passando a ensinar na Universidade com o amigo Gravesande. Quando Gravesande morreu, em 1742, Musschenbroek continuou seu trabalho na promoção da física em uma concepção newtoniana (GASCOIGNE, 2008).

Enquanto Petrus Van Musschenbroek estava na Inglaterra, Ewald Jürgen Von Kleist (1700-1748), filho de um oficial prussiano e regente de uma catedral em Kammin, estudou em Leiden, onde desenvolveu um interesse muito grande pela filosofia experimental. Anos depois de sua estada na Holanda, Kleist construiu uma máquina eletrostática e repetiu diversos experimentos que eram comercializados por Johan Gottlob Krüger (1715-1759) e Johan Heinrich Winkler (1703-1770), importantes divulgadores e comerciantes de instrumentos científicos na Alemanha. A maior parte desses experimentos relacionava-se a estudos de eletricidade, sendo um dos principais objetivos de Kleist com essas reproduções, ampliar as faíscas produzidas por máquinas eletrostáticas, cujos efeitos, ele acreditava que se intensificariam com o aumento da massa do corpo eletrificado (HEILBRON, 1979).

Georg Matthias Bose (1710–1761), professor na Universidade de Witt propôs em 1737 uma montagem experimental para extrair “fogo elétrico” de recipientes de vidro, preenchidos com água. Esse experimento, que se tornou amplamente conhecido pelo nome de *beatification,* ou também “fogos de artifício de Bose”, gerou controvérsias naquele período pela dificuldade encontrada em sua reprodução, como pode ser observado na carta que Willian Watson escreveu à *Royal Society* intitulada “Uma carta do Senhor William Watson, para a *Royal Society*, declarando que ele como muitos outros não estavam sendo aptos a fazer os odores passarem através dos vidros por meio de Eletricidade; e atribuindo grande consideração ao professor Bose de Wittemberg e seu experimento de Beatificação, ou Causando o aparecimento de luminosidade em torno a cabeça de um homem pela eletricidade” (*A Letter from Mr. William Watson, F. R. S. to the Royal Society, Declaring That He as Well as Many Others Have Not Been Able to Make Odours Pass thro' Glass by means of Electricity; And Giving a Particular Account of Professor Bose at Wittemberg His Experiment of*

Beatification, or Causing a Glory to Appear Round a Man's Head by Electricity) (WATSON, 1749).

Apesar das dificuldades apresentadas, o experimento de Bose levou muitos estudiosos a investigar possibilidades de armazenar eletricidade em recipientes de vidro. Kleist e Musschenbroek foram filósofos naturais que se dedicaram ao tema. Por exemplo, em uma montagem experimental, Kleist ligou um fio condutor de uma máquina eletrostática a um vaso de vidro preenchido com água e colocou a máquina para funcionar[27]. Sua intenção era transmitir eletricidade da máquina ao recipiente e armazená-la neste. Nesse processo, Kleist, como um estudioso de eletricidade daquele contexto, considerou a regra de Dufay e isolou cuidadosamente o recipiente que continha a água. Como esse procedimento, Kleist não observou nenhum efeito de armazenamento pretendido. (HEILBRON, 1979; HANKINS, 2010).

Kleist, continuando seus trabalhos, tentou demonstrar que faíscas brilhantes poderiam saltar espontaneamente de um pedaço de madeira tornado elétrico. Ele obteve êxito, substituindo o recipiente com água por um carretel de madeira e prender nele um prego de maneira a retirar faíscas dele e do carretel alternadamente. Esse aparato foi, segundo a descrição de Kleist em uma carta a Kruger, colocado em contato com uma máquina eletrostática de modo a eletrizar o aparato. Após remover o aparato da máquina eletrostática, Kleist conseguiu dar cerca de seis passos antes que as faíscas geradas devido a eletrização se extinguissem, demonstrando, segundo ele, ter conseguido armazenar eletricidade. Nesse procedimento, Kleist observou algo que o surpreendera: o efeito ocorria somente quando o aparato se encontrava em sua mão e, portanto, não isolado, ou seja, contrário ao que se esperava ocorrer a partir da "regra de Dufay" (HEILBRON, 1979).

Petrus Van Musschenbroek junto com Jean Nicolas Sébastien Allamand (1713–1787), de forma independente a Kleist, também desenvolveu experimentos para armazenar eletricidade. Como estudiosos de eletricidade da época, eles se basearam na "regra de Dufay" e não conseguiram resultados positivos. Entretanto, o amigo de Musschenbroek, Andreas Cunaeus, que visitava constantemente seu laboratório, apesar de não ser um especialista em eletricidade, decidiu refazer o experimento relatado para armazenar eletricidade. Todavia, por desconhecer fundamentos dos estudos de eletricidade aceitos na época, como a "regra de Dufay", ele não seguiu, na reprodução, as orientações de isolar o recipiente onde seria armazenada a eletricidade no momento da eletrização. Dessa forma, ele procedeu a

[27] Que era um jeito conveniente para aumentar a massa não elétrica. Esse ponto era uma hipótese de Kleist sobre a relação da massa e a intensidade da fagulha elétrica gerada.

eletrização da garrafa de vidro segurando-a em sua mão e com isso, a montagem experimental baseada nos fogos de artifício de Bose teve sucesso (HEILBRON, 1979).

Os experimentos desenvolvidos por Kleist, Musschenbroek e Allamand colocam-nos uma questão: quem foi o primeiro a construir o primeiro condensador?

2.1.7 Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa.

As trocas de cartas tiveram papel preponderante no desenvolvimento do primeiro condensador, hoje conhecido por Garrafa de Leiden. O primeiro experimento desenvolvido por Kleist foi realizado em 11 de outubro de 1745, mas parece que Kleist não considerou os resultados como algo muito significativo, visto que ele só veio a reportá-los em 4 de novembro do mesmo ano, em uma carta a Johannes Nathaniel Lieberkühn (1711–1756) membro da Academia de Ciências de Berlim, que lhe respondeu atribuindo ao experimento o status de notável.

Em 28 de novembro, após receber a resposta de Lieberkühn, Kleist escreveu para Paul Swietlicke de Danzige, e em dezembro, para Krüger descrevendo o experimento realizado. Um fator a ser considerado nos desdobramentos seguintes é que, com exceção de Daniel Gralath (1708-1767), nenhum dos proeminentes eletricistas que tomou conhecimento do experimento através da descrição de Kleist conseguiu reproduzi-lo de forma a observar os efeitos mencionados. E mesmo Gralath só observou os efeitos mencionados por Kleist após receber informações adicionais dos procedimentos então realizados (PRIESTLEY, 1769). Após alcançar os resultados almejados, Gralath seguiu seus testes eletrocutando besouros, minhocas e pequenos pássaros (TURKEL, 2013).

Importante aqui destacar que Cunaeus, logo após a realização do experimento com a garrafa de água, reportou suas observações a Musschenbroek e seu colega Allamand e estes imediatamente procederam a repetição dos procedimentos relatados por Cunaeus. Musschenbroek descreveu a seu correspondente na Academia de Paris, René Antoine Ferchault de Réaumur (1757–1783), em 20 de janeiro de 1746, todos os procedimentos detalhados para a execução do experimento, afirmando que o efeito provocou-lhe dor tão intensa que nada o faria repeti-lo. Diferente da descrição de Kleist, Petrus Musschenbroek detalhou minuciosamente o procedimento, o que tornou seu experimento possível de ser reproduzido por qualquer um que tivesse coragem, conforme declara em carta a Réaumur (MANGIN, 1866; HEILBRON, 1979). De fato, diversas pessoas interessadas no tema reproduziram o experimento, o que gerou relatos das mais variadas consequências, tais como sangramentos nasais, convulsões

e dores (PRIESTLEY, 1769; HEILBRON, 1979). Jean-Antoine Nollet (1700–1770), ao ter acesso à carta de Musschenbroek, repetiu o experimento antes mesmo de adquirir o vidro alemão que o físico holandês pensava ser indispensável para o sucesso do procedimento. Nollet obteve sucesso na reprodução e o relatou em carta publicada, em abril de 1746, na Academia de Paris (MANGIN, 1866; HEILBRON, 1979).

Das informações levantadas até então, podemos tirar algumas conclusões sobre a primeira construção exitosa da garrafa de Leiden. Primeiro, Musschenbroek e Kleist tinham alguns pressupostos em comum. Ambos tiveram sua formação vinculada de alguma forma a estudos na Universidade de Leiden (Musschenbroek mais do que Kleist) e devido à estrutura de comunicação construída no século XVIII, os dois conheciam os trabalhos de Dufay, Bose e Andreas Gordon.

Outra questão é a divulgação dos experimentos que eles realizaram. Musschenbroek, ao se comunicar com Réaumur, além de enviar seus resultados para França, que tinha maior destaque na divulgação do conhecimento no período em questão, fez uma descrição minuciosa do procedimento e, principalmente do fato que causaria maior estranhamento: o aterramento da garrafa (MANGIN, 1866). Em contrapartida, Kleist, ao enviar seus resultados a Lieberkühn em Berlin, indicou apenas que a garrafa deveria ser segurada quando carregada, mas não discutiu a questão do aterramento, o que dificultou o processo de replicação e divulgação. Por fim, o aparato construído foi eternizado como “Garrafa de Leiden”, levando a referência para Holanda (PRIESTLEY, 1769).

2.1.8 Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa - parte 2

Quando recorremos à História da Ciência, muitas vezes a figura de Kleist é apenas reconhecida pela construção do primeiro condensador elétrico. Seu trabalho datado do final de 1745 teria vindo poucos meses antes da divulgação dos resultados de Musschenbroek no início de 1746. Todavia, existe uma questão a ser discutida em relação a essas datas. Apesar de muitos autores delegarem a autoria da Garrafa de Leiden a Kleist (PRIESTLEY 1769; HEILBRON, 1979; VAN BERKEL, VAN HELDEN, PALM, 1999; ANDERS, 2008 HANKINS, 2010), existe um registro que pretende argumentar o contrário: uma carta de Mr.Trembley à *Royal Society* (TREMBLEY, 1746). Se consultarmos o arquivo virtual da *Royal Society*[28], encontramos o que seria um registro baseado na carta original, e nela, consta “Haia, 4 de fevereiro de 1745 N.

[28] http://rstl.royalsocietypublishing.org/

S.[29]", que seria um período de cerca de 8 meses anterior ao primeiro comunicado de Kleist.

E o que teria nesta carta de controverso? Apesar de Trembley desenvolver trabalhos relacionados à biologia, este documento se refere a um experimento realizado por Allamand e Musschenbroek que versava sobre um tubo de vidro contendo mercúrio que, quando tornado elétrico por atrito, emitia luz. No entanto, o que torna a carta mais interessante para nós, são os últimos parágrafos, nos quais Mr. Trembley descreveu o seguinte procedimento:

> Existe um experimento que o Sr. Allamand tentou; Ele eletrificou um tubo fino por meios de um Globo de vidro; ele segurou, em sua mão esquerda, um recipiente de vidro cheio de água, no qual estava inserido a ponta de um fio; a outra ponta deste tocava o tubo eletrificado; Ele então tocou com dedo de sua mão direita o tubo eletrificado e atraiu uma centelha do tubo, quando no mesmo instante ele sentiu o mais violento choque sobre todo o seu corpo. (TREMBLEY, 1746, p. 59)[30].

Musschenbroek teria repetido o experimento e, também, relatado uma terrível dor (TREMBLEY, 1746). Se a data que consta nos arquivos da *Royal Society* for correta, significa que a carta de Mr. Trembley foi enviada ao então presidente da instituição, Martin Folkes, em 04 de fevereiro de 1745, mas a leitura ocorreu apenas um ano depois (13 de fevereiro de 1746). Essa informação nos direcionaria a inferir a autoria da Garrafa de Leiden à dupla Allamand e Musschenbroek, mesmo que nenhum dos dois tenham reclamado qualquer autoria (DORSMAN, CROMMELIN, 1957).

Segundo Dorsman e Crommelin (1957), em sua pesquisa em torno do assunto, ocorreu-lhes que essa data – 04/02/1745 – poderia ser uma impressão errada, e o correto seria 04 de fevereiro de 1746. Porém, os pesquisadores enviaram uma carta a *Royal Society* e receberam a resposta de que em seus arquivos o registro que possuem [que parece não mais ser a carta original] consta "Haia, 4 de fevereiro de 1745". Segundo Dorsman e Crommelin (1957), a possibilidade de um erro está fora de questão, assim, os autores sugerem que, possivelmente, por Mr. Trembley não ser um

---

[29] N. S significa New Style e se relaciona com a adequação de datas pela adoção por parte da Grã-Bretanha, do calendário Gregoriano.

[30] Tradução livre dos autores do original "There is an Experiment that Mr. s' Allamand has tried; He electrify'd a tin Tube, by means of a glass Globe; he then took in his left Hand a Glass full of Water, in which was dipped the End of a Wire; the other End of this Wire touched the electrified tin Tube: He then touch'd, with a Finger of his right Hand, the electrified Tube, and drew a Spark from it, when at the same instant he felt a most violent Shock all over his Body." (TREMBLEY, 1746,p. 59)

filósofo natural de grande reputação na época, sua carta teria sido deixada de lado. Assim, a carta teria sido recebida em 4 de fevereiro de 1745, mas lida e impressa a partir da original, somente um ano depois[31]. Dentro da conjuntura discutida neste trabalho, as hipóteses de Dorsman e Crommelin fazem sentido relembrando que ser reconhecido na comunidade científica era determinante na prioridade da leitura das cartas nas academias do século XVIII.

Todavia, a possibilidade de a carta não conter um erro de impressão é também discutida por Heilbron (1979), que argumenta que seria incompreensível Musschenbroek ou Allamand não contestarem a autoria do experimento, dada a importância do mesmo. Heilbron defende um possível erro por parte do editor da *Royal Society*, provavelmente pela alteração do calendário na Grã-Bretanha. Até 1752, antes da adoção do calendário gregoriano, o ano legal inglês começava em março, ou seja, seu calendário estava "atrasado" em comparação aos que já haviam feito a mudança, como no caso da Alemanha.

Sobre a referida controvérsia, entendemos que o mais importante não é a primazia sobre o experimento, mas sim as questões envolvidas naquele contexto. Por exemplo, o fato dos autores basearem-se na "regra de Dufay" e isso dificultar a obtenção dos resultados é algo a ser destacado em relação a esse episódio histórico, junto a isso é importante considerar que o sucesso do experimento não derrubou a "regra de Dufay". O experimento foi reproduzido com sucesso e muito divulgado, sendo a garrafa de Leiden amplamente usada pelos que trabalhavam com eletricidade na época. Porém isso não implicou numa explicação do porquê de a necessidade de aterramento para o aparato funcionar. Outras considerações relevantes recaem sobre o reconhecimento acadêmico dos envolvidos na construção da garrafa de Leiden e as redes de divulgação do conhecimento científico nas quais cada um daqueles personagens se encontrava, o que possibilitou com que eles tomassem contato com outros trabalhos e divulgassem os seus. É importante ressaltar, também, o fato de ambos terem tido formação em física experimental em um centro de ponta, a Universidade de Leiden.

2.1.9 Considerações finais

O estudo desenvolvido e apresentado a respeito do processo de construção da Garrafa de Leiden ressalta elementos desse episódio que possibilitam a construção de

[31] Grandes atrasos nas publicações por parte das academias era algo recorrente.

trabalhos em sala de aula, nos quais seja considerada a complexidade do processo de construção das ciências.

O primeiro ponto a ser destacado é que o estudo do desenvolvimento do artefato considerado permite promover discussões importantes sobre as ciências, destacando o caráter temporal das práticas científicas. Naquele contexto, a participação de Dufay na comunidade científica, como integrante da academia de Ciências de Paris e pessoa considerada importante na República das Letras, foi fundamental para que suas conclusões, como, por exemplo, a Regra de Dufay, se estabelecessem e indicassem caminhos a serem seguidos em experimentos da época, como os que procuravam armazenar eletricidade. Entretanto, a prática científica da troca de cartas, muito relevante naquele contexto, não é mais um fator a ser considerado na ciência atual. Da mesma forma, que as academias de ciência possuem hoje outro valor acadêmico. Dessa forma, é possível destacar mudanças nas formas de circulação de conhecimento entre aquela época e hoje, destacando com os estudantes, o caráter dinâmico do processo de construção da ciência.

Ainda em relação à circulação de conhecimento, é possível discutir em sala de aula que tanto os relacionamentos entre os considerados periféricos e não periféricos da ciência, quanto o posicionamento de um estudioso na “hierarquia” acadêmica são aspectos essenciais para o desenvolvimento científico. Dessa forma, é possível problematizar com os estudantes o não protagonismo de alguns atores sociais no contexto da garrafa de Leiden, como as mulheres. No caminho dessa problematização, o exemplo de Dufay é significativo, visto que ele ingressou na Academia de Ciências de Paris mesmo sem ainda ter autoria de um trabalho científico. Além disso, a entrada nessa instituição foi fundamental para que seus trabalhos alcançassem ampla visibilidade em um curto período de tempo, tornando-se leitura obrigatória para todos aqueles que se dedicavam a estudar eletricidade. Nessa linha, podemos destacar com os estudantes, ainda, como a divulgação da garrafa de Leiden se construiu de forma mais efetiva a partir do contexto específico de Petrus Van Musschenbroek, em contrapartida ao de Kleist, o que leva a muitos estudiosos a delegar a construção do aparato à Musschenbroek.

A formação acadêmica dos protagonistas da construção da garrafa de Leiden é um ponto também relevante. Tanto Kleist, quanto Musschenbroek durante suas formações acadêmicas estiveram em um centro de formação importante à época: a Universidade de Leiden.

No trabalho com essa temática em sala de aula é importante destacar que a Garrafa de Leiden trouxe muitas questões à época, pois todo o conhecimento que se

encontrava legitimado acerca da eletricidade até então, não dava conta de explicar porque era necessário o aterramento para o funcionamento do aparato. Por exemplo, Musschenbroek na referida carta para Réaumur afirmou que, após a garrafa de Leiden, ele não era mais capaz de entender nem explicar nada sobre eletricidade (MANGIN, 1866; HEILBRON, 1979). Apesar do desconforto, o aparato respondeu a questões da época, como a procura de armazenamento de eletricidade, o que fez com que o mesmo fosse amplamente utilizado, trazendo assim, novas possibilidades experimentais para o campo da eletricidade naquele contexto.

O estudo aqui apresentado nos permite afirmar que em torno à construção da Garrafa de Leiden gira toda uma discussão acerca de práticas constituintes da cultura científica no período. Práticas essas que se mostram fundamentais para compreender o episódio destacado de maneira mais completa.

Defendemos, então, que na discussão do episódio é fundamental ressaltar as práticas "extra-laboratoriais" e, assim, criar em sala de aula um espaço capaz de fomentar a reflexão sobre diversos temas que estruturam a construção do saber científico. Nesse sentido, destacar relações de temporalidade, localidade e contexto tem implicações complexas que não podem se sustentar com uma análise restrita aos conceitos físicos, mas que também não prescinde destes. Assim, sugere-se que a História Cultural da Ciência, por se debruçar sobre as práticas que permeiam o contexto estudado e colocar tais práticas como inseparáveis ao que ocorre nos laboratórios, constitui um caminho interessante aos professores de Ciências que consideram fundamental a construção de discussões "sobre a Ciência", sem que análises simplistas sejam abordadas.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq o apoio à pesquisa. Agradecemos aos companheiros do NIEHCC pela leitura crítica e aos árbitros pelas sugestões fundamentais para a versão final desse material

2.2 Artigo publicado: PRÁTICAS CIENTÍFICAS E DIFUSÃO DO CONHECIMENTO SOBRE ELETRICIDADE NO SÉCULO XVIII E INÍCIO DO XIX: POSSIBILIDADES PARA UMA ABORDAGEM HISTÓRICA DA PILHA DE VOLTA NA EDUCAÇÃO BÁSICA.

2.2.1 Resumo

Neste artigo, discutiremos o panorama, que permeia a construção da primeira bateria elétrica, conhecida como a pilha de Volta. A partir de uma visão pautada na vertente historiográfica da História Cultural da Ciência, construímos uma narrativa histórica nos apoiando em fontes primárias e secundárias. Buscamos ressaltar, no século XVIII e início do século XIX, a controvérsia acerca da natureza do fluido animal, a utilização da eletricidade com finalidades medicinais e os aparatos elétricos que emergem nesse período, destacando que a teoria e a prática científica tecem um diálogo complexo de saberes. Salientamos questões inerentes ao contexto sociocultural e às práticas extra-laboratoriais indispensáveis para a construção e estabelecimento do conhecimento científico, tais como os caminhos de difusão e popularização do conhecimento no referido contexto. Ao final, discutimos como o episódio que envolve a construção da pilha de Volta fomenta discussões relevantes sobre a complexidade da construção do conhecimento científico que se mostram de grande potencial para o trabalho em aulas de ciências e em aulas de Física, em especial.

Palavras-chave: História Cultural da Ciência, Experimentos históricos, Pilha de Volta, Controvérsia Galvani-Volta, Ensino de Física.

2.2.2 Introdução

Um ensino de ciências a partir de uma abordagem histórico-filosófica-sociológica da ciência é apontado por vários estudiosos como uma possibilidade para trazer discussões sobre as ciências para as salas de aula (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; HÖTTECKE, SILVA, 2011; MARTINS, 2007). Nessa perspectiva, o trabalho com experimentos históricos se apresenta como importante, uma vez que os trabalhos empíricos muitas vezes são referenciados na História da Ciência como argumentos fundamentais para a resolução de controvérsias, validação ou refutação

de teorias (GALISON, 1987; HEERING, HÖTTECKE, 2014; JARDIM, GUERRA, 2017a).

Apesar da grande relevância designada à atividade experimental, questões inerentes ao contexto sociocultural e às práticas extra-laboratoriais são fundamentais para se compreender o desenvolvimento das atividades experimentais. Porém essas são questões muitas vezes negligenciadas na História da Ciência (GALISON, 1987). Essas considerações nos levaram à construção de uma revisão bibliográfica das pesquisas que destacam o trabalho com experimentos históricos no ensino, com vistas a compreender como o tema está sendo discutido na área (JARDIM, GUERRA, 2017a). Essa revisão bibliográfica indicou que os trabalhos com experimentos históricos no ensino, desenvolvidos em âmbitos nacional e internacional, pautados ou não na replicação de um aparato experimental, de maneira geral, se destinam a discutir aspectos como a materialidade envolvida na construção do experimento, as técnicas diretamente empregadas na execução do mesmo e a coleta dos dados e às interpretações construídas como respostas às hipóteses iniciais.

Apesar da importância da materialidade em torno à construção dos experimentos, alguns historiadores da ciência (GALISON, 1987; PIMENTEL, 2010; KLEIN, 2003; SHAPIN, 1989; ROBERTS, 1999; BROCKLISS, 2013), ao explorarem a experimentação no processo de construção das ciências não se atêm a questões relativas à cultura material. Eles discutem os experimentos e as atividades experimentais, situando as práticas ali estabelecidas em seu contexto sociocultural. Assim, são reconhecidos os diferentes agentes sociais envolvidos no processo, como os técnicos e auxiliares de laboratório (SHAPIN, 1989), os instrumentadores e palestrantes (ROBERTS, 1999) e os camponeses e os nativos que reportaram aos acadêmicos achados julgados de grande valor científico (BROCKLISS, 2013). A organização das formas de validação e difusão do conhecimento produzido também desempenha um importante papel nas práticas experimentais, sobre o qual podemos citar as academias e sociedades científicas no século XVIII, além dos meios impressos ou não de circulação do saber produzido (BROCKLISS, 2013; DASTON, 1991; McCLELLAN III, 2003; BURKE, 2011). Dessa forma, busca-se com esse enfoque histórico não ressaltar unicamente os grandes centros de produção científica, os grandes nomes e feitos isolados (PIMENTEL, 2010).

Assim, fomos levados à construção de uma pesquisa que subsidiou a elaboração do presente artigo e que teve por objetivo discutir quais questões relativas às ciências podem ser elencadas em aulas de Física, a partir de estudos experimentos históricos na abordagem ressaltada. Com o propósito de delimitar o objeto de

pesquisa, nos dedicamos ao estudo de aspectos relacionados a eletricidade no século XVIII e início do XIX, com vistas a discutir o caso específico da pilha de Volta em seu contexto sociocultural. Pretende-se, assim, que esse trabalho traga subsídios para a construção de intervenções pedagógicas em aulas de ciências, e, em especial, em aulas de Física que tenham a preocupação de discutir não apenas os conteúdos científicos, mas, também, o processo de construção das ciências.

A escolha do recorte histórico se deu devido a vários fatores. Em primeiro lugar deve-se destacar que o tema eletricidade é comumente trabalhado na educação básica e a pilha voltaica teve um papel preponderante no desenvolvimento da eletricidade no início do século XIX. A construção da pilha esteve ligada a diferentes áreas como a física, a química e a fisiologia animal, porém como salientam Germano, Lima e Silva (2015), seu estudo é trabalhado com atenção na educação básica apenas nos cursos de química (GERMANO, LIMA, SILVA, 2012). Apesar disso, defende-se que discutir o episódio histórico que circunda a pilha de Volta em aulas de Física permite explorar fenômenos eletrostáticos e de corrente elétrica, que podem servir de ponto de partida para o estudo de eletricidade nessa disciplina (GERMANO, LIMA, SILVA, 2012; MARTINS, 1999).

Em termos acadêmicos, a temática da eletricidade tem atenção na literatura da área do ensino de Física. Discussões acerca de conteúdos voltados para o estudo da eletricidade aparecem na literatura a partir de análises críticas de como a perspectiva histórica a respeito da temática é trabalhada em livros didáticos e paradidáticos (SILVA, PIMENTEL, 2008), e em trabalhos que visam construir subsídios para um ensino a partir da perspectiva histórica (BOSS et. al, 2009). Além dos aspectos históricos, se destaca como relevante para o ensino de física, o enfoque experimental sobre a temática (ASSIS, 2010), seja qualitativo ou quantitativo (ARAÚJO, ABIB, 2003; BORGES, 2003). Nesse sentido, aliando discussões históricas à experimentação, encontramos na literatura nacional, propostas de construção de pilhas voltaicas, que podem ser facilmente implementadas nas salas de aula (GERMANO, LIMA SILVA, 2012) e, nesses casos as discussões a serem estabelecidas nesse trabalho podem agregar questões importantes ao estudo da temática.

Ainda considerando a justificativa do recorte histórico estabelecido, deve-se pontuar que Volta construiu a pilha imerso em um contexto sociocultural em que os estudos sobre a eletricidade se mostravam de grande interesse e considerava-se necessário compreender a natureza do fluido elétrico em diversos fenômenos elétricos, como os manifestados na atmosfera, no corpo dos animais ou em um raio. Essa discussão acerca da natureza do fluido elétrico engloba a controvérsia entre

Alessandro Volta (1745-1827) e Luigi Galvani (1737-1798). Galvani, investigando contrações musculares em rãs que eram postas em contato com metais, interpretou o fenômeno como sendo causado por um fluido invisível, chamado de “eletricidade animal”. Por outro lado, Volta creditou os fenômenos observáveis à eletricidade ordinária, que seria produzida pelo contato entre diferentes metais, o princípio básico da pilha de Volta (MARTINS, 1999).

A pilha, artefato construído em 1800, foi rapidamente difundida, o que levou à sua popularização e apropriação por acadêmicos e não-acadêmicos, principalmente em questões relacionadas ao uso do artefato na eletrólise da água. Essas e outras questões concernentes à construção e divulgação do aparato constituem elementos extra-laboratoriais importantes para um entendimento do processo de construção da ciência, de forma a destacar as ciências enquanto produções culturais.

Vale ainda ressaltar que poderíamos construir o estudo pretendido focando exclusivamente na controvérsia Galvani e Volta, no entanto, entendemos que referenciar apenas esses dois personagens configura uma simplificação demasiada do episódio. Ressaltamos, então, que apesar de receberem um maior destaque na narrativa que apresentaremos, se tornou relevante situar a controvérsia Galvani versus Volta em um contexto que é antecedido por estudos de fisiologia e da aplicação da eletricidade em estudos médicos e de fisiologia animal, discussões essas que, mesmo após o estabelecimento do aparato, não encontra seu fim imediato. Nesse panorama, diversos atores se destacam. Dessa maneira, julgamos importante enfatizar a contribuição de diferentes personagens na discussão histórica a ser apresentada. Sem podermos deter em cada um deles com a merecida atenção ou negligenciar suas participações no episódio histórico selecionado, procuramos contextualizar os personagens destacados, ressaltando a relação existente entre uma grande gama de fatores presentes no contexto sociocultural da construção da pilha, tais como as relações de complexidade entre teoria e experimento na construção do conhecimento científico, os processos de difusão do conhecimento científico e a circulação e apropriação deste conhecimento pelos pares.

Com vistas a cumprir o objetivo do presente trabalho, após a discussão do episódio histórico propriamente dito, apontamos reflexões acerca do potencial da abordagem histórica apresentada para o Ensino de Física e quais os aspectos inerentes às práticas científicas envolvidas nesse episódio histórico podem contribuir para uma abordagem histórica, que além de apresentar o conteúdo científico tratado, possibilite discussões da ciência enquanto produção cultural de homens e mulheres imersos em um tempo e espaço específico.

2.2.3 Eletricidade Medicinal no século XVIII: Instrumentando o saber e saber Instrumentado.

Sobre o processo conhecido como Iluminismo, no que tange à ciência, apesar de encontrarmos na literatura, tentativas de defini-lo de forma simplificada, como sendo uma forma de construir conhecimento e um modo de vida que pressupõe a exclusão da metafísica e a utilização exclusiva de uma razão científica, nenhuma definição sucinta é capaz de abarcar toda a complexidade de práticas e pensamentos que compõem a construção do saber científico nesse período.

Diante da complexidade ressaltada, historiadores das ciências (BROCKLISS, 2013; HOLENSTEIN, STEINK, STUBER, 2013) destacam que diversos fatores, constituintes das práticas científicas, se mostram essenciais para uma compreensão ampla das ciências e dos princípios que emergem sobre os alicerces do Iluminismo europeu e dos que com ele dialogaram. A construção de instrumentos científicos junto à difusão e adoção cada vez maior da prática experimental nas Universidades, nas palestras itinerantes, nas aulas particulares e nas demonstrações públicas constituíram parte da complexa cultura científica iluminista do século XVIII (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; ROBERTS, 1999; BROCKLISS, 2013; JARDIM, GUERRA, 2017b). Para cada dezena de acadêmicos renomados, existiam centenas de outros praticantes da ciência fora das academias. Esses “não acadêmicos” produziram conhecimento científico e realizaram demonstrações ao público interessado (ROBERTS, 1999; BENSAUDE-VICENT, BLONDEL, 2008).

No século XVIII, as palestras itinerantes sobre a filosofia natural, que eram pautadas na experimentação e tratavam de temas como, mecânica, eletricidade e anatomia alcançaram um grande público. Esse público era bem diverso, pessoas de diferentes classes sociais e formação participavam desses eventos. O público, composto de filósofos, senhoras, médicos, artesãos, membros do clero, dentre outros, não se limitava a uma atitude passiva, muitos, estimulados pelo que assistiam, se dedicavam à construção de novos instrumentos e à reaplicação de experimentos. Isso contribuiu para o olhar diferenciado sobre o material divulgado e estudado, tornando os estudos e argumentos apresentados ainda mais interessantes para um público que se tornava cada vez maior (BENSAUDE-VICENT, BLONDEL, 2008).

Além de contribuir para ampliar a produção científica, essas palestras itinerantes foram responsáveis por trazer reconhecimento para muitos filósofos naturais que estavam fora das academias (ROBERTS, 1999; JARDIM, GUERRA, 2017b; BENSAUDE-VICENT, BLONDEL, 2008; BERTUCCI, 2006; HEERING, 2007).

Dentre os assuntos de maior interesse científico para o grande público se encontravam os estudos de anatomia e eletricidade (ROBERTS, 1999; BERTUCCI, 2007). Demonstrações acerca da eletricidade contavam, em meados do século XVIII, com diversos novos aparatos, como as máquinas eletrostáticas e os condensadores de carga[32] (BERTUCCI, 2006; BERTUCCI, 2008).

Em relação às atividades práticas relacionadas à utilização da eletricidade na medicina, um termo foi cunhado no século XVIII: “eletricidade medicinal” (*medical electricity*). Eletricidade medicinal referia-se à “aplicação” do fluido elétrico no corpo humano com a intenção de que o mesmo agisse como terapêutico (BERTUCCI, 2003; BERTUCCI, 2007). A partir de 1744, eletricistas alemães começaram a discutir as possibilidades de as descargas elétricas produzidas pelas máquinas elétricas poderem ser utilizadas na cura de doenças. Experimentos que envolviam pessoas e máquinas elétricas foram amplamente difundidos nas palestras itinerantes (BERTUCCI, 2007; BERTUCCI, 2007b). Dentre esses experimentos, alguns eram lúdicos, servindo principalmente ao entretenimento, como é o caso do denominado “beijo elétrico”, criado por Georg Matthias Bose (1710–1761), professor na Universidade de Wittenberg (Alemanha), conhecido pela invenção de engenhosos procedimentos para suas demonstrações. Para a realização desse experimento, uma mulher disposta sobre uma plataforma de forma a permanecer isolada eletricamente tinha seu corpo carregado eletricamente por uma máquina elétrica. Após essa etapa, um homem da plateia era convidado a beijá-la na boca. Quando o mesmo se aproximava dos lábios da mulher, uma forte faísca lhe acertava. Apesar de servir para entretenimento, experimentos como esse podiam gerar novas questões científicas. Por exemplo, Johann Gottlob Krüger (1715-1759), professor de medicina e filosofia em Halle, na Alemanha, relatou em 1744 que todas as pessoas que participaram do experimento do “beijo elétrico” apresentaram pontos vermelhos em suas mãos que só desapareciam após algumas horas. Além disso, ele observou que a eletrificação produzia movimento muscular involuntário e, junto com seu discípulo Christian Gottlieb Kratzenstein (1723-1795), divulgou que essas observações indicavam que a eletricidade poderia ser utilizada em tratamentos médicos relacionados a paralisias musculares (BERTUCCI, 2007b).

---

[32] Nesse contexto, aos condensadores elétricos, nos referimos aqui às garrafas de Leiden, aparato construído pela primeira vez em 1745 (JARDIM, GUERRA, 2017b). A Garrafa de Leiden é um recipiente isolante que possui a superfície interna e externa revestidas por um material condutor elétrico, na época de sua construção, considerado capaz de armazenar fluido elétrico. Em termos modernos, seria um capacitor que permite armazenar excesso de cargas positivas em uma de suas superfícies e negativas na outra. Já as máquinas eletrostáticas, eram dispositivos mecânicos que geravam acúmulo de cartas a partir do atrito entre suas partes.

As conclusões de Krüger e Kratzenstein foram rapidamente difundidas, levando Bose a construir vários outros experimentos nos anos de 1744 e 1745, para avaliar os efeitos da eletricidade sobre a respiração, circulação sanguínea, transpiração e pulso. Os tratamentos com eletricidade que começaram a ser administrados por Kratzenstein, nessa época, se tornaram muito conhecidos e foram replicados na Europa nas cidades de Copenhague, Viena, Uppsala, Estocolmo, Rouen e Lipsia. Nesse contexto, surgiram relatos de casos de curas de enfermidades a partir da utilização da "eletricidade medicinal". Esses relatos eram publicados em revistas de circulação popular e apareciam em maior número nesses veículos do que nos destinados a publicações acadêmicas (BERTUCCI, 2007b).

Esse tipo de prática, a princípio, não recebia atenção dos acadêmicos e não era explorada pelos médicos em geral. Com o aumento do número de relatos que remetiam a benefícios alcançados pelo uso da eletricidade no corpo humano, a prática começou a atrair mais os acadêmicos. Em uma carta ao presidente da *Royal Society*, o naturalista inglês Henry Baker (1698-1774) argumenta que este é um assunto que merece atenção e descreve diversos relatos de tratamentos bem sucedidos a partir da administração da "eletricidade medicinal". Assim, Baker insistia que o tema não fosse negligenciado pelos estudiosos, pois os estudos trariam benefícios para as investigações filosóficas da época e para os possíveis efeitos terapêuticos da eletricidade (BAKER, 1748). No entanto, o crescente número de relatos favoráveis à prática e seu acolhimento por alguns acadêmicos não foram suficientes para uma aceitação uníssona da "eletricidade medicinal" e a questão se tornou uma controvérsia. Como contraponto à aceitação dessa prática, ressaltamos Jean-Antoine Nollet (1700–1770), renomado membro da Academia Real de Ciências de Paris e uma das maiores autoridades em eletricidade na época, que em colaboração com o médico Sauveur François Morand (1697–1773) e o cirurgião Joseph Marie François de la Sône (1717–1788), conduziu sistematicamente diversos procedimentos a partir da prática da "eletricidade medicinal" a um grupo de soldados paralíticos no *Hôpital dês Invalides*. Nollet defendeu que os procedimentos que ministrou trouxeram resultados "tão incertos que nem mesmo valeriam a pena ser mencionados" (BERTUCCI, 2007b, p.277[33]).

Na Inglaterra, a partir das décadas de 1750 e 1760, a ampla divulgação da garrafa de Leiden, devido a sua simples reprodução, fácil manuseio e possibilidade de ser transportada sem transtornos, foi acompanhada de grande popularização da prática da "eletricidade medicinal". O maior problema no uso de uma garrafa de Leiden

[33] Tradução livre dos autores do trecho "too uncertain to be worth mentioning."

era o fato de a mesma necessitar de uma máquina eletrostática que lhe fornecesse eletricidade, todavia, essas máquinas não precisavam pertencer ao proprietário das garrafas, muitas vezes, as máquinas eletrostáticas eram compartilhadas por várias pessoas da mesma vizinhança (BERTUCCI, 2003).

O tema "eletricidade medicinal" foi destacado pelo inglês Joseph Priestley (1733-1804) em seu livro *The History and Present State of Electricity with Original Experiments.* Na secção destinada ao assunto, Priestley comenta diversos relatos de pesquisadores acerca da aplicação da eletricidade em seres humanos (PRIESTLEY, 1769).

> O assunto eletricidade medicinal recai quase totalmente sobre o período em que agora estou tratando. Apesar de alguns efeitos da eletricidade sobre os corpos de animais já terem sido observados por *Abbé* Nollet e, algumas pessoas doentes já terem relatado o recebimento do benefício de ser eletrificado, muito pouco havia sido feito sobre isso, e os médicos não haviam despendido a devida atenção, até então, quando a eletricidade se tornou um considerável artigo na *materia medica* (PRIESTLEY, 1769, p. 472)[34].

Dentre os trabalhos descritos por Priestley, encontramos uma carta do britânico Willian Watson (1715-1787), membro da *Royal Society*, publicada na *Philosophical Transactions* que discorre sobre o sucesso do tratamento com eletricidade, entre novembro de 1762 e janeiro de 1763, em uma menina de aproximadamente sete anos, que antes do tratamento apresentava rigidez muscular (WATSON, 1763). Outro acontecimento destacado se refere a uma carta do estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) a seu amigo especialista em medicina militar e cuidados hospitalares, John Pringle (1707-1782), também publicada na *Philosophical Transactions*, na qual Franklin informa que, a partir da publicação de relatos de curas na Alemanha e Itália, diversas pessoas começaram a procurá-lo requisitando o tratamento com eletricidade. Assim, seguindo tais requisições, ele afirma que realizou procedimentos, nos quais administrava choques elétricos, três vezes por dia, em membros afetados das pessoas que buscavam tratamento, por meio de descargas elétricas oriundas de uma garrafa de Leiden. Todavia, Franklin afirma nesta carta que não observou nenhum benefício

[34] Tradução livre dos autores do trecho "The subject of medical eletricity falls almost wholly within the período of which I am now treating. For though some effects of electricity upon animal bodies had been noted by Abbé Nollet, and a few diseased persons had Said thye had received benefit from being electrified; yet very little had been done this way, and physicians had scarcely attended to it, till within this período; whereas electricity is now become a considerable article in the materia medica".

em administrar choques elétricos em pessoas que necessitavam tratamentos medicinais, mas que “talvez alguma vantagem permanente pudesse ter sido obtida se os choques elétricos fossem acompanhados de remédios apropriados e alimentação controlada sob os cuidados de um médico habilidoso”[35] (FRANKLIN, 1757, p.482].

Joseph Priestley PRIESTLEY, 1769) destacou que um dos grandes empecilhos na prática medicinal com eletricidade era a dificuldade na aquisição e manipulação dos aparatos elétricos existentes até então. Em sua argumentação, ele chamou atenção para o trabalho de John Read. O matemático e instrumentador inglês John Read desenvolveu um aparato, cujo arranjo prático facilitava as operações de carga e descarga de garrafas de Leiden (PRIESTLEY, 1769) e era passível de ser desmontado e armazenado de forma compacta. Além disso, esse aparato apresentava preços acessíveis, possibilitando sua popularização (BERTUCCI, 2003; BERTUCCI, 2007b). Read relacionou eletricidade à saúde, alegando que a eletricidade seria encontrada na terra e no vento e que a presença da mesma na atmosfera era benéfica para plantas e animais. Ele desenvolveu métodos para medir a eletricidade do ar na escola e no hospital de *Knightsbridge* e se utilizou dos resultados para reforçar sua tese de que o ar carregado de eletricidade era o ar saudável (READ, 1794). Um outro experimento realizado pelos franceses Nollet e Pierre-Nicolas Bertholon (1741-1800) corroborava a tese de Read. Nesse experimento, Nollet e Bertholon concluíram que vegetais se desenvolviam melhor em ambientes cuja atmosfera possuísse maiores concentrações de eletricidade. Importante aqui destacar, no entanto, que existia um problema relacionado à prática com a “eletricidade medicinal” que era a dificuldade em se dosar o fluido a ser utilizado (BERTUCCI, 2003), sendo assim, tornava-se importante o desenvolvimento de instrumentos capazes de controlar a intensidade dos choques elétricos.

Em 1766, o boticário de Londres, Dr. Timothy Lane (1733/4-1807), construiu um eletrômetro de descarga, aparato que segundo ele, poderia determinar com a precisão necessária a quantidade de fluido elétrico utilizada em um experimento. Em 1767, em uma carta a Benjamin Franklin, Lane descreveu a estrutura e funcionamento do eletrômetro construído (fig. 1) (LANE, 1767).

[35] Tradução livre dos autores do trecho “Perhaps some permanent advantage might have been obtained, if the electric shocks had been accompanied with proper medicine and regimen under the direction of a skilful physician.” (HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER, 2013, p.482]

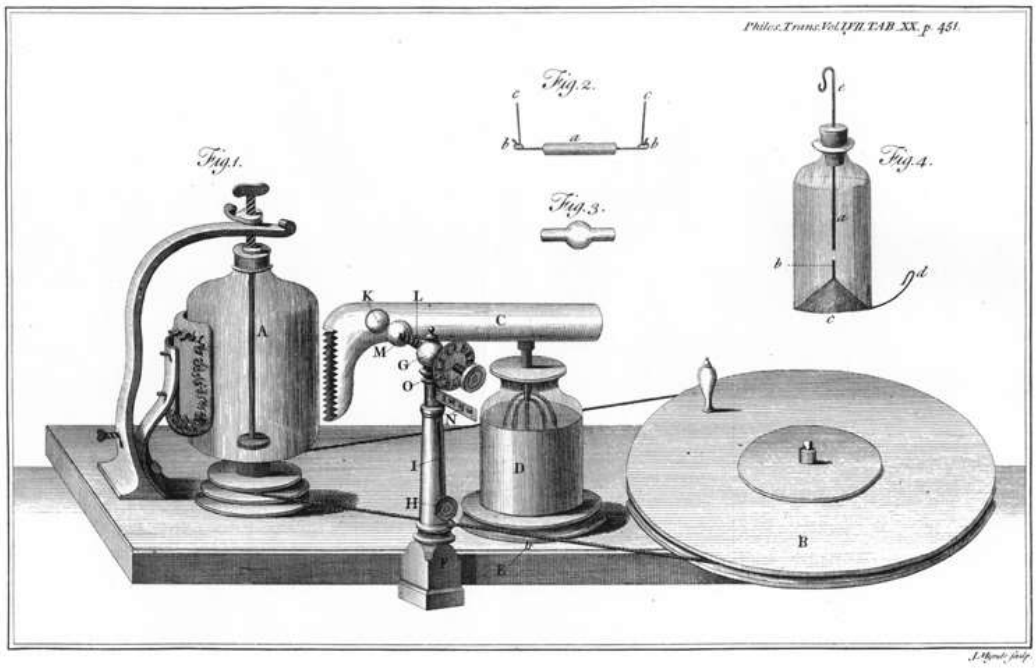


Figura **1** Montagem Experimental proposta por Dr. Tymothy Lane (1767) composta pela máquina elétrica de John Read, seu eletrômetro e uma Garrafa de Leiden De forma resumida, o eletrômetro consistia de duas esferas de latão, estando uma em contato com o gerador elétrico de John Read, a outra em contato com a superfície externa da garrafa de Leiden e um sistema que regularia, com grande precisão, a distância entre essas duas esferas. A quantidade de fluido elétrico armazenado pela garrafa era proporcional à distância entre essas esferas. Ilustração feita por J. Mynde. em Lane (LANE, 1767)

Priestley destacou a importância do aparato de Timothy Lane para administrar vários choques elétricos com iguais intensidades (PRIESTLEY, 1769). Apesar de Lane não se dispor a discutir eletricidade médica, ele trabalhou bem próximo a Willian Watson que, em 1770, o indicou como candidato a membro da *Royal Society* e apoiou sua candidatura. Lane foi apoiado também por Franklin e pelo inglês Henry Cavendish (1731-1810) (BERTUCCI, 2003).

No contexto da segunda metade do século XVIII, eletricistas com as mais diversas formações se dedicaram a questões da natureza da eletricidade e seu papel em diferentes situações. Nesse contexto, uma das questões que se colocava referia-se à diferenciação entre a eletricidade obtida pelas máquinas eletrostáticas, eletricidade ordinária, e as provindas de relâmpagos e presentes na atmosfera, a chamada eletricidade atmosférica. Outra questão referia-se à tese de que haveria uma eletricidade animal, uma eletricidade que era própria dos corpos vivos. Evidências experimentais que apoiavam a tese de que a eletricidade ordinária e a eletricidade atmosférica deveriam ser iguais, apontavam a eletricidade como uma força da natureza que exerceria o poder sobre a vida e a morte (BERTUCCI, 2003).

Décadas após o advento da Garrafa de Leiden, e poucos anos após Lane construir um eletrômetro, outro instrumento se destacou no contexto da "eletricidade

medicinal": o eletróforo (HOCHADEL, 2003; PANCALDI, 2005). O eletróforo é uma espécie de condensador, que é capaz de se manter eletrizado por longos períodos de tempo. Esse era um aparato de fácil manipulação e permitia eletrizar outros corpos, tais como garrafas de Leiden.

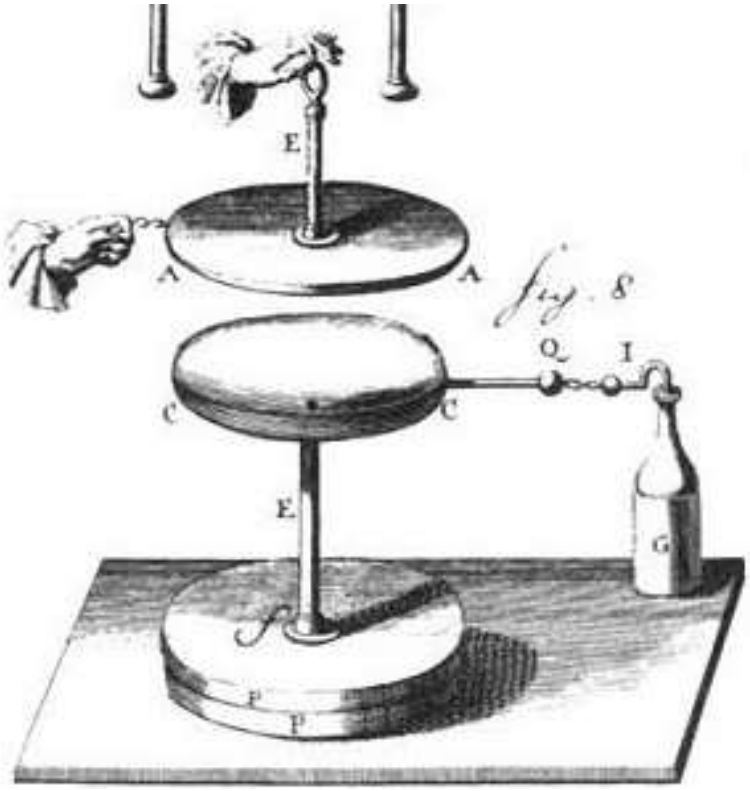


Figura **2** O Eletróforo de Volta carregando uma garrafa de Leiden (PANCALDI, 2005,, p.74) O experimentador poderia obter uma quantidade ilimitada de eletricidade a partir do eletróforo simplesmente levantando e abaixando a placa de metal com sua alça isolada, e aterrando e retirando a carga nos momentos apropriados. Com tal aparelho, pode-se carregar qualquer número de Garrafas de Leiden (G) Esta versão do condensador separável efetivamente problematizou as teorias efluviais de eletricidade (HANKINS, 1985, p. 68).

O primeiro eletróforo (fig.2) é atribuído a Alessandro Volta (1745-1827) no ano de 1775, quando descreveu seu *eletroforo perpetuo (*eletróforo perpétuo) em uma carta a Priestley (VOLTA, 1775). Os princípios físicos que deram origem ao aparato foram discutidos nos anos anteriores por outros pesquisadores, estudiosos da eletricidade. O alemão Franz Ulrich Theodor Aepinus (1724-1802), em meados da década de 1750, descreveu efeitos físicos semelhantes ao do eletróforo, a partir de demonstrações experimentais realizadas por jesuítas. Tomando conhecimento desses estudos iniciais, os italianos Giambatista Beccaria (1716-1781) e Gianfrancesco Cigna (1734-1790) e o sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796), dentre outros, desenvolveram diversos estudos relacionados ao tema e que viriam a tratar não somente sobre os

efeitos observados, mas também sobre a natureza da eletricidade (PANCALDI, 2005; HEILBRON, 1979).

O desenvolvimento do eletróforo, de maneira análoga ao da garrafa de Leiden (JARDIM, GUERRA, 2017b; HEILBRON, 1979), trouxe questões que não foram satisfatoriamente explicadas com o arcabouço teórico do período. Volta, por exemplo, concluiu com base no funcionamento do instrumento que nada “real” (apenas uma espécie de força) poderia passar pelo dielétrico, senão a eletricidade se extinguiria do eletróforo através do isolante. Reflexões acerca do papel dos condutores e isolantes na busca de uma explicação teórica para o eletróforo começaram suscitar questionamentos sobre a existência ou não de uma eletricidade atmosférica (HEILBRON, 1979). Em resumo, os estudos acerca da eletricidade atmosférica não davam conta de explicar o eletróforo (HANKINS, 1985). Porém, o eletróforo, de maneira similar à Garrafa de Leiden, ampliou a atenção aos estudos sobre eletricidade e, em especial, sobre a eletricidade aplicada a fins medicinais (HOCHADEL, 2003).

2.2.4 O movimento muscular e a eletricidade

Outras práticas científicas que se mostram importantes para a compreensão dos processos de construção das ciências iluministas recaem sobre aquelas relativas aos estudos da fisiologia animal e dos movimentos dos músculos. O médico inglês George Fordyce (1736-1802), em uma carta enviada à Royal Society, em novembro de 1787, relata o que podemos chamar de um estado da arte dos estudos relacionados ao movimento muscular naquele contexto (FORDYCE, 1788). Fordyce, que era professor de medicina e química, além de membro da *Royal Society*, inicia a carta distinguindo o denominado movimento original (*original motion*) do movimento comunicado (*communicated motion*). Esses dois movimentos seriam derivados da alteração do estado de inércia de um corpo, no primeiro caso, por interação de contato com outro corpo e, no segundo caso, decorrente do fato de dois corpos distantes serem trazidos para perto um do outro. Apoiado nessas definições, Fordyce (1788) argumenta que as observações relativas aos movimentos de músculos mostravam que esse tipo de movimento não poderia ser considerado movimento original nem tampouco movimento comunicado (FORDYCE, 1788).

Ele, então, apresentou três teorias, que tinham destaque até aquele momento e que pretendiam descrever as causas do movimento muscular. Embora todas elas considerassem que o agente causador do movimento fosse algo inerente aos animais,

o denominado espírito animal[36], *e* transmitido do cérebro aos músculos através dos nervos, cada teoria fazia uma análise distinta (FORDYCE, 1788; WALKER, 1937; HOME, 1970). Uma delas, advinda do século XVII e adotada por diversos estudiosos, considerava que as fibras musculares se contraíam por causa de um processo de fermentação ocorrido pela mistura do espírito animal com o sangue arterial. Outra perspectiva, apoiada no *Opticks* de Newton e adotada por muitos fisiologistas da Inglaterra, admitia que o movimento muscular era causado por uma vibração etérea através de capilares sólidos, pelúcidos e uniformes dos nervos. A última teoria considerava que o espírito animal era algo similar ao fluido elétrico, sendo transmitido do cérebro para os músculos em grande velocidade (FORDYCE, 1788). Essa última teoria era bastante aceita entre aqueles que trabalhavam no contexto da "eletricidade medicinal".

Diversos experimentos começaram a ser desenvolvidos com o intuito de analisar a relação entre eletricidade e contração muscular. Johan Gottlob Krüger (1715-1759), em 1745, publicou relatos sobre contrações musculares causadas por um choque elétrico e conclusões de que os efeitos observados em membros normais também os seriam nos membros que sofriam de paralisia (HOFF, 1936).

Nesse contexto, a Garrafa de Leiden foi bastante usada. Antoine Louis (1723-1792), fisiologista francês, utilizou a Garrafa de Leiden para investigar uma possível contração em músculos paralisados, mas suas pesquisas apontaram que choques elétricos não causariam movimentos em músculos atrofiados (HOFF, 1936). Jean Jallabert (1712-1767), professor de física da Universidade de Genebra, em 1748, comunicou a manipulação de choques elétricos advindos de Garrafas de Leiden para ativar membros paralisados, investigação essa conduzida e publicada também por Jean Etienne Deshais de Motpellier no ano seguinte. O inglês Benjamin Wilson (1721-1788), em 1750, reportou observações sobre as contrações em músculos "normais". O médico escocês Robert Whytt (1714-1766), em 1751, registrou experiência, na qual observou um retorno de sensibilidade ao braço de um homem que sofria de paralisia há doze anos, após ter administrado choques regularmente naquele braço. John Shebbeare foi capaz de fazer com que o coração de uma enguia quiescente (*Gymnotus electricus*) se contraísse por estimulação elétrica e obtivesse contração de forma semelhante a músculos com paralisia recentes. Diversos outros trabalhos que se propuseram a investigar o efeito da eletricidade no movimento muscular foram publicados nos anos seguintes. Nem todos defendiam o movimento dos músculos ser derivado de fluidos elétricos. Por exemplo, outros fisiologistas de renome, como o

[36] Traduzido do termo original "*animal spirit*"

suíço Albrecht von Haller (1798-1777), argumentavam que os choques elétricos apesar de servirem como estímulos elétricos não podiam ser incontestavelmente considerados como a causa do movimento muscular, afinal, não haveria muito sentido em a eletricidade ser conduzida pelos nervos de maneira a não se espalhar por todos os outros tecidos (HOME, 1970; HOFF, 1936; KIPNIS, 1987).

A existência de uma controvérsia em torno ao que derivava a contração muscular não diminuiu o interesse em relação aos estudos relacionados a eletricidade e contração muscular. No *Journal de Médicine*, importante periódico de medicina de Paris, entre 1750 e 1780, foram publicados 26 artigos e revisões de obras sobre o tema “eletricidade medicinal” dos quais 12 se destinavam a investigações acerca de choques elétricos para o tratamento de paralisias musculares (HOFF, 1936; KIPNIS, 1987; MAURO, 1969).

3.2.5 Arraias e Enguias elétricas

No caminho dos estudos que relacionavam eletricidade ao movimento muscular e outras questões fisiológicas, destacam-se os estudos com enguias e arraias elétricas (*torpedos*). Havia registro de intensos choques desempenhados pelo contato com os *torpedos* em textos de Aristóteles, Plínio e Galeno. Durante o Império Romano, eram recomendados choques elétricos advindos de um *torpedo* para se tratar dores de cabeça e gota. Na Etiópia, a febre era tratada de forma similar (WALKER, 1937; TSOUCALAS, 2014; FINGER, PICCOLINO, 2011).

Em 1666, diversos experimentos acerca das propriedades do *torpedo* foram desenvolvidos pelo italiano Francesco Redi (1626-1697) na *Academia del Cimento*. Redi, em sua obra *Experimenta Naturalia* (1675), descreve em detalhes a sensação do choque recebido ao tocar o *torpedo* e, em 1678, seu discípulo Stefano Lorenzini (1652-1700) registrou a dissecação de um torpedo, localizando dois músculos que, quando contraídos, dariam origem a choques que, segundo ele, teriam relação com alguma espécie de eflúvio (TSOUCALAS, 2014). Essa hipótese de um eflúvio causador do choque foi trabalhada e modificada no final do século XVII e compôs parte da pesquisa publicada na tese de doutoramento apresentada por Engelbert Kaempfer (1651-1716), em 1769, na faculdade de medicina da Universidade de Leiden. Kaempfer que era médico e naturalista traçou comparações entre o efeito advindo do *torpedo* com um relâmpago, ou seja, relacionou o fenômeno observado neste animal com os da eletricidade atmosférica (WALKER, 1937; FINGER, PICCOLINO, 2011).

Em 1714, Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), em uma publicação da Academia de Paris, do qual era um dos membros de maior destaque, citou os trabalhos de Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) e Kaempfer para se contrapor à tese de que o choque causado pelo *torpedo* teria alguma relação com eletricidade. Adotando uma explicação puramente mecânica, ele defendeu que o choque era causado por uma rápida contração dos músculos do peixe, o que gerava um choque mecânico nas pessoas em contato com eles (FINGER, PICCOLINO, 2011). Para chegar a suas conclusões, ele analisou os trabalhos de diversos estudiosos. Suas conclusões relacionadas a essa explicação mecânica tiveram grande aceitação até a primeira metade do século XVIII (JENSEN, PRESTES, 2011). Estudos com arraias e enguias elétricas ganharam destaque no século XVIII, principalmente após o desenvolvimento da Garrafa de Leiden.

É importante ressaltar que o *torpedo* não foi a única fonte de investigação sobre os choques provenientes de seres vivos. Os primeiros relatos das enguias elétricas datam aproximadamente do início do século XVI a partir de missionários espanhóis em viagem a América do Sul. No entanto, esses missionários não se engajaram em investigações mais sistemáticas sobre as enguias (KOEHLER, FINGER, PICCOLINO, 2009).

Na segunda metade do século XVII, relatos sobre as *Gymnotus electricus* (enguias elétricas) começaram a chegar à Europa a partir de pesquisas conduzidas na América do Sul (FINGER, PICCOLINO, 2011; PICCOLINO, BRESADOLA, 2002). Por exemplo, Dale Ingram (1710-1793) um cirurgião inglês que enquanto viveu no Suriname, colônia Inglesa e depois colônia holandesa, experimentou os efeitos dessas enguias e as relatou em uma revista de Oxford. Esse artigo foi publicado em inglês e em alemão (HOEHLER, FINGER, PICCOLINO, 2009).

Desses relatos, destacam-se muitos advindos dos holandeses sobre as enguias no Suriname. Em meados do século XVII, a Holanda tinha uma produção significativa de estudos com eletricidade e aparatos elétricos e empregava considerável recurso em estudos de zoologia e coleta de novas espécimes, aliado a esses fatores, as enguias eram comuns nos rios da Guiana, onde se estabeleceram diversas colônias holandesas com fins comerciais e estratégicos no período em questão (KOEHLER, FINGER, PICCOLINO, 2009).

Nesse contexto, a divulgação desses peixes elétricos alcançou amplo público e novos experimentos foram realizados e novos artefatos construídos. Por exemplo, Henry Cavendish (1776) construiu um aparato com o propósito de ser um *torpedo*

artificial. Na carta enviada à *Royal Society* e publicada na *Philosophical Transactions* em 1776, ele descreveu seu aparato (Fig. 3).

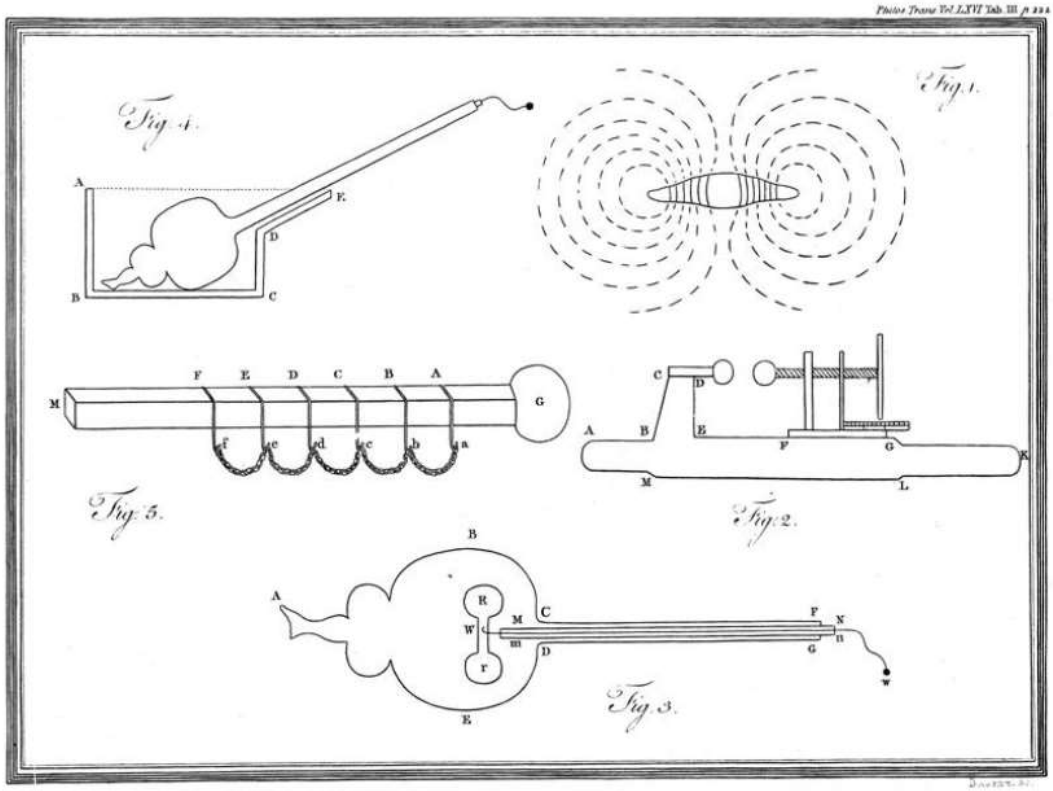


Figura 3 Representação do *Torpedo* artificial desenvolvido por Henri Cavendish. No lado direito e superior desse desenho, Cavendish representa os caminhos do fluido elétrico através da água de um órgão elétrico ao outro (CAVENDISH, 1776, p. 222 e 223).

A partir da década de 1770, o caráter elétrico dos efeitos observados em arraias e enguias elétricas estava fortemente estabelecido dentre aqueles que se dedicavam aos estudos relacionados a eletricidade advinda de animais (WALKER, 1937).

John Walsh (1726–1795), membro da *Royal Society* e do Parlamento inglês, realizou observações que indicavam ser o choque proveniente dos *torpedos,* dependentes da vontade do animal e, deduções do médico John Hunter (1728–1793) indicavam que o poder elétrico estaria intrinsecamente ligado ao funcionamento dos nervos, apontando para a tese de que os fluidos nervosos e o fluido elétrico possuíam uma relação mais próxima. Joseph Priestley seguiu essa linha e se referiu ao trabalho de Walsh, como aquele capaz de demonstrar que "a matéria elétrica, ao estar em um circuito real, passa de uma parte do animal para a outra" (PRIESTLEY, 1775, p. 275, tradução nossa[37]). Além disso, Priestley afirmou que a presença dessa eletricidade

[37] Tradução livre do trecho '[...]the electrical matter which proceeds from it performing a real circuit from one part of the animal to the other [...]"

não se limitava àqueles peixes, sendo encontrada em todos os animais e que estes a utilizariam para o propósito da locomoção (PRIESTLEY, 1775).

Para os fisiologistas inclinados a aceitar o fluido nervoso como sendo de natureza elétrica, a conclusão era direta: as estruturas celulares funcionariam como uma Garrafa de Leiden, extraindo carga dos nervos (HOME, 1970). Todavia, essa visão não pode ser tomada como unanimidade, pois foi contestada por diversos cientistas (HOME, 1970; KIPNIS,1987; MARTINS, 1999). Haller, por exemplo, considerava que o fluido nervoso deveria ter uma natureza distinta de todos os fluidos conhecidos. Isto porque o fluido nervoso deveria ser muito sutil para ser percebido pelos sentidos, mas "mais grosseiro que o fogo, ou éter ou matéria elétrica ou magnética, uma vez que pode ser contida em canais e restringida por ligações e, além disso, é claramente produzida e alimentada por comida" [Haller apud. FOSTER, 1901, p. 297, tradução nossa[38]]. A tese de Haller foi aceita por muitos estudiosos, que são denominados hallerianos. A controvérsia acerca do fluido nervoso recaia sobre muitos fatores, enquanto Priestley baseado na química postulava a geração de eletricidade extraída da comida, Haller em uma visão fisiológica, apontava a impossibilidade do fluido nervoso possuir natureza elétrica justamente pelo fato da comida servir de combustível a ele (WALKER, 1937).

2.2.6 Bolonha e o Contexto De Galvani

No contexto dos estudos que envolviam eletricidade e fisiologia, voltaremos nossa atenção a Luigi Galvani, que em 1759 se formou em medicina na Universidade de Bolonha. O ensino oferecido no curso de medicina da Universidade de Bolonha se pautava, em geral, sobre um conhecimento que era tido como obsoleto por muitos que se dedicavam aos novos estudos da área. Nessa e em outras universidades da época, era considerado dever dos professores ensinar o conhecimento estabelecido, não sendo permitido focar nas questões científicas entendidas como em aberto. Considerava-se que ensinar coisas mais atuais confundiria os estudantes, e, portanto, não seria proveitoso. Assim, no intuito de ensinar e investigar novos temas que emergiam naquele contexto, era comum alguns professores ministrarem aulas em suas próprias residências, locais em que eram mais livres para discutir as temáticas desejadas (HEILBRON, 1991). Apesar de estudar na Universidade de Bolonha apenas as teorias bem estabelecidas, em contato com esses professores, Galvani teve aulas

[38] Tradução livre do trecho "[…] but more gross than fire, or ether or electric or magnetic matter, since it can be contained in channels and restrained by bonds and moreover is clearly produced out of and nourished by food." (Haller apud Foster, 1901, p.297)

fora dos muros da Universidade e através delas conheceu questões contemporâneas a respeito de fisiologia animal.

Após se formar na Universidade, Galvani continuou a ter contato com muitos desses estudiosos, como foi o caso de Giovanni Antonio Galli (1708 –1782). Galvani o acompanhou Galli em práticas cirúrgicas em hospitais locais, o que contribuiu para sua formação prática (HEILBRON, 1991). O posto de Galli na Universidade de Bolonha passou a ser ocupado por Galvani em 1782 (BRESADOLA, 1998).

Galvani estudou ossos, rins, vias urinárias, órgãos e audição dos pássaros e na década de 1770, começou a estudar os músculos, focando na estimulação e paralisia dos mesmos. Ele se utilizou de técnicas antigas, mas também incorporou novas técnicas ou aperfeiçoou algumas das já existentes (KIPNIS, 1987; BRESADOLA,, 1998). Nesse caminho, trabalhou com a rã como sujeito de pesquisa e a eletricidade como estimulante. Para ele, experimentos com animais eram fundamentais para se compreender as fisiologias animal e humana (HEILBRON, 1991; BRESADOLA, 1998).

Na divulgação e produção dos estudos de fisiologia, o estudo do corpo humano encontrava seu lugar nos anfiteatros de anatomia, sendo Bolonha, um dos primeiros locais a estabelecer essa tradição, a partir de anfiteatros desmontáveis e, em 1649, com seu primeiro anfiteatro permanente (PIMENTEL, 2007). Nesse contexto, os anfiteatros de anatomia, difundidos pela Europa, eram locais de demonstrações e exibições e que atraiam grande público (ROBERTS, 1999). Na Holanda, um dos fatores que contribuía para o interesse do público, além dos aspectos científicos, era a existência de fortes crenças religiosas relacionadas a prática de dissecação em cadáveres humanos, que possibilitaria desvelar o trabalho magnífico de Deus e a “condição humana” na forma mais visceral. Mas a anatomia carregava implicações que iam além do ressaltado pela teologia e pela ciência, recaindo sobre a hierarquia social e cultural. Existiam banquetes e festividades para comemorar a aquisição de cadáveres, o que reafirmava o status social daqueles que participavam da guilda de cirurgiões. Entre 1603 e 1794, diversos artistas produziram pinturas tendo por cenário as aulas de anatomia, destacando o status social dos participantes da guilda (ROBERTS, 1999).

2.2.7 Os Experimentos de Galvani e a Eletricidade Animal

No início da década de 1780, Galvani dedicou esforços a desenvolver experimentos que o auxiliassem a investigar a estimulação de nervos e músculos. As

técnicas utilizadas estão descritas em sua obra *De viribus electricitatis in motu musculari* (GALVANI, 1791). Os vários experimentos que conduziu no desenvolvimento desse trabalho receberam auxílio de seu sobrinho Camillo Galvani, que trabalhava no jardim botânico da Universidade e de sua esposa Lucia Galeazzi Galvani (1743-1788), filha de Galeazzi, que frequentemente auxiliava nas pesquisas do marido e na revisão de seus textos (HEILBRON, 1991; PICCOLINO, BRESADOLA, 2013). Lucia recebeu boa instrução em assuntos como história e religião, além de estudar latim e italiano, algo comum para mulheres da alta classe na época em Bolonha. Além disso, ela havia adquirido interesse em ciências e participado de encontros e discussões sobre assuntos relacionados que aconteciam nos *Salons* de Bolonha, espaço frequentado pela aristocracia da época (PICCOLINO, BRESADOLA, 2013). Bolonha se destacava pelas muitas *learned ladies,* mulheres em posição social igual a de Lucia, com formação semelhante e que trabalhavam em laboratórios de parentes (HEILBRON, 1991; FRIZE, 2013; PAL, 2012). Apesar de, em sua maioria, as *learned ladies* acabarem por ocupar uma posição periférica na produção científica, dando suporte aos maridos e parentes, encontramos exemplos daquelas que conseguiram construir uma carreira científica pública, tal como a física experimental Laura Bassi (1711-1778), que obteve seu título de doutorado e se tornou professora da Universidade de Bolonha (JARDIM, GUERRA, 2017b; HEILBRON, 1991; PICCOLINO, BRESADOLA, 2013; FRIZE, 2013; PAL, 2012; FINDLEN, 1999).

Assim, com o apoio de sua mulher e de seu sobrinho, Galvani desenvolveu experimentos e destacou ter observado que rãs penduradas em um terraço a céu aberto em grades de metal por ganchos de ferro acoplados às suas medulas espinhais sofriam contração muscular. Essas contrações ocorriam, não apenas durante tempestades, mas também, em condições meteorológicas mais estáveis (GALVANI apud FORATO, GUERRA, 2015, p.28-29]. Para explorar esses resultados, ele, como destaca em sua obra, desenvolveu experiências dentro de sua sala (fig. 4). Em uma dessas experiências, colocou uma rã em um prato de metal e pressionou um gancho de ferro contra ela, observando contração muscular. Verificou que ao colocar um isolante elétrico entre o nervo e o músculo, a contração não mais ocorria (KIPNIS, 1987;MARTINS, 1999). Apoiando-se em trabalhos do período, Galvani argumentou que, para ocorrer as contrações observadas era necessário produzir uma espécie de desequilíbrio elétrico nos órgãos do animal ou na adjacência dos metais usados. Porém em outubro de 1786, Galvani, em um artigo não publicado, escreveu que seus estudos levavam-no a acreditar que os efeitos observados estariam relacionados aos animais e não aos metais (KIPNIS, 1987). Os argumentos de Galvani, que apoiavam

essa defesa, foram publicados somente 5 anos depois, já com um arcabouço de evidências mais abrangentes. As publicações se deram em formato de artigo (1791) e de livro (*De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*) em 1792 (KIPNIS, 1987).



Figura 4 Esquema que ilustra o laboratório de Galvani: Em cima da mesa, a esquerda, a máquina eletrostática. (GALVANI, 1792).

Em resumo, as principais conclusões apresentadas por Galvani em seu tratado de 1792 apontavam que a contração observada com as rãs ocorria quando um músculo era interligado ao nervo correspondente, através de arcos formados por condutores elétricos e que o efeito era mais forte se esses condutores fossem de materiais distintos[39], sendo que se o nervo estivesse envolto por material metálico, a contração se tornava ainda mais intensa. Análises experimentais de Galvani foram constantemente usadas por ele para sustentar a tese da existência de um fluido animal, diferente da eletricidade ordinária, a denominada eletricidade animal (HANKINS, 1985; HEILBRON, 1979).

2.2.8 A Eletricidade Animal e sua Repercussão

Os apontamentos advindos das publicações de Luigi Galvani criaram grande entusiasmo na comunidade científica, pois foram considerados como de grande

[39] Galvani não diz que o efeito não ocorria se os metais fossem iguais. Nas primeiras observações realizadas por ele, foi utilizado ferro e ferro e, em seu tratado, bronze e ferro.

relevância para a discussão que se travava há décadas acerca da natureza da eletricidade animal (espirito animal). Esse entusiasmo se traduziu em ampla replicação dos experimentos descritos por Galvani (BERNARDI, 2000). Como eram de fácil replicação, tais experimentos se popularizaram bastante, como ocorreu anos antes com a Garrafa de Leiden, passando a ser apresentados também em sessões públicas de entretenimento, o que levou a uma grande dizimação das rãs na Itália e em seguida, por vários lugares da Europa (BERNARDI, 2000). A replicação dos experimentos foi realizada por pessoas das mais variadas formações, que passaram a disputar uma explicação para os fenômenos observados, acarretando um grande número de publicações a respeito do assunto em um curto intervalo de tempo (KIPNIS, 1987; BERNARDI, 2000).

A primeira publicação sobre eletricidade animal após os trabalhos de Galvani foi um artigo do italiano Eusebio Valli (1755-1816) de 1792 (BERNARDI, 2000). No livro intitulado *Experiments on Animal Electricity with their Application to Physiology and some Pathological and Medical Observations* (Experimentos sobre eletricidade animal e suas aplicações em fisiologia e algumas observações médicas e patológicas), o autor destacou as conclusões de Galvani, apontando novas perspectivas de pesquisa (VALLI, 1793, prefácio).

Apesar dos trabalhos de Galvani se espalharem rapidamente na Europa, as suas conclusões não foram aceitas por todos. Alguns desacreditaram a proposta de uma eletricidade animal (KIPNIS, 1987). Por exemplo, Leopoldo Marc Antoine Caldani (1725-1813), ao se referir ao experimento de Galvani, salientou que a contribuição de sua obra decorria apenas em apresentar novas técnicas ou modificações das antigas para o estímulo de contrações animais. Para ele, a obra não continha novidade teórica e empregar as novas técnicas propostas culminaria em um retorno a argumentos já derrubados décadas atrás (BERNARDI, 2000).

Apoiando a perspectiva de Antoine Caldani, seu sobrinho, Floriano Caldani (1772-1836), reconstituiu os experimentos propostos por Galvani e concluiu que apesar de inquestionável a existência de uma eletricidade em corpos vivos, a mesma não teria função fisiológica, sendo apenas um estímulo que saiu da irritabilidade da fibra muscular provocada durante o experimento (BERNARDI, 2000)

Análises dos experimentos com rãs, naquele contexto, dividiam-se em dois grupos. O grupo dos fisiologistas, que consideravam a rã em si como um objeto de estudos e o grupo dos físicos que visualizavam as rãs apenas como instrumentos que tinham por função medir e detectar efeitos elétricos (KIPNIS, 1987; BERNARDI, 2000). Volta trabalhava nessa segunda perspectiva e, olhando para a rã como um

instrumento de medida, em conjunto com o também italiano Bassiano Carminati (1750-1830), desenvolveu um programa de pesquisa que envolveu a comparação dos instrumentos rã e garrafa de Leiden. Os estudos de Volta apontaram para uma nova interpretação dos experimentos apresentados por Galvani, a proposta era que a ação elétrica era gerada a partir do contato dos metais (BERNARDI, 2000; KRAGHH, 2000).

Essa interpretação de Volta foi considerada adequada em diferentes fóruns. Na *Royal Society,* por exemplo, a qual Volta era um membro e lograva de reconhecimento, os trabalhos de Galvani foram apresentados em 1793 a partir da interpretação desenvolvida por Volta (VOLTA, 1793). Esse fato contribui para a construção de uma visão predominantemente antivitalista[40] naquela academia (CAVAZZA, 2002). A saber, a dinâmica de comunicação do conhecimento científico produzido entre pares influentes desempenhou papel de destaque no período estudado (JARDIM, GUERRA, 2017b; BROCKLISS, 2013; CHANG, 2015).

No entanto, é importante ressaltar que, as análises de Volta não convenceram a todos (SCHIFFER, GUERRA, 2015). Como exemplos, podemos citar o reconhecido fisiologista Lazzaro Spallanzani (1729-1799) de Pavia, na Itália, que ao tomar conhecimento dos trabalhos de Galvani largou a perspectiva halleriana e adotou aquelas apresentadas pelo anatomista italiano. Além de Spallanzani, diversos outros cientistas associados às cátedras de medicina, física e matemática da Universidade de Pavia se posicionaram a favor de Galvani, ou melhor, do galvanismo, em contrapartida ao que fora proposto por Volta (BERNARDI, 2000).

2.2.9 O Contexto de Volta em Como e Pavia

Alessandro Volta (1745-1827), nascido em Como, na Itália, era membro de uma família conservadora, advinda da aristocracia Lombarda. Seu pai passou muitos anos junto à comunidade jesuíta e morrera em 1756, enquanto Volta ainda era criança. Após o falecimento de seu pai, Volta, duas irmãs e sua mãe passaram a viver com seu tio. Aos quinze anos, Volta começa a estudar, como interno, em um colégio jesuíta em Como e no ano seguinte, vai para um seminário na mesma cidade. Em contrapartida, nos anos anteriores, Volta fora educado em casa, algo comum naquele período, pelo seu tio, que havia estudado direito e medicina. Além disso, ele provavelmente recebeu instrução educacional de algum dos sacerdotes que eram próximos de sua família (PANCALDI, 2005). Nesse período Volta se aproximou de

[40] Segundo Mayr (MAYR, 2005), o Vitalismo é a Crença, na existência de uma força oculta e invisível nos organismos vivos, responsável pelas manifestações da vida em todo organismo vivo.

conteúdos científicos e literários (PANCALDI, 2005; BERZOLARI, 2000). Apesar de aparentemente não ter recebido boa formação em matemática e física, que não recebia muita ênfase nas escolas por onde passou, o jovem Volta, por seu interesse, estudou trabalhos científicos, principalmente voltados à eletricidade, como os desenvolvidos por Musschenbroek e Nollet (BERZOLARI, 2000).

Em 1765, Volta começou a utilizar o laboratório que Giulio Cessare Gattoni (1741-1809) construiu em sua própria casa. O laboratório contava com ampla gama de equipamentos para uso em pesquisa nas áreas de física, história natural, meteorologia, artes, além de possuir um bom acervo de livros (BERZOLARI, 2000). Gattoni foi o primeiro a construir um pára-raios em Como, em 1768 (PANCALDI,2005).

Volta começou a se dedicar mais aos estudos de eletricidade em 1769, quando publicou uma carta a Giambatista Beccaria (1716-1781), na qual defendeu que fenômenos elétricos poderiam ser explicados a partir de forças de atração, baseando-se assim numa concepção newtoniana (PANCALDI, 2005). Importante destacar que um ano antes dessa carta, Beccaria advertira a Volta que ele já havia publicado um tratado acerca dessa concepção, mas que ao longo de seus estudos abandonara a ideia. Três anos após a publicação de Volta, Beccaria publicou um tratado, no qual apresentou argumentos para, refutar diversas interpretações newtonianas apresentadas por Volta acerca da eletricidade (PANCALDI, 2005).

O engenheiro e matemático italiano, Paolo Frisi (1728-1784), cuja grande rede de comunicação com a nobreza lombarda lhe garantia recursos e reconhecimento científico, em 1771, aconselhou Volta a empenhar maiores esforços no trabalho com instrumentos e não se embrenhar tão profundamente nas controvérsias teóricas. Para contribuir com esse intuito, ele forneceu a Volta uma tradução para o francês do trabalho de Priestley sobre a história da eletricidade (PANCALDI, 2005). Apesar dessa advertência, Volta não abandonou por completo as discussões acerca de suas teorias para as propriedades elétricas baseadas na atração. No entanto, Volta se dedicou mais aos instrumentos elétricos e, a partir do trabalho de Priestley tomou conhecimento de aparatos que desconhecia e de questões teóricas relacionadas à eletricidade. A partir da década de 1770, Volta intensificou sua participação na discussão do tema, mantendo encontros com iniciantes, professores de ciências e construtores de instrumentos das escolas de Brera, em Milão (PANCALDI, 2005).

As discussões desenvolvidas por Volta e seus trabalhos de instrumentação, principalmente por desenvolver instrumentos precisos para medir grandezas relacionadas à eletricidade, conquistaram grande reconhecimento e sua rede de comunicação se expandiu bastante (PANCALDI, 2005). Esses fatores o levaram ao

seu primeiro cargo público, em 1774, por indicação de Carlo Firmian (1718-1782), ministro da cidade italiana de Como, que agiu como uma espécie de patrono de Volta nos anos que se seguiram (PANCALDI, 2005; BERZOLARI, 2000). Em 1778, se tornou professor da Universidade de Pavia e ocupou a cadeira de física e física experimental, onde continuou a desenvolver seus trabalhos em instrumentação e eletricidade (PANCALDI, 2005; BERZOLARI, 2000).

Após se tornar professor da Universidade de Pavia, Volta, impulsionado por razões científicas, viajou para locais na Europa, como Savoia, Suíça, Alemanha, Bélgica, Holanda, Inglaterra, Alemanha e Áustria. Pretendia com as viagens conhecer novos instrumentos científicos e se aproximar de outros cientistas (BERZOLARI, 2000). A utilização e difusão de instrumentos científicos, e, em especial, aqueles relacionados à eletricidade, estavam muito presentes na Europa no século XVIII. Em 1785, Volta foi nomeado Reitor da Universidade de Pavia.

2.2.10 Alessandro Volta e a Eletricidade Animal

Após as publicações de Luigi Galvani acerca dos experimentos com rãs, no início da década de 1790, Volta desenvolveu trabalhos a partir de réplicas desses experimentos e seguiu as conclusões do anatomista italiano ao considerar que os corpos das rãs produziam um tipo especial de eletricidade [16,45,,67]. No entanto, ao longo da condução dos experimentos com rãs direcionou seu foco para os metais usados no arco condutor, uma vez que o efeito era mais intenso quando os metais a formar o arco eram de materiais diferentes (MARTINS, 1999; WALKER, 1937; KRAGH, 2000). Em maio de 1793, Volta escreveu uma carta para o italiano Tiberius Cavallo (1749-1809), membro da Royal Society de Londres, na qual afirmou que os efeitos elétricos observados por Galvani não poderiam ter outra causa senão a eletricidade ordinária e que nervos e tecidos teriam apenas um papel passivo de conduzi-la (KIPNIS, 1987; MAURO, 1969).

Confrontar essas conclusões com os experimentos realizados gerava um problema, pois, naquele contexto, não havia nenhum aparato (além dos tecidos vivos) capaz de medir pequenas intensidades de efeitos elétricos. Dessa forma, efeitos provenientes das rãs ou de um par metálico isolado dificilmente seriam detectados. Volta se dedicou a esse problema e, em 1796, desenvolveu um condensador (*condensatore*) sensível aos efeitos de um par metálico (HEILBRON, 1979; MARTINS, 1999; MERTENS, 1998). O instrumento consistia em um eletróforo com um isolante fino entre suas duas placas (armaduras). Armadura inferior deveria ser aterrada

através do toque de uma pessoa não isolada e, a armadura superior era conectada ao que se queria medir, uma fonte de baixa tensão, como a produzida pelos dois metais diferentes. Dessa forma, separando-se as armaduras, a armadura superior era capaz gerar efeitos passíveis de serem visualizados em um eletrômetro (MARTINS, 1999).

Com esse instrumento, Volta detectou efeitos elétricos provenientes de pares prata-zinco conectados por um condutor úmido. Ele atribuiu esse efeito elétrico à diferença entre as atrações elétricas produzidas pelos metais (KIPNIS, 1987; MERTENS, 1988). A partir dessas informações, alguns historiadores (KRAGH, 2000; MERTENS, 1998) inferem que Volta acreditou que a discussão acerca da natureza da "eletricidade animal" chegara ao fim e que suas hipóteses haviam sido comprovadas. Todavia, apesar da reprodução do experimento ser algo simples, e que não exigia grandes perícias técnicas ou conhecimento teórico, replicar alguns dos efeitos relatados por Volta em suas experiências não foi algo simples e muitos pesquisadores não conseguiram obter os mesmos resultados divulgados por ele (MARTINS, 1999; CHANG, 2015).

Com vistas a melhorar as observações pretendidas, Volta se utilizou de vários pares de prata e zinco conectados em série, o que, a princípio, não o levou a maiores efeitos do que os obtidos com um único par. Apesar do aparente insucesso, ele não abandou a ideia de empilhar pares de prata e zinco e, assim, trabalhou em várias possibilidades de empilhamento. Após reformular seus estudos e tomar conhecimento de outros trabalhos sobre instrumentos científicos, tais como os do engenheiro inglês Willian Nicholson (1753-1815), Volta construiu um arranjo que consistia de placas metálicas e condutores não-metálicos de tal forma a unificar o efeito individual de cada par zinco-prata (PANCALDI, 2005). Nessa perspectiva, ele desenvolveu outro arranjo baseado em copos de água salgada, interligados por condutores metálicos (fig. 5), que, segundo ele, era capaz de gerar efeitos elétricos, tais como a garrafa de Leiden, porém contínuos (VOLTA, 1800).

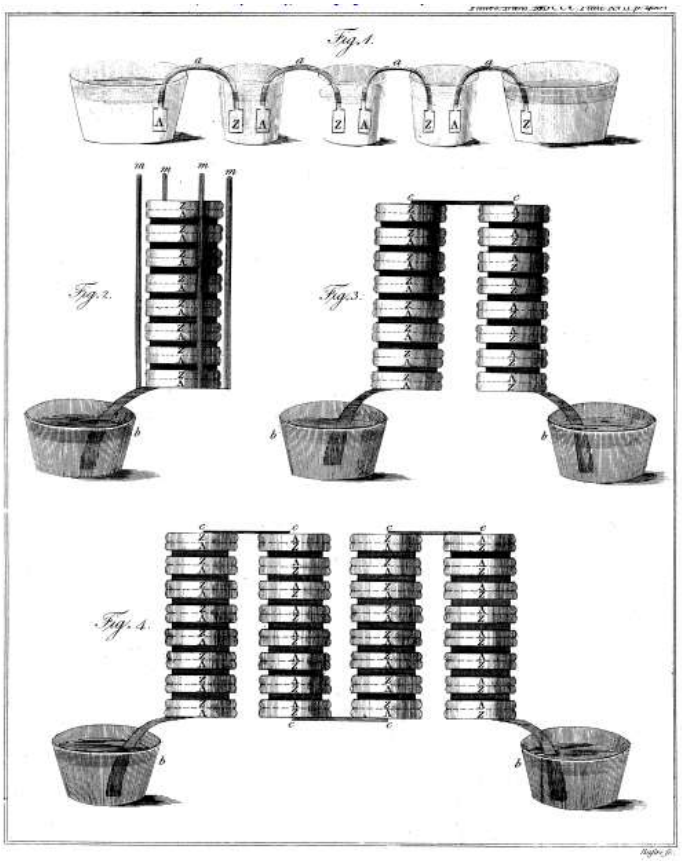


Figura 5 - Na parte superior, recipientes com água salgada são conectados por arcos feitos por uma metade de prata e outra de zinco. Em seguida, a versão em coluna da pilha, discos combinados de zinco e prata conectados a outros discos através de papel umidificado. Carta de Volta em 1800 (VOLTA, 1800).

2.2.11 A Pilha de Volta e sua Repercussão: Terminando uma Controvérsia?

Importante destacar, que Volta escolheu a *Royal Society* para divulgar sua pilha [76]. Essa escolha é compreensível na busca por reconhecimento e difusão de pesquisas acadêmicas naquele período. Naquele contexto, as sociedades e academias tinham um papel crucial no estabelecimento e divulgação do conhecimento científico, e Londres constituía um excelente ponto de partida (BROCKLISS, 2013; McCLELLAN III, 2003; JARDIM, GUERRA, 2017b). O prestígio dessas academias teve impacto também nos formatos de divulgação do conhecimento, principalmente, no diz respeito às línguas de comunicação, das quais merecem destaque o inglês e o francês, sendo este último o idioma escolhido por Volta para seu anúncio na *Royal Society* (BROCKLISS, 2013; JARDIM, GUERRA, 2017b; PANCALDI, 2005).

Em 20 de março de 1800, Volta enviou para o então presidente da *Royal Society*, Joseph Banks (1743-1820), uma carta em francês[41] que seria a primeira das

[41] Uma tradução desta carta, para o português pode ser encontrada em (MAGNAGHI, ASSIS, 2008)

duas partes sobre seus estudos iniciais com a bateria, que viria a ser conhecida como pilha de Volta. A segunda carta foi enviada no dia 1º de abril de 1800. Enquanto Banks aguardava a segunda carta (que só chegou no dia 3 de Junho) para comunicar oficialmente as investigações de Volta para a *Royal Society*, ele apresentou os resultados contidos na primeira carta para um pequeno grupo de associados. Dentre esses associados, se encontrava Anthony Carlisle (1768-1840), cirurgião do hospital de Westminster que acompanhado de William Nicholson (1753-1815) começou a conduzir experimentos utilizando o aparato que reproduziram. Wiiliam Nichlson desenvolvia estudos em química e eletricidade além de ser editor do *Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts*. A partir desses experimentos, produzidos antes da publicação dos trabalhos de Volta, Carlisle e Nicholson observaram um efeito não obtido por Volta, a decomposição da água (PANCALDI, 2005;CHANG, 2015).

Apesar de não publicarem seus resultados oficialmente, Carlisle e Nicholson realizaram demonstrações que fizeram com que Thomas Garnett (1766–1802), professor de química, tomasse conhecimento e acabasse por apresentar, em 28 de maio desse mesmo ano (1800), o experimento da eletrólise[42] da água à *Royal Instituiton.* A apresentação de Garnett chamou atenção de um jornal de circulação popular, *Morning Chronicles,* que publicou de maneira breve no dia 30 de maio o experimento de Garnett e uma sucinta descrição do instrumental utilizado para produzir a eletrólise, incluindo a descrição da pilha (PANCALDI, 2005; CHANG, 2015). O Morning Chronicles ofereceu uma breve descrição da pilha (87 palavras foram usadas para descrever a construção da pilha), porém como a estrutura desse artefato era muito simples de ser reproduzida, a mesma foi amplamente replicada e divulgada meses antes da publicação oficial da *Royal Society* em setembro de 1800 (CHANG, 2015).

A pilha de Volta foi largamente acolhida por muitos cientistas e leigos, que se apropriaram do aparato, sem necessariamente discutirem a causa pela qual era gerado o efeito elétrico (CHANG, 2015). A figura 6, indica os principais locais e épocas de divulgação do aparato a partir de Como e Londres.

[42] Eletrólise se refere à análise ou decomposição química por meio de corrente elétrica.

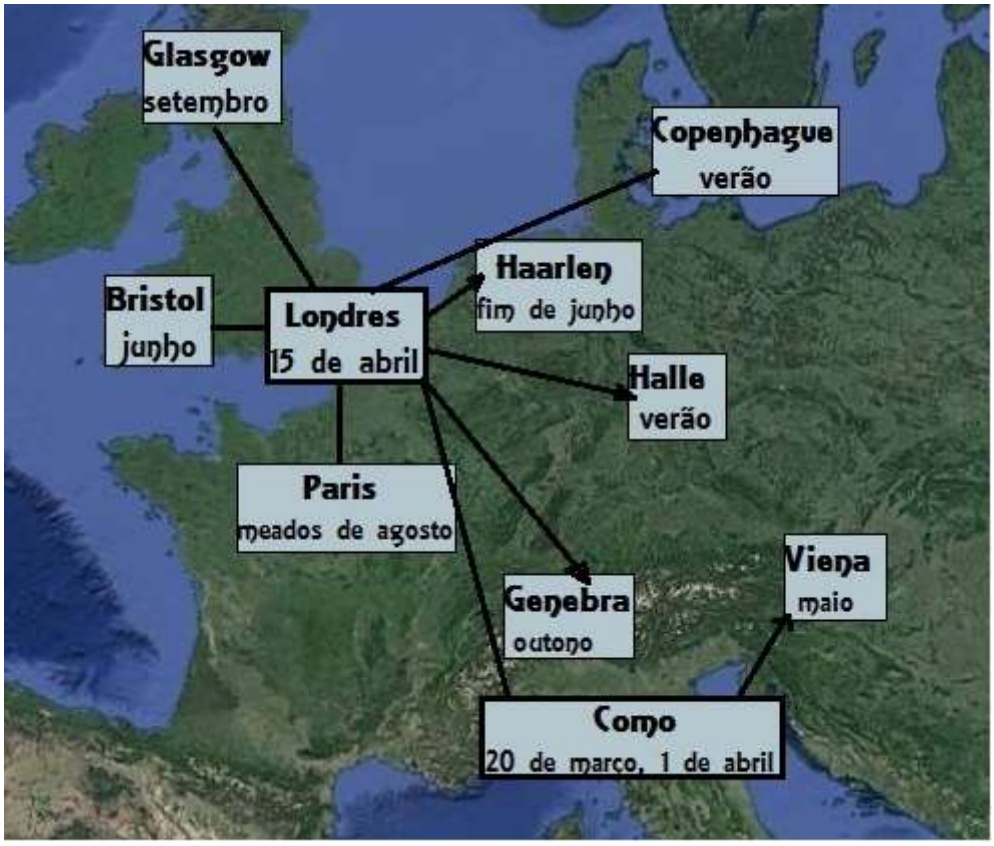


Figura 6 Fluxo das principais comunicações que anunciavam a bateria voltaica, de 20 de março ao outono de 1800 (ilustração feita com base no mapa apresentado por Pancaldi (PANCALDI, 2005, p. 213].

No artigo de 1800, Volta comparou a pilha com os *torpedos* e enguias elétricas, concluindo que o aparato possuía as mesmas propriedades da Garrafa de Leiden, apesar de não ser capaz de produzir grandes faíscas ou efeitos eletrostáticos de atração e repulsão. Volta ainda defendeu que seu aparato resolvia o embate em torno à eletricidade animal (MARTINS, 1999). Todavia, a pilha não colocou um ponto final na controvérsia, o que não impediu que a mesma continuasse a se difundir rapidamente pela Europa.

A difusão da pilha voltaica foi acompanhada de dúvidas a respeito de seu funcionamento. Por exemplo, a eletricidade gerada por atrito, apresentava efeitos de repulsão e atração, efeito que Volta sem sucesso se empenhou em obter com a pilha. Esse fato gerou dúvidas a respeito da correlação entre a natureza dos efeitos advindos dos estudos galvânicos, dos estudos de Volta e da eletricidade estática (MARTINS, 1999). O belga Jean-Baptiste Van Mons (1765-1842), farmacêutico de formação, que desenvolvia pesquisas em química e se comunicava com grandes nomes da ciência naquele contexto tais como Antoine Lavoisier (1743-1794), Antoine François de Fourcroy (1755-1809) e Monge Hachette (1765-1842), em 1801, escreveu uma carta a Volta. Nessa carta, descreveu as impressões que obtivera de Fourcroy

acerca da pilha, ou seja, que o fluido gerado pelo aparato, apesar de possuir algumas semelhanças, seria diferente da eletricidade ordinária, pois a pilha não produzia efeitos visíveis sobre eletroscópios nem efeitos químicos, como as pilhas galvânicas (MARTINS, 1999; SUTTON, 1981).

Diversos fatores passam, então, a compor a difusão do aparato. Publicações mais acessíveis que a *Philosophical Transactions*, como a *Morning Chronicles* ou o *Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts,* editado por Nicholson, desempenharam um papel importante nessa difusão. Outra publicação de Volta, de 1801, contribuiu com a difusão. Nessa publicação, nela, Volta apresentou uma versão da pilha contida em caixas que, segundo ele, seria voltada para filósofos naturais viajantes (VOLTA, 1800) .Os contatos e a rede de influência de Volta também tiveram importante impacto na divulgação e difusão de seu aparato. Em 6 de novembro de 1801, em Paris, Ferdinando Marescalchi (1754-1816), representante da República Cisalpina na capital francesa, apresentou Volta a Napoleão Bonaparte (1769-1821). Napoleão, que sempre mostrou interesse pela ciência, participou das apresentações científicas realizadas por Volta (PANCALDI, 2005; CHANG, 2015).

Naquele contexto, Napoleão buscava ampliar seus poderes pela Europa e reconheceu a representatividade política de Volta, que era italiano e reconhecido em grande parte da Europa (PANCALDI, 2005), como uma possibilidade interessante para sua legitimidade em território italiano. Em 9 de novembro de 1801, Napoleão recompensou Volta com uma medalha de ouro pela construção da pilha e sua contribuição acerca da controvérsia sobre o galvanismo. A partir daí, o trabalho de Alessandro Volta se tornou ainda mais conhecido e Napoleão utilizou a figura de Volta com propósitos políticos (PANCALDI, 2005).

Vale ressaltar que o interesse de Napoleão pela ciência, exerceu influência direta sobre o que se pesquisou na França e sobre os desdobramentos resultantes do advento da pilha voltaica. A proximidade com a ciência fez com que Napoleão atribuísse funções políticas e financiamentos para diversos cientistas. Se por um lado, alguns cientistas passaram a ter maiores recursos para conduzir suas pesquisas, outros começaram a dispor de menos tempo para se dedicar a tal e as preferências externadas por Napoleão vinham acompanhadas de vantagens, como no caso dos laplacianos que passam a controlar os principais canais de publicação científica da época, ditando a superioridade do viés defendido pelos mesmos. A intervenção de Napoleão, durante os anos em que esteve no poder, acaba pendendo a balança da controvérsia, na França, para uma visão mais “física” dos efeitos observados a partir da pilha de Volta (SUTTON, 1981). Um consenso sobre a discussão acerca das

causas dos efeitos produzidos pela pilha de Volta não foi alcançado nas primeiras décadas de divulgação do aparato. As explicações para os efeitos da pilha recaiam sobre duas visões principais. A primeira teve como adeptos os que defendiam ser a eletricidade gerada pelo contato entre diferentes metais, Volta se enquadrava nesse grupo, já a segunda, remetia a explicações químicas (PANCALDI, 2005; KRAGH, 2000; SUTTON, 1981; KIPNIS, 2003).

2.2.12 Considerações Finais

Esse trabalho teve por objetivo discutir as práticas dos cientistas, em especial as extra-laboratoriais, inerentes ao processo de construção da pilha de Volta, que reconhecemos como de grande potencial para se trabalhar questões sobre a ciência em sala de aula.

O episódio da construção da pilha de Volta permite tecer considerações relevantes sobre a complexidade científica, destacando questões que nos permitem discutir com os estudantes, relações entre ciência, cultura e sociedade. Trabalhar com dissecação de animais e com máquinas elétricas era usual na Europa no século XVIII. Além disso, a manipulação da eletricidade se tornou um assunto muito popular a partir de meados daquele século, podendo ser encontrada em demonstrações de entretenimento, palestras públicas, publicações não acadêmicas e tratamentos medicinais ministrados de forma amadora ou especializada. Instrumentos como as Garrafas de Leiden, geradores elétricos e eletroscópios foram se tornando cada vez mais acessíveis a um público cada vez mais diverso. Nesse contexto, a construção e difusão desse artefato ocorreu dentro de controvérsias em torno às explicações dos estudos de eletricidade que se arrastaram por décadas antes e após a construção do mesmo. Estudiosos que se dedicavam as mais diferentes áreas se debruçaram sobre a necessidade de explicar diferentes efeitos produzidos pela eletricidade, construindo, assim, um cenário de grande diversidade de ideias. Trazer essas questões para a sala de aula permite pontuar que estudos sobre a natureza da eletricidade, e, no caso, do fluido elétrico, não foram desenvolvidos exclusivamente pautados em experimentos realizados para esse fim e que os trabalhos desenvolvidos envolveram cientistas de diferentes áreas.

Com as discussões em torno ao desenvolvimento e divulgação da pilha de Volta, podemos ressaltar nas aulas de ciências, que acerca do panorama que compõe as discussões em torno a fisiologia animal e sua relação com a eletricidade, a Itália se apresentou como um dos grandes centros científicos, o que permitia aos cientistas

italianos conviver de forma mais intensa com recepção e transmissão do conhecimento produzido naquele contexto. Dessa forma, com esse episódio, podemos destacar com os estudantes que estar em locais e instituições centrais e ter contato com pessoas influentes exerce relação direta com a rapidez das pesquisas desenvolvidas por determinado grupo de cientistas e com a qualidade dos trabalhos desenvolvidos, uma vez que ter participação ativa na rede de produção científica significa conhecer os problemas mais pertinentes e os caminhos já trilhados para respondê-los. Essa discussão pode, assim, permitir trazer questões contemporâneas sobre a ciência, relacionadas, por exemplo, ao impacto que tem o corte ou incentivo de financiamentos em pesquisas científicas para o desenvolvimento dos trabalhos dos cientistas. Nesse ponto, essas discussões podem ser pontuadas com a importância dos financiamentos dados por Napoleão à pesquisa científica naquele contexto.

No desenvolvimento de estudos de eletricidade e de controvérsias em torno à natureza do considerado fluido elétrico, muitos instrumentos e técnicas foram desenvolvidas, ora para responder a alguma dificuldade prática como a necessidade de dosar a quantidade de eletricidade empenhada em um experimento ou tratamento médico, ora suscitando novos questionamentos e possibilidades de investigação, como o caso do eletróforo e da Garrafa de Leiden. Possíveis relações lineares de causa e efeito entre experimento, técnica e teoria se mostram turvas e impossíveis de caber dentro de uma regra simplista e o caso da pilha de Volta é exemplar nesse sentido. Os aparatos e as técnicas desenvolvidas na época se relacionaram diretamente com as pesquisas desenvolvidas naquele contexto e dialogaram com as teorias existentes, apontando novas perspectivas de investigação.

O estudo de questões extra-laboratoriais em torno ao desenvolvimento da pilha de Volta mostra que a experimentação não se impõe como algo invocado apenas para decidir uma disputa, mas como parte integrante da dinâmica de construção do conhecimento científico, como algo que guia e é guiado pela teoria. A construção de um novo aparato ou aplicação de novas técnicas nos casos analisados muito mais contribuíram para intensificar as controvérsias e gerar mais perguntas do que apontar respostas inequívocas, o que é reforçado pelo fato da construção da pilha de Volta não encerrar a controvérsia sobre a eletricidade animal, apesar de ser esse o objetivo de Volta com a construção do artefato.

Outro fator preponderante em nossa análise recai sobre a divulgação do conhecimento debatido. Apesar de terem a *Philosophical Transactions* da *Royal Society* e a língua francesa sido escolhidas como vetor para a divulgação inicial do aparato, publicações populares como a do *Morning Chronicles* de Londres ou

publicações acadêmicas mais acessíveis e menos prestigiadas como a do *Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts* contribuíram para uma prematura e intensa difusão da pilha de Volta instigando não apenas pesquisas acadêmicas, como investigações populares (CHANG, 2015). Em relação ao ensino de ciências, podemos destacar que o acesso ao conhecimento científico por meio das publicações, e os editores dos periódicos foram fundamentais na difusão do aparato e subsequentes nas pesquisas daquele contexto. Todavia, apesar das diferenças e particularidades de cada período, a acessibilidade ao conhecimento, nos dias atuais, continua a ser um fator relevante para o desenvolvimento acadêmico, visto que, ter disponibilizado artigos acadêmicos cujos direitos são detidos por diversos periódicos se atrela diretamente a um custo financeiro sobre o qual nem todos os pesquisadores/instituições podem arcar.

Outro fator importante refere-se a replicabilidade de um experimento. A não replicabilidade suscita questões acerca da validade e estabelecimento de terminado conhecimento, colocando-o, muitas vezes, em dúvida. Uma descrição não detalhada de um experimento ou artefato como a realizada por Ewald Jürgen Von Kleist para a Garrafa de Leiden pode inviabilizar sua reprodução e no caso citado postergou a difusão da mesma, acabando por problematizar a autoria de von Kleist (JARDIM, GUERRA, 2017b). No caso da pilha de Volta, apesar da sucinta descrição feita pelo *Morning Chronicles*, a estrutura bastante simples do aparato possibilitou a reprodução em larga escala do mesmo. Era possível, nesse caso, construir o aparato de diversas maneiras, empregando-se materiais e configurações distintas daquelas descritas no artigo, o que gerou diversas variações da pilha e possibilitou que a mesma fosse usada em diferentes contextos (CHANG, 2015). O papel da replicabilidade encontra seu lugar nas discussões relacionadas a validação do conhecimento científico produzido nos mais diferentes contextos. Experimentos como os que conhecemos como *Big Science* contam com grande rede de colaboradores e estruturas admiráveis. Experimentos conduzidos nos grandes aceleradores de partículas ou nas empreitadas desenvolvidas no LIGO para detecção de ondas gravitacionais tem seu poder de replicabilidade muito restrito, ou muitas vezes, são impossíveis de serem reproduzidos. A realidade trazida por casos como esses não tira valor da ciência ali produzida, mas traça parâmetros de validação e análise que devem se adequar ao contexto dinâmico da ciência e, portanto, importantes para tecer discussões sobre as ciências.

Os elementos destacados no presente trabalho não esgotam os fatores que constituem a complexidade por detrás da construção do conhecimento científico

presente no desenvolvimento da pilha de Volta. Todavia, acreditamos que a perspectiva de análise a partir das práticas científicas laboratoriais e extra-laboratorias permite levar para a sala de aula discussões sobre a ciência sem apresentações de estruturas que pretendem construir algoritmos gerais sobre como a ciência se constrói e ao mesmo tempo nos afasta de um olhar relativista ao nos aproximar da dinâmica da construção do conhecimento científico nos seus diferentes aspectos.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e a CAPES pelo apoio à pesquisa realizada.

2.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA PESQUISA TEÓRICA

Procuramos enfocar nas narrativas históricas, aspectos da dinâmica de construção do conhecimento na Europa nos séculos XVIII e XIX, com ênfase nas práticas científicas de divulgação e difusão do conhecimento científico naquele contexto. Essas narrativas serviram de base para as aulas desenvolvidas ao longo da pesquisa empírica, seja durante as discussões históricas, seja ao longo das atividades em sala de aula em que debatemos a divulgação e difusão do conhecimento científico contemporâneo.

Nas seções dos artigos 1 e 2 respectivamente e intituladas “A “República das Letras” - divulgando e produzindo ciência na Europa do século XVIII”, “Outras formas de divulgação” e “A pilha de Volta e sua repercussão: terminando uma controvérsia?” buscamos enfatizar como a produção de conhecimento se dava entre pares, seja de forma privada, a partir da troca de cartas não lidas em espaços públicos, seja a partir de publicações que alcançavam maior público. Ainda nessa perspectiva, ressaltamos o papel de destaque de academias e de outras espaços de produção, como as Universidades e aulas particulares, dos países tidos como centrais na produção de conhecimento à época. Dessa forma, foi possível discutirmos a participação de personagens, como Lúcia Galvani, no desenvolvimento dos artefatos estudados que, geralmente, não recebem destaque na História das Ciências e nas discussões de sala de aula. Dialogando com as bases teóricas que guiaram os passos iniciais da presente tese e no intuito de discutir o uso de experimentos históricos no ensino a partir da vertente historiográfica da HCC construímos as seções dos artidos 1 e 2 intituladas “A caminho da Garrafa de Leiden”, “Eletricidade medicinal no século XVIII:

instrumentando o saber e saber instrumentado", "Bolonha e o contexto de Galvani" e "O contexto de Volta em Como e Pavia". As discussões trazidas com essas seções tiveram por objetivo, dentre outros, destacar como o caráter experimental era algo presente em diferentes espaços de produção e comunicação das ciências naquela época, como as aulas particulares e as aulas experimentais que se tornavam cada vez mais populares nas Universidades.

Nas narrativas históricas, a abordagem da HCC nos permitiu destacar questões geográficas relativas à produção científica evidenciadas, por exemplo, pelo fato das formações científicas de Kleist e Musschenbroek estarem marcadas por suas trajetórias em Leiden, na Inglaterra e na Alemanha. Nesse caminho, eles absorveram a tradição experimental desses locais naquele tempo, estando presente, assim, no desenvolvimento de muitos de seus trabalhos. Esses autores aprenderam estudos de eletricidade da época, como a Regra de Dufay e a ideia de que a eletricidade é fluido (de um ou de dois tipos), que foram importantes tanto para a consideração de que era possível armazenar eletricidade, quanto para os caminhos procurados para produzir um artefato capaz de armazená-la. Dessa forma, o nome atribuído ao artefato garrafa de Leiden e os procedimentos seguidos para garantir o isolamento da mesma durante o processo de carregamento relacionam-se ao corpo de conhecimento de eletricidade à época que Kleist e Musschenbroek possuíam. Isso não significa contudo que esses fatores foram determinantes. A construção, manuseio e experimentos advindos com a garrafa trouxeram novas questões, como a do circuito elétrico, fundamentais para o desenvolvimento da eletricidade nos séculos XVIII e XIX (SILVA, HEERING, 2018).

Ao discutirmos esses aspectos não buscamos desmerecer personagens que tradicionalmente emergem no ensino de ciências, tais como Galvani e Volta. Nossa intenção era discutir que esses personagens, assim como muitas outras pessoas daquele contexto, estavam imersos numa cultura e seus trabalhos dialogam diretamente e de forma ininterrupta com ela. Fatores como os assuntos de interesse de uma comunidade, tais como no caso da eletricidade medicinal, ou questões políticas, como aquelas referentes aos interesses comandados por Napoleão, apesar de não serem estritamente assertivas quanto aos caminhos que a ciência seguiu, certamente são aspectos que constituem o fazer ciência.

Entendemos que discussões sobre a ciência não devem se restringir ao caráter sociológico de sua produção. Assim, destacamos ao longo dos artigos e, em especial, nas seções "A pilha de Volta e sua repercussão: terminando uma controvérsia?" e "Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa (partes 1 e 2)" caminhos

teóricos e experimentais que guiaram discussões acerca do conhecimento científico produzido, enfatizando teorias, como a dos fluidos elétricos e animais, explicações físicas e químicas, como as que embasavam os fenômenos observados na manipulação da pilha de Volta. Retomando as questões intrínsecas ao contexto da época e a coletividade da ciência, tentamos deixar claro que a primazia de um experimento ou teoria, muitas vezes creditada a um único nome em narrativas históricas, se dilui em diversos personagens e acontecimentos. Dessa forma, o título da seção “Afinal, de quem é a garrafa? Colocando datas sobre a mesa (partes 1 e 2)” buscou ironizar a procura por datas e nomes que geralmente ocorrem na leitura de narrativas histórica. Dessa forma, buscamos nessa seção problematizar a autoria, focando nas práticas científicas desenvolvidas naquele tempo e espaço e não na análise das obras daqueles filósofos naturais.

Em resumo, buscamos evidenciar como a perspectiva da HCC guiou nosso olhar na construção das narrativas para práticas cotidianas e hábitos indissociáveis do fazer ciência em torno ao desenvolvimento da Pilha de Volta e da garrafa de Leiden. Esse olhar como já destacamos guiou o trabalho realizado em sala de aula.

3 - METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo discutirá a escolha metodológica que guiou a pesquisa empírica, o viés de pesquisa qualitativo e uma aproximação à metodologia da pesquisa-ação em acordo com nossa postura em relação à pesquisa realizada em sala de aula. Situaremos a pertinência da Análise Textual Discursiva (ATD) que auxiliou na apresentação e análise dos dados. Serão traçados, ainda, um breve panorama sobre o período de pesquisa realizado em Flensburg na Alemanha, que nos permitiu uma maior imersão nas questões encontradas na literatura sobre a replicação de experimentos históricos e a replicação da Garrafa de Leiden, aspectos voltados ao ensino e que conversam diretamente com a abordagem aqui desenvolvida.

3.1 Pesquisa Qualitativa

Para desenvolvermos essa pesquisa, escolhemos a pesquisa qualitativa. O principal instrumento de coleta de dados em uma investigação conduzida em um viés prioritariamente qualitativo é o próprio pesquisador que deve estar imerso no ambiente que será estudado, de forma a não se dissociar do contexto no qual ocorrerá a coleta de dados para a pesquisa (BOGDAN, BIKLEN, 1994, p. 47). Os métodos empregados, quando assumida uma postura qualitativa, tomam a interação entre pesquisador e "objeto de pesquisa" indispensáveis ao processo de produção do conhecimento gerado (BOGDAN, BIKLEN, 1994; FLICK, 2009). As impressões, reflexões e quaisquer tipos de percepção por parte do pesquisador tornam-se, também, dados a serem analisados (FLICK, 2009, p.22).

Em contrapartida à representação numérica, característica da pesquisa quantitativa, os dados qualitativos têm caráter descritivo e encontram seu lugar, prioritariamente, nas palavras e imagens (BOGDAN, BIKLEN, 1994, p. 48). Os textos construídos, relativos a impressões, descrições ou transcrições, representam os dados essenciais e são a base para as interpretações, constituindo, assim, o principal objeto para a comunicação e apresentação do que se busca analisar (FLICK, 2009, p.44). Nessa perspectiva, nada é considerado como trivial, tudo pode vir a auxiliar no esclarecer do que se deseja estudar. Entretanto, a descrição realizada deve sempre valorizar o processo vivenciado pelo investigador, recebendo maior ênfase do que simplesmente os resultados finais (BOGDAN, BIKLEN, 1994, p.49).

É importante observar que coletar dados em um viés qualitativo não tem o objetivo de confirmar ou refutar hipóteses fechadas. O desenvolvimento da pesquisa se inicia de forma mais aberta que em uma pesquisa quantitativa e o processo em si vai especificando e apontando as abstrações que serão construídas (BOGDAN, BIKLEN, 1994, FLICK, 2009). O investigador deve estar, então, atento à perspectiva de envolvimento dos sujeitos, questionando-os e interpretando suas experiências no meio social em que vivem (BOGDAN, BIKLEN, 1994, p. 51).

3. 2 – Uma aproximação a Pesquisa-ação

Dentro da perspectiva de investigação qualitativa, nos apropriaremos da metodologia da pesquisa-ação (TRIPP, 2005; THIOLLENT, 2011; TOLEDO, JACOBI, 2013). Entretanto, o fato da pesquisa ter sido desenvolvida num espaço educacional, não utilizamos a metodologia da pesquisa-ação em sua íntegra, optamos por uma aproximação de suas características metodológicas, que acreditamos terem sido capazes de contribuir para o cumprimento dos objetivos delineados para o presente trabalho. Ao apresentar alguns dos principais aspectos da Pesquisa-ação, discutiremos o porquê da escolha realizada e quais as diferenças entre essa metodologia e os passos seguidos no presente trabalho. Todavia, esperamos que nossa escolha se torne ainda mais clara na descrição dos resultados da pesquisa empírica desenvolvida.

Para se discutir as características metodológicas da pesquisa-ação, que entram em consonância com nossa proposta, vale ressaltar onde se situa a parte empírica do presente trabalho, dentro do contexto desta tese de doutoramento como um todo. Um dos aspectos que nos levou à escolha dos experimentos históricos como tema de trabalho foi que, é atribuído à experimentação um grande destaque na ciência. Em geral, os resultados dos experimentos são referenciados como argumentos que validam ou refutam teorias e decidem controvérsias proporcionando assim grandes avanços na ciência (GALISON, 1987; JARDIM, GUERRA, 2017a). Os passos iniciais desta pesquisa nos levaram a uma revisão bibliográfica sobre o trabalho com “experimentos históricos” voltado ao ensino de Física, que indicou que a produção acadêmica nessa linha de pesquisa se atém à discussão dos conceitos físicos que se relacionam ao experimento, às dificuldades encontradas na manipulação de aparatos e na coleta e análise de dados. As reflexões construídas sobre a produção existente na área nos levaram a considerar a análise histórica das práticas científicas em torno a produção de experimentos históricos, como fator

passível de potencializar as discussões sobre o processo de construção das ciências no ambiente da sala de aula (JARDIM, GUERRA, 2017a).

As considerações sobre uma análise mais humana da ciência que nos remeteu à análise das práticas científicas, em detrimento à simples apresentação dos resultados últimos de um experimento, não nos pareceram compatíveis com uma metodologia de pesquisa que olhasse para os discursos e práticas dos estudantes, buscando respostas certas ou erradas. Com vistas a ultrapassar análises desse tipo, encontramos na metodologia pautada na pesquisa-ação um caminho, visto que a mesma foca na análise das diferentes formas de ação, que se manifestam no conjunto de relações sociais em que se encontram os sujeitos da pesquisa (THIOLLENT, 2011, p. 15).

Como destacado anteriormente, o desenvolvimento da pesquisa nos levou a autores que defendem a base historiográfica da História Cultural da Ciência (HCC) e com base nesse aporte investigamos caminhos capazes de explorar em salas de aula a complexidade do processo de construção do conhecimento científico (SILVA, 2016; MOURA, GUERRA, 2016). Baseado em um trabalho com fontes primárias e secundárias, construímos duas narrativas históricas, guiadas pelo olhar HCC, a partir das quais investigamos que elementos dessa narrativa tinham potenciais para promover em aulas de física as discussões pretendidas (JARDIM, GUERRA, 2017b; JARDIM, GUERRA, 2018). Assim, a pesquisa-ação desenvolvida buscou unir os resultados dos estudos históricos ao desenvolvimento e compreensão da prática pedagógica desenvolvida, de forma a analisar os dados obtidos a partir da interação do docente, dos pesquisadores e dos estudantes (ENGEL, 2000), procurando, de acordo com os pressupostos da pesquisa-ação, um papel cooperativo entre esses sujeitos (THIOLLENT, 2011).

No desenvolvimento da parte empírica do trabalho, os sujeitos da pesquisa, os estudantes e os docente, participaram da proposta e influenciaram diretamente os caminhos seguidos. O professor que acompanhou o processo é membro do grupo de pesquisa, no qual a pesquisa foi desenvolvida. Após cada encontro, ele e os pesquisadores diretamente envolvidos no estudo se reuniam para discutir o caminho seguido até então e decidir novos rumos da pesquisa. Assim, os momentos destinados às análises de dados e discussão de novos caminhos da proposta não contaram com a participação direta dos estudantes, o que fez com que estes não tivessem uma participação igualitária em relação aos pesquisadores, como pressupõe a pesquisa-ação. O grupo de pesquisa (com o professor como membro do grupo) deteve a palavra final sobre o seguimento da proposta, aula a aula. Essa decisão, que

pressupôs uma adaptação da metodologia da pesquisa-ação, foi tomada devido ao fato da pesquisa ter que ser desenvolvida num tempo limitado, fora o fato de que durante as aulas era necessário trabalhar conteúdos de física da ementa do curso. Entendemos, no início da construção do desenho da pesquisa, que a participação dos estudantes em todas as etapas poderia fazer com que a proposta tomasse direções totalmente imprevisíveis, o que poderia comprometer o cumprimento da mesma no tempo destinado.

O trabalho empírico foi desenvolvido em duas turmas do terceiro ano dos cursos integrados de Segurança do Trabalho e Informática do CEFET-RJ. O tamanho dos grupos, 26 e 38 estudantes, respectivamente, encontra-se em acordo com a faixa de alcance da pesquisa-ação, no que diz respeito ao universo a ser analisado. A metodologia pressupõe um tamanho intermediário para o grupo social analisado, não se dispondo a análises psicológicas individuais ou com tentativas de abarcar contextos macrossociais (THIOLLENT, 2011). Os aspectos sociopolíticos advindos das interações sociais recebem maior destaque nessa metodologia de pesquisa, o que não implica abandonar a realidade psicológica e existencial dos indivíduos que compõem o grupo analisado (THIOLLENT, 2011).

Vale ressaltar que o pesquisador não era o professor regente das turmas, e por se tratar dos primeiros encontros do ano letivo, o pesquisador, que esteve todo tempo em contato com os estudantes, acompanhou as aulas antes do início da pesquisa propriamente dita. Como já ressaltamos o professor regente faz parte do mesmo grupo de pesquisa dos pesquisadores (NIEHCC)[43] e tem experiência acadêmica em temas de História da Ciência e Ensino. É importante destacar, não só o papel do professor regente, mas do grupo na pesquisa que aqui descrevemos, uma vez que a pesquisa-ação supõe, durante todo o processo, um acompanhamento constante das ações desenvolvidas (THIOLLENT, 2011).

Para o encaminhamento da pesquisa, o trabalho do NIEHCC se mostrou fundamental. O NIEHCC é um grupo composto por professores de diferentes formações básicas, que atuam nas mais diferentes realidades de ensino. O grupo realiza reuniões semanais que tem como objetivo o estudo de referenciais comuns ao aporte historiográfico e educacional para as pesquisas desenvolvidas por todos os seus integrantes e discussões dos resultados empíricos das pesquisas desenvolvidas. Assim, todos os passos das pesquisas empíricas desenvolvidas dentro do NIEHCC são levados a discussões sistemáticas, balizando os caminhos empíricos em

[43] Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC) - https://niehcc.wordpress.com/

andamento. Essa postura remete a uma estrutura não totalmente fechada de pesquisa. Não são lançadas hipóteses iniciais demasiadamente restritas, com vistas a refutar ou comprovar de maneira categórica. Isto porque entendemos que existe uma grande complexidade que acompanha as variáveis nas quais os pesquisadores devem lidar em sua prática. Essa metodologia de trabalho do NIEHCC é consonante com a pesquisa-ação, que aponta para um trabalho guiado por diretrizes ou instruções iniciais que podem ser alteradas ao longo da pesquisa, a depender dos resultados parciais que se apresentam durante o processo (THIOLLENT, 2011; TOLEDO, JACOBI, 2013). Assim, os pesquisadores diretamente envolvidos numa pesquisa lidam com as diretrizes iniciais, que, em boa parte são comuns ao grupo como um todo, no entanto, a diversidade multidisciplinar de olhares contribui para a análise das diferentes realidades e para os delineamentos subsequentes a cada passo da pesquisa.

A metodologia de trabalho do NIEHCC vai ao encontro da metodologia da pesquisa-ação, sendo que o grupo como um todo acompanha todas as etapas das pesquisas desenvolvidas, consistindo no que Thiollent (2011) se refere como “Seminário”. No caso da pesquisa aqui descrita, seguindo a espiral da pesquisa-ação (fig. 7), o trabalho se iniciou com um planejamento, visando conhecer e reconhecer a situação em que os sujeitos seriam encontrados, para seguir para as outras etapas que se repetiram incessantemente (THIOLLENT, 2011, TRIPP, 2005). Dessa maneira, buscou-se que as ações se tornassem mais ajustadas às necessidades coletivas, caminhando para um melhor entendimento do problema (fig.7)(MOURA, 2016b).

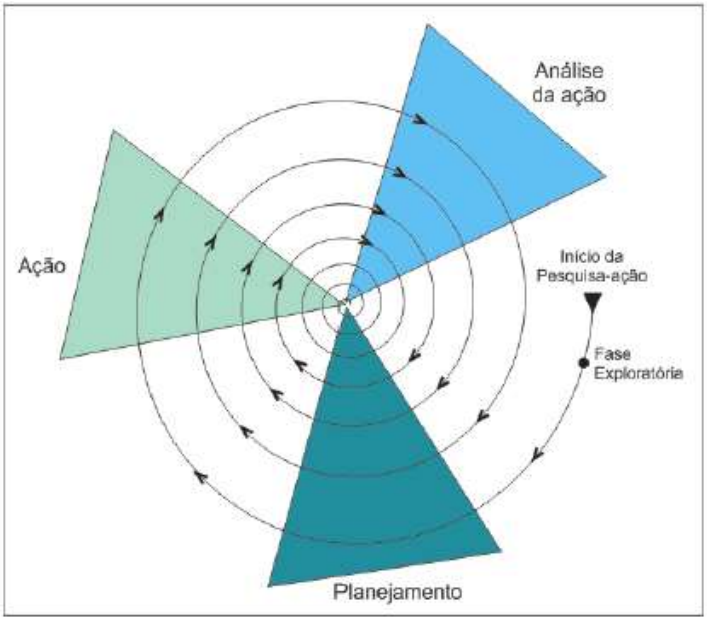


Figura 7 O espiral da pesquisa-ação (MOURA, GUERRA, 2016b)

Importante aqui ressaltar que autores como Tripp (2005) defendem que a pesquisa-ação, voltada para fins educacionais, é uma estratégia que contribui para o desenvolvimento de professores e pesquisadores, viabilizando a utilização de uma pesquisa para aprimorar as práticas de ensino. A pesquisa-ação envolve a prática e a pesquisa, o que lhe atribui características híbridas da prática rotineira do trabalho docente e da pesquisa científica (TRIPP, 2005).

Para auxiliar as análises de dados, anotações em diário de campo foram realizadas pelo pesquisador, que acompanhou as aulas (acompanhante), e pelo professor que regeu as aulas e a pesquisa (pesquisador), ao final de cada encontro. Como a pesquisa-ação consiste em uma metodologia descritiva, que busca analisar o fenômeno social, neste caso, o da sala de aula, não se faz necessário para a construção de respostas ao problema de pesquisa, a identificação dos estudantes. Importante ainda ressaltar que os dados obtidos foram levados semanalmente para a discussão no grupo de pesquisa e que, como veremos no capítulo que descreve o trabalho em sala de aula, ajudaram a delinear cada nova etapa da pesquisa.

A escolha da metodologia da pesquisa-ação, com as modificações apontadas, se mostrou coerente tanto em relação à interação do pesquisador com os estudantes e as práticas desenvolvidas quanto com os objetivos das discussões teóricas salientadas pela HCC. Para finalizar essa seção, ressaltamos que além da pesquisa-ação, utilizamos a análise de textos escritos pelos alunos para construir respostas à pesquisa. Para analisar os dados obtidos a partir desses textos nos apropriamos da

“Análise textual discursiva”, que, na seção seguinte, terá suas principais características discutidas, bem como sua coerência com nossa proposta evidenciada.

3.3 - Análise Textual Discursiva

Como será discutido no capítulo seguinte, durante o desenvolvimento da parte empírica do trabalho, em sala de aula, foi decidido que os alunos deveriam construir resumos acerca dos temas discutidos em sala. Além disso, na avaliação bimestral, foram incluídas questões discursivas, que se mostraram com potencial para trazer subsídios à construção de respostas à pergunta de pesquisa. Devido à presença desses textos que acabaram por constituir fonte de dados para nossa análise, optamos por nos apropriar, como ferramenta de análise dos mesmos, da Análise Textual Discursiva (ATD) (GALEAZZI, 2003; MORAES, GALIZAZZI, 2011). A ATD se mostra compatível, ainda, com um processo de análise advindo de possíveis entrevistas semiestruturadas, que poderão ser realizadas após a análise dos textos dos estudantes.

Escolhemos este caminho, pois**,** não traçamos hipóteses fechadas do que poderia ocorrer durante a proposta e quais caminhos as discussões deveriam seguir necessariamente. A construção dos caminhos a serem seguidos pela proposta, a identificação de quais materiais seriam analisados e a escolha da metodologia mais adequada para análise se deram no decorrer do curso à medida que o grupo de pesquisa avaliava sistematicamente cada passo do desenvolvimento da proposta e os estudantes produziram textos escritos.

Partindo do pressuposto de que toda a análise de textos se torna uma interpretação, tanto os pesquisadores, quanto o grupo de pesquisa (NIEHCC) assumem-se como autores das interpretações por eles construídas (MORAES, 2003; MORAES, GALIAZZI, 2006). Entendemos que os sentidos atribuídos aos textos se encontram imbricados ao contexto teórico dos interpretantes e isso implica em uma pluralidade de sentidos. Assim, há um sentido não transparente em um texto, que floresce a partir de possíveis interpretações que variam devido ao pano de fundo construído pelos pressupostos teóricos de quem lê (MORAES, GALIAZZI, 2011).

Todas as etapas da ATD direcionam as conclusões e percepções sobre os dados para a produção de um metatexto, que contém as interpretações do autor e dão suporte para a construção dos argumentos utilizados para a construção de respostas à pergunta de pesquisa. No entanto, vale ressaltar que, admitir interpretações múltiplas

para os dados obtidos não significa atribuir um caráter desorganizado para a pesquisa. Existe uma forma que guia as bases da ATD, capaz de direcionar o foco de análise para a questão que se pretende responder.

Para começar, deve haver uma leitura pormenorizada dos textos que se pretendem avaliar, efetivando, assim, a etapa chamada de unitarização (MORAES, GALIAZZI, 2006). Nesse momento, o autor da pesquisa deve recortar os textos tanto quanto possível, no intuito de buscar pedaços que consigam, em si mesmos, trazer informações relevantes ao processo de análise. Os critérios utilizados para a unitarização podem diferir entre diferentes pesquisadores que se propuserem a avaliar um mesmo texto. Isso pode ocorrer, devido aos critérios pragmáticos ou semânticos adotados. Independente dos critérios adotados, essa fragmentação deve ocorrer de forma organizada, de modo a facilitar a identificação dos critérios escolhidos, através de títulos e símbolos atribuídos a essas unidades de sentido elementares (MORAES, GALIAZZI, 2006).

Deve-se, em seguida, na etapa de categorização, associar as unidades advindas do passo anterior. Cada categoria deve representar um conceito que se visa identificar, englobando as unidades que contém significados próximos. As categorias servirão como base para a construção dos metatextos que devem ser capazes de representar os significados oriundos da análise. Para a pesquisa aqui desenvolvida, buscaremos, no entanto, delinear essas categorias a partir da unitarização dos textos, sendo estas unidades relacionadas com os objetivos gerais e específicos desta tese de doutoramento. Não pretendemos definir as categorias previamente, o intuito é que os metatextos suportem os argumentos dos autores da pesquisa em vias de responder a pergunta de pesquisa posta.

Entendemos que o processo de unitarização e de categorização se constroem a medida que a análise se desenvolve e estão de acordo com as bases contextuais da HCC e da aproximação à pesquisa-ação, adotados como pressupostos teórico-metodológicos da pesquisa.

3.4 Doutorado Sanduíche e o Método da Replicação: Replicando a Garrafa de Leiden.

Durante o período que se estendeu de Setembro de 2017 até o final de dezembro do mesmo ano, foi realizado um período de estágio no exterior (doutorado sanduíche), com auxílio da CAPES. O doutorado se deu na Europa-Universität de

Flensburg (Alemanha), sob supervisão do professor Dr. Peter Heering. Sobre as atividades lá desenvolvidas, em seguida, apresentaremos parte do Relatório Final, enviado à CAPES como um resumo do que foi realizado:

> "[...] O doutorando Wagner Tadeu Jardim pôde, ao longo do estágio de doutoramento, adquirir experiência nessa vertente (experimentos históricos e o ensino de Física), manipulando réplicas de instrumentos que foram reconstruídos pelo grupo da Europa-Universität Flensburg, levando-se em consideração a cultura material do período original. Os experimentos manipulados foram, principalmente, aparatos designados ao estudo da eletricidade no século XVIII e início do XIX, tais como Garrafas de Leiden, Pilhas de Volta, Geradores Eletrostáticos, dentre outros.
>
> Durante a estada na Europa-Universität Flensburg, foi desenvolvida uma pesquisa que resultou na réplica de duas Garrafas de Leiden, a partir de estudos bibliográficos e da observação de réplicas já existentes. A estrutura do laboratório de História da Ciência e das oficinas da Europa-Universität Flensburg permitiram a replicação das citadas Garrafas de Leiden. Tais réplicas serão usadas aqui no Brasil no primeiro semestre de 2018, quando do desenvolvimento da segunda parte da pesquisa de doutorado.
>
> Além do trabalho no laboratório, o doutorando participou das reuniões do grupo de pesquisa do orientador no exterior e acompanhou dois cursos oferecidos pelo mesmo. Acompanhar o curso de "História das Ideias" proferido pelo Dr. Peter Heering se mostrou relevante, no intuito de verificar quais os principais aspectos dos experimentos históricos são abordados no ensino, quando do trabalho com o método da replicação. O outro curso, de "Ciência como Cultura", também proferido pelo Dr. Peter Heering, permitiu avaliar quais discussões culturais o grupo de Flensburg considera como relevante para a abordagem histórica para o ensino sobre as Ciências.
>
> De maneira geral, o doutorado sanduíche gerou importantes contribuições para a pesquisa em andamento, pois permitiu traçar um paralelo entre as duas perspectivas, ou seja, a que utiliza o método da replicação, e a perspectiva histórico-cultural que está sendo

> desenvolvida para o trabalho com experimentos históricos no ensino na tese a ser defendida. Esse objetivo foi reforçado pela interação do doutorando com estudantes de pós-graduação do grupo de pesquisa do prof. Dr. Peter Heering e da interação com estudantes da graduação que possibilitou o recolhimento de dados acerca da visão dos estudantes sobre as abordagens lá desenvolvidas [...]"

Assim, o processo de doutorado sanduíche permitiu um contato mais próximo com o trabalho prático voltado para os experimentos históricos no ensino, tanto nos aspectos teóricos quanto no acompanhamento de aulas de laboratório que contavam exclusivamente com a realização e análise de experimentos históricos por parte dos estudantes da Licenciatura em Física da Europa-Universität de Flensburg. Essa experiência contribuiu para as reflexões sobre o trabalho empírico que supõe a presente tese. Todavia, deste resumo, um processo que iremos aqui explicitar é o da replicação das garrafas de Leiden de acordo com o método da replicação proposto pelo grupo de Oldenburgo (JARDIM, GUERRA, 2017a) e o contato com alguns experimentos históricos do Laboratório de História da Ciência (histolab) da Universidade de Flensburg.

3.4.1 Laboratório de História da Ciência (histolab)

O Histolab contava, dentre outros experimentos, com geradores eletrostáticos, garrafas de Leiden, pilhas de Volta e eletróforos. Como ponto de partida para a replicação da garrafa de Leiden, realizamos a manipulação prévia dos aparatos no laboratório. As diferentes garrafas que eles possuem e a máquina eletrostática (fig.8). Para a construção de novos experimentos, bem como manutenção dos já existentes, a Universidade conta, também, com oficinas com tornos, serras, equipamento de solda e diversos outros instrumentos, além de técnicos capacitados para tais funções.



Figura 8 Máquina Eletrostática, Histolab, Flensburg.



Figura 9 Experimentos utilizados em uma aula do curso de História das Ideias da Licenciatura em Física.



Figura 10 Uma das salas pertencente a uma das oficinas da Universidade.

3.4.2 Replicando a garrafa de Leiden: Pensando os procedimentos

Como ponto de partida, a manipulação prévia dos aparatos no laboratório serviu para conhecer os instrumentos e a estrutura das Garrafas de Leiden ali existentes. As garrafas que eles possuem apresentam estruturas diferentes entre si. Uma delas é um recipiente de vidro, com a base arredondada, fechada por uma rolha de cortiça pela qual uma haste de bronze se estende de sua ponta esférica até seu interior (fig. 11). A haste seria colocada mais próxima ao fundo do recipiente que estaria parcialmente preenchido com água. Essa garrafa seria uma réplica baseada nos primeiros modelos de condensador construídos na história, pelo grupo de Musschenbroek e por Kleist independentemente (JARDIM, GUERRA, 2017b). Segundo o professor orientador no exterior, as dimensões do aparato foram baseadas em ilustrações da época que representavam as primeiras garrafas.

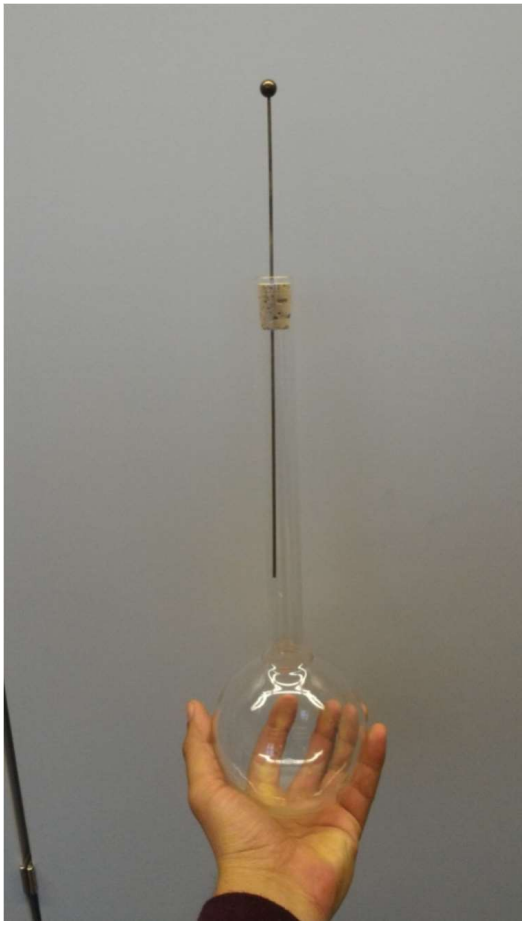


Figura 11 Réplica das primeiras garrafas de Leiden - Histolab (Flensburg)

Além dessa garrafa, o laboratório conta com algumas outras réplicas de garrafas de Leiden que eram comuns da época (fig.12). Da esquerda para a direita, a primeira contava com uma folha de estanho na superfície externa e era preenchida por pequenos pedaços de cobre que se conectavam à haste de cobre, sendo a tampa, feita de madeira. A segunda garrafa tinha a superfície interna revestida por uma folha fina de estanho assim como a externa, no entanto, a superfície externa contava com recortes quadriculados que permitiam visualizar a superfície interna. A terceira garrafa era constituída por uma folha fina de estanho na superfície externa, já na superfície interior, estava recoberta por “farelos” de cobre colados a ela. Essas garrafas eram exemplos de condensadores utilizados no século XVIII no intuito de demonstrações públicas e palestras itinerantes.



Figura 12 Réplica das primeiras garrafas de Leiden - Histolab (Flensburg)

A garrafa mais comumente utilizada no século XVIII (fig.13) tinha seu recipiente de vidro revestido por dentro e por fora com folhas finas de estanho, eram lacradas com uma rolha de cortiça e tinham uma haste de bronze que comunicava o lado interno ao externo através da rolha. A ponta superior tinha uma esfera de cobre e a ponta inferior tinha uma folha metálica (ou corrente metálica) que fazia a conexão entre haste e superfície interna da garrafa.

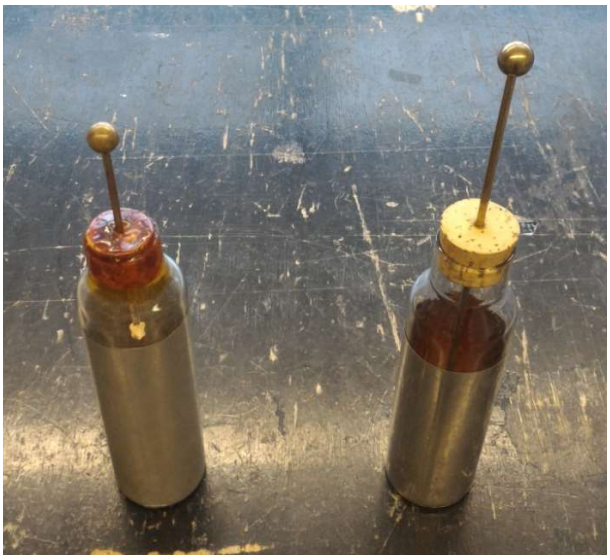


Figura 13 Garrafas de Leiden mais comuns no século XVIII.

Além dos aparatos que se encontravam no histolab, uma visita ao museu Teyler, no Haarlen (Holanda), se apresentou como uma oportunidade de analisarmos garrafas de Leiden de tamanhos maiores, utilizadas para armazenar a eletricidade gerada pelo imenso gerador construído para Van Marum no século XVIII (fig. 14).

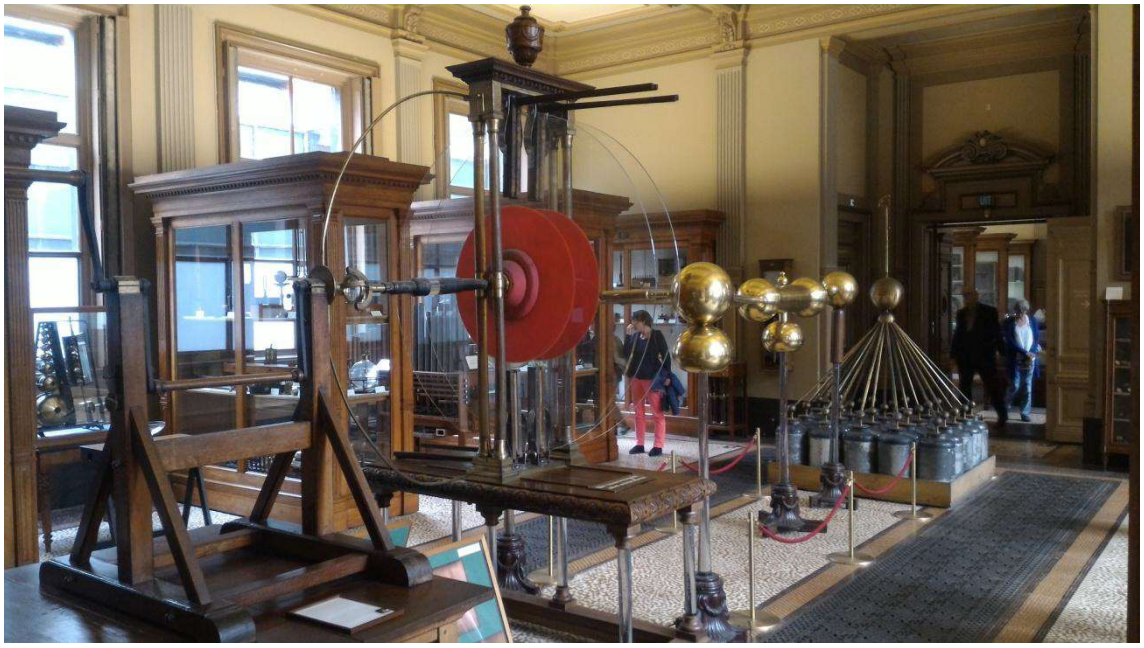


Figura 14 Teyler's Museum. Gerador eletrostático (1784-1791) produzido pelo instrumentador inglês John Cuthbertson para Martinus Van Marum e "Bateria" de Garrafas de Leiden (1789).

O material a ser utilizado para o processo de replicação da garrafa foi fornecido pelo próprio laboratório da Universidade, no entanto, não havia disponível, um recipiente com as mesmas medidas das garrafas que se encontravam no histolab. Assim, foi disponibilizado um recipiente maior. Além disso, estavam disponíveis um rolo de folha metálica (estanho) para o revestimento interno e externo, e o bastão metálico (cobre), que tem o papel de conduzir a eletricidade para o interior da garrafa e a Cola de osso em pérolas (Knochenleim in Perlen) (fig.15). Neste momento, ainda não tínhamos uma rolha de cortiça compatível com o tamanho do recipiente, apenas uma rolha de borracha, mas que não poderia ser utilizada uma vez que a pretensão era de se aproximar o tanto quanto possível da materialidade empregada na época em acordo com o método da replicação (HEERING, 1994; HEERING, 2006; HEERING, HÖTTECKE, 2014).



Figura 15 Material para a replicação da Garrafa.

Todavia, antes de começar o processo de replicação, foi realizada uma busca bibliográfica no intuito de encontrar alguma referência que descrevesse a estrutura de uma garrafa de Leiden e/ou o processo de construção da mesma. Dessa forma, obteríamos outras diretrizes que guiassem o trabalho que estaria por vir. Os relatos encontrados comentavam sobre a primeira garrafa e sobre a utilização dos modelos posteriores, mas não encontramos algo que descrevesse o processo de construção do aparato da forma “original”. Um artigo que utilizamos como referência descrevia alguns aspectos da produção da garrafa de Leiden segundo Benjamin Franklin (SCHECHNER, 2015). O trabalho em questão discute trechos de cartas que Franklin enviou para James Bowdoin, um mercador de Boston interessado em filosofia natural e para John Winthrop, professor de Matemática e Filosofia em Harvard.

As cartas continham instruções para construção do aparato segundo Franklin, essas instruções foram enviadas juntamente com o material necessário para a construção do condensador. Franklin envia a garrafa desmontada, pois o técnico especialista que prestava esses serviços a ele, não estava disponível e ele não seria capaz de fazê-lo com a devida maestria (SCHECHNER, 2015). Dos comentários de Franklin, por exemplo, tomamos nota de que as primeiras garrafas de Leiden tinham, em geral, suas superfícies externas (e internas) recobertas em cerca de 2/3 do total. Como a garrafa é grande, o terço restante, deixado transparente, pareceu ser suficiente para possíveis fins didáticos de visualização da parte interna. Assim, pudemos seguir as instruções da época e aproveitar o aparato para fins didáticos sem comprometer a réplica.

Vale observar que em questão de formatos, tipos de vidro e materiais, existiam uma grande variedade na época, ou seja, não seria possível encontrar um relato único contendo uma estrutura padrão para as garrafas de Leiden.

Como o material disponibilizado era limitado e não deveria ser desperdiçado, optamos inicialmente, por moldes de papel para simular as folhas de estanho que revestiriam as superfícies internas e externas da garrafa (fig.16). O tamanho foi traçado a partir da própria garrafa. Posicionando o fundo da garrafa sobre o papel e marcando com uma caneta.



Figura 16 Molde de papel para a superfície interna da garrafa de Leiden.

Após recortar os moldes de papel, colocamos recorte circular na parte de dentro do recipiente, na superfície inferior interna, para verificar qual seria o procedimento adotado (fig.17). Percebemos que dever-se-ia dobrar com a mão, as bordas do círculo, para que ele encaixasse melhor e não se dobrasse apenas por influência da garrafa de forma muito assimétrica.



Figura 17 Molde de papel para a superfície interna inferior da garrafa de Leiden.

Depois, outras observações foram realizadas; o círculo deveria apresentar o diâmetro um pouco maior do que o fundo do recipiente, uma vez que, de acordo com Franklin, os pedaços de filme metálico, da superfície lateral e inferior deveriam se sobrepor um pouco (para dar continuidade ao revestimento) (SCHECHNER, 2015). Um caminho que pensamos em adotar a princípio, foi o de começar pela parte interna (para poder visualizar o processo e, na parte interna, deveríamos começar pelas superfícies laterais pois a parte inferior poderia atrapalhar o posicionamento da lateral.

Pela simulação com o papel, percebemos a espessura do vidro exerce uma diferença razoável entre o quanto as bordas do papel vão se sobrepor na parte interna, ou seja, o pedaço de folha metálica interna deve ser um pouco menor que a externa.

Fizemos algumas medidas de tamanho da garrafa. De acordo com os modelos de papel, realizamos os cortes da folha metálica utilizando uma tesoura. Foi necessário bastante cuidado pois quando a folha metálica de estanho amassa, ela fica bastante marcada, efeito que buscamos minimizar.

3.4.3 Replicando a garrafa de Leiden: Simulando com a “Garrafinha de Leiden”

Para dar seguimento ao processo de replicação da Garrafa, após as placas de Estanho já cortadas, resolvemos simular o procedimento com uma garrafinha menor. O motivo principal era que só tínhamos uma garrafa grande disponível e se algo desse errado, talvez fosse inviável uma nova tentativa. Dessa forma, seria possível entender o processo em uma espécie de etapa de teste.

Repetimos então os mesmos passos até então já realizados com a garrafa grande, recortando os moldes de papel. Para este pequeno modelo, já tínhamos

disponíveis todas as partes necessárias para iniciar a construção da garrafinha: O recipiente de vidro, os pedaços de estanho que cortamos, dois em formatos circulares para o fundo interno e externo e dois em formatos retangulares para as superfícies laterais internas e externas, além da haste de cobre com a esfera na ponta, a corrente que faria a conexão entre a haste e a superfície interna da garrafa e a rolha de cortiça para vedar a garrafa.

O maior desafio, identificado no pensar sobre as etapas do processo, era o de colar as folhas de metal na superfície interna do recipiente. A cola utilizada para servir ao propósito de construir o aparato de maneira semelhante aos do século XVIII provém de cristais de osso que deve ser derretidos. Como advertido pelo orientador no exterior, o processo de derretimento dos cristais de osso deveria ser lento, pois, caso acontecesse muito rápido, a "cola" queimaria, estragando o produto, além de ter seu mal cheiro potencializado. Assim, uma opção seria o "banho Maria".

Pelo horário, no mesmo dia que consideramos o "banho Maria", o laboratório seria fechado, assim, levamos o material para casa e colocamos os cristais de cola em banho Maria, dentro da garrafinha (fig.18). A garrafinha por sua vez, ficou apoiada em um coador que se encontrava imerso em água fervente em uma panela.



Figura18 Banho Maria na tentativa (sem sucesso) de derreter a cola de cristais de osso lentamente.

Após esperar pacientemente enquanto acrescíamos gradualmente o fornecimento de calor, nada foi obervado (essas tentativas duraram aproximadamente duas horas). Em um momento de descuido, a garrafinha tombou e alguns pequenos

cristais caíram na água começando a derreter. Assim, resgatando a cola que estava derretida (e molhada), com uma escova de dentes, a cola foi então pincelada na parte interna da garrafinha. Posicionamos a folha de metal (inferior interna) e a fixamos com outra escova de dentes, limpa. Para melhor ajeitar a folha metálica, utilizamos os dedos para tal. Após isso, repetimos o procedimento com a superfície interior lateral. Obtendo um resultado satisfatório, fixamos, também, a parte inferior externa. Como a folha de metal ainda não estava muito fixa, e ainda deslizava na superfície interna quando tocada, deixamos de um dia para o outro para que a cola secasse melhor.



Figura19 Ajeitando a folha de estanho interna a "garrafinha de Leiden" com a escova de dentes e com os dedos.

No dia seguinte, ao chegar no laboratório de História da Ciência, recortamos a parte externa metálica da garrafa que faltava e fomos buscar outra maneira de derreter a cola. A primeira escolha foi a de utilizar um fogareiro. Nele, um recipiente de vidro com a cola dentro, sem água. O resultado não bom, a cola derreteu rápido e queimou exalando um cheiro ruim. Pouco depois, a segunda tentativa foi semelhante a feita em casa. Dentro do recipiente de vidro maior, havia água, outro recipiente menor, e dentro deste último, cristais de cola. Depois de esperar por vários minutos, nada ocorreu.

A tentativa seguinte foi a de ferver á água e jogar os cristais de água dentro, capturar a cola derretida (e molhada) e aplicá-la na folha metálica/garrafa, como no procedimento realizado em casa. A diferença é que utilizamos um fogareiro no lugar do cooktop. O procedimento foi satisfatório para a garrafa pequena, só precisamos

esperar alguns dias para que a cola secasse por completo e a folha metálica parasse de deslizar na superfície do vidro (fig.20).

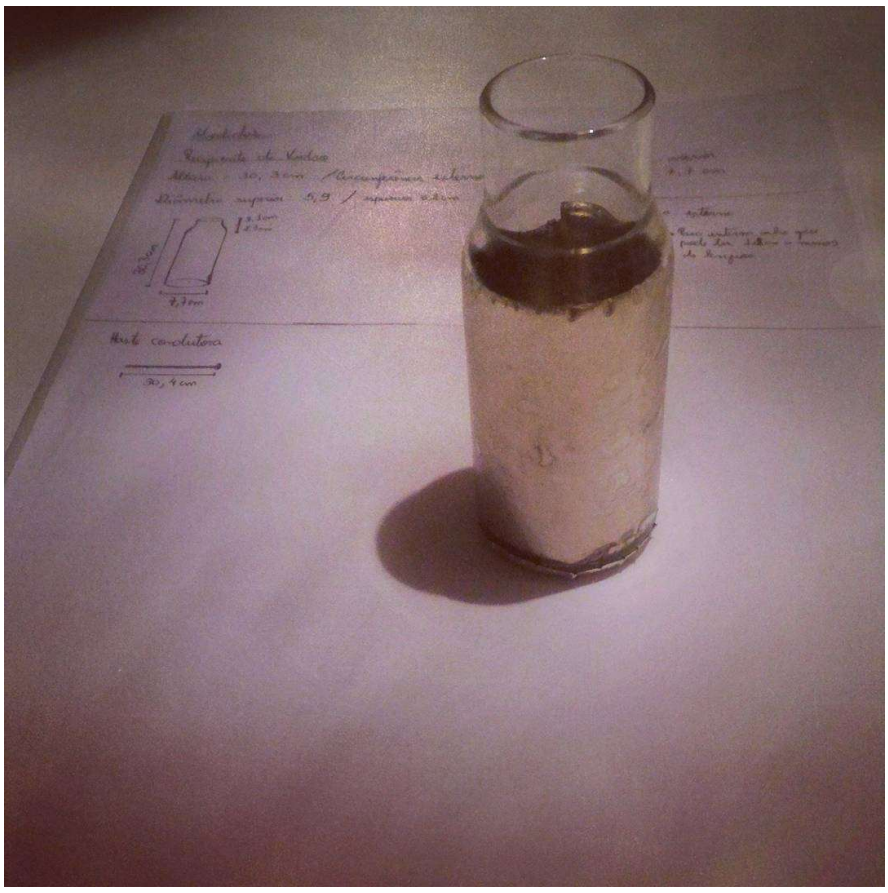


Figura20 "garrafinha de Leiden" em construção, folhas de estanho internas afixadas e folha circular externa inferior afixada.

O próximo passo foi de confeccionar a haste metálica, pois no laboratório só tinham 3 disponíveis, que, além de muito grandes para a garrafinha, eram reservadas especificamente para garrafas maiores, logo, não poderiam ser cortadas para nossos fins. Procurando o técnico do laboratório, René, ele nos informou que poderíamos confeccionar uma haste na oficina. Assim, selecionamos uma pequena bola de bronze e uma haste também de bronze. Conversamos sobre a espessura, local de furo da bola de bronze e da rolha de cortiça considerando como exemplo as garrafas de Leiden do histolab. Após cortar a haste, o ajudante do técnico, Cristian, soldou a bola de bronze na haste de bronze e um pedaço de corrente também de bronze.

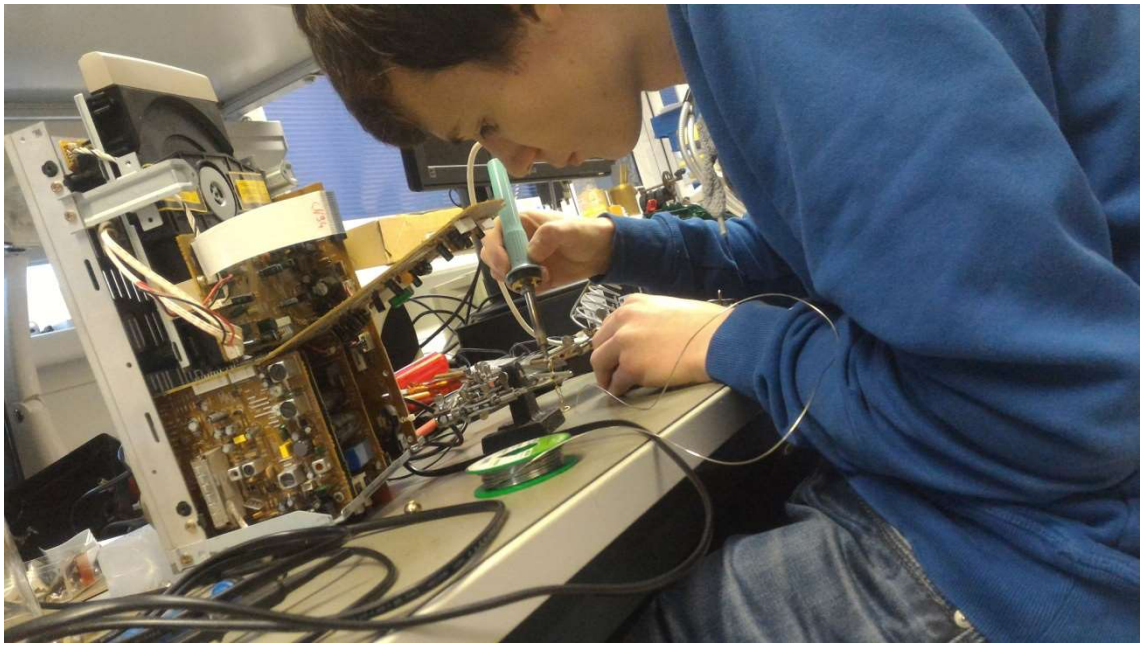


Figura 21 Técnico do laboratório soldando a corrente de cobre na parte inferior da haste de cobre.

Pronta a “garrafinha de Leiden”, levamos o aparato para o laboratório para o teste. Utilizando o gerador eletrostático, foi possível perceber (escutar os estalos) que a garrafinha recebia cargas através de faíscas (visíveis) advindas do gerador eletrostático. Todavia, o efeito no corpo não era perceptível tal como das outras garrafas “padrões” do laboratório. Um teste que possibilitou perceber que a garrafa estava carregada foi aproximá-la de um eletroscópio de folhas que mostrou um pequeno movimento.



Figura22 "garrafinha de Leiden" pronta.

Ao avaliar a garrafinha (fig. 22) e tentar manipulá-la, tentamos um melhor aterramento ao carregá-la e medir a resistência da correntinha que ligava a haste metálica à superfície interna do recipiente. Tentamos segurá-la em uma mão e a na outra, segurar o fio (próprio) ligado a tomada (terra), para um melhor aterramento, uma vez que o piso do laboratório poderia ser um mal aterrador. O efeito foi semelhante ao anterior. Ao testar na oficina, a resistência da corrente, com um multímetro, percebemos que, quando a corrente estava esticada, a resistência era muito pequena, próximo de zero. Quando a corrente não estava esticada, a resistência era muito grande! Apesar de, a princípio, isso não interferir muito (Voltagem muito grande no gerador), colocamos outro condutor entre a haste e o interior da garrafa, um fio de cobre desencapado. Agora, apesar da resistência haste-condutor ser bem pequena, o efeito da garrafa não se alterou. Percebemos faíscas ao carregar, nenhum efeito sensível ao descarregar e ela continuava a afetar o eletroscópio quando carregada.

Para continuar os testes, repetidas tentativas de carregar a garrafa foram realizadas em dias diferentes. Percebemos que, em determinadas condições de clima, a garrafinha armazenava e descarregava cargas eletricidade de maneira a ser mais perceptível (infligia choques elétricos).

3.4.4 Replicando a garrafa de Leiden.

Tendo reproduzido o pequeno protótipo da garrafa de Leiden de maneira satisfatória, retomamos o processo de replicação com a garrafa em maior escala. Já tínhamos dominado as técnicas empregadas, como a forma de derreter a cola e de revestir o recipiente com as folhas metálicas. O único problema que era específico deste novo caso era passar a cola na superfície interna do recipiente e ajeitar as folhas de estanho nas superfícies internas, lateral e inferior. A utilização de escovas de dente ou dos dedos seriam inviáveis por não alcançarem a parte interna inferior do novo recipiente.



Figura23 Material utilizado para a reprodução da garrafa de Leiden seguindo o método da replicação.

Para isso, compramos pincéis maiores que permitissem a manipulação das folhas metálicas (fig.24).



Figura24 Pincéis utilizados para fixar as folhas metálicas internas da garrafa de Leiden.

Após derreter a cola de cristais de osso, diretamente na água fervente, afixamos a folha de estanho utilizando os novos pincéis (fig.25)

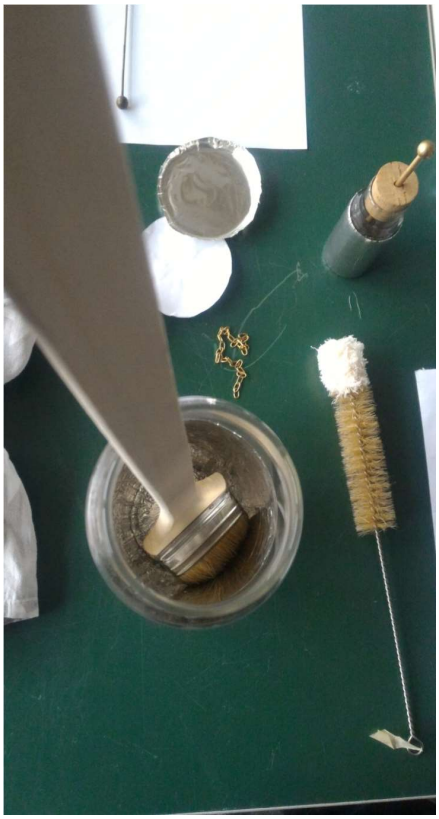


Figura25 Processo de afixamos as folhas de estanho internamente à garrafa de Leiden.

Para a parte externa, utilizamos a escova de dentes para passar a cola derretida diretamente sobre a folha de estanho que foi posicionada com as mãos na superfície externa do recipiente e que foi ajeitada com um pedaço de pano (fig.26).



Figura26 Processo de afixamos a folha de estanho na superfície externa ao recipiente.

Em seguida, na oficina, com o auxílio dos técnicos responsáveis, confeccionamos nova haste de cobre. A princípio, por não existir mais esferas de cobre disponíveis, tentamos furar uma esfera de aço para que a mesma pudesse ser enroscada na haste de cobre. Após um pouco de insistência e sem sucesso, a

alternativa foi construir uma esfera de cobre a partir de uma barra mais grossa do metal (fig.27).

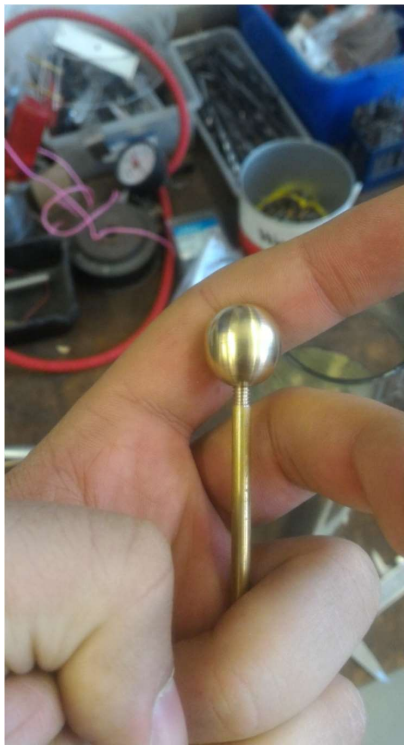


Figura27 Haste de bronze acoplada à esfera de bronze.

Assim, após soldar a corrente de cobre a parte inferior da haste e furar a cortiça que serviria como tampa do recipiente, todos os componentes do nosso aparato estavam prontos (fig.28).



Figura28 As componentes da Garrafa de Leiden replicada.

Após os procedimentos que foram aqui apresentados, obtivemos a garrafa de Leiden através do processo da replicação. Além disso, temos a “garrafinha de Leiden” e outra garrafa de Leiden adquira diretamente de Oldenburg (fig.29). Essas garrafas serão utilizadas no trabalho empírico de sala de aula.



Figura29 As duas garrafas replicadas, esquerda e direita. A garrafa central foi encomendada de Oldemburgo, de Wolfgang Engels, um dos principais responsáveis pela construção das réplicas de experimentos históricos utilizados pelo grupo de Oldemburgo.

4 – CONTEXTO DA PESQUISA EMPÍRICA

Neste capítulo, apresentamos o contexto educacional no qual foi desenvolvida a pesquisa empírica. Para tal, dividimos o capítulo em duas partes. Na primeira parte, apresentamos a escola, as turmas nas quais a pesquisa se desenvolveu, além dos professores e pesquisadores que a conduziram. Na segunda parte do capítulo, discutiremos a sequência de encontros (aulas) em que encontramos os sujeitos da pesquisa, baseado no diário de campo do pesquisador. Para melhor organizar o texto, descrevemos encontro por encontro, ressaltando a semana em que o mesmo ocorreu e a duração do evento.

Ressaltamos que, no capítulo 5, apresentaremos uma análise dos dados obtidos a partir de textos escritos pelos estudantes ao longo das atividades descritas nesse capítulo.

4.1 Contexto da Pesquisa Empírica

A parte empírica da pesquisa da tese foi desenvolvida em uma escola da rede federal da cidade do Rio de Janeiro, em turmas do ensino técnico integrado (TI) ao Ensino Médio.

Como forma de ingresso para esse nível de ensino na instituição, o estudante que deve ter cursado o 9º ano do ensino fundamental ou estar cursando o mesmo durante a seleção que consiste em um conjunto de provas classificatórias, abrangendo as áreas de conhecimento da base nacional comum dos currículos do Ensino Fundamental. O formato de ingresso conta com cotas destinadas a estudantes oriundos “de Escola da Rede Pública (RP)/ renda familiar inferior a 1,5 Salário Mínimo Nacional(RF)/ autodeclararam ser Negros, Pardos ou Índios(N/P/I)” segundo o edital de seleção[44].

De acordo com o edital do concurso de 2017, entende-se como o ensino Integrado oferecido pela instituição

> A oferta de Educação Profissional Técnica de Nível Médio de forma articulada ao ensino médio, planejada de modo a conduzir o

[44] http://www.exatuspr.com.br/novo/sistema/uploads/edital_n_013.2017_conjunto_com_a_exatus_correto_correto_1.pdf

> aluno à habilitação profissional na mesma instituição de ensino, efetuando-se matrícula única para cada aluno em um só turno (manhã ou tarde), podendo ser usado o contra-turno para outras atividades pedagógicas previstas no plano de curso. Em alguns cursos, tendo em vista a obrigatoriedade do ESTÁGIO PROFISSIONAL, poderá ocorrer, no 4º ano, aulas no turno da noite.
>
> A diplomação nessa oferta de curso só ocorre após a conclusão da prática profissional, na forma de projetos internos ou estágios técnicos externos. A carga horária mínima é de 3.200 (três mil e duzentas) horas, para as habilitações profissionais que exigem o mínimo de 1.000 (mil) horas, e 3.600 (três mil e seiscentas) horas para aqueles cujas habilitações profissionais exigem o mínimo de 1.200 (mil e duzentas) horas[45].

A pesquisa foi desenvolvida em duas turmas do 3º ano dos cursos de Segurança do Trabalho e Informática, com turno vespertino, contando ainda com disciplinas de Educação Física e Artes ministradas no contraturno, ou seja, no período da manhã.

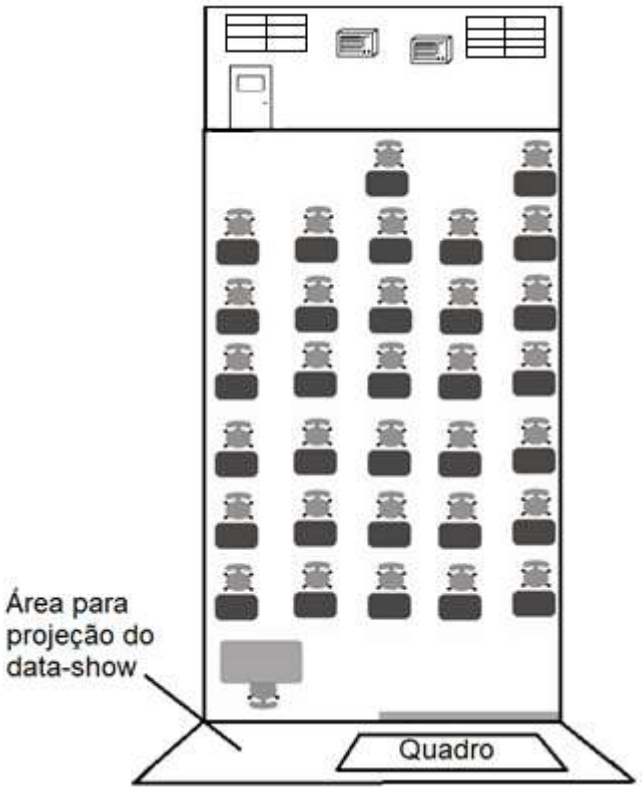


Figura30 Esquema da sala de aula da turma do 3º ano de Segurança do Trabalho.

A disciplina de Física ofertada aos estudantes não compõe a matriz curricular profissional, e por isso é ofertada apenas em dois anos dos quatro obrigatórios. Vale ressaltar ainda, que a disciplina não conta com aulas de laboratório com um professor específico para o laboratório, como no caso dos cursos técnicos em que a Física compõe a matriz profissional, todavia, essas aulas (em laboratório) podem ocorrer caso o professor regente julgue necessário. A Física é trabalhada no 2º e 3º anos do TI, em 3 horários semanais de 50 minutos cada.

Os alunos tinham à sua disposição livros-texto de física. Utilizamos esses livros em conjunto com listas de exercícios, elaboradas pelos professores, no suporte aos

[45] http://www.exatuspr.com.br/novo/sistema/uploads/edital_n_013.2017_conjunto_com_a_exatus_correto_correto_1.pdf

conceitos físicos discutidos, como na apresentação de equações e na resolução de exercícios que se pautavam em formalismo matemático.

A turma de Segurança do Trabalho contava com 32 estudantes, sendo sua ampla maioria (26) do sexo feminino. A sala onde as aulas ocorrem (fig.30) é estreita e cumprida e não dispõe de janelas. Os dois ares-condicionados localizados na parede oposta ao quadro são antigos e mesmo operando com os dois ventiladores de teto existentes na sala, não são suficientes para manter a temperatura interna agradável. Assim, é comum encaramos uma sensação térmica desconfortável durante as aulas. Outra questão a ser destacada é que a acústica também não era adequada, implicando em uma comunicação mais difícil com os estudantes das últimas filas e, quando existia conversas paralelas, o impacto negativo era bem agravado. Além disso, o quadro disponível para o professor organizar as discussões traçadas em sala de aula é pequeno e a área para projeção a partir do data-show, também pequena. Outra questão, que foi sinalizada pelo professor regente da disciplina é que, em geral, o perfil das turmas de Segurança do Trabalho é de maior participação em aulas, sendo os questionamentos sobre o conteúdo trabalhado bem frequentes.

A outra turma onde a pesquisa ocorreu, a do 3º do curso TI de Informática, era composta de 21 estudantes. Sendo sua maioria (15), do sexo masculino. A estrutura consiste em uma sala larga (fig.31), com janelas amplas, contando ainda, com um ar condicionado moderno que é suficiente para manter uma temperatura interna agradável. A acústica da sala era razoável. O quadro é amplo e a área para projeção com o data-show conta com um anteparo retrátil. Segundo relatos do professor regente, em se analisar as turmas do curso de informática dos últimos anos na instituição, o perfil tem sido de turmas menos interativas com o professor.

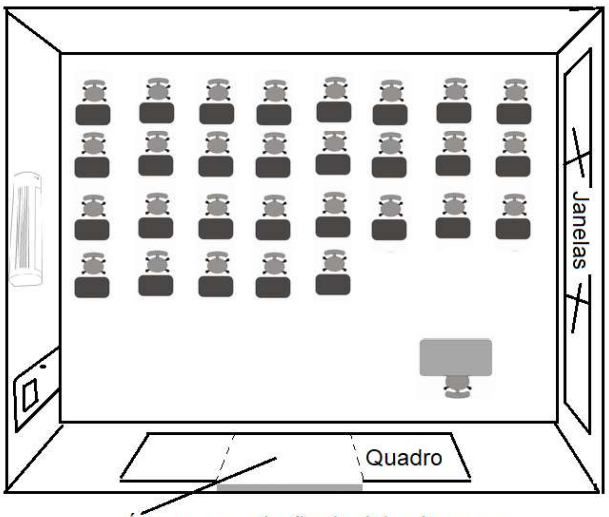


Figura31 Esquema da sala de aula da turma do 3º ano de Informática.

Por fim, faz-se necessário explicitar o contexto dos professores que desenvolveram o trabalho pedagógico ao longo da pesquisa (período de 8 semanas). O professor que acompanhou as aulas (o qual vamos referenciar como

acompanhante) é professor efetivo da instituição e é membro do mesmo grupo de pesquisa do professor que atuou como regente das aulas(o qual vamos referenciar como pesquisador). Ambos trabalham com a perspectiva da História Cultural da Ciência no ensino básico e foi decidido que o pesquisador ministraria as aulas, durante as quais a pesquisa foi desenvolvida, todavia, a qualquer momento que julgasse necessário, o acompanhante poderia intervir, complementar, levantar questões e suscitar novos temas para a discussão corrente.

4.2 Atividades desenvolvidas a partir do Diário de Campo

Aqui descrevermos as atividades desenvolvidas em sala de aula e as reuniões com o grupo de pesquisa que ocorreram semanalmente, indicando quais os objetivos de trabalho esperados para cada semana e como as aulas seguintes eram redefinidas, em função do trabalho que se encontrava em andamento. Ressaltamos que o foco da descrição recairá sobre as discussões que julgamos de maior relevância para a presente tese sob a óptica do pesquisador, optamos, assim, por omitir e/ou resumir a maior parte da discussão histórica e conceitual (conceitos físicos) ou apenas remeter a trabalhos já publicados, as narrativas históricas construídas (JARDIM, GUERRA, 2017b; JARDIM, GUERRA, 2018).

A descrição se dá com base no Diário de Campo (DC) que foi construído a quatro mãos, as do acompanhante que acompanhou as aulas e registrava os acontecimentos no diário de campo no decorrer das aulas e anotações do pesquisador após cada encontro com as turmas. Cada semana foi constituída de 3 tempos de aula de 50 minutos cada, sendo 2 tempos às terças-feiras e 1 tempo às quartas-feiras. Os conteúdos e principais discussões desenvolvidas estão apresentadas na tabela 2. Os slides e experimentos produzidos ao longo das aulas foram desenvolvidos a partir da discussão dos resultados parciais com o grupo de pesquisa. Enfatizamos que serão apontadas aqui, impressões gerais das discussões construídas em sala, todavia, comentários transcritos das falas dos alunos e professores, bem como os resultados das avaliações somente serão detalhados no capítulo seguinte. Como a pesquisa ocorreu no primeiro bimestre do ano letivo, os estudantes não conheciam o pesquisador previamente, isso nos fez optar por não gravar nem filmar as aulas. Em discussão com o grupo de pesquisa, entendemos que gravações em áudio e vídeo poderiam gerar ruídos não desejados na comunicação professores-estudantes. Todas as impressões que seguem foram obtidas a partir da leitura do diário de campo e reflexões acerca das aulas. Todavia, no último encontro com as turmas, que

chamaremos de entrevista coletiva, desenvolvemos uma atividade que teve o intuito de coletar mais dados para a pesquisa e, assim, construir subsídios capazes de sustentar ou modificar impressões obtidas no decorrer do curso. Para coletar dados dessa atividade, realizamos uma gravação de áudio, como será descrito na seção destinada à análise dos dados. Na análise dos diários de campo e da entrevista coletiva, identificamos que, apesar da diferença do perfil das turmas, as discussões travadas em sala trouxeram reflexões que, de maneira geral, convergiam entre as duas classes. Essa consideração aliada ao fato da pesquisa não ter tido o propósito de analisar mudanças conceituais dos indivíduos que participaram da mesma, fez com que o relato do desenvolvimento do curso, a partir do diário de Campo (seção 4.2), contivesse percepções gerais por parte dos professores e pesquisadores sem nos atermos a uma divisão entre as turmas “A” e “B”.

Tabela 2: Conteúdos curriculares, aspectos contemporâneos e históricos destacados na aulas.

	Conteúdo científico da ementa das turmas.	**Temas históricos**	**Atividades desenvolvidas**	**Aspectos Contemporâneos**
Aula 1 (1h 40m)			Atividade da Caixa,	
Aula 2 (50 min)	Eletrização por atrito, atração e repulsão eletrostática, Série triboelétrica Carga elétrica	O âmbar na Grécia antiga e os trabalhos de Gilbert. Foram discutidos conteúdos históricos da obra De Magnete.	Experimentos com tubos de PVC, atração e repulsão de corpos eletrizados.	
Aula 3 (1h 40m)	Máquinas eletrostáticas, condutores e isolantes elétricos. Eletrização por contato e indução	Experimentos de Stephen Gray. O contexto de Dufay, Academias de Ciência no século XVIII century.	Prêmios: Medalha Fields	Locais centrais e periféricos na produção do conhecimento científico
Aula 4 (50 min)	Máquinas Eletrostáticas e eletroscópios	Máquinas eletrostáticas: funcionamento e exemplos de máquinas do século XVIII	Aula no laboratório de física e manipulação das máquinas eletrostáticas.	
Aula 5 (1h 40m min)		República das Letras e publicações impressas	Atividade sobre publicação em periódicos e acesso ao conhecimento.	Discussão sobre os modos de publicação e divulgação do conhecimento científico na atualidade.
Aula 6 (50 min)		Lugares de disseminação do conhecimento no séc. XVIII: Palestras		

		intinerantes, aulas particulares e nas universidades, experimentação, instrumentação e instrumentadores.		
Aula 7 (1h 40min)	Capacitores e aspectos básicos de um circuito elétrico.	Instrumentadores e a garrafa de Leiden em seu contexto e sua apropriação por diferentes atores sociais e o conceito de circuito elétrico.	Aula no laboratório de Física: Carga e descarga da garrafa de Leiden e o experimento de Nollet.	
Aula 8 (50 min)	Avaliação: Textos escritos por grupos de 3 a 4 estudantes.	Os estudantes resumiram em texto, os aspectos que eles consideraram mais importantes relacionados a todas as aulas até o momento.	Resumo em grupo sobre as discussões dos últimos 2 meses de aula.	
Aula 9 (1h 40min)	Lei de Coulomb	Mecanicismo e a descrição da natureza a partir da matemática: Lei de Coulomb.		
Aula 10 (50 min)	Lei de Coulomb		Exercícios matemáticos sobre a lei de Coulomb	
Aula 11 (1h 40 min)	A pilha de Volta e suas características	Eletricidade medicinal, espírito animal e os experimentos de Galvani. Os trabalhos de Volta		
Aula 12 (1h40min)	Galvani e Volta	O contexto de Volta. Napoleão e financiamento científico.	Discussão sobre reportagens sobre financiamento em ciências	Financiando Ciências e a realidade brasileira.

4.2.1 Semana I: A Atividade da Caixa (2 aulas de 50 minutos cada)

Vale situar que esta aula é a segunda aula do calendário acadêmico. Na primeira aula do ano, apenas o acompanhante estava presente e discutiu com os estudantes, de maneira geral, os objetivos de se estudar ciências e algumas questões conceituais por detrás da construção do conhecimento científico. Nesta segunda aula, que constituiu o primeiro encontro do pesquisador com as turmas, foi desenvolvida

uma atividade com a finalidade de discutir alguns aspectos gerais da construção do conhecimento científico e de criar um primeiro momento de interação entre os estudantes e o pesquisador. Segundo informações prévias (colhidas na primeira aula pelo acompanhanter), no ano letivo anterior, as turmas tiveram aulas de física que se pautaram apenas na apresentação de conceitos específicos e resolução de exercícios. Dessa maneira, a atividade proposta serviu de ponto de partida para discussões em um viés diferente do que os estudantes entendiam por estudo de Física.

Essa decisão (de começar pela atividade) se deu a partir de um encontro entre a líder do grupo de pesquisa (NIEHCC), o acompanhante, também membro do grupo, e o pesquisador. Destacamos aqui, que apesar do grupo de pesquisa ser composto por mais integrantes, esse núcleo de três pesquisadores constitui o grupo central da análise permanente dos resultados, tendo os demais componentes, participação apenas nos resultados de atividades mais específicas. Denominaremos a partir desse momento esses três integrantes do NIEHCC de núcleo central do grupo de pesquisa.

A atividade a ser descrita foi desenvolvida pelo grupo Teknê, nos anos noventa, com o intuito de promover em sala de aula um espaço em que o professor pudesse, a partir de uma atividade interativa, trazer discussões sobre as ciências, no sentido de desconstruir a ideia de que as mesmas se constroem a partir de um somatório de descobertas.

Para começar a atividade, foi pedido que os alunos se agrupassem em grupos de cerca de 4 alunos. Para cada grupo foi fornecido uma caixa (fig. 32). Como existia um total de 4 caixas e o número de grupos era maior (6 na turma de Informática e 7 na turma de Segurança do trabalho), foi estipulado que as caixas revezariam entre os grupos. Metade dos grupos ficaria com a caixa por 3 minutos intercalados com intervalos de 3 minutos nos quais as caixas estariam com os demais 3 grupos.



Figura 32 Caixas utilizadas na atividade.

Na primeira rodada, os alunos foram orientados a observar a caixa podendo manipulá-las da forma que achassem conveniente, mas sem danificá-las. Em seguida, na segunda rodada, a orientação foi de que eles observassem e registrassem quaisquer aspectos que essas caixinhas pudessem apresentar, uma vez que, em algum momento da aula, eles seriam convidados a explicitar, de acordo com suas conjecturas, um modelo para explicar a caixa e os acontecimentos percebidos a partir de sua manipulação.

Os estudantes balançaram as caixas, giraram a manivela, inseriram lápis e canetas no orifício da caixa e giraram a manivela, observando que os objetos ora eram empurrados para fora, ora para dentro da caixa à medida que a manivela girava. Além disso, alguns grupos tentaram iluminar o orifício com lanternas de *smarthpones*, balançaram a caixa para tentar ouvir os ruídos que assim eram emitidos, etc. Enquanto observavam o objeto, os estudantes realizavam anotações em uma folha e se esforçavam para construir explicações do que haveria em seu interior (fig.33).



Figura 33 Estudantes manipulando as Caixas

Após decorrido aproximadamente 40min do início da aula, os alunos foram convidados a expor seus modelos explicativos. Os modelos apresentados referiam-se mais ao formato interno da caixa, o sistema que, quando girado pela manivela, fazia a caneta inserida no orifício subir e descer.

Depois de apresentarem seus modelos, confrontando e completando os de outros grupos, os alunos foram convidados a comentar, quais as relações poderíamos ou não fazer entre a atividade desenvolvida e a construção do conhecimento científico.

Surgiram, assim, discussões que giraram, principalmente, em torno à incerteza de tratar o conhecimento científico como realidade e que o mesmo possui limitações. Nesse sentido, foi destacado pelo professor que, apesar das pequenas diferenças entre as explicações construídas por cada grupo, os estudantes concordaram que muitos desses modelos davam conta, de forma satisfatória, de explicar o observado, o que reforçava uma ideia de que era difícil inferir que essas construções eram uma descrição exata do real. Além disso, dúvidas emergiram acerca de podermos ou não, afirmar que as caixas seriam idênticas entre elas.

4.2.2 Semana I: Primeiros conceitos de eletricidade (1 aula de 50 minutos)

No encontro após a atividade com as caixinhas, o objetivo foi o de apresentar alguns aspectos dos primeiros estudos da eletricidade na antiguidade e avançar para os primeiros conceitos modernos relacionados ao tema. Lembramos que o recorte histórico para a presente tese é o contexto histórico europeu dos séculos XVIII e XIX, no qual se deu a construção de instrumentos relacionados ao estudo da eletricidade, tais como a Garrafa de Leiden e a Pilha de Volta. Todavia, apresentar os conceitos anteriores em uma perspectiva não-histórica, seria romper com os objetivos da proposta. Assim, construímos e iniciamos discussões sobre a eletricidade a partir da perspectiva histórica pretendida.

Começamos a discussão atritando um canudinho de plástico com um pedaço de jornal. Enquanto os alunos observavam esse procedimento, foi explicado a eles que a partir de agora, entraríamos especificamente na ementa do programa, e nesses primeiros momentos, faríamos uma ponte com a aula anterior, quando possível. Após fixar o canudinho na parede, pedimos que os alunos construíssem explicações para o ocorrido.

Antes de avançar no conteúdo, mais um procedimento foi realizado para ilustrar o efeito experimental anterior, atritamos um bastão de PVC com um pedaço de jornal e aproximamos de pequenos pedaços de papel alumínio que foram atraídos pelo bastão (fig.34).



Figura 34 Experimento realizado: Bastão de PVC atritado com jornal atraindo pequenos pedaços de papel alumínio e de papel.

Seguindo para discussões históricas, fizemos referência ao âmbar e suas utilizações na Grécia micênica em manufaturas e ornamentos e, como estudos atuais que indicam ser a procedência de tal resina fossilizada encontrada na Grécia, proveniente da região báltica europeia, o que sugere possíveis trocas entre povos de diferentes regiões da Europa (BECK, 1974).

Perpassando por estudos de Tales de Mileto (640-546 a.C.) e Willian Gilbert (1544-1603), destacamos os trabalhos de Gilbert na medicina e sobre as propriedades elétricas e magnéticas. Nesse momento destacamos a construção do que seria um eletroscópio *(versorium)* por Gilbert (BENJAMIN, 1895). Discutimos que Gilbert trabalhou com diferentes materiais, e não só o âmbar, analisando suas capacidades de atrair outros corpos quando atritados. Para avançar nas concepções de atração e repulsão elétrica, realizamos experimentos simples, com materiais como o tubo de PVC, canudinhos plásticos e papel que nos permitiram trabalhar os conceitos de corpo eletrizado, eletrização por atrito, atração e repulsão elétrica.

Essas discussões nos levaram a apresentação da concepção moderna da matéria (não contemporânea como buscamos deixar claro). Além de retomar a concepção de átomo moderno, já familiar para os estudantes, essa discussão conceitual nos permitiu apresentar a série triboelétrica, definir em termos modernos a eletrização por atrito, a conservação de cargas elétricas e os fenômenos de atração e repulsão apresentados nos experimentos.

Optamos por apresentar a concepção moderna da matéria, pois a ementa do curso a previa. Decidimos por apresentar as concepções modernas em paralelo com

as que se desenvolveram historicamente, discutindo o contexto e a limitação de cada qual, para não comprometer as discussões que pretendíamos nas próximas aulas e, tampouco comprometer os conceitos modernos que devem ser trabalhados no tempo didático disponível. A definição de carga negativa e positiva possibilitou discutir o que seria um corpo neutro e um corpo eletrizado em termos do equilíbrio ou excesso de cargas. Além disso, buscamos explicitar brevemente, que esse modelo atômico não era a concepção atual para a matéria e que o modelo padrão concebe muitas partículas e características distintas do átomo moderno.

4.2.3 Semana II: O Contexto de Dufay e do pesquisador contemporâneo, as máquinas eletrostáticas e o laboratório de Física (2 aulas de 50 minutos cada).

Após a semana I, o núcleo central do grupo de pesquisa, delineou que além do avanço nas discussões contextuais e históricas, descritas a seguir, deveríamos ter como ponto central, levantar temáticas que poderiam ser relacionadas com aspectos contemporâneos da ciência e fossem passíveis de serem retomadas em aulas posteriores.

A questão central deste terceiro encontro seria, ao apresentar o contexto de Dufay, discutir os aspectos “extra-científicos” que o impulsionaram a entrar na Academia de Ciências de Paris e a importância de se estar nessa Academia no período tratado (JARDIM, GUERRA, 2017b). Além disso, no decorrer dessa discussão, deveríamos fazer com que os alunos, a partir de uma breve busca na internet, levantassem algumas informações sobre Ártur Ávila, o matemático brasileiro/francês ganhador da medalha Fields e que trabalha em um centro de ponta em pesquisas na França. Dessa forma, pretendíamos suscitar questões sobre o contexto de um pesquisador e a importância de se estar em grandes centros de produção de conhecimento para o desenvolvimento do trabalho científico, seja pela visibilidade, seja pela estrutura disponível ou pela rede de influências que o circundam.

Nesse encontro, foi discutida a popularização das máquinas eletrostáticas, principalmente no século XVIII, no contexto das palestras itinerantes e demonstrações, juntamente com explicações a respeito do funcionamento delas, baseado nos conceitos já discutidos em aulas anteriores. Discutimos, ainda, que as máquinas eletrostáticas eram utilizadas em tratamentos medicinais (JARDIM, GUERRA, 2018). Destacamos como a partir de trabalhos como os de Stephen Gray começam a ser definidos os conceitos de condutores e isolantes elétricos e como tais conceitos podem ser explicados a partir da concepção de estrutura moderna da matéria. Além

disso, sobre os estudos de eletricidade comunicada de Gray, relacionamos os fenômenos de polarização de cargas em condutores e isolantes. Para dar continuidade à discussão a respeito das observações e conclusões de Charles Dufay acerca dos fenômenos elétricos, destacamos que, antes de Dufay se tornar membro da academia, ele não tinha nenhum trabalho reconhecido como cientista (JARDIM, GUERRA, 2017b).

Foi perguntado aos estudantes o que eles acreditariam que poderia ser relevante para que uma pessoa nessas condições adentrasse em uma instituição científica, que era considerada de muita importância à época. Em geral, os estudantes se manifestaram na direção em que tal benefício deveria ter sido alcançado por influências, tais como seu pai financiar a academia ou ele conhecer pessoas importantes lá dentro, construindo um paralelo com o que eles acreditavam ser bem razoável de se ocorrer nos dias atuais.

Destacamos, então, o contexto de Dufay e a rede de contatos de seu pai (fig35), ou seja, aqueles que apoiaram sua entrada na Academia de Ciências de Paris (JARDIM, GUERRA, 2017).



Figura 35 Slide do Curso: Rede de Contatos de Dufay e seu pai e apoiadores da candidatura de Dufay A um cargo na Academia de Ciência de Paris.

Para prosseguir, nos voltamos ao papel de instituições como as academias de ciências no século XVIII. Situamos que as Universidades, naquele contexto, não se

encontravam na vanguarda de produção do conhecimento e que as academias assumiam, cada vez mais, uma posição de destaque na produção e validação do conhecimento científico. Membros de tais instituições, e principalmente, em países como Inglaterra e França, possuíam acesso privilegiado aos trabalhos que eram produzidos além de receber muito mais visibilidade para seu próprio trabalho (JARDIM, GUERRA, 2017b). Nesse momento, foi ressaltado que o número de academias científicas na Europa daquela época estava em crescimento. Buscamos, então, questionar os estudantes se atualmente poderíamos discutir o papel das instituições na ciência. Segundo os estudantes, instituições de grande porte e muito famosas, como Harvard ou MIT, ou dentro do Brasil, Universidades como USP, UFRJ e PUC, vêm acompanhadas de um "selo de qualidade" que de antemão já asseguram, de certa forma, a boa qualidade do trabalho de um pesquisador oriundo delas.

Buscamos nesse momento, mesmo que sem discutir com maior profundidade, destacar que a localidade, seja no quesito país ou instituição, exerce um peso sobre a produção e divulgação do conhecimento de um cientista, não só no contexto histórico do século XVIII, mas também na atualidade como os próprios estudantes haviam argumentado.

Para dar continuidade à discussão, apresentamos uma foto do matemático Artur Ávila (fig.36), pesquisador desconhecido pelos estudantes até então.



Figura 36 Ártur Ávila, brasileiro/francês ganhador da medalha Fields 2014.

Para avançar na discussão sobre o contexto de um pesquisador contemporâneo, foi solicitado aos estudantes que fizessem uma breve pesquisa na internet, através de seus *smartphones*, no intuito de buscar informações sobre Ártur Ávila. À medida que encontravam informações, os estudantes iam apresentando os colégios nos quais ele estudou no ensino básico[46], informação que foi relacionada a ele provavelmente possuir um bom poder aquisitivo; os prêmios que ele conquistou; o fato de ele possuir nacionalidade dupla (brasileira/francesa) e os locais onde se graduou e se pós-graduou.

Destacamos que não é simples julgar os fatores que levam um ou mais pesquisadores a serem laureados com prêmios como o Nobel ou a medalha Fields, mas que uma busca na internet poderia nos fornecer algumas informações relacionadas à nossa discussão naquele momento. Ao pesquisar no site *Wikipedia*[47], podemos perceber que a maioria dos ganhadores da medalha Fileds, quando não oriundos de países da Europa Ocidental, Rússia ou EUA, tinham dupla nacionalidade como no caso de Ártur Ávila (Brasil/França) ganhador da medalha em 2014, Richard Borcherds (África do Sul/ Reino Unido) ganhador em 1998, Ngô Bao Châu (Vietnã/França) em 2010 e/ou eram oriundos de uma instituição desses países como o caso de Terence Tao (Austrália), ganhador da medalha Fields em 2006 e se doutorou em Princeton (EUA) e da matemática Maryam Mirzakhani 2014, que se doutorou em Harvard (EUA), sendo esta última, segundo a fonte de pesquisa, a única pessoa nascida no Irã e, também, única mulher a receber a medalha Fileds.

Aproveitando a discussão sobre o contexto de um cientista, continuamos a apresentar as conclusões de trabalho de Dufay que, a princípio, indicavam que todos os materiais poderiam ser eletrizados, exceto metais, líquidos e materiais “macios”. Mencionamos, ainda, que um tempo depois dessas conclusões, Gray desenvolveu trabalhos que indicavam a possibilidade de fazer com que os líquidos apresentassem efeitos elétricos. Ressaltamos, então, que Dufay, por estar na academia, tinha com rapidez acesso a novos trabalhos, como os de Gray e, que ao tomar conhecimento daqueles resultados, refez seus experimentos e reproduziu as montagens experimentais de Gray e reformulou suas conclusões (JARDIM, GUERRA, 2017b).

No intuito de ilustrar as conclusões de Dufay, após tomar conhecimento de trabalhos como os de Stephen Gray, discutimos um exercício sobre a dificuldade de eletrizar metais ao segurá-los em nossas mãos. Indicamos, assim, as novas

---

46 Colégio São Bento e Colégio Santo Agostinho, ambos da rede privada na cidade do Rio de Janeiro.

47 https://pt.wikipedia.org/wiki/Medalha_Fields

conclusões de Dufay que apontavam para a possibilidade de se eletrizar quaisquer materias, mas que para isso, o procedimento deveria ser cuidadoso e o material a ser eletrizado deveria se encontrar em uma superfície isolada. Procuramos enfatizar que esses apontamentos, conhecidos como Regra de Dufay, foram muito divulgados entre os que trabalhavam com eletricidade (JARDIM, GUERRA, 2017b). Os estudantes se manifestaram retomando argumentos que se referem à posição de um pesquisador em uma estrutura institucional para discutir que essa ampla difusão da Regra de Dufay se devia não só a "utilidade" de seus resultados, mas também à sua importância acadêmica no momento, por ser membro de uma academia influente e ser de nacionalidade francesa.

4.2.4 Semana II: Máquinas Eletrostáticas, experimentos e o laboratório de Física (1 aula 50 minutos)

O núcleo central do grupo de pesquisa, discutindo os resultados advindos do último encontro e o andamento das atividades como um todo, decidiu caminhar por uma modificação no andamento das discussões. A princípio, pretendíamos, após discutir o contexto das academias e situar Dufay, dar continuidade sobre o contexto do século XVIII, discutindo a República das Letras e publicações acadêmicas do período. Todavia, como este encontro seria um encontro de 50 minutos, e o último da semana, concluímos que não seria possível aprofundar o debate pretendido de maneira adequada. Dessa maneira, decidimos que deveríamos direcionar esse tempo de aula para apresentar as máquinas eletrostáticas e o eletroscópio de folhas, aparatos que se popularizaram nas palestras itinerantes, tratamentos medicinais e estudos experimentais sobre a eletricidade, temas que voltariam à discussão nos próximos encontros. Assim, quando alcançássemos a discussão teórica sobre as dificuldades conceituais que envolviam a Garrafa de Leiden, poderíamos voltar maior atenção a esse aparato, uma vez que os estudantes já teriam algum conhecimento sobre as máquinas eletrostáticas.

Ressaltamos ainda, que as máquinas eletrostáticas que tínhamos a disposição eram um gerador de Van der Graff e uma máquina de Wimshurst, respectivamente construídas início do século XX e segunda metade do XIX. Todavia, o objetivo era deixar essa informação clara e reforçar que os conceitos estudados explicariam o funcionamento delas e de outras máquinas mais antigas como as que já havíamos mostrado nos slides. Assim, discutimos os conceitos modernos e históricos relacionados às máquinas disponíveis e ao eletroscópio de folhas (fig.37). Os alunos

pareceram bastante interessados e destacaram que aquela era a primeira vez que entravam no laboratório de Física da instituição. Estavam muito animados em conhecer o laboratório.



Figura 37 Laboratório de Física, apresentando Máquinas eletrostáticas, eletroscópio e conceitos físicos.

4.2.5 Semana III: República das Letras, Instituições da ciência e publicações científicas; Um paralelo entre o moderno e o contemporâneo (2 aulas de 50 minutos cada)

Após a segunda semana, foi realizado um encontro com o núcleo central do grupo de pesquisa para definir os objetivos e as discussões que serviriam de diretrizes para as aulas seguintes. A partir dos resultados prévios, decidiu-se que seguiríamos a discussão, nos dois tempos da aula de terça-feira, sobre o contexto de comunicação do conhecimento através da estrutura virtual denominada “República das Letras” e as publicações impressas no século XVIII, com vistas a suscitar discussões acerca de alguns aspectos das publicações científicas impressas (e online) na atualidade. Para isso, inserimos temas relacionados aos processos de publicação de artigos, destacando os caminhos seguidos pelos cientistas para a publicação e a relação das empresas, que detém grande parte das publicações acadêmicas internacionais, com a acessibilidade do material publicado.

Como percebemos que, apesar da participação dos estudantes nas discussões que envolviam a HCC e contemporaneidade, alguns deles pareciam encarar como

algo não natural a uma aula de Física, indicando que para eles aquelas discussões eram um anexo às aulas de “conteúdo de fato”, começamos a aula enfatizando a importância de os alunos continuarem com suas anotações sobre os temas apresentados, mas que deveriam buscar a construção de um resumo dos principais aspectos das discussões ocorridas em cada aula, pois os mesmos seriam utilizados posteriormente para uma atividade avaliativa em sala.

Apresentamos a estrutura virtual conhecida como “República das Letras”, seus ideais e como, na prática, ocorria a hierarquização de seus membros (JARDIM, GUERRA, 2017b).

Nessa discussão, situamos novamente, os países que tinham maior destaque na produção do conhecimento científico da época, França e Inglaterra. Utilizamos a figura 38 e figura 39 para destacar como as principais circulações de correspondências científicas ocorriam entre esses países de maior destaque. Ressaltamos, assim, que Franklin por estar nos EUA que não é um país central naquele contexto volta a maior parte de suas correspondências para a Europa (fig.39). Além disso, aproveitamos para ressaltar que a grande maioria de seus correspondentes era de homens. Sobre o baixo número de correspondentes femininos os estudantes foram questionados se acreditariam haver alguma razão especial para tal. De maneira geral, houve indicações, por parte dos estudantes, de que as mulheres seriam negligenciadas historicamente em muitos aspectos, como a ciência, política e assuntos julgados como importantes e que hoje, apesar de em teoria, o panorama ser diferente, ainda conservaríamos resquícios dessa estrutura.



Figura 38 Slide do Curso: Densidade de correspondências entre Voltaire por região.

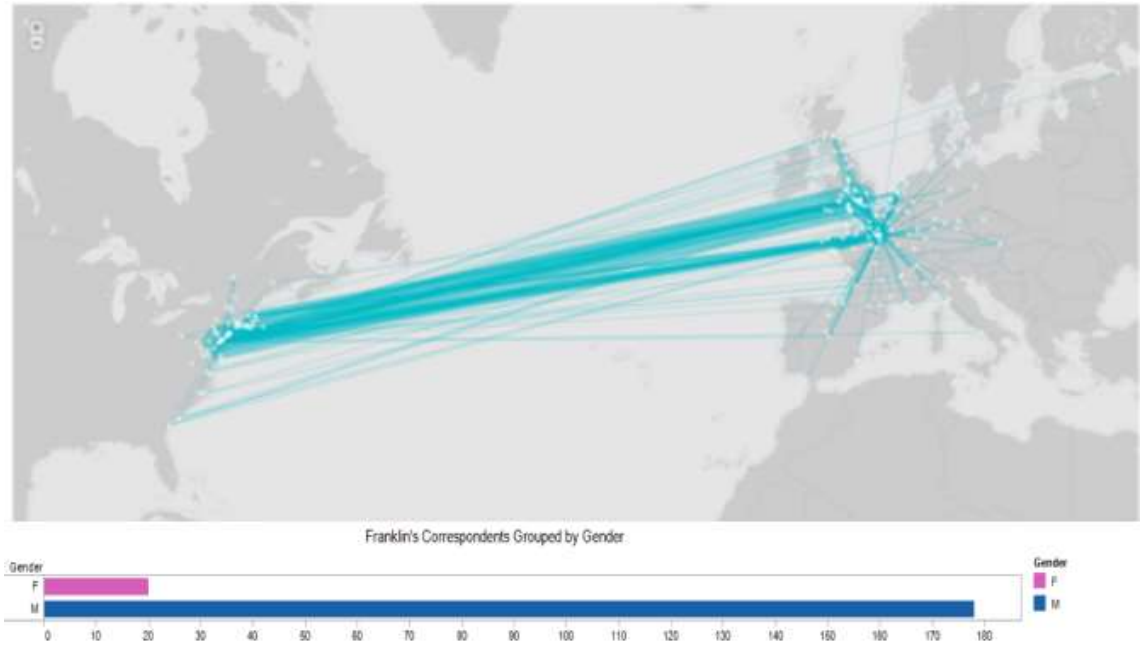


Figura39 Densidade de cartas trocadas por Franklin mostrando sua grande rede de contatos na Europa Ocidental e que a grande maioria de suas correspondências se deu homens.

Sobre a República das Letras que apresentava um ideal de igualdade e benevolências, discutimos qual era o perfil geral das pessoas que compunham essa estrutura. Destacamos assim, as trocas de favores, os interesses e como as mulheres ficavam à margem dessa dinâmica. Nesse momento, fizemos referência à Laura Bassi, destacando que as mulheres de classes sociais mais altas, em geral, tinham uma boa educação e que as permitia auxiliar os homens de sua família nas atividades científicas, mas não de caminharem com suas próprias pernas (JARDIM, GUERRA, 2017b).

Ressaltamos que as trocas de cartas existiam antes do século XVIII, mas que a proporção aumentou muito nesse século, principalmente, devido à criação dos serviços postais estatais no final do século XVII. Ressaltamos que, como Voltaire e Franklin, Dufay foi uma das pessoas de destaque na República das Letras.

Além da República das Letras, discutimos o papel dos editores e das publicações impressas para a validação e difusão do conhecimento no século XVIII (JARDIM, GUERRA, 2017b) no intuito de traçar uma discussão contemporânea sobre as formas de publicação na atualidade. Os estudantes mencionaram que hoje em dia as publicações devem ocorrer por meio da internet, mas em sua maioria, os não apontaram maiores especificidades, com exceção de alguns poucos que utilizaram termos como “revista científica” ou nomes de periódicos como a “Nature”.

Como, nesse momento, os estudantes não apresentaram muitas informações/argumentos que possibilitassem desenvolver o tema, demos continuidade a aula pedindo que os alunos buscassem por quatro artigos de diferentes revistas e fizessem seu download (fig.40)

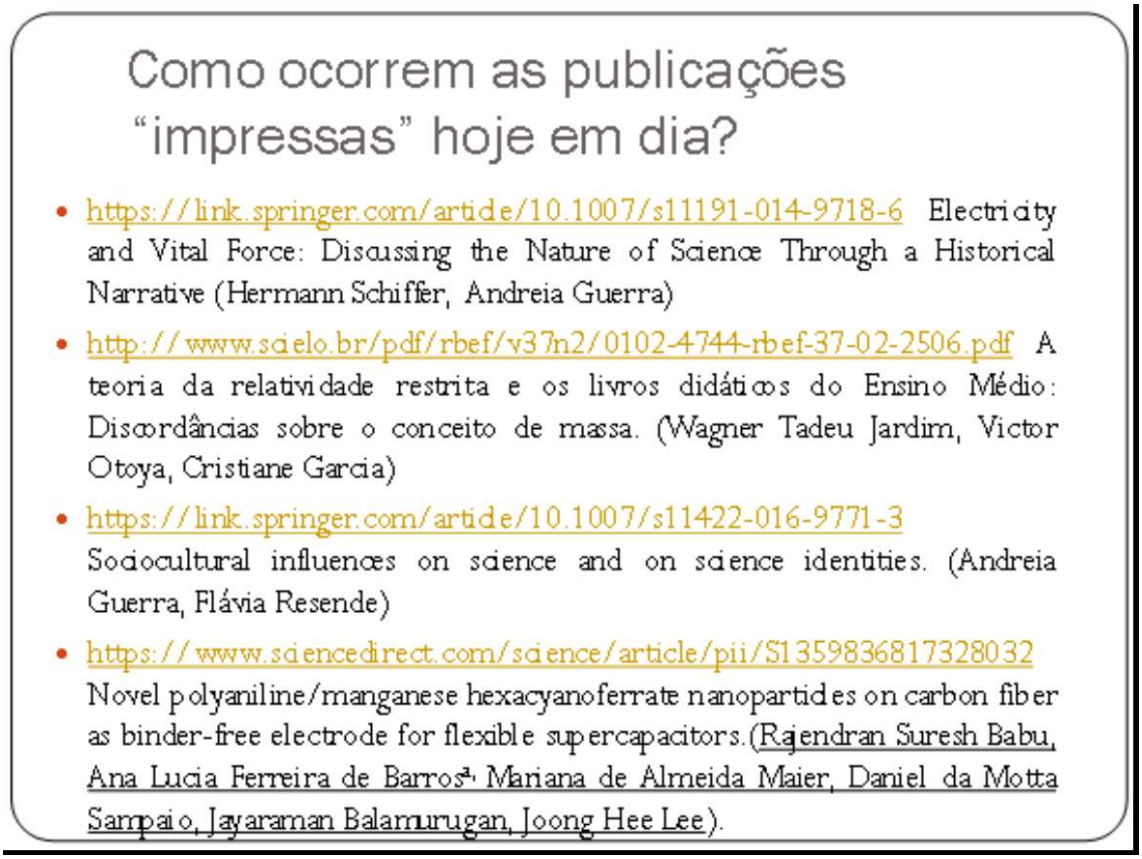


Figura 40 Slide do Curso; artigos indicados para que os estudantes tentassem realizar o download em sala.

Aproximadamente metade dos alunos realizou buscas pelos artigos. Parte dos estudantes alegou impossibilidade de buscar e baixar os arquivos devido a limitações na internet de seus *smartphones*. O artigo da *Revista Brasileira de Ensino de Física*, por estar na *Scielo*, foi baixado rapidamente e gratuitamente. Para os demais artigos, os estudantes se depararam com a opção de compra, em dólares. Exceção feita a uns poucos alunos que estavam utilizando a rede de internet do CEFET e conseguiram acessar os artigos pagos através do Portal Periódicos CAPES.

Antes de prosseguir com a questão do acesso, indicamos que voltaríamos a esse tema, mas, primeiro iríamos discutir aspectos que levam uma revista a aceitar publicar artigos. Destacamos que nas academias de ciências do século XVII, era comum que as cartas recebidas fossem lidas em reuniões entre seus membros e ali era decidido se o trabalho merecia ou não ser publicado nas edições impressas das

academias. Destacamos que por muito tempo, os editores decidiam sozinhos, mas que se tornou inviável que uma pessoa avaliasse o mérito de trabalhos de áreas cada vez mais variadas, assim, foram instituindo os comitês avaliadores. Destacamos então, o papel do editor nos periódicos contemporâneos bem como os processos de revisão por pares, duplo cego, simples cego e a revisão aberta[48].

Os alunos que se manifestaram sobre as possíveis formas de avaliação, se posicionaram em favor do "duplo-cego", dizendo que seria a única maneira de assegurar uma avaliação isenta de preconceitos ou favorecimentos.

A partir daí, começamos a discutir com eles o papel das empresas como a *Elsevier* e as possibilidades de publicação em relação aos custos[49]. Foram discutidos que existem sistemas onde os autores e os leitores não pagam diretamente pela submissão e leitura do artigo, sistemas, nos quais o autor paga pela publicação e os leitores tem acesso livre ao artigo e sistemas, em que o autor não tem custos para publicar seu trabalho, mas os leitores pagam por seu acesso.

Essa "atividade" mobilizou boa parte dos estudantes que opinavam sobre as discussões que envolviam custos de publicação e quem financiava e recebia dinheiro com esse processo.

Discutimos que, apesar dos custos e possíveis lucros desse sistema de publicação do conhecimento científico, autores, avaliadores e muitas vezes os editores, não recebiam dinheiro por suas atividades. No entanto, participar dessas atividades e publicar em periódicos de renome (muitas vezes pagos diretamente por autores e/ou leitores, mas nem sempre) constitui parte indispensável do trabalho de um pesquisador , o que acaba gerando certa dependência do sistema vigente.

Ao comentar que em algumas revistas, o custo para se publicar um artigo poderia chegar a valores como 3200 dólares estadunidense como na *Physical Review* and *Letters* (caso os autores optem para que seu artigo seja de livre acesso aos leitores)[50] ou mesmo 5200 dólares estadunidense, como no caso da *Nature*

---

[48] Para mais informações sobre o tema, acessamos (http://blog.scielo.org/blog/2015/03/27/avaliacao-por-pares-modalidades-pros-e-contras/#.WqMK2-jwbIU), último acesso, 04/04/2018.

[49] Para mais informações sobre as possibilidades de publicação, além da experiência própria dos pesquisadores que compõem o grupo, foram utilizadas fontes que discutem e apresentam os modos de publicação, em relação aos custos tais como (https://www.zmescience.com/other/feature-post/sci-hub-effects-academic-publishing/), (http://blog.scielo.org/blog/2013/09/18/quanto-custa-publicar-em-acesso-aberto/#.Wpc7uejwbIU), (http://posgraduando.com/revistas-open-access/) e publicações que discutem e apresentam o movimento contrário às práticas consideradas por muitos, como abusivas, das empresas que detém os direitos da maior parte das publicações acadêmicas mundiais e lucram cifras exorbitantes com isso (https://simetriadegauge.blogspot.com.br/2015/12/um-monstro-que-pega-o-seu-dinheiro-o.html), (http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/26273-preco-de-acesso-a-pesquisas-impede-inovacao.shtml). Essas são apenas algumas das reportagens acessadas, em momento anterior à aula, que serviram de base para as discussões em sala.

[50] https://journals.aps.org/authors/open-access-physical-review-physical-review-letters

Comunications[51], os alunos se mostraram bastante espantados e houve muitos questionamentos acerca de se um autor, além de pesquisar, deveria mesmo pagar para divulgar os resultados.

Aqui, mais uma vez, ressaltamos o papel de se estar em uma instituição e dos benefícios proporcionados por isso, como a possibilidade de um financiamento para realizar e publicar suas pesquisas. Destacamos, ainda, que essas possibilidades dependem, no entanto, do interesse da instituição em se envolver com pesquisas acadêmicas e da existência de uma verba que se destine a essa finalidade. Outro fator de interesse que derivou dessa discussão foi a do alcance que a língua de publicação teria em relação a outra, como no caso do português e do inglês, sendo esta última, como reconhecido pelos estudantes, como um meio de comunicação quase universal. Ainda em relação a língua de comunicação do conhecimento, surgiram argumentos que apontavam uma dificuldade extra que impacta as pessoas que pretendem seguir uma carreira acadêmica (ou mesmo não acadêmica) encontram devido à ausência, em sua estrutura social, de uma cultura/condição financeira de aprender línguas estrangeiras.

No sentido da limitação ao acesso do conhecimento científico por questões financeiras, indicamos movimentos ainda atuais como os de boicote a *Elsevier* e os sites *sci-hub* e *Genesis Library*[52] que infligem os direitos autorais dessas empresas, burlando a necessidade do pagamento para download de um conteúdo que é vendido pela empresa. Ressaltamos que essas manobras, apesar de ilegais, carregam uma crítica à limitação ao acesso do conhecimento, que coloca muitas pessoas como periféricos do acesso ao conhecimento científico.

As discussões sobre esse assunto pareceram instigar grande interesse nos estudantes.

4.2.6 Semana III: Locais de divulgação do conhecimento no séc. XVIII; Palestras Itinerantes, Aulas Particulares e Universidades: experimentação, instrumentadores e instrumentos. (1 aula de 50 minutos)

Nesse encontro, buscamos enfatizar o papel das Universidades no ensino do século XVIII e de outros locais que começavam a se apresentar como opção para

[51] https://www.nature.com/ncomms/about/article-processing-charges

[52] Algumas informações utilizadas para o debate foram extraídos de sites como (http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/26273-preco-de-acesso-a-pesquisas-impede-inovacao.shtml) e (https://www.zmescience.com/other/feature-post/sci-hub-effects-academic-publishing/)

aqueles que buscavam o conhecimento científico, mas que não tinham acesso as instituições oficiais. Assim, discutimos o papel da Holanda no contexto europeu, tanto comercialmente como na produção de conhecimento, a cultura instrumentalista que se instaura na Universidade de Leiden no final do séc XVII e como os experimentos tomam lugar nas palestras itinerantes e aulas particulares (JARDIM, GUERRA, 2017b). Para isso apresentamos os anfiteatros de anatomia (fig.) e Física. Os estudantes levantaram questionamentos em relação ao anfiteatro de anatomia e a procedência dos cadáveres que eram ali analisados e uma possível relação com a permissão ou não da igreja para tais acontecimentos.

Os anfiteatros de anatomia, assim como os de física, se relacionavam com um contexto em que os experimentos e atividades práticas se difundiram e compuseram os espetáculos de entretenimento, discussões acadêmicas e aulas particulares. Assim, reforçamos como o contexto de divulgação do conhecimento científico tomava cada vez mais espaço, sendo parte do público formado por mercadores e pessoas que não tinham acesso à Universidade, mas possuíam interesse (e algum recurso) para a ciência. Buscamos destacar, assim, como a experimentação se difundiu amplamente nesses espetáculos de demonstração e, também, nos espaços de ensino dentro e fora das Universidades. Dessa maneira, as práticas experimentais permeavam o contexto onde se encontravam pessoas que construíam instrumentos científicos para uso próprio ou comercialização. Dentre esses instrumentalistas, destacamos Musschenbroek e Kleist.

Os alunos demonstraram interesse em saber quem eram as pessoas que ofereciam essas aulas particulares e quais experimentos eram realizados nas palestras itinerantes de física e dissecações realizadas pelos anatomistas.

4.2.7 Semana IV: A Garrafa de Leiden (2 aulas, 50 minutos cada)

A reunião com o núcleo do grupo de pesquisa indicou que nessa semana, retornaríamos ao Laboratório de Física para apresentarmos a Garrafa de Leiden, por esse ser um espaço mais adequado para os experimentos que seriam conduzidos. Além disso, na aula discutiríamos a difusão do aparato e sua apropriação pelo público composto por acadêmicos ou não e uma prática comum da época, a utilização de eletricidade relacionada a estudos de fisiologia animal e humana, o que adiantaria o contexto de Galvani e Volta que pretendia-se trabalhar posteriormente (JARDIM, GUERRA, 2018).

Esse encontro se deu no laboratório de Física do CEFET[53]. Para iniciar a discussão, retomamos o contexto da Europa no século XVIII em relação à circulação do conhecimento e locais de ensino. Destacamos as aulas privadas e palestras itinerantes, principalmente voltadas ao público interessado, cada vez maior e que estava fora das Universidades. Assim, destacamos as aulas e experimentos como o de Bose, de extração de "fogo elétrico" da água e de ignição de líquidos inflamáveis. Além disso, relembramos a Regra de Dufay e como sua repercussão lhe concedeu o status de "regra", a instituição a qual Dufay era membro (academia de Paris) e o que ela significava para naquele contexto.

Assim a discussão se voltou para as dificuldades que envolviam a construção da Garrafa de Leiden. Sobre o processo de aterramento, essencial para se carregar o aparto, os alunos questionaram sobre o porquê do procedimento adotado, se, de acordo com o esperado na época (e sobre o que tínhamos estudado até então), não isolar a garrafa deveria significar um escoamento direto da máquina eletrostática até o chão. Ao contextualizar a garrafa como um capacitor, relacionamos o aparato aos capacitores modernos e explicamos as estruturas de um capacitor de placas paralelas sempre relacionando-as à Garrafa de Leiden. Nesse momento, retomamos o efeito de indução e polarização de cargas e discutimos o processo de eletrização por indução e de carregamento de capacitores e o aterramento. Enfocamos o papel de cada uma das placas metálicas da garrafa de Leiden e, principalmente, a do isolante (vidro da garrafa) no papel de evitar o escoamento direto da máquina eletrostática até o chão como alguns alunos haviam questionado anteriormente.

Para reforçar os conceitos físicos discutidos e sua relação com a estrutura de uma garrafa de Leiden, disponibilizamos aos estudantes, algumas garrafas de Leiden para que pudessem analisá-las em suas mãos. Dentre essas garrafas se encontravam Réplicas (construídas no período de doutorado sanduíche em Flensburg) e as versões didáticas que por serem desmontáveis permitiram uma fácil visualização de sua estrutura (Fig.41).

[53]Outros detalhes sobre esse encontro e sobre conceitos físicos trabalhados podem ser encontrados em Jardim e Guerra (2018b).



Figura 41 Do lado esquerdo, uma das garrafas replicadas em Flensburg, de maneira a se aproximar da estrutura das originais do século XVIII (método da replicação), à direita, as componentes de uma garrafa de Leiden didática desmontável.

Ressaltamos como se deu a divulgação do experimento a partir de Kleist e Musschenbroek (fig.42) sempre nos remetendo aos aspectos já discutidos, sobre os meios de divulgação do conhecimento naquele contexto e o papel das instituições relacionados a tal. Além disso, ressaltamos as dificuldades/facilidades encontradas por pesquisadores, sobre a replicação do aparato a partir dos relatos destes dois eletricistas (JARDIM, GUERRA, 2017b).

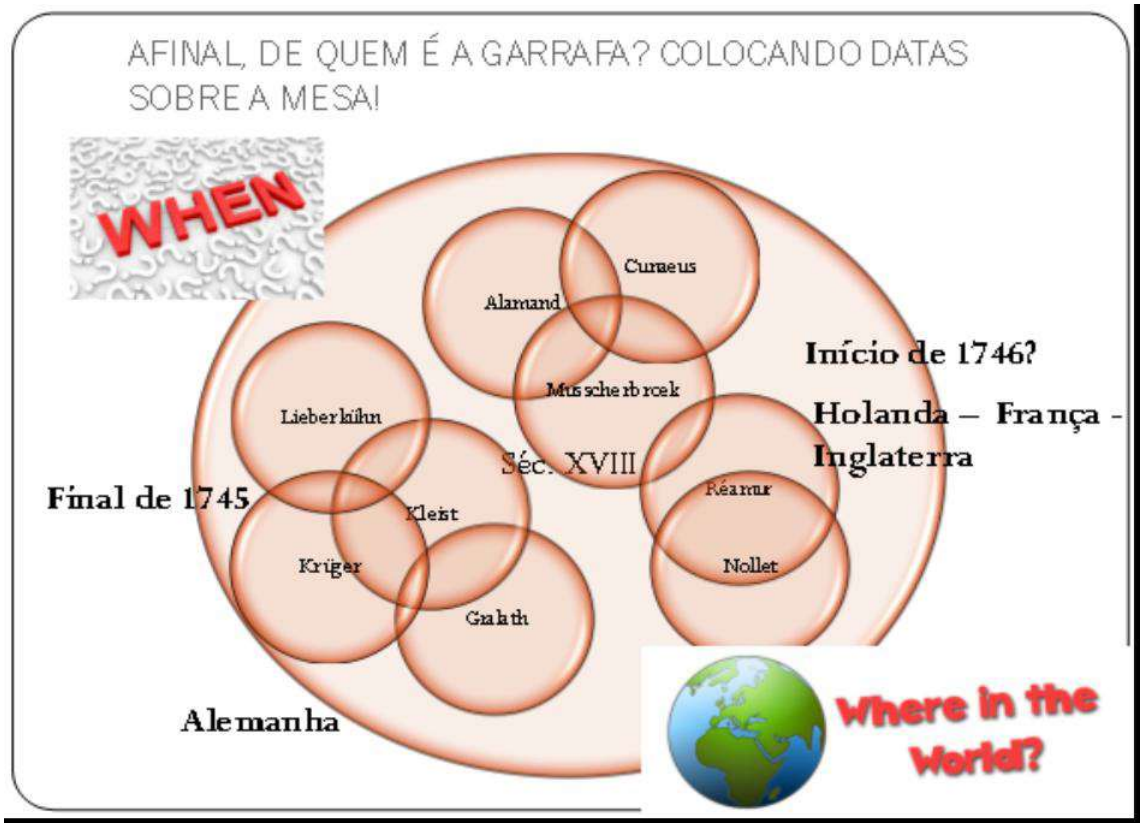


Figura 42 Slide do Curso, Divulgação inicial do primeiro condensador de cargas a partir de Kleist e a partir de Musschenbroek

Enfatizamos que a Garrafa de Leiden suscitou questões acerca dos estudos da época sobre eletricidade, mas que o conhecimento construído, como a Regra de Dufay, não foi abandonada naquele contexto, tampouco a Garrafa de Leiden deixou de ser utilizada apesar da incompreensão dos efeitos produzidos por ela. A Garrafa de Leiden se popularizou nas demonstrações de fenômenos elétricos voltadas ao entretenimento e a pesquisa, dentro do âmbito da pesquisa e entretenimento. Um dos aspectos que destacamos como de grande relevância naquele contexto é que a garrafa de Leiden direcionou muita atenção para a construção e desenvolvimento da ideia de circuito elétrico.

Em geral, defendia-se que quando um bastão de vidro era atritado a outro material para ser eletrizado ou uma máquina eletrostática era colocada em funcionamento, o fluido elétrico deveria ser transferida para outro corpo próximo. Observações relativas ao fato de que uma pessoa ao tocar com uma das mãos o condutor que reveste externamente a garrafa e com a outra mão tocar o condutor ligado à parte interna da garrafa, descarrega o aparato deu suporte para a concepção do caminho (circuito) seguido pela eletricidade.

Um experimento/demonstração que se popularizou bastante neste contexto, foi o de circuitos elétricos formados com pessoas de mãos dadas e uma Garrafa de Leiden (fig.43).

Nesse momento, convidamos os alunos a reproduzir o experimento da corrente elétrica que percorre diversas pessoas, e a partir do experimento discutimos os conceitos de circuito fechado, aberto e aterramento. Repetimos o experimento diversas vezes (a pedido dos alunos) (fig. 43, Fig.44, Fig.45)



Figura 43 Replicação do experimento de circuito elétrico formado por pessoas e uma garrafa de Leiden, como apresentado no slide ao fundo.



Figura44 Slide do curso: Slide Experimento de Nollet utilizando uma Garrafa de Leiden e soldados para formar um circuito elétrico



Figura45 Momento da descarga elétrica a partir da Garrafa de Leiden

Apontamos que a Garrafa de Leiden foi muito usada naquele contexto para aplicações de descargas elétricas com fins terapêuticos medicinais

4.2.8 Semana IV: Eletricidade Medicinal (1 aula de 50 minutos)

Essa aula se voltou para apontar as teorias existentes sobre o “espírito animal”, e enfatizar que diversas pessoas, de diferentes áreas, como Física e Fisiologia, discutiam esse conhecimento, sendo a Garrafa de Leiden, ainda incompreendida conceitualmente, amplamente utilizada para esses estudos.

Destacamos os estudos acerca de contrações musculares e como o uso da eletricidade na medicina, para tratamento de membros enfermos, paralisias, dores de cabeças e como esses estudos se difundiram, ganhando espaço nas academias e periódicos científicos.

Ao final, discutimos que uma das grandes dificuldades em se controlar esses tratamentos era a de dosar a quantidade de eletricidade administrada em cada choque. Assim, instrumentadores se esforçaram por construir configurações que possibilitassem essas medidas, tais como o aparato de Lane, discutindo os estudos a respeito de caminhos para medir os efeitos elétricos, destacando os trabalhos e experimentos de Coulomb e a influência dos de Newton neles.

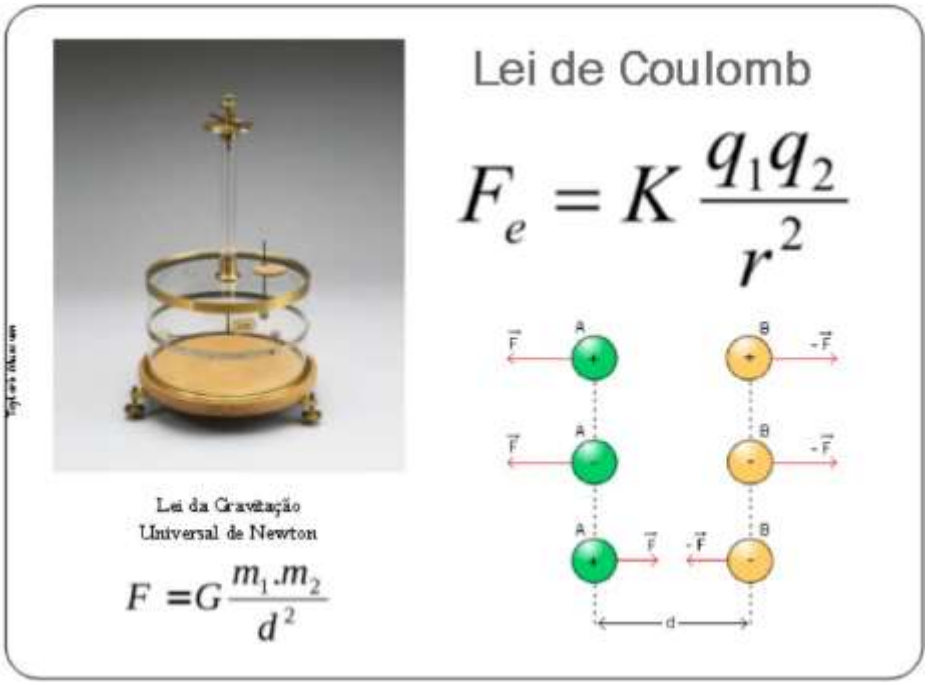


Figura46 Slide do Curso, a lei de Coulomb e a influência da mecânica newtoniana.

4.2.9 Semana V: Resumo construído coletivamente e Exercícios de Lei de Coulomb (3 aulas 50 minutos cada).

Nessa quinta semana, o espaço foi dividido entre duas atividades. A primeira foi uma atividade avaliativa, que consistiu na construção de resumos coletivos por grupos, com 4 estudantes cada, baseados em seus resumos individuais, que haviam construído em casa a pedido dos professores. O resumo deveria conter os pontos que os alunos julgassem como de maior relevância dentre os assuntos discutidos em sala nas aulas anteriores até o momento. Essa atividade pretendeu reforçar e retomar as discussões traçadas ao longo das aulas até então. Os estudantes foram requisitados, ainda, a elaborarem entre 3 e 5 questões que eles gostariam de fazer no intuito de esclarecer algum ponto das discussões em sala que poderiam ser melhores explorados.

A segunda atividade foi a discussão de exercícios matemáticos sobre a Lei de Coulomb.

4.2.10 Semana VI: Exercícios de Lei Coulomb e introdução à Controvérsia Galvani x Volta (3 tempos de 50 minutos cada).

Nessa semana, tínhamos como objetivo, prosseguir nas discussões entorno à controvérsia Galvani x Volta, apresentando o contexto no qual ela se insere,

retomando as discussões das semanas anteriores. Todavia, devido ao pouco tempo destinado anteriormente à resolução de exercícios matemáticos sobre a lei de Coulomb, uma lista de exercícios foi enviada aos estudantes e reservamos parte das aulas para tal finalidade.

Ao apresentar Luigi Galvani, além de sua formação em Bolonha, destacamos como o ensino da época ocorria nas Universidades, se pautando em um conhecimento que era tido como obsoleto por muitos que se dedicavam aos novos estudos da área. As pesquisas que se desenvolviam naquele momento foram conhecidas por Galvani muito por conta das aulas particulares ministradas por professores em suas próprias casas. Situamos os festivais e demonstrações de anatomia que encontravam espaço nos anfiteatros de anatomia e os estudos que Galvani desenvolveu a respeito da fisiologia animal e humana. Além disso, retomamos a discussão sobre as mulheres naquele contexto para situar Lúcia Galeazzi Galvani, mulher de Galvani. A educação das chamadas *Learned Ladies*, como Lúcia Galvani, era voltada para que elas pudessem auxiliar os homens de sua família em suas atividades científicas. Lúcia trabalhou com seu marido conduzindo experimentos e realizando observações.

Imagens dos experimentos de Galvani foram utilizadas para discutir suas montagens experimentais e suas conclusões. A partir das imagens, pudemos identificar elementos trabalhados nas aulas anteriores, como as máquinas eletrostáticas, garrafas de Leiden e o circuito elétrico formado por pessoas (com a rã no lugar da garrafa de Leiden). Destacamos, então, como os experimentos com as rãs começam a ser encarados por diferentes perspectivas, dentre elas, as da Física e da Fisiologia.

Nesse contexto apresentamos Alessandro Volta, destacando sua formação e seus trabalhos em instrumentação (JARDIM, GUERRA, 2018). Foi solicitado, aos estudantes, que na semana seguinte, trouxessem um resumo de uma reportagem que relacionasse Ciência e dinheiro. Os estudantes deveriam trazer o título da reportagem, a fonte da mesma e um breve resumo que apontasse as questões principais, tais como o tipo de financiamento (ou corte de verba) é tratado na reportagem e qual a instituição e área afetada, quando for o caso.

Percebemos que as discussões contextuais realizadas nas aulas anteriores nos permitiram inserir rapidamente a controvérsia Galvani x Volta, de forma bem contextualiza, dentro das questões do período histórico tratado. Isso ocorreu devido aos estudantes já se encontrarem familiarizados com o papel das instituições científicas, locais de divulgação do conhecimento e seus formatos, fora e dentro das Universidades e dos atores e práticas que circundavam estes processos, como as de

eletricidade e fisiologia, temas discutidos nas aulas anteriores. Essa maior “facilidade” em inserir a discussão foi percebida devido às relações construídas pelos estudantes durante as discussões.

4.2.11 Semana VII: A Controvérsia Galvani e Volta e o financiamento na Ciência (Terça-feira; 1h e 40 min).

Nesta aula, o objetivo era retomar as formas de divulgação do conhecimento científico no contexto histórico relacionado a Alessandro Volta e enfatizar que o advento da pilha de Volta não encerrou a controvérsia acerca do fluido animal, tampouco originou explicações incontestáveis em torno ao aparato.

Para iniciar a discussão, retomamos os experimentos com rãs conduzidos por Galvani e alguns dos indícios que levaram os galvanistas a creditar os efeitos observados a uma eletricidade animal. Em seguida, resgatamos o contexto de Alessandro Volta, discutido na semana anterior, apontando algumas das pessoas que o apoiaram em sua vida acadêmica e política (JARDIM, GUERRA, 2018). Para trilhar o caminho da construção do aparato – pilha de Volta – discutimos as diferenças entre a perspectiva dos fisiologistas e dos físicos na explicação dos experimentos com rãs e quais foram as dificuldades de Volta para construir o aparato de forma que seus efeitos fossem facilmente observáveis.

As conclusões e resultados dos experimentos conduzidos por Volta foram divulgados e encaminhados para a *Royal Society* em francês. Nesse momento, percebeu-se uma familiaridade dos alunos com questões em torno às práticas científicas, como o papel das instituições e das línguas e as diferentes formas de comunicação, validação e divulgação do conhecimento científico. Sobre os aspectos de divulgação, ressaltamos, assim, a publicação do jornal *Morning Chronicles* que descreveu a pilha de Volta, antes da publicação oficial pela *Royal Society* (JARDIM, GUERRA, 2018). Nesse momento retomamos a dificuldade ao acesso sobre o conhecimento científico já discutido anteriormente e como as publicações “não oficiais” da pilha contribuíram para sua divulgação. Ressaltamos que, apesar da grande apropriação por cientistas (e não cientistas), a divulgação do aparato foi acompanhada por dúvidas quanto ao seu funcionamento e não encerrou a controvérsia em torno a natureza da “eletricidade animal” (JARDIM, GUERRA, 2018).

Discutimos que a rede de contato de Volta teve papel crucial na difusão de seus trabalhos e como Napoleão se associou ao cientista e influenciou na ciência que era produzida em seu entorno, seja politicamente ou financeiramente (JARDIM,

GUERRA, 2018). Antes de prosseguir para a próxima fase da aula, apresentamos as discussões de Giovani Aldini e outros, defensores do Galvanismo. A crença da eletricidade poder exercer um poder sobre a vida e a morte, experimentos com eletricidade em animais e humanos, relacionados a fisiologia, as interpretações vitalistas para os experimentos originalmente por Galvani, Aldini e seus resultados foram aspectos destacados ao indicarmos o contexto no qual se origina a obra de Mary Shelley *Frankstein* (fig.)((BRAGA, GUERRA, REIS, 2011; PERON, 2015).



Figura47 Slide do Curso

Para prosseguir nas discussões e enfatizar o papel do financiamento na ciência, solicitamos aos estudantes que tivessem em mãos, os resumos das reportagens que foram, na aula anterior, requisitadas para este momento. Assim, foi pedido para que alguns estudantes apresentassem o conteúdo de suas reportagens.

Muitas reportagens diziam respeito aos cortes de verba, por parte do governo, às pesquisas científicas e tecnológicas no país nos últimos anos. A CAPES foi mencionada em grande parte das reportagens, assim, retomamos o papel dessa fundação, já apresentada em aulas anteriores. Algumas reportagens relacionavam o investimento em ciência e tecnologia no Brasil (em função do PIB) com países

desenvolvidos e analisavam a estagnação na qual o país seria submetido, devido à falta de verba para dar continuidade às pesquisas em andamento e realizar novas. Outro fator muito presente nas reportagens apresentadas foi a relação entre o percentual total de investimentos em pesquisa científica brasileira e dos países considerados líderes nesse aspecto. Sobre isso, os estudantes verificaram por meio das informações trazidas por alguns deles, que do montante total investido em ciências no Brasil, a porcentagem oriunda de origem pública é relativamente maior do que a dos países desenvolvidos.

Surgiram questões políticas como a “PEC do congelamento” e qual seria o futuro do país no que diz respeito ao desenvolvimento científico e tecnológico.

Os alunos destacaram que quanto maior o investimento financeiro numa área, maior o número de pessoas que procura nela se profissionalizar, momento em que alguns estudantes traçaram um paralelo entre o panorama contemporâneo e a influência de Napoleão que beneficiava a pesquisa de cientistas de determinadas áreas e acaba por privar outras. Assim, ressaltaram que se Napoleão, ou o nosso governo, ou uma empresa privada decide voltar maior verba para determinada área, provavelmente, mais pesquisadores terão interesse em ali se estabelecer academicamente.

Sobre o financiamento público e privado, de pesquisas científicas, os alunos destacaram possíveis interesses de quem emprega os recursos para tal finalidade. Nesse sentido, um exemplo muito discutido foi o de pesquisas farmacêuticas designadas a apoiar ou contrapor os possíveis benefícios trazidos pelo uso de determinado medicamento ou tratamento. Os estudantes apontaram que, muitas vezes, essas pesquisas seriam encomendadas ou realizadas apenas para dar suporte aos interesses de empresas e investidores. Sobre esses aspectos, surgiram exemplos de situações pessoais de alunos ou de seus familiares que, frente a alguma circunstância relacionada à saúde, se submeteram a tratamentos ou remédios que eram alvo de controvérsia acerca de sua eficácia, seja por parte de diferentes médicos, seja por parte de pesquisas científicas que apontavam para conclusões contraditórias.

Em relação aos cientistas que se deparam com condições muito limitadas para realizar suas pesquisas, discutimos as dificuldades encontradas em países como o Brasil de hoje, em se manter dentro de um padrão internacional de produção do conhecimento científico e como o corte em programas, como o do “Ciências Sem Fronteiras”(CSF), que apoiam estudantes e pesquisadores podem impactar a produção científica no país em médio e longo prazo. Além disso, os estudantes

destacaram que pesquisadores, que desenvolvem trabalhos de grande relevância, estão cada vez mais tentados a sair do país para se estabelecerem em países com maior incentivo às ciências. Alguns alunos destacaram também como a cultura em nossa sociedade encara um cientista que “só pesquisa” e “não trabalha”, como seria o caso, principalmente de alunos de graduação, mestrado e doutorado (bolsistas).

Para aprofundar em questões como a de investimentos destinados a formação de pesquisadores, destacamos que muitas vezes programas como o CSF, são alvo de um discurso generalista que se atém a casos isolados para desmerecer os investimentos recebidos, indicando que não existiria retorno para o país. A discussão pretendeu apontar que é importante que qualquer que seja o posicionamento frente a situações como a de investimentos destinados ao CSF, isso deve ocorrer mediante a uma reflexão crítica, onde devemos ser capazes de analisar os possíveis benefícios ou prejuízos advindos por incentivos ou cortes em programas como esses a médio e longo prazo para o país. Como exemplo, retomamos o exemplo, surgido em aulas anteriores, do dinheiro que é investido para que pesquisadores de todo o país possam ter acesso aos artigos publicados em todo o mundo. Cortar essa verba pode “poupar” um bom dinheiro e não apresentar consequências imediatas, mas qual panorama irá tomar lugar em dez, vinte ou trinta anos?

Ainda sobre a importância dos investimentos em pesquisas científicas, mencionamos uma reportagem recente, sobre uma pesquisadora brasileira que foi a primeira pessoa da América Latina a ganhar um prêmio no Reino Unido pela melhor tese de doutoramento de 2018 e que, em sua entrevista, destaca a facilidade em se pesquisar em países desenvolvidos frente às condições encontradas no Brasil[54]. Assim a discussão em aula se voltou para o risco que corremos, de perder nossos pesquisadores por falta de estrutura.

De maneira geral, os alunos se interessaram bastante pelo tema, que suscitou bastante discussão, gerando relações entre ciência, dinheiro e a situação atual do país nesse sentido.

4.2.12 Semana VIII: A avaliação

Essa semana foi destinada a uma avaliação que contou com questões conceituais e matemáticas sobre eletrização e lei de Coulomb, além de uma questão contextual que iremos discutir no capítulo seguinte.

---

[54] https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/pesquisadora-de-brasilia-ganha-premio-de-melhor-tese-de-biologia-do-reino-unido.ghtml

5 - ANÁLISE DOS DADOS

Como apresentado no Capítulo 3, o processo de análise consistiu, não apenas do capítulo 4 que recaiu sobre as impressões do pesquisador construídas a partir do diário de campo, mas também a partir da Análise Textual Discursiva (ATD). Além disso, após o processo de qualificação da tese que se construía, foi sugerido pela banca que tivéssemos um outro contato com os estudantes para colher mais informações, que agregassem à análise corrente. Assim, nós realizamos um encontro extra que vamos referenciar como entrevista coletiva, registrada em áudio. Nesse encontro, iniciamos uma conversa com toda a turma, perguntando questões gerais como a motivação que os levará ao curso que seguiam, se as expectativas se concretizavam ao iniciar os estudos na instituição e quais os passos seguiriam após se formarem técnicos. A partir dessa conversa inicial, foi possível retomar discussões que tomaram lugar na proposta desenvolvida em sala, relacionando com as impressões dos estudantes sobre o trabalho realizado, sem constituir um ambiente muito direcionado para perguntas específicas e indutivas.

A análise com base na ATD se deu a partir do processo de unitarização e categorização de extratos dos textos escritos pelos estudantes, na aula 8, cujo objetivo era o registro dos elementos que pareceram mais relevantes na visão dos alunos. Essa análise nos permitiu construir um metatexto que sumariza os dados obtidos e as conclusões por nós alcançadas, partir dos textos escritos pelos estudantes.

5.1 Categorização a partir do processo da unitarização

As categorias de análise que serão apresentadas foram construídas durante todo o processo de elaboração da tese à medida em que os dados iam sendo discutidos com o grupo de pesquisa. Apesar da construção das narrativas históricas pressupor temáticas que julgamos relevantes ao âmbito de sala de aula, entendemos que não seria coerente com o referencial teórico adotado, construir as categorias de análise antes do início das aulas. Além disso, vale ressaltar que a interação com a banca de qualificação da tese e o processo de revisão proposto pelos avaliadores de um artigo que se encontra submetido, aguardando avaliação,[55]), nos levaram a revisões na forma final na qual os dados estão apresentados.

[55] Artigo submetido à Science Education, no momento (04/05/2019) o trabalho encontra-se em nova revisão dos pareceristas após o primeiro parecer "aceito com modificações'.

Para facilitar a identificação de quais textos serviram de fonte para cada extrato apresentado no processo de unitarização, utilizaremos o código “R” para representar os resumos coletivos produzidos no 8º encontro com os estudantes. Ainda no intuito de diferenciar a turma de Informática da turma de Segurança do Trabalho, utilizaremos RI (resumo produzido pela turma de Informática) e RS (resumo produzido pela turma de Segurança do trabalho). Os códigos virão acompanhados de um número que identifica qual grupo de estudantes produziu o resumo, assim, o código RS3 identifica o resumo coletivo do grupo 3 analisado da turma de Segurança do Trabalho. Vamos nos referenciar às falas dos alunos, transcritas pelo docente após a gravação de áudio da entrevista coletiva, como Fala 1, para o estudante 1, Fala 2 para o estudante 2 e assim por diante

Do processo de unitarização também, farão parte, as respostas dos alunos das questões que compuseram o processo avaliativo bimestral. Como esta avaliação foi individual, os códigos utilizados serão a letra “E” (estudante) seguida da letra “S” ou “I” que identifica as respectivas turmas de Segurança do trabalho e Informática. Assim, uma aluna (ou aluno) da turma de Informática será identificada(o) por “EI”. Foram construídos 13 resumos coletivos que vão de RI1 ao RI 5 e do RS1 ao RS8.

À medida que os extratos foram sendo identificados e codificados a partir dos textos construídos pelos alunos, realizamos a transcrição desses trechos e suas análises. Como já mencionado na seção anterior, desse processo, emergiram as categorias que foram criadas ao longo da unitarização e que teriam como único objetivo prévio evidenciar possíveis discursos, recorrentes nos textos avaliados, relacionados a pergunta de pesquisa da presente tese:

Quais questões sobre as práticas científicas são elencadas a partir do aporte historiográfico da História Cultural da Ciência quando do estudo dos artefatos garrafa de Leiden e pilha de Volta?

Antes de destacar as categorias analisadas, é importante destacar que para o texto da qualificação apenas apresentamos os resumos obtidos da análise dos resumos coletivos.

Assim, as seguintes categorias de análise surgiram:

a) Identificação de locais centrais de produção do conhecimento

Percebemos aqui, que muitos trechos dos textos construídos remetiam a discussões realizadas em sala sobre o impacto de um estudioso fazer parte de locais centrais de produção, como a Inglaterra e a França no século XVIII. Apareceram referências a maior facilidade de acesso e difusão do conhecimento científico a partir desses locais.

b) República das Letras (publicação impressa) e a troca de cartas como meio de comunicação e acesso ao conhecimento.

Refere-se à dinâmica de troca de cartas entre cientistas como principal meio de difusão do conhecimento no século XVIII e das possibilidades de publicação impressa do conhecimento produzido.

Outro aspecto recorrente, que nos levou à construção da presente categoria, foi o número elevado de menções ao fato de que a maior parte dos integrantes da República das Letras era integrante da elite da época e que havia restrições quanto à efetivação participação na estrutura da comunidade.

c) Caráter experimental do período histórico tratado e circulação do conhecimento fora das Universidades.

Construímos essa categoria, por perceber em muitos dos textos elementos da discussão realizada em sala de aula sobre o papel da parte experimental na ciência e no ensino de ciências, principalmente na Holanda. Nesse contexto, apareceram argumentos que destacavam a limitação da maioria das pessoas a um acesso às Universidades e às academias de ciência e remetiam à crescente prática das aulas particulares, palestras itinerantes e maior importância dos instrumentadores.

d) Difusão do conhecimento na atualidade

Em diversos momentos, identificamos que a discussão construída em sala sobre a limitação ao acesso do conteúdo científico se refletiu em frases e parágrafos dos textos construídos pelos estudantes, o que indicou a necessidade de uma categoria específica sobre as limitações do acesso científico na atualidade em contrapartida a uma falsa sensação de “conhecimento livre” propiciada pelo acesso à internet.

e) Contradições e problemas relacionados ao conhecimento científico estabelecido (Regra de Dufay e Garrafa de Leiden).

Aspectos que nos levaram à presente categoria se referem à aquisição do status de “regra” pelas conclusões de trabalho de Dufay, devido a diversos fatores e

os aparentes problemas e controvérsias entre teoria e prática em se adotar os procedimentos advindos do trabalho de Dufay para se carregar a garrafa de Leiden.

f) Apropriação da Garrafa de Leiden.

Essa categoria surgiu devido à recorrência de argumentos referentes à utilização da garrafa de Leiden e sua grande popularização, principalmente em relação a “eletricidade medicinal” e palestras itinerantes.

g) Financiamento em ciências

A criação desta categoria emergiu após a entrevista coletiva, momento no qual questões relacionadas a financiamento científico, muito destacadas pelos estudantes, foram relacionadas a temas discutidos em aula.

5.1.1 Extratos dos resumos coletivos que originaram as categorias construídas.

Apresentaremos a seguir, os extratos dos textos que nos levaram a construção de cada uma das categorias descritas anteriormente:

a - Identificação de locais centrais de produção do conhecimento.

No século XVIII, as principais potências na produção do conhecimento eram a França e a Inglaterra, pois tinham as academias mais reconhecidas da época, podendo ser consideradas como centros científicos (RI1).

A república das Letras reunia cientistas principalmente da Europa, pois era o grande centro científico da época (RI2).

Nesse mesmo contexto histórico, criou-se grande destaque acadêmico na Holanda, pois a mesma era um meio de comunicação entre a Inglaterra e o resto da Europa, tanto comercialmente, quanto na produção do conhecimento acadêmico (RI2).

Ela [a eletricidade] passa a ser intensamente estudada com a influência das grandes Academias (RI3).

Alguns países começaram a virar potências na questão da experimentação, muito devido a sua localização geográfica (entre a Inglaterra e a França, dois principais centros científicos) [...](RI3).

O condutor [garrafa de Leiden?] foi mais conhecido a partir de Musschenbroek por conta de ele estar em locais mais centrais na divulgação do conhecimento (RI1).

Dufay, por entrar na República das Letras, sem ser pesquisador, apenas por influência, era respeitado e tinha legitimidade frente aos outros cientistas? (RI4questão)

[...] o prestígio de se possuir acesso a essas informações limitava-se as mesmas academias, comunidades que estavam em voga, isto é, aqueles que possuíam tal acesso e os estudos publicados eram, na pratica, tão importantes quanto e influência e o reconhecimento das instituições e dos títulos a que estavam atrelados (RI5).

Neste contexto [final do séc. XVII e XVIII] ocorreu a difusão de conhecimento, entre os centros científicos, através de correspondências compartilhavam suas teorias e experimentos. Assim, surgiu a República das letras [...] (RS1)

[...] para que os artigos científicos fossem publicados por editoras particulares, era necessário que estivessem na pauta da sociedade, agradando a população, necessitando também que houvesse um retorno lucrativo (RS1).

No século XVIII, os grandes centros de produção do conhecimento eram a França e a Inglaterra, contudo, a Holanda por representar o caminho de conexão da Inglaterra com o resto da Europa, também acabou ganhando destaque. A Universidade de Leiden foi um bom exemplo do desenvolvimento científico holandês (RS2).

Nessa época, na Holanda, onde ficava a universidade de Leiden, intermediavam-se a troca de informações entre Inglaterra e o resto da Europa (RS6).

Existia algum tipo de preconceito com as pessoas da periferia que iam para as palestras intinerantes? (RS6questão)

Qual a diferença de reconhecimento entre os estudos desenvolvidos pelas pessoas da elite e da periferia? (RS6questão)

Esta [divulgação do conhecimento] ocorria majoritariamente através da República das Letras na qual cientistas concentrados principalmente na França e Inglaterra estabeleciam uma conexão Tais países, e aqueles homens os quais pertenciam a República das Letras, possuíam grande status na época no que se cabia a produção de conhecimento, assim como a universidade de Leiden. Poderia-se observar esse fato pelo nome dado à Regra de Dufay. (RS7).

“Isso desencoraja mutias pessoas a seguir essas carreiras (científicas). Muitos escolhem ser professor mesmo sem querer ensinar. Algumas vão ter que deixar o país se for possível pra elas, para ter oportunidades melhores, tipo o Franklin que foi obrigado a fazer contatos na Europa mesmo sendo dos Estados Unidos. (Fala, estudante 7).

b – República das Letras, publicação impressa e a troca de cartas como meio de comunicação e acesso ao conhecimento.

Devido à dificuldade em se comunicar, surgiu o que foi chamado de República das Letras, baseada na troca de correspondências, que na teoria deveria incluir qualquer interessado em ciências (RI1).

Nesse contexto, a República das Letras surge com o intuito de representar tal necessidade [troca frequente de conhecimento]. Funcionando, portanto, como o meio de comunicação principal entre os pesquisadores da época, utilizando a carta como meio de transmissão. Na teoria, todos poderiam participar dessa comunidade porque ela defendia que os seres humanos tinham o dever de se ajudarem mutuamente, independente de quaisquer diferenças (RI2).

O que ajudou muito esses cientistas [no desenvolvimento de estudos da eletricidade] foi a República das Letras, que eram as trocas de cartas entre os que estudavam um mesmo assunto (RI3).

No Séc XVIII,na época da República das Letras, os estudiosos que queriam divulgar seu conhecimento trocavam cartas com outros estudiosos, com o intuito de divulgação ou de pesquisar, assim, se tornando uma forma fundamental para se manter atualizado (RI4).

[...] em decorrência do intuito de reconhecimento por novas descobertas e da crença de que a humanidade deveria agir em conjunto em prol de progresso, houve uma intensa utilização das cartas e publicações impressas para compartilhar, propagar estudos, informações e resultados uns com outros (RI5).

A publicação de livros era uma tarefa complexa, visto que os editores só se interessavam por assuntos rentáveis, como a botânica, a fim de lucrar com a popularidade do tema (RS2)

A República das Letras era onde a troca a distância de conhecimento através de cartas se tornou a base da subsistência no campo científico (RS4).

A república das Letras se refere a troca de conhecimento científico por meio de cartas [...] Tal processo tornava possível a conexão de saberes e impulsionava a produção científica da época. (RS2)

Durante o século XVIII, a circulação de cartas pela Europa foi um elemento crucial para a difusão do conhecimento científico. (RS5)

Depois de todos esses avanços [eletrostática], os físicos/filósofos precisavam comparar e trocar pesquisas e, assim, foi criada a República das Letras. Gerando um intenso período de divulgação e troca de cartas, livros e estudos (RS6).

Esta [divulgação do conhecimento] ocorria majoritariamente através da República das Letras na qual cientistas concentrados principalmente na França e Inglaterra estabeleciam uma conexão (RS7).

A República das Letras foi a chave de compartilhamento nos campos científicos, através de cartas onde quem pudesse ter acesso, teria o seu trabalho melhor divulgado, ganhando assim, maior status dentro da comunidade (RS8).

No entanto, podemos influir que a circulação de conhecimento tinha suas restrições, nem todo mundo tinha espaço [na República das Letras] Muitas pessoas tinham que recorrer as palestras itinerantes e aulas particulares que eram voltadas a um público mais leigo (RI1).

Contudo, tal república era restrita de certa forma, pois não só era preciso ter domínio do Latin, mas também era necessário ter uma boa formação acadêmica e ter conhecimento sobre “o” assuntos dos interesses da época (RI2).

Dizia-se que o conhecimento deveria ser para todos, na prática, contudo era preciso conhecer latim, possuir influências, ter livros – que eram caros – de áreas específicas (RI3).

Porém, nem tudo tinha caráter positivo, os lugares nas palestras variavam com a classe social e participar dela era considerada “status”. Além disso, muitas vezes a ciência tinha caráter de entretenimento, o que pode acabar tirando o caráter de inovação, do conhecimento em si (RI3).

Esses estudiosos [República das Letras] eram, em grande maioria, homens da elite... (RI4)

...divulgar suas descobertas lá [República das Letras] era acumular status e ter credibilidade, mas para fazer parte dela era necessário cumprir vários requesitos, como conhecimento de latim, ser da elite, entre outros (RI4).

As universidades eram geralmente frequentada pela elite, graduandos e aristocratas, porém esses fatores não excluem a periferia (RS1).

Embora represente um processo transformador, a República das Letras tinha pouca participação das camadas mais periféricas restringindo às elites. A ciência na época era dominada por homens, pouquíssimas mulheres se destacavam no cenário científico, um exemplo de mulher inserida na ciência foi Laura Bassi, doutora em filosofia. (RS2)

Nós falamos muito no quanto o acesso as informações eram vem restritos naquela época. Mas será que as pessoas eram incentivadas a buscar esse conhecimento? (RS3questão)

No século XVIII, os lugares de difusão do conhecimento eram principalmente as Universidades e anfiteatros, nesses locais, experimentos e aulas práticas eram dadas a quem era da leite, letrado, em certos países, etc. Esses eram ambientes exclusivo (RS4)

Mas, para participar [República das Letras], além de ter conhecimento de diversas áreas, deveria saber o latim, a maioria dos seus participantes era da elite (RS6).

A maior parte de seus integrantes (República das Letras) eram da elite (RS8).

… mas a República das Letras não era para qualquer pessoa, assim, eles (pessoas em geral) até podiam enviar cartas se quisessem, mas serem respondidos eu acho que seria algo como se hoje você, sem ter reconhecimento nenhum enviar uma carta para um cientista famoso ou um artista, se você é um ninguém, qual chance de responderem (Fala de estudante 7)

c - Caráter experimental do período histórico tratado e circulação do conhecimento fora das Universidades.

A universidade de Leiden começa a adquirir uma grande quantidade de instrumentos para experimentos científicos. A partir de um tempo esses experimentos não foram apenas utilizados para fins acadêmicos, mas também para entretenimento e

ensino em eventos como as palestras itinerantes que tinham experimentos como o “garoto voador” e “o beijo elétrico” (RI2).

Surgem-se, também, as aulas particulares. Essas foram muito importantes na época para levar o conhecimento a outras pessoas que não tinham acesso as Universidades muitas vezes pelo uso de experimentos (RI2)

Qual era a opinião das pessoas formadas pelas grandes academias sobre a formação de pessoas através de aulas particulares no séc XVIII? (RI2questão).

Por que as universidades no séc. XVIII tinham tanto interesse em centralizar o conhecimento científico? (RI2questão).

e seu investimento em instrumentos científicos. Havia palestras itinerantes e aulas particulares, o que fez com que a ciência saísse das Academias e Universidades e ficasse mais acessível à população, como era muito comum na Holanda (IR3).

Com o tempo, as Academias, que eram bastante seletivas para entrar [...] conseguiram fazer com que o conhecimento voltasse para seu interior [...] enquanto em alguns locais os professores particulares passaram a ter que possuir “licença para ensinar” emitidas pelas Universidades. Podemos até mesmo traçar um paralelo com a influência das grandes e poderosas instituições de nosso tempo (RI3).

Os que não se enquadravam nesses requesitos [de estar nas Universidades] recorriam à aulas particulares ministradas ilegalmente, por acadêmicos que buscavam renda extra. Recorriam também às palestras itinerantes que reproduziam o experimento dos centros de estudo em diversos locais a quem pudesse pagar, seja por entretenimento ou por estudo (RI4).

Mesmo com a opinião negativa das Academias, sobre as palestras itinerantes, as experimentações coletivas, elas foram muito importantes para questões da eletricidade na medicina, como a observação dos pontos vermelhos que apareciam em pessoas que participavam desses processos de eletrização (RI3).

Haviam estudiosos que faziam experimentos e criavam instrumentos relacionados à manipulação da eletricidade e outros assuntos, esses eram os instrumentadores (RI4).

Também importantemente, os experimentos, que, além de reafirmar (ou refutar) resultados teóricos, eram realizados perante o público, utilizavam-se de instrumentos, aparelhos que, além de demonstrar os resultados, retinham a atenção, o

interesse do público nos anfiteatros, por exemplo, o que era uma boa e eficiente estratégia para a divulgação científica como um todo (RI5).

As universidades eram, geralmente, frequentadas pela elite, graduandos e aristocratas, porém esses fatores não excluem a periferia. Além das universidades, haviam outras formas de obter conhecimento. Aqueles que não conseguiam ingressar nessas instituições, podiam recorrer às aulas particulares, palestras *intinerantes* ou a apresentações em anfiteatros. (RS1)

[...] ocorriam demonstrações de experimentos e anatomia como a exposição de anatomia, experimentos do circuito, beijo elétrico e menino elétrico (RS1).

Universidades, teatros, livros, artigos, palestras itinerantes, nas quais eram feitas demonstrações de experimentos revelavam a efervescência científica na cidade de Leiden. Aulas particulares representavam uma boa forma de ensino, principalmente para aqueles que não possuíam condições de ingressar na Universidade. Gabriel Fahrenheit era um dos professores particulares mais conhecidos na época. A ciência se aproximava cada vez mais da vida das pessoas. Novos locais de ensino significavam novas formas de comunicação do conhecimento. A ciência abandonava o latim, abraçava o inglês, o francês e, finalmente, começava a falar a língua do povo (RS2).

Dentro desse contexto de efervescência científica, estavam os instrumentadores, pessoas que construíam equipamentos voltadas para experimentos (RS2)

Outras formas de divulgar conhecimentos eram as palestras itinerantes, os anfiteatros, aulas particulares, que era para quem se interessava e não tinha oportunidade de estar nas universidades. Mas, apesar da falta de incentivo populacional, muitas coisas forma descobertas e inventadas nessas condições (RS3).

Esses [Universidades/ eram ambientes muito exclusivos, quem não poderia entrar recorria a aulas particulares e palestras *intinerantes* onde quem pudesse pagar teria acesso. (RS4).

Nesse contexto os instrumentadores eram peça fundamental, eles produziam os instrumentos para suas pesquisas, podemos citar a famosa Garrafa de Leiden, primeira forma de armazenar eletricidade (RS4).

Logo após o sucesso dos conhecimentos científicos, a realização de atividades práticas tornou-se muito popular [...] Uma universidade muito famosa por realizar

experimentos foi a de Leiden, na Holanda. Essa universidade possuía grandes anfiteatros, e no centro dos mesmos, a prática de atividades. Quem não tinham condições de entrar nas universidades, podia assistir a palestras itinerantes (exibições passageiras) ou ter aulas particulares (RS5).

Uma das práticas mais bem sucedida foi a construção de instrumentos. A Garrafa de Leiden foi um dos instrumentos mais famosos, já que podia armazenar instrumentos em um frasco. (RS5)

A diversificação das formas de ensino teve por consequência o desenvolvimento de novas formas de compartilhar e discutir o conhecimento científico, como as aulas particulares, palestras *intinerantes* e anfiteatros de anatomia e física. Logo houve uma maior diversidade de línguas além do latim e um maior número de adeptos (RS6).

Sendo ela [Universidade de Leiden], um grande investidor em experimentos, instrumentos e pesquisa (RS6).

Outros métodos alternativos para aqueles que não tinham acesso as Universidades, era as Palestras Itinerantes que mesmo sendo pagas algumas vezes, serviam para o entretenimento do seu público e emancipação do conhecimento de uma forma mais livre. Assim como existiam também as aulas particulares (RS8).

É legal ver que muitas pessoas trabalharam na pilha (de Volta), que nem da física, química, biologia. Eu acho que isso não acontece muito hoje em dia, mas várias pessoas que sabem coisas de áreas diferentes olhando pra mesma coisa poderia ser de grande ajuda pra trazer mais ideias para estudar um experimento e explicar o que for observado (Fala do estudante 4)

d – Difusão do conhecimento na atualidade

Relacionando essa difusão do conhecimento científico com a atualidade, nota-se que a dificuldade na divulgação do trabalho científico se manteve. Hoje em dia, para que uma pessoa tenha acesso aos artigos científicos de outras é preciso que ela pague uma taxa, na maioria das vezes. Para que ela possa publicar seus artigos, é necessário que ela pague a empresa que vai publicar e formatar o artigo (RI2).

Por que há um status maior para pessoas formadas em grandes universidades ou que trabalhem nas mesmas? (RI2questão).

Na atualidade, esse “filtro” [acesso ao conhecimento] se dá pelo poder aquisitivo de alguém, se uma pessoa pode ou não pagar pelo acesso aos artigos científicos, cujos direitos autorais pertencem às grandes editoras. No entanto, o grande potencial contemporâneo é a existência da internet, que permite a mobilização global de pessoas, como as que são contra o “monopólio do conhecimento. Podemos citar o Sci-hub, que quebra os direitos autorais, e o boicote dos cientistas, principalmente na Alemanha à Editora *Elseviex* (Elsevier) (RI3).

Na época estudada existia algum grupo que buscava realizar algum tipo de boicote as estruturas das editoras da época? (RI3questão).

Atualmente os artigos científicos são publicados na internet, tornando-os mais acessíveis, porém, grande maioria são pagos, resultando em uma maior dificuldade em conseguir conteúdo de confiança, porém é possível obtê-los de graça, de forma não confiável (RI4).

Atualmente, a produção científica é divulgada, principalmente, por meio de revistas e artigos, em sua maioria digitais, que geralmente cobram pela publicação ou acesso ao material, dificultando a divulgação científica e restringindo seu acesso. Nota-se, portanto, que quando existem barreiras para a construção de um meio científico democrático. O acesso à ciência ainda é um privilégio (RS2)

É possível dizer que nos dias atuais o acesso ao conhecimento (leitura, publicação de artigos,...) é democrático por totalidade ou ainda há semelhanças com o elitismo da época da República das Letras? (RS2questão)

Será que com as tecnologias de hoje as pessoas continuam sendo excluídas do meio científico? (RS3questão)

O conhecimento produzido [nas Universidades de hoje] é circulado por plataformas on-line e revistas, as últimas derivam das publicações impressas no século XVIII, em ambas as épocas, o acesso não é sempre livre devendo pertencer a um grupo seleto que paga por ele. (RS4)

No século XVIII as pessoas que não tinham acesso para estar nas universidades recorriam as palestras *intinerantes* e aulas privadas, na atualidade pessoas nas mesmas situação recorrem a o que ou a quem? (RS4questão)

Hoje em dia, com tanta tecnologia e diversos meios de comunicação, por que o acesso ao conhecimento nem sempre é livre? (RS4questão)

Atualmente, o conhecimento científico é divulgado principalmente pelos meios virtuais. Tal comunicação é mais veloz e acessível a todos. Ademais, também é possível publicar estudos em revistas científicas, no entanto, algumas revistas cobram um alto preço para a publicação e até mesmo para a leitura de artigos (RS5).

Na atualidade, a divulgação ocorre por meio de materiais produzidos por cientistas do mundo todo, eles são então avaliados e publicados através de empresas responsáveis pela divulgação do conhecimento científico. A concentração da produção científica hoje está localizado nos tecnopolos (RS7).

e - Contradições e problemas relacionados ao conhecimento científico estabelecido (Regra de Dufay e Garrafa de Leiden).

Uma das figuras centrais na história da eletricidade foi Dufay, que afirmava que qualquer corpo poderia ser eletrizado se muito bem isolado (RI1).

Um dos principais cientistas da época era Dufay, que ficou altamente conhecido por conta dos seus experimentos, cujo resultado foi considerado regra e foi tomado como base para todos os experimentos que envolviam eletricidade. A regra dizia que para eletrizar materiais era necessário isolá-lo eletricamente (RI2).

Todavia foi ao ignorar/esquecer da regra de Dufay que Von Kleist e Musschenbroek conseguiram desenvolver o primeiro capacitor de energia elétrica (RI1).

Um experimento muito revolucionário foi a Garrafa de Leiden que tentava armazenar eletricidade num recipiente de vidro com água. Esse experimento só funcionou com a garrafa não isolada. Isso contrariou a regra de Dufay causando *um* confusão no âmbito científico da época (RI2).

Como os conhecimentos considerados como “verdades” influenciam na produção do conhecimento científico? (RI3 questão).

Leiden [confusão dos estudantes com o nome Kleist] conseguiu carregar a eletricidade na garrafa, pois não isolou a garrafa segurando-a com a mão. Com isso, Leiden encontrou um buraco na regra de Dufay (RI4).

Muitos cientistas da época buscavam armazenar eletricidade, a forma mais conhecida de armazenamento foi a garrafa de Leiden [...] a garrafa de Leiden contradizia a regra de Dufay, pois só funcionavam quando alguém a segurava, ou

seja, quando não estava isolada. Segundo o que pensavam, o experimentador, ao segurar a garrafa, efetuaria o aterramento, processo no qual a Terra neutraliza os corpos com as quais ela toca (RS2).

Tais países [França, Inglaterra e Holanda] e aqueles homens os quais pertenciam a República das Letras, possuíam grande status na época no que se cabia a produção de conhecimento, assim como a universidade de Leiden. Poderia-se observar esse fato pelo nome dado à Regra de Dufay. (RS7).

[...] Charles Dufay, que defendia a ideia de que, para que o processo de eletrização obtivesse êxito, o objeto a ser eletrizado deveria estar numa superfície isolada. Tal teoria ficou conhecida como “Regra de Dufay” e tornou-se tão conceituada que foi utilizada como base para vários outros experimentos (RS7).

f – Apropriação da Garrafa de Leiden.

Depois disso [construção da garrafa de Leiden], começa a ser mais usada na medicina (que já era usada desde o império Romano). [...] Com o uso da eletricidade em experimentos musculares, foram criadas teorias que pretendiam desvendar a causa do movimento muscular (RI4).

Devido às novas descobertas [garrafa de Leiden] [...] interesses foram despertados como de se aplicar a eletricidade na Medicina (RI5).

É válido ressaltar o papel que a eletricidade desempenhou na medicina, sendo usada antigamente para tratar dores musculares, gota e até mesmo dores de cabeça. Até hoje a eletricidade tem um papel importante na medicina, usada na desfibrilação e eletroconvulsoterapia (RS2).

Uma prática contemporânea é o uso da eletricidade como recurso medicinal, que começou com suposições de que a eletricidade estimulava a contração dos músculos fazendo que eles voltem (ou quase) a funcionar normalmente. Isso ocorria graças a garrafa de Leiden, que armazenava energia e era usada criando um circuito fechado. (RS3)

Os estudiosos começaram a observar que pequenos choques eram capazes de provocar espasmos popularizando a ideia que os mesmos poderiam ser usados para tratar atrofia muscular e dores. A Garrafa de *Leiden* foi essencial para repercussão desses tratamentos. Hoje a eletricidade na medicina é usada para auxiliar

em fisioterapias em paralisados e até para fazer o coração voltar a bater após uma parada. (RS4)

A Garrafa de Leiden foi um dos instrumentos mais famosos, já que podia armazenar instrumentos em um frasco. Após ser analisada minuciosamente descobriu-se que ela podia substituir enguias e raias elétricas no tratamento de eletrochoque. (RS5)

E assim [advento da garrafa de Leiden] Permitiu diversos experimentos. Um desses foi o circuito elétrico. [...] Acreditava-se que o estímulo elétrico poderia gerar algum benefício, para dores e algumas doenças e passaram a fazer teorias sobre estímulo e movimentos musculares. Havendo assim a popularização de diversos artigos sobre o tópico (RS6)

A popularidade desse instrumento [garrafa de Leiden] foi dada principalmente, pela, citada anteriormente, grande curiosidade pela eletricidade como esta funcionava e para que poderia ser utilizada. A garrafa foi usada como forma de entretenimento por alguns, como nas palestras itinerantes e também como tratamento medicinal.

g – Financiamento em Ciência.

Uma empresa não tem muitos objetivos altruístas quando investem em ciência. Sempre tem um interesse financeiro (Fala, estudante 2)

O governo, de fato.. bem… você pode cobrar do governo se precisar de uma vacina. Teoricamente a função do governo é te servir. Quando essas cosias estão na mão de empresários, você não consegue cobrar nada. Os empresários seguem seus interesses. Sobre o governo, ele deveria servir a propria população ou pelo menos vender para outro país e ganhar algo em troca que vai trazer benefícios para o país. (Fala, estudante 4)

Eu acho que aqui no Brasil, tem áreas que são muito limitadas, como no caso da biologia… Eu já li várias coisas de pessoas que aconselham não seguir a carreira porque vai acabar se tornando professor depois. O que dissemos aqui (em sala) no início do ano é bem legal nesse sentido porque faz a gente pensar sobre o que vamos fazer. Quando você vai pra um curso de ciências no Brasil pensando na carreira, você primeiro deveria considerar as condições, o mercado. Infelizmente você não pode seguir só o seu interesse, muitas áreas não te dão dinheiro ou mesmo oportunidades.

Em países que investem mais, principalmente na Europa ou mesmo aqui na Argentina você tem mais verba, não tem tantos cortes em ciências igual aqui. Isso incentiva as pessoas desses países a seguir essas carreiras, são menos dificuldades. Aqui, você pode seguir, mas é bom saber o que te espera. (Fala, estudante 2)

Cortes de verba, investimentos… como no caso do Napoleão, não necessariamente um corte, mas um direcionamento que pode beneficiar ou prejudicar certas áreas em um momento (fala, estudante 23)

5.2 O metatexto.

Com base nos processos de unitarização e categorização desenvolvidos, construímos um pequeno metatexto que sumariza as principais impressões advindas da leitura e análise dos dados escritos obtidos. Após a construção do metatexto, buscamos em algumas falas dos estudantes, obtidas a partir das anotações do diário de campo[56], extratos de discursos que pudessem dar suporte aos argumentos defendidos a partir do metatexto. Essas falas foram incluídas, a posteriori, no metatexto já finalizado. Entendemos que com esse procedimento foi possível triangular os dados obtidos a partir do texto escrito pelos estudantes com o diário de campo. Ressaltamos que o metatexto não objetiva corroborar o diário de campo, mas sim, apresentar os dados obtidos de uma forma mais concisa, de forma que as impressões obtidas se mostrem de maneira mais clara. Para referenciar os discursos dos estudantes, usaremos os seguintes códigos: A para aluna(o) seguido de um número. Assim, o A3 é o terceiro aluno citado nas falas que serão apresentadas.

5.2.1 O Metatexto e o discurso dos estudantes

Os extratos dispostos na apresentação da unitarização indicam que nas discussões desenvolvidas em sala de aula os estudantes apresentaram exemplos destacando a importância dos filósofos naturais e cientistas estarem em locais centrais no processo de produção do conhecimento científico, como universidades, academias científicas entre outros, tanto para produzirem, quanto para difundirem conhecimento.

[56] Na elaboração do diário de campo, tanto o professor regente quanto o pesquisador explicitaram alguns dos discursos dos estudantes e professores proferidas em sala. Optamos na descrição do diário de campo, apresentada no corpo da tese, retirar esses fragmentos de diálogo, porém optamos por trazê-los para o metatexto, pois entendemos que os mesmos nos auxiliam na análise dos dados obtidos a partir da unitarização. Assim, o que produzimos não é um metatexto tal qual descrito pore Galiazzi e Moraes (2011).

Dessa forma, o papel da França e da Inglaterra e o das academias de ciência no contexto científico do século XVIII foram bastante ressaltados, encontrando lugar na argumentação construída pelos estudantes. Todavia, os estudantes, ao construírem seus textos coletivos, não trouxeram a discussão para um panorama contemporâneo em relação as instituições, como o diário de campo aponta ter ocorrido em sala de aula. Na segunda semana de aula, na turma de informática, durante uma discussão sobre os locais de produção científica, destacamos um trecho, que ajuda a compreender que tipo de argumentos os estudantes usaram para destacar a produção científica contemporânea:

> Pesquisador: Existe relação entre o local ou instituição onde o pesquisador se encontra e a qualidade de seu trabalho?
>
> Pesquisador: Por exemplo, se eu falar que vai ter uma palestra aqui, sobre algum tema, sei lá, sobre os modelos que explicam como surgiu nosso Universo. Primeiro eu falo que o tema será apresentado por um professor ou professora de um instituto Federal de alguma cidade do interior aqui no Brasil, no segundo caso, uma palestra sobre o mesmo tema seria apresentada por alguém do MIT ou de Harvard. Nos dois casos, acham que as pessoas receberiam as duas informações da mesma forma e despertariam o mesmo interesse?
>
> A1: Não, claro que não!
>
> A2: Com certeza, muito mais gente ia querer assistir o cara do MIT.
>
> pesquisador: Mas porquê acha isso?
>
> A2: Ué, olha da onde o cara vem.
>
> Pesquisador: E se uma pessoa que seja da mesma área de atuação do palestrante pesquisasse pra saber qual desses dois pesquisadores realmente tem trabalhos mais relevantes, quem teria maior destaque?
>
> A3: Provavelmente o cara de Harvard.
>
> Pesquisador: Parece então que mesmo sem conhecermos o trabalho, só por saber de onde a pessoa vem, já temos uma primeira imagem que serve como um selo de qualidade, é isso?
>
> A3: Sim, de certa forma, é verdade.
>
> Pesquisador: Tudo bem, no exemplo eu coloquei uma instituição genérica, pequena, aqui do Brasil e lugares que tem seu nome reconhecido no mundo todo, mas olhando só para o Brasil, a gente poderia encontrar exemplos disso?

A4: Acho que sim.
Pesquisador: Por exemplo...
A4: UFRJ, PUC.
Pesquisador: Como assim?
A4: Lugares que todo mundo conhece como sendo bons.
Pesquisador: Mais algum?
A5: USP com certeza também.
(Fonte: Diário de Campo semana II)

A ausência de elementos contemporâneos sobre o papel das instituições nos resumos construídos coletivamente, em nosso ver, pode estar relacionada às instruções dadas aos estudantes para que eles construíssem seu texto. Aos estudantes foi solicitada a construção de um resumo sobre as discussões traçadas em sala sobre o conteúdo discutido até aquele momento. De maneira geral, os estudantes podem ter percebido as discussões contemporâneas sobre os processos de construção das ciências, como um apêndice ao conteúdo que seria, efetivamente, o "conteúdo de sala de aula".

Outro fator bastante presente nos textos foi o papel da troca de cartas, na construção e difusão do conhecimento científico no século XVIII. A República das Letras permeou a maior parte dos temas discutidos em sala e se fez, também, presente nos resumos construídos pelos estudantes, como evidenciam os elementos da unitarização da categoria "a", por exemplo. Os ideais hasteados por essa dinâmica de circulação do conhecimento, como por exemplo a equidade da circulação do conhecimento para o bem coletivo, foram bastante referenciados pelos estudantes. Importante destacar que nos argumentos apresentados por eles tanto durante as discussões em sala, quanto nos textos escritos, as limitações dessa circulação do conhecimento, como a inacessibilidade por parte de pessoas que desconheciam latim ou não possuíam recursos tais como dinheiro e livros, se fizeram presente. Nos resumos, os estudantes destacaram que apenas alguns grupos sociais tinham participação central na República das Letras e que isso serviu de incentivo para um aumento dos lugares "não formais" de divulgação e aquisição do conhecimento científico, tais como as aulas particulares. O contexto científico que permeou a Holanda no século XVIII foi relacionado de forma recorrente pelos estudantes com a cultura experimental e prática. Nesse sentido, foi destacado que as pessoas que possuíam interesse em estar em contato direto com as ciências, mas não tinham acesso a República das Letras ou Universidades, atendiam às palestras itinerantes e

aulas particulares, adquiriam instrumentos científicos e conduziam suas próprias investigações como forma de entretenimento ou não, o que pode ser percebido nos extratos de unitarização da categoria “d”

As reflexões construídas a partir da República das Letras e as questões relativas à circulação do conhecimento no século XVIII possibilitaram discutir alguns aspectos dessa dinâmica na contemporaneidade. O acesso ao conhecimento científico na atualidade e a falsa ideia de conhecimento totalmente acessível a todos, necessitando apenas do acesso da internet, foi problematizada e se fez presente na fala e escrita dos estudantes (categoria “e”) durante os encontros realizados. Destacar elementos que remetem ao discutido em sala, tais como, o custo financeiro para se acessar muitas das publicações científicas disponíveis, pode indicar que a atividade desenvolvida na semana 3 chamou maior atenção dos estudantes para os aspectos contemporâneos das ciências.

Em sala, a atividade desenvolvida na semana 3, que enfatizava as formas de acesso ao conhecimento científico publicado, bem como os processos de publicação e aprovação de um artigo, também, suscitaram discussões como as que se encontram transcritas na categoria “e”. Surgiram argumentações tais como as que transcrevemos a seguir, a partir do diário de campo da turma de Segurança de Trabalho:

> A1: Mas quem paga [custeio de uma publicação] é o próprio autor?
>
> Pesquisador: A princípio, sim.
>
> E1: Tipo, depois de ter o trabalho de pesquisar alguma coisa, ainda paga e não recebe nada de volta?
>
> Pesquisador: Financeiramente você quer dizer?
>
> A1: É, no caso onde os leitores pagam pelo trabalho por exemplo.
>
> Pesquisador: Não recebem, o lucro vai para as empresas.
>
> Acompanhante: Tem outros benefícios, acadêmicos, como divulgação do seu trabalho, às vezes essa produtividade acadêmica está relacionada a uma progressão na carreira dentro da instituição, mas financeiro diretamente, não.

Como sequência dessa discussão, o acompanhante e o pesquisador problematizaram, a partir da realidade brasileira, a questão do acesso aos artigos científico, o que gerou mais discussão sobre o tema:

Acompanhante: Por exemplo, nós que somos professores da rede federal, conseguimos ter acesso através da CAPES, a diversos artigos que utilizamos como base para nossas pesquisas. Foi o caso, por exemplo, de alguns de vocês que conseguiram ter acesso a artigos pagos pela rede daqui.

Pesquisador: Imagina que precisássemos pagar 40 dólares, do nosso bolso para acessar um trabalho que precisamos:?

A2: Sem condições, pagar pra trabalhar.

Pesquisador: O problema maior é que para escrever um trabalho, muitas vezes a gente tem que ler dezenas de artigos, isso sem contar aqueles trabalhos que ao ler o resumo e o título, achamos importantes, mas quando estudamos o conteúdo por completo percebemos que não é pertinente para nossas pesquisas.

A3: Nossa, já pensou? Pagar esse absurdo e o negócio ser inútil.

Pesquisador: Então, agora pensa em alguém que não tem vínculo como uma instituição, seja privada ou pública, mas que não tem interesse em financiar pesquisas.

A3: Totalmente impossível, pagar por uns 20 artigos, 40 dólares em cada um deles.

Pesquisador: O Brasil tem um grande destaque no sentido de oferecer uma grande gama de possibilidade de publicar e acessar trabalhos sem custos diretos. Mas tem uma questão que discutimos sobre a República das Letras e as instituições do século XVIII que podemos trazer de alguma forma para os dias de hoje. Hoje, se quiser que alguma informação atinja o mundo como um todo, o que deveríamos fazer?

A4: Colocar na Internet, no caso dos trabalhos científicos, nessas revistas.

Pesquisador: Sim, mas se publicarmos em português, todo mundo tem acesso?

A3: Acesso pode ter, mas conseguir ler, já é outra história (risos).

A5: Isso tinha mesmo, a questão da língua né? Era o latim a língua principal, depois o francês e o inglês foram tomando conta, certo? Hoje em dia, com certeza a informação tem que ser inglês, é a língua extra que a maioria das pessoas aprende pelo mundo.

Pesquisador: Isso, além dos recursos que são proporcionados ou não por algumas instituições, a língua de comunicação é importante. Pensa aqui no Brasil, onde grande parte da população, e

> nisso eu me incluo, não temos a cultura ou condições financeiras de aprender o inglês, isso se torna uma dificuldade a mais para se lidar no período que estiver cursando uma faculdade ou um mestrado.
>
> A3: Isso é mesmo, e no caso onde as pessoas vão querer publicar os trabalhos em inglês, não saber inglês já limita muito.
>
> Pesquisador: Acaba sendo uma exclusão, como alguém vai publicar uma pesquisa original sem saber o que está sendo feito pelo resto do mundo?
>
> (Fonte: Diário de Campo semana III).

Outro argumento percebido nos textos escrito pelos estudantes foi acerca do conhecimento produzido com uma "verdade" dinâmica, que, explica satisfatoriamente muitos fenômenos observáveis, mas não pode ser tomado como conhecimento último e inquestionável. Apesar da já buscada forma de armazenar eletricidade, o conhecimento que se estabelecia acerca dos processos de eletrização se mostrava incompatível com o aterramento da garrafa em seu carregamento. Essas discussões recaíram não somente sobre um caráter epistemológico, mas também, especificamente sobre os conceitos de eletrização que estavam sendo trabalhados. Para ilustrar alguns dos diálogos que ocorreram na semana IV, extraímos trechos do diário de campo da turma de Segurança do Trabalho:

> A4: Agora eu não entendi, a gente não tinha concordado que pra manter a carga em um corpo ele não poderia podia ser segurado *nas* nossas mãos?
>
> A5: Verdade, até resolvemos um exercício disso, tava errado então?
>
> Pesquisador: O exercício que resolvemos era sobre a dificuldade de eletrizar um corpo metálico segurado em nossas mãos...
>
> A4: De qualquer forma, a água também é condutora, a eletricidade não tinha que passar direto, da máquina pela água e pela pessoa até o chão?
>
> Pesquisador: A princípio, sim, se houver um caminho condutor do gerador eletrostático até o chão, esse seria o esperado de se acontecer.
>
> A7: Então, ele não deveria apenas tomar um choque e pronto? Ele, a água, a máquina, tudo deveria ficar neutro.
>
> Pesquisador: Até ai tudo certo, mas estão se esquecendo de alguma coisa no meio do caminho que modifica essa passagem direta da eletricidade, o vidro.
>
> A6: Ah! Verdade, o vidro é um isolante. Mas ainda não faz muito sentido, se o vidro é um isolante, não devia ter diferença se a garrafa da imagem estivesse isolada ou não, a eletricidade não iria escapar de qualquer jeito.

Enquanto carregávamos uma garrafa de Leiden, surgiram questionamentos sobre esse processo,

> A2: Na hora de descarregar a garrafa, a gente toma choque, mas enquanto estamos segurando, na hora de carregar na máquina [eletrostática], por que a gente não toma choque?
>
> Pesquisador: O processo de carregamento leva um tempo, então a quantidade de cargas que vai passando por nós enquanto isso não é tão grande de uma vez só, quer dizer, vai aos poucos enquanto na hora de descarregar vem de uma vez só, por isso sentimos esse choque.
>
> A2: Mas o capacitor pode ser utilizado no lugar de uma pilha no caso?
>
> Pesquisador: A pilha e o capacitor têm funções diferentes em um circuito. Por exemplo, podemos pensar em uma máquina fotográfica ou celular, que funciona com uma pilha ou bateria. Essa pilha vai fornecendo energia elétrica aos poucos, e de forma continua, para manter o funcionamento do aparelho e, também, carregar o capacitor. O Capacitor demora um tempinho para se carregar, mas ele consegue liberar essa eletricidade armazenada muito mais rápido, o que, na nossa câmera poderia ser responsável pelo flash de luz, que exige uma quantidade maior de energia em um tempo curto. Iremos discutir melhor sobre a pilha nas próximas aulas.
>
> (Fonte: Diário de Campo semana III).

Percebemos que os estudantes atribuíram destaque às inconsistências de um conhecimento científico que se apresentava como bem estabelecido. Assim, os estudantes afirmaram que apesar da garrafa de Leiden trazer novas questões e dúvidas sobre o conhecimento existente acerca da eletricidade, o artefato foi amplamente utilizado. Outro aspecto presente nos textos dos estudantes foi relativo à apropriação da garrafa de Leiden em práticas consideradas não acadêmicas, como por exemplo as relacionadas à eletricidade medicinal, que se popularizaram e começaram a ganhar a atenção das academias.

Consideramos que as atividades desenvolvidas possibilitaram suscitar em sala de aula, discussões sobre o contexto que envolve o desenvolvimento do conhecimento científico em torno à construção da garrafa de Leiden. Uma ponte em relação à produção do conhecimento científico contemporâneo foi construída, suscitando questões no que tange os processos de publicação e validação do conhecimento científico além do acesso (ou não) ao conhecimento que é construído na atualidade. Todavia, os resumos coletivos e o processo de construção do metatexto pautado na ATD indicaram que em alguns aspectos essas questões contemporâneas podem não terem sido percebidas pelos estudantes como parte efetiva do conteúdo trabalhado. Apenas os aspectos contemporâneos discutidos em sala com base na atividade da

semana III refletiram nos textos coletivos. Nesse momento foi destinado maior atenção aos processos de publicação e acesso ao conhecimento científico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese foi construída a partir de desafios e estudos prévios que emergiram dentro do NIEHCC e das salas de aulas que foram tomadas como locais de reflexão e pesquisa acerca do ensino de ciências, quando da abordagem histórica. Dentro de diversas perspectivas desenvolvidas pelo grupo, para o trabalho aqui descrito, escolhemos a vertente dos "experimentos históricos e o ensino de ciências". Com a finalidade de tecer as considerações finais que encerram o texto da tese, mas que pretende ecoar em reflexões futuras sobre as práticas do Ensino a partir da História da Ciência, retomamos a pergunta que guiou a pesquisa aqui desenvolvida:

Quais questões sobre as práticas científicas são agregadas a partir do aporte historiográfico da História Cultural da Ciência ao estudo de experimentos históricos, garrafa de Leiden e pilha de Volta, no Ensino de Física?

A pergunta de pesquisa nos levou, a três objetivos específicos apresentados na introdução desta tese cujas análises pretendem apresentar os resultados do trabalho construído. O primeiro objetivo foi:

> "Analisar que questões sobre práticas científicas podem ser agregadas à replicação de experimentos históricos no Ensino das Ciências, quando da abordagem da História Cultural da Ciência em relação aos estudos já existentes na literatura."

Nessa etapa inicial, construímos uma revisão bibliográfica sobre o tema "Experimentos Históricos e Ensino" analisando a produção nacional em consonância com o que se é discutido em âmbito internacional (Capítulo 1). Essa revisão nos permitiu refletir sobre o "primeiro" objetivo específico, indicando que, de maneira geral, essa linha de trabalho se atêm aos conceitos científicos diretamente envolvidos na manipulação de aparatos, às coletas e análises de dados, aos "erros" cometidos e outros aspectos diretamente relacionados à confecção e manipulação dos experimentos. Reconhecemos que alguns autores discutem, também, a materialidade envolvida na construção dos aparatos e experimentos, todavia, entendemos que esses resultados conjugados ao referencial teórico da HCC, nos possibilitaria discussões que, de maneira geral, não se apresentam como viés presente no Ensino de Ciências

ou quando discutidos, são colocados como apêndices do conteúdo científico tomado como relevante aos estudantes.

Considerando, então, estes primeiros resultados, construímos duas narrativas (Capítulo 2) que recaíram sobre experimentos históricos de modo a explorar, a partir do referencial da HCC, práticas científicas muitas vezes não atribuídas às ciências. Buscamos, assim, perspectivas de trabalho que privilegiassem aspectos do fazer ciências encontrados em práticas como divulgação, validação do conhecimento e financiamento científico geralmente não abordados no ensino. No aporte dessas práticas ressaltamos personagens periféricos da produção científica e analisamos locais centrais e periféricos na produção do conhecimento, evidenciando o caráter coletivo de empreendimentos científicos e seu caráter humano. Dessa maneira, desenvolvemos duas narrativas históricas (Capítulo 2) que recaem sobre os estudos de eletricidade nos séculos XVIII e início do XIX, em torno à construção de experimentos como a garrafa de Leiden e a pilha de Volta. Esse recorte foi escolhido por se mostrar frutífero no destaque das perspectivas que buscamos ressaltar, além de os conceitos físicos envolvidos constituírem parte da ementa do curso.

Apesar de ser uma construção de narrativas históricas, o enfoque pretendido nos trouxe percalços que implicaram em resultados para reflexão. Mesmo que os objetivos da construção das narrativas não fosse, necessariamente produzir novos textos no sentido acadêmico, mas sim, construir um estudo histórico voltado para a sala de aula, não encontramos literatura específica suficiente que trabalhasse com os temas garrafa de Leiden e pilha de Volta na perspectiva HCC. Isso nos levou a bibliografia que tratava de questões científicas na perspectiva da HCC no período do recorte trabalhado e, assim, construímos as narrativas em consonância com fontes históricas, primárias e secundárias que fossem adequadas aos nossos objetivos. O que resultou na publicação de dois artigos em periódicos nacionais.

A pesquisa teórica nos levou ao passo colocado na introdução como o segundo objetivo específico:

- Desenvolver aulas de Física, em turmas do Ensino Médio, para promover discussões de práticas científicas contemporâneas, a partir do estudo histórico-cultural da garrafa de Leiden e da pilha de Volta.

Vale ressaltar que o trabalho empírico em sala de aula, ganhou impulso com um período de contato com o grupo do professor Peter Heering, em Flensburg que se

dedica ao estudo de experimentos históricos, ambiente que possibilitou a replicação de garrafas de Leiden e manipulação de outros experimentos (Capítulo III).

O trabalho em sala de aula (Capítulo IV) foi registrado no diário de campo pelo professor pesquisador após cada aula e pelo professor acompanhante durante as mesmas. O curso de forma geral, contou com discussões histórico-culturais, conceitos específicos de eletricidade de acordo com a ementa das turmas e atividades produzidas que permitiram criar um ambiente de discussão sobre aspectos de construção do conhecimento científico histórico e contemporâneo a partir de práticas abordadas nas narrativas históricas (tabela 2, pp 120). Essa etapa foi essencial para uma análise mais completa dos nossos objetivos teóricos, para o ensino. O trabalho empírico em sala de aula nos possibilitou, então, ao terceiro objetivo específico:

- Analisar que questões históricas trabalhadas em sala de aula são apropriadas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas para se discutir as práticas científicas contemporâneas.

A análise dos dados obtidos nos mostrou que, em diversos momentos ao longo do curso, os estudantes ressaltaram aspectos como os lugares centrais de produção do conhecimento científico e como eles atraem pessoas de diferentes locais, indicando os aspectos de uma ciência produzida coletivamente. Os estudantes apontaram como as instituições e perspectivas que envolvem um pesquisador podem ser cruciais para a carreira de um cientista.

Outro aspecto importante muito ressaltado durante as aulas de física, foi a diferença entre os modos de produção do conhecimento científico através da história e a relevância de se fazer parte de uma rede de comunicação para a divulgação e validação do conhecimento que se produz, além da possibilidade do aceso aos assuntos que são discutidos, quais respostas já foram dadas e quais perguntas ainda se encontram por responder. Essas questões mostraram que os estudantes reconhecem interação entre pares como prática inerente do fazer científico.

Ainda sobre o estudo das práticas científicas envolvidas na difusão do conhecimento científico, os estudantes discutiram como a construção, replicação e manipulação de aparatos como a garrafa de Leiden e a pilha de Volta nos séculos XVIII e início do XIX suscitaram novos questionamentos e trouxeram novas considerações sobre a eletricidade, como no caso do circuito elétrico e da decomposição da água. A HCC também ocupou as discussões em sala de aula ao se analisar as questões que envolvem a construção dos aparatos como algo indissociável

de questões locais e temporais que circundam toda a abordagem experimental desenvolvida.

Por fim, a análise dos dados de pesquisa sugere que a discussão histórica, desenvolvida na perspectiva da HCC permitiu ao professor levar para a sala discussões sobre ciências que não se restringiram ao recorte histórico em questão, alcançando temas contemporâneos, que, em acordo com o terceiro objetivo específico desta pesquisa, é uma das principais contribuições à área do trabalho desenvolvido. Falas dos estudantes destacaram a comunicação de resultados, aceitação de um conhecimento entre pares, locais de produção do conhecimento, novas possibilidades e questões que emergem quando do desenvolvimento de novos experimentos e relações entre sociedade e ciência em temas como “ganhadores de prêmios como a medalha Fields”, “investimento público e privado em ciências no Brasil e no mundo contemporâneo” e as “práticas de publicação e acesso ao conhecimento científico produzido em mundo ‘ conectado” pela internet”, Os resultados indicam ainda que o trabalho em torno às práticas científicas abriu caminhos para se discutir questões científicas que impactam diretamente nossas vidas como os cortes de verbas destinadas a pesquisas no Brasil

A análise dos dados apoia a tese de que se trabalhar no ensino de ciências a partir de uma abordagem pautada na HCC possibilita problematizar as práticas científicas, discutindo o fazer ciência relacionada ao seu contexto, tempo e local sem se apoiar em uma visão relativista e sem deixar as questões culturais como apenas um anexo do conteúdo científico. Os resultados obtidos não são exaustivos e muita pesquisa ainda pode e deve ser desenvolvida considerando-se os caminhos apontados. Nós acreditamos que estudos capazes de trazer reflexões sobre uma abordagem histórica no ensino de ciências são indispensáveis

Referências

ALCÂNTARA, M; JARDIM, W. T. A utilização da HFC no ensino de física A partir de representações artísticas. In: III CONFERENCIA LATINO AMERICANA DEL INTERNACIONAL History e Philosophy of Science Teaching Group IHPST- LA. Santiago do Chile, 2014. p.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

ALLCHIN, D. From science studies to scientific literacy: A view from the classroom. **Science & Education**, v. 23, n. 9, p. 1911-1932, 2014.

ALMÁSI, G. **The uses of humanism: Johannes Sambucus (1531-1584), Andreas Dudith (1533-1589), and the republic of letters in East Central Europe**. Brill, vol.185. 2009.

ANDERS, A. **Cathodic Arcs**. Ed. Springer. New York, 2008.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V.S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

ARRUDA, S. M.; VILLANI A. Sobre as Origens da Relatividade Especial: Relações Entre Quanta e Relatividade Em 1905. **Caderno Catarinense de Ensino de Física,** v.13, n.1: p.32-47, abr, 1996.

ASSIS, A. K. T. *Os* **fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal. Ed. Apeiron, 2010.

H. BAKER, A letter from Mr. Henry Baker F. R. S. to the President, concerning several medical experiments of electricity. **Philosophical Trans Royal Society** v.45,, p. 270-275, 1748.

BARTH, M. Eletromagnetic Induction Rediscovered Using Original Texts. **Science & Educantion**, v.9, n.4, p.375-387, 2000.

BATISTA, G. L. F.; DRUMMOND, J. M. H. F.; FREITAS, D. B. Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 663-702, 2015.

BECK, C. W.; HARDING, A.; HUGHES-BROCK, H.. Amber in the Mycenaean world. **Annual of the British School at Athens**, v. 69, p. 145-172, 1974.

BENJAMIN, P. **A History of Electricity:(The Intellectual Rise in Electricity) from Antiquity to the Days of Benjamin Franklin**. J. Wiley & Sons ed., 1895.

BENSAUDE-VINCENT, B.; BLONDEL, C. A science full of shocks, sparks and smells. **Science and spectacle in the european enlightenment**, p. 1-24, 2008.

BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. **Nuova Voltianas**, Bevilacqua and Fregonese, eds.(Milan: Hoepli), p. 101-114, 2000.

BERTUCCI, P. The electrical body of knowledge: Medical electricity and experimental philosophy in the mid-eighteenth century. In **P. Bertucci & G. Pancaldi**, p. 43-68, 2001.

BERTUCCI, P. The shocking bag: Medical electricity in mid-18th-century London. **Nuova Voltiana**, v. 5, p. 31-42, 2003.

BERTUCCI, P. Back from wonderland: Jean Antoine Nollet's Italian tour (1749).in Alexander (Ed.). **Curiosity and Wonder from the Renaissance to the Enlightenment**. Ashgate Publishing, Ltd., 2006.

BERTUCCI, P. Sparks in the dark: the attraction of electricity in the eighteenth century. **Endeavour**, v. 31, n. 3, p. 88-93, 2007a.

BERTUCCI, P. Therapeutic attractions: early applications of electricity to the art of healing. **Brain, Mind and Medicine: Essays in Eighteenth-Century Neuroscience**, p. 271-283, 2007b.

BERTUCCI, Paola. Domestic spectacles: electrical instruments between business and conversation. BENSAUDE-VINCENT, B; BLONDEL, C (Eds.). **Science and Spectacle in the European Enlightenment. Aldershot: Ashgate, pg**, p. 75-87, 2008.

BERZOLARI, A. G. Volta's teaching in Como and Pavia: Moments of academic life under all flags. **Nuova Voltiana studies on Volta and his time**, p. 53-99, 2000.

BIAGIOLI, M.; GALISON, P. (2014). **Scientific authorship: Credit and intellectual property in science**. Routledge, 2014.

BOGDAN, R. C., BIKLEN, S. K., ALVAREZ, M. J., **Tradutores**: Vasco, A. B., dos Santos, S. B., & Baptista, T. V. M. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto Editora, 1994.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BOSS, S. L. B. et al. Contribuições da história da ciência para o ensino do conceito de carga elétrica-os princípios de Du Fay para eletricidade. XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Vitória, 2009.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BRAGA, M.; GUERRA, A. REIS, J. Breve história da ciência moderna: v. 3: das luzes ao sonho do Doutor Frankenstein (séc. XVIII). In: **Breve história da ciência moderna: v. 3: das luzes ao sonho do Doctor Frankenstein (séc. XVIII)**, Zahar ed., 2005.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. The role of historical-philosophical controversies in teaching sciences: The debate between biot and ampere. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 921-934, 2012.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília, **Ministério da Educação,** 1996.

BRASIL. BASES LEGAIS–Parâmetros Curriculares Nacionais; MÉDIO, Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino. PCN+ para o Ensino de Ciências e Matemática. Brasília: **Ministério da Educação**, 2002.

BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737–1798). **Brain Research Bulletin**, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998.

BROCKLISS, L. Science, the universities, and other public spaces: Teaching science in Europe and the Americas. **The Cambridge history of science**, v. 4, p. 44-86, 2003.

BROCKLISS, L. Starting-out, Getting-on and Becoming Famous in the Eighteenth-Centrury Republic of Letters Background. In Holenstein, Steike, Stuber, **Scholars in Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century**. pp.71-100 Ed. Brill, 2013.

BURKE, P. **O que é história cultural?.** Jorge Zahar Editor, 2005.

BURKE, P. **Uma história social do conhecimento 2: Da Enciclopédia à Wikipédia.** Ed. Zahar, 2008.

BURKE P. A República das Letras Europeia, 1500-2000. **Estudos Avançados**, v. 25 n.72, p 277-288, 2011.

CALDAS, J.; LIMA, M. C.; CRISPINO, L. C. B. Explorando História da Ciência na Amazônia: O Museu Interativo da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo , v. 38, n. 4, e4307, 2016.

CARAÇA, J. Os Instrumentos de Uma Cultura. In **COIMBRA. O Engenho e a Arte; Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física.** Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências, e Tecnologia, Museu de Física, 1997.

CARDOSO, L. R.; PARAÍSO, M. A. Álbum fotográfico: um mapa de cenários discursivos na produção acadêmica brasileira sobre aulas experimentais de Ciências. **Ciência & Educação,** v. 20, n. 1, p. 83-115, 2014.

CARVALHO, M. C. M. **Construindo o saber: técnicas de metodologia científica**. São Paulo, 1998.

CARVALHO, R. A Física na Reforma Pombalina, In **COIMBRA. O Engenho e a Arte; Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física**. Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências, e Tecnologia, Museu de Física. 1997.

CAVAZZA, M. The Institute of Science of Bologna and the Royal Society in the eighteenth century. **Notes and Records of the Royal Society**, v. 56, n. 1, p. 3-25, 2002.

CAVENDISH, H. An Account of Some Attempts to Imitate the Effects of the Torpedo by Electricity. By the Hon. Henry Cavendish, F. R. S. **Phil Trans R Soc** v.66: 196-225, 1776.

CAVICCHI E. M. Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. **Science & Education** 17:717–749, 2008.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007.

CHANG, H. How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. **Science & Education**. 20:317–341, 2011.

CHANG, H. The transmission of the Voltaic battery. Crossing Oceans. **Coleção CLE**, v. 75, 2015.

CHINELLI, M, V.; AGUIAR, L. E. V. Experimentos e contextos nas exposições interativas dos centros e museus de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências,** v. 14, n. 3, p. 377-392, 2016.

COLLINSON, P. To Carl Linnaeus 1748. In ARMSTRONG, Alan W. **Forget Not Me and My Garden**. American Philosophical Society, Philadelphia, p. 144, 2002.

CRAWFORD, E. A Critique of curriculum reform: Using history to develop thinking. **Physics Education**, 28, 204-208, 1993.

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.

DASTON, L.; GALISON, P. **Objectivity.** Brooklyn. NY: Zone Books, 2007.

DASTON, L.; LUNBECK, E. **Histories of scientific observation**. University of Chicago Press. 2011.

DASTON, L. **History of Science without Structure. Kuhn's Structure of Scientific Revolutions at Fifty: Reflections on a Science Classic**, p. 115, 2016.

DE ANGELIS, S. Experiments, Judicial Rhetoric and the *Testimonium*. Practices of Demonstration in the Hamberger-Haller Controversy on the Respiration Mechanism. In HOLENSTEIN, STEINKE,STUBER (Org.) **Scholars in Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century**. Ed. BRILL, 2013. 679-702.

DEVONS, S; HARTMANN, L. A history-of-physics laboratory, **Physics today**, v.2, 44-49, 1970.

DONATO, C. Illustrious Connections: The Premises and Practices of Knowledge Transfer between Switzerland and the Italian Peninsula. In HOLENSTEIN, STEINKE,STUBER. (Org.) **Scholars in Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century**. Ed. BRILL, 535-568, 2013.

DORSMAN, C.; CROMMELIN, C. A. **The invention of the Leyden jar**. National Museum of the History of Science, 1957.

DUFAY, C. Mons and T. S. A Letter from Mons. Du Fay, F. R. S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to His Grace Charles Duke of Richmond and Lenox,

concerning Electricity. Translated from the French by T. S. M D. **Philosophical Transactions Royal Society**, v. 38, p. 258-266, 1733.

DRUMMOND, J. M. H. F. et al. Narrativas hitóricas: gravidade, sistemas de mundo e natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p. 99-141, abr. 2015.

EGGEN, P. O., KVITTINGEN, L., LYKKNES, A., & WITTJE, R. Reconstructing iconic experiments in electrochemistry: Experiences from a history of science course. **Science & Education**, *21*(2), 179-189, 2012.

ENGEL, Guido Irineu. Pesquisa-ação. **Educ. rev.**, Curitiba , n. 16, p. 181-191, Dec. 2000.

FIERING, N. S. The transatlantic republic of letters: a note on the circulation of learned periodicals to early eighteenth-century America. **The William and Mary Quarterly: A Magazine of Early American History**, p. 642-660, 1976.

FINGER, S.; PICCOLINO, M. **The shocking history of electric fishes: from ancient epochs to the birth of modern neurophysiology**. Oxford University Press, 2011.

FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa.** Ed. Bookman e Artmed. 2009.

FORATO, T. C. M., PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FORD, M. J. Educational implications of choosing “practice” to describe science in the next generation science standards. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1041-1048, 2015.

FORDYCE, G. II The Croonian Lecture on Muscular Motion. By George Fordyce. M.D.F.R.S. **Philosophical Transactions Royal Society** v.78, 23 (1788).

FOSTER, M. **Lectures on the history of physiology during the sixteenth, seventeenth and eighteenth centuries.** The University Press, 1901.

FRANKLIN, B.; COLLINSON, P. **Experiments and Observations on Electricity: Made at Philadelphia in America, by Mr. Benjamin Franklin, and Communicated in Several Letters to Mr. P. Collinson of London, FRS**. E. Cave, 1751.

FRANKLIN, Benjamin. An Account of the Effects of Electricity in Paralytic Cases. In a Letter to John Pringle, M. D. F. R. S. from Benjamin Franklin, Esq; F. R. S. **Phil Trans R Soc**, v.50, p.481-483, 1757.

FRIZE, M. **Laura Bassi and science in 18th century Europe**. Heidelberg: Springer, 2013.

GALIAZZI, R. MORAES, R. **Análise Textual Discursiva**. Editora Unijuí, 2011.

GALILI, I. On the power of fine arts pictorial imagery in science education. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1911-1938, 2013.

GALISON, P. **How Do Experiments End**. University of Chicago Press, 1987.

GALLONE, P. Galvani's frog: Harbinger of a new era. **Electrochimica Acta**, v. 31, n. 12, p. 1485-1490, 1986.

GALVANI, L. **De Viribus Electricitatis in Motu Musculari. Bologna, Italy: Typographia Instituti Scientiarum (RM Green, Trans.).** Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion, p. 66-67, 1791.

GALVANI, L; ALDINI, Gi. **De Viribus Electricitatis In Motu Musculari Comentarius Cum Joannis Aldini Dissertatione Et Notis; Accesserunt Epistolae ad animalis electricitatis theoriam pertinentes (1792)**. Tradução de Forato, T e Guerra, A. in SILVA e GUERRA (org.) **Historia da Ciência e Ensino.** Ed. Livaria da Física p. 28-29, 2015.

GASCOIGNE, J. Ideas of Nature: Natural Philosophy. **In The Cambridge History of Science: Volume 4, Eighteenth-Century Science**. Cambridge University Press. p. 285-304, 2008.

GERMANO, G. G., LIMA, I. P. C.; SILVA, A. P. B. Pilha Voltaica: Entre Rãs, Acaso e Necessidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. 1: p. 145-155, 2012.

GOODMAN, D. (1996) **The republic of letters: A cultural history of the French enlightenment**. Cornell University Press.

GRAY, S. A Letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S**. Philosophical Transactions Royal Society**, 1731, v. 37: 227-260.

GUERRA, A; BRAGA, M; REIS, J, C. Uma Abordagem Histórico-Filosófica Para o Eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 224 v. 21, n. 2: p. 224-248, 2004.

HANKINS, T.L.**Science and the Enlightenment**, Cambridge University Press, 1985.

HANKINS, T. L. **Science and the Enlightenment**. Cambridge University Press, 2010.

HEERING, P. The replication of the torsion balance experiment: The inverse square Law and its refutation by early 19th-century German physicists. Restaging Coulomb: Usages, controverses et réplications autour de la balance de torsion. Florence: **Olschki,** 1994.

HEERING, P. Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics Through History. **Science & Education**. 9:363–373, 2000.

HEERING, P.; MULLER, F. Cultures of Experimental Practice – An Approach in a Museum. **Science & Education** 11: 203–214, 2002.

HEERING, P. Analysing unsuccesful experiments and instruments with the replication method. **Endoxa,** v. 1, n. 19, p. 315-341, 2005.

HEERING, P. Regular twists: Replicating Coulomb's wire-torsion experiments. **Physics in Perspective**, v. 8, n. 1, p. 52-63, 2006.

HEERING, P. Public Experiments and their Analysis with the Replication Method. **Science & Education.** V.16. :637-645, 2007a.

HEERING, P. Educating and entertaining: Using enlightenment experiments for teacher training. **Constructing scientific understanding through contextual teaching,** p. 65-81, 2007b.

HEERING, P.; WITJE, R. Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching. **Science & Education** 21:1375–1380. 2012a.

HEERING, P. & Wittje, R. An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education. **Science & Education.** 21:151–155, 2012b.

HEERING, P. & Höttecke, D. (2014) Historical-Investigative Approacches in Science Teaching pp. 1473-1502. in MATTHEWS, Michael R. (Ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching.** Springer.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th and 18th centuries: A study of early modern physics**. Univ of California Press, 1979.

HEILBRON, John L. The contributions of Bologna to Galvanism. **Historical studies in the physical and biological sciences**, v. 22, n. 1, p. 57-85, 1991.

HOLENSTEIN, A., STEINKE, H., STUBER. Introduction: Practices of Knowledge and the Figure of the Scholar in the Eighteenth Century. In ___**Scholars in Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century. Ed. BRILL,** 1-41, 2013

HOCHADEL, Oliver. A Shock to the Public: Itinerant Lecturers and Instrument Makers as Practitioners of Electricity in the German Enlightenment (1740-1800). **Nuova Voltiana: Studies on Volta and his Times**, v. 5, p. 53-67, 2003.

HOCHADEL, O. The business of experimental physics: Instrument makers and itinerant lecturers in the German enlightenment. **Science & Education**, v. 16, n. 6, p. 525-537, 2007.

HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. **Annals of Science**, v. 1, n. 2, p. 157-172, 1936.

HOLENSTEIN, STEINKE, STUBER (Org.) **Scholars in Action:** The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century. Ed. BRILL. 679-702, 2013.

HOME, R. W. Francis Hauksbee's theory of electricity. **Archive for history of exact sciences**, v. 4, n. 3, p. 203-217, 1967.

HOME, R. W. Electricity and the nervous fluid. **Journal of the History of Biology**, v. 3, n. 2, p. 235-251, 1970.

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.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. **Science & Education** 20.3-4, 293-316, 2011.

HUNTER, J. Anatomical Observations on the Torpedo. By John Hunter, F. R. S. **Phil Trans R Soc** 63: 481-489, 1773.

INGENHOUSZ, J and Mr. Walsh. Extract of a Letter from Dr. John Ingenhousz, F. R. S. to Sir John Pringle, Bart. P. R. S. Containing Some Experiments on the Torpedo, Made at Leghorn, January 1, 1773 (after Having Been Informed of Those by Mr. Walsh). Dated Saltzburg, March 27, 1773 **Phil Trans R Soc** v. 65, p. 1-4, 1775.

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, 2011.

JARDIM, W. T. The Use of Salvador Dali's Works to Discuss Concepts of Modern Physics in the Classroom. In IHPST THIRTEENTH BIENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE. Rio de Janeiro. Júlio 22-25, 2015

JARDIM, W. T. Visualizando a Difração e Interferência de Ondas através do Software Google Earth: Discutindo a Natureza da Luz. **A Física na Escola** (Online)*,* v. 14, p. 22-26, 2016.

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. 244-263, 2017a.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no século XVIII: a garrafa de Leiden e a ciência no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 774-797, 2017b.

JARDIM, W. T. GUERRA, Práticas Científicas e Difusão do Conhecimento Sobre Eletricidade no Século XVIII e Início do XIX: Possibilidades Para uma Abordagem Histórica da Pilha de Volta na Educação Básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v40. n.3 , p. e3603, 2018.

JARDIM, W. T. GUERRA, A. A Garrafa de Leiden em uma perspectiva Histórica da Ciência: Replicando Experimentos históricos e suas alternativas com material de baixo custo. **A Física na Escola**, v.16, n.2, 2018b

JENSEN, G. M.; PRESTES, M. E. B. As pesquisas de Lazzaro Spallanzani sobre o fenômeno de entorpecimento e dor causado pelos torpedos. **Philosophy & History of Biology/Filosofia e História da Biologia**, v. 6, n. 2, 2011.

JÚNIOR, E. R., LUNA, F. J, HYGINO, C. B., LINHARES, M. P.; ARAÚJO, M. R. D. C. F. Um estudo de caso histórico sobre o experimento de Foucault no Brasil, elaborado por uma professora do ensino médio na formação continuada a distância. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.*33,* n.1, 162-193, 2016.

JÚNIOR, L. A. R.; 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, 2012.

KIPNIS, Naum. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791–1800. **Annals of science**, v. 44, n. 2, p. 107-142, 1987.

KIPNIS, N. The 'historical-investigative'approach to teaching science. **Science & Education**, v. 5, n. 3, p. 277-292, 1996.

KIPINIS, N. A history of science approach to the nature of science: Learning science by rediscovering it. In: **The nature of science in science education**. Springer Netherland. p. 177-196, 1998.

KIPNIS, N, In Volta and the History of Electricity. Universita degli studi di Pavia. Kirjassa F. Bevi-lacqua ja EA Giannetto (Toim.) Hoepli. Milano, 2003.

KLANCHER, J. **Transfiguring the arts and sciences: knowledge and cultural institutions in the Romantic age**. Cambridge University Press, 2013.

KLASSEN. S. The application of historical narrative in science learning: The Atlantic cable story. ***Science & Education***, v. 16, n. 3-5, p. 335-352, 2007.

KLEIN, U. **Experiments, models, paper tools: Cultures of organic chemistry in the nineteenth century**. Stanford University Press. 2003.

KOEHLER, P. J.; FINGER, S.; PICCOLINO, M. The "Eels" of South America: mid-18th-Century Dutch contributions to the theory of animal electricity. **Journal of the History of Biology**, v. 42, n. 4, p. 715-763, 2009.

KRAGH, H. Confusion and controversy: Nineteenth-century theories of the voltaic pile. **Kirjassa F. Bevilacqua ja EA Giannetto (Toim.) Nuova Voltiana, Studies on Volta and his Times**, v. 1, p. 133-157, 2000.

LANE, T **Philosophical Transactions Royal Society** v.57, np.51, p.1767

MAGNAGHI, C. P.; DE ASSIS, André Koch Torres. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes uma tradução comentada do artigo de volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 118-140, 2008.

MANGIN, A. **Le feu du ciel: histoire de l'électricité et de ses principales applications.** Alfred Mame et fils, éditeurs, 1866.

MARQUES, V. R. B. Escola de homens de ciências: a Academia Científica do Rio de Janeiro 1772-1779, **Educar em Revista,** n. 25. 2005.

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, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MARTINS, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MARTINS, R. A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 52-80, 2012.

MATTHEWS, M. R. **"Science Teaching: the Role of History and Philosophy of Science"**. New York: Routledge, 1994.

MAURINE, L.; BEAUFILS, D. Teaching the Nature of Science in Physics Courses: The Contribution of Classroom Historical Inquiries. **Science & Education**. 22:1443–1465, 2013.

MAURO, A. The role of the voltaic pile in the Galvani-Volta controversy concerning animal vs. metallic electricity. **Journal of the history of medicine and allied sciences**, v. 24, n. 2, p. 140-150, 1969.

MAYR, E. **Biologia, ciência única**. Editora Companhia das Letras, 2005.

MCCLELLAN III, J. Scientific institutions and the organization of science. **The Cambridge History of Science**, v. 4, p. 87-106, 2003.

McCOMAS, W. F. The Principal Elements Of The Nature Of Science: Dispelling The Myths. In: Mccomas, W. F. (Ed). **The Nature Of Science In Science Education. Rationales And Strategies**. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1998.

McComas, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, 17.2-3, p. 249-263, 2008.

McGUIRE, J.; TUCHANSKA, B. Da ciência descontextualizada à ciência no contexto social e histórico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v.6, n.2, p. 151-182, 2013.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO, Jr. reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de Física. In Atas do Encontro nacional de pesquisa em ensino de ciências, v. 3, 2001.

METZ, D.; STINNER, A. A Role for Historical Experiments: Capturing the Spirit of Intinerant Lectures of the 18th Century. **Science & Education** 16:613-624, 2007.

MERTENS, J. Shocks and sparks: the voltaic pile as a demonstration device. **Isis**, v. 89, n. 2, p. 300-311, 1998.

MILNE, C. **The Invention of Science**: Why History of Science Matters for the Classroom. Netherlands: Sense Publishers, 2011.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORAES, Roque; CARMO GALIAZZI, Maria do. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 12, n. 1, 2006.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências?. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 725-748, 2016a.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Reflexões sobre o processo de construção da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos. **Rev. electrón. investig. educ. Cienc.**, Tandil , v. 11, n. 2, p. 64-77, dic. 2016b.

NEWTON, I. **Opticks: Or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light.** 1704.

NIAZ, M.; RODRIGUEZ, M. A. The oil drop experiment: Do physical chemistry textbooks refer to its controversial nature? **Science & Education**, v. 14, n. 1, p. 43-57, 2005.

NIAZ, M. Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. **Science & Education** 18:43–65, 2009.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.36, no.4, p.01-11, 2014.

PAL, C. **Republic of Women: Rethinking the Republic of Letters in the Seventeenth Century**. Cambridge University Press, 2012.

PANCALDI, G. **Volta: Science and Culture in the Age of Enlightenment. Princeton** University Press, 2005.

PERON, T. Frankenstein, o cientista. In **Quark e a História da Ciência**, Marlon C. Alcantara (Org.), p. 39 -52, 2015.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. Drawing a spark from darkness: John Walsh and electric fish. **TRENDS in Neurosciences**, v. 25, n. 1, p. 51-57, 2002.

PICCOLINO, M; BRESADOLA, M., **Shocking Frogs: Galvani, Volta, and the Electric Origins of Neuroscience**. Oxford University Press, 2013

PIMENTEL, J. **La Revolución Cientifica in História de Europa**. Miguel Artola (org.), S.L.U. Espasa Libros, pp. 163-238, 2007.

PIMENTEL, J. **¿ Qué es la historia cultural de la ciencia?**. *Arbor*, v. 186, n. 743, p. 417-424, 2010.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. **Ensino de química em foco.** p. 159-180. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.

PRIESTLEY, J. **The history and present state of electricity, with original experiments**. J. Dodsley... J. Johnson and J. Payne... and T. Cadell, 1769.

PRIESTLEY, J. **Experiments and observations on different kinds of air**. Publicado por John Adams, 1775.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Potencialidades e Limitações de um Módulo de Ensino: Uma Discussão Histórico-Filosófica dos Estudos de Gray. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, p. 139, 2015.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, p. 109-12, 2016.

READ, J. and Richard Henry Alexander Bennet Experiments and Observations Made with the Doubler of Electricity, with a View to Determine Its Real Utility, in the Investigation of the Electricity of Atmospheric Air, in Different Degrees of Purity. By Mr. John Read. Communicated by Richard Henry Alexander Bennet, Esq. F. R. S. **Phil Trans R Soc** v. 84, p.266-274, 1794.

REIS, U. V dos; REIS, J. C.. Os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas no ensino de Física: um relato sobre uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 744-778, dez. 2016.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Ciência e arte: relações improváveis. **História, Ciências, Saúde–Manguinhos**, v. 13, p. 71-87, 2006.

RINALDI, E.; GUERRA, A. História da ciência e o uso da instrumentação: construção de um transmissor de voz como estratégia de ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 3, p. 653-675, 2011.

ROBERTS, L. Going Dutch: Situating science in the Dutch enlightenment. In. Clark. **The Sciences in Enlightened Europe**. Ed.University of Chicago Press. 1999.

RODRIGUES, F. M. E. A.; AFONSO, A. S. C. A natureza das interações verbais durante visitas de estudo à seção de ótica de um museu de ciência. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 15, n. 1, p. 173-194, 2015.

ROSSI, P. O. **Ciência Moderna Na Europa, Nascimento**. Tradução: Antonio Angonese. Bauru/SP: EDUSC, 2001.

RUESTOW, E. G. **Physics at Seventeenth and Eighteenth-century Leiden: Philosophy and the New Science in the University**. Martinus Nijhoff, The Hague. 1973.

SANTOS, A. J.J.; VOELZKE, M. R.; ARAÚJO, M. S. T. O Projeto Eratóstenes: a reprodução de um experimento histórico como recurso para a inserção de conceitos da Astronomia no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1137-1174, 2012.

SCHECHNER, Sara J. The Art of Making Leyden Jars and Batteries According to Benjamin Franklin. **eRittenhouse**, v. 26, 2015.

SCHIFFER, H.; GUERRA, A. Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative. **Science & Education**, p. 1-26, 2014.

SHAPIN, S. Pump and circumstance: Robert Boyle's literary technology. **Social studies of science**, v. 14, n. 4, p. 481-520, 1984.

SHAPIN, S. The invisible technician. **American scientist,** p. 554-563, 1989.

SILVA, A. B.; FORATO, T. C. de M.; GOMES, J. L. de A. M C.. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, 2013.

SILVA, L. C. M., SANTOS, W. M. S & Dias, P. M. C. A carga especıfica do elétron. Um enfoque histórico e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 33, n. 1, p. 1601, 2011.

SILVA, A. P. B.; OLIVEIRA, R. A. Herschel e os raios invisíveis de calor: experimentos históricos e as tecnologias atuais. Em anais do *IHPST* Santiago do Chile, 2014.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A teoria das cores de newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação***. (Bauru)*, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 141-159, 2008.

SILVA, C. C.; HEERING, . Re-examining the early history of the Leiden jar: Stabilization and variation in transforming a phenomenon into a fact. **History of Science**, v. 56, n. 3, p. 314-342, 2018.

SILVA, M. A. M. **A utilização da controvérsia mendeliano-biometricista na questão da hereditariedade no início do século XX : um caminho para se trabalhar a hereditariedade na educação básica?** Dissertação de Mestrado CEFET/RJ, 2016.

SOUZA, R. S., SILVA, A. P. B. & ARAÚJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: Reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 36, n. 3, p. 3309, 2014.

SUTTON, Geoffrey. The politics of science in early Napoleonic France: The case of the voltaic pile. **Historical studies in the physical sciences**, v. 11, n. 2, p. 329-366, 1981

TAO, P.Eliciting and developing junior secondary students' understanding of the nature of science through a peer collaboration instruction in science stories. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 2, p. 147-171, 2003.

TEICHMANN, J. Historical Experiments and Science Education-From Conceptual Planning of Exhibitions to Continuing Education for Teachers. **Interchange**, v. 46, n. 1, p. 31-43, 2015.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18ªed. Cortez Editora, 2011.

TOLEDO, R. F.; JACOBI, P. R. Pesquisa-ação e educação: compartilhando princípios na construção de conhecimentos e no fortalecimento comunitário para o enfrentamento de problemas. **Educação & Sociedade**, v. 34, n. 122, 2013.

TREMBLEY. Part of a Letter from Mr. Trembley, F.R.S. to Martin Folkes, Esq; Pres. R. S. concerning the Light Caused by Quicksilver Shaken in a Glass Tube, Proceeding from Electricity. **Philosophical Transactions Royal Society** 1746, v.44, p.58-60.

TRUMPER, R. The physics laboratory–a historical overview and future perspectives. **Science & Education**, v. 12, n. 7, p. 645-670, 2003.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, 2005.

TSOUCALAS, Gregory et al. The “torpedo” effect in medicine. **International maritime health**, v. 65, n. 2, p. 65-67, 2014.

TURKEL, W. J. **Spark from the deep: How shocking experiments with strongly electric fish powered scientific discovery**. JHU Press, 2013.

Valente, M. E. A. O Museu de Ciência: espaço da História da Ciência. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 53-62, 2005.

VALLI, E. **Experiments on Animal Electricity with their Application to Physiology and some Pathological and Medical Observations**, London, 1793.

VAN BERKEL, K.; VAN HELDEN, A.; PALM, L. C. (Ed.). **The History of Science in the Netherlands: Survey, Themes and Reference**. Brill, 1999.

VERA, F., RIVERA, R.; NÚÑEZ. Burning a candle in a vessel, a simple experiment with a long history. **Science & Education**, v. 20, n. 9, p. 881-893, 2011.

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e história da ciência. **Escritos. Revista da Casa de Rui Barbosa,** v. 1, p. 111-58, 2007.

VOLTA, A. DEL SIC D.ALESSANDRO VOLTA AL SIC. DOTTORE GIUSEPPE PRIESTLEY (1775). Publicado em **Scelta di opuscoli interessanti: nuova edizione**,1781.

VOLTA, A. Account of Some Discoveries Made by Mr. Galvani, of Bologna; With Experiments and Observations on Them. In Two Letters from Mr. Alexander Volta, FRS Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to Mr. Tiberius Cavallo, FRS. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 83, p. 10-44, 1793.

VOLTA, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. In a letter from Mr. Alexander Volta, FRS Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. KBPRS. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, p. 403-431, 1800.

VOLTA, A**.** *Description de la Pile Electrique par Alexandre Volta communiquee par Brugnatelli*. **Journal de chimie et de phyisique (Van Mons, Bruxels).** 2:127-35, nov. 1801.

VON ENGELHARDT, Dietrich. Natural philosophy and natural science around 1800. **Nuova Voltiana, Studies on Volta and his Times, edited by Fabio Bevilacqua and Lucio Fregonese**, v. 4, p. 11-28, 2000.

WALKER, W. Cameron. Animal electricity before Galvani. **Annals of science**, v. 2, n. 1, p. 84-113, 1937.

WALSH, J.; S. S. Of the Electric Property of the Torpedo. In a Letter from John Walsh, Esq; F. R. S. to Benjamin Franklin, Esq; LL.D., F. R. S., Ac. R. Par. Soc. Ext., &c. **Phil Trans R Soc** v.63, p.461-480, 1773.

WATSON, W. Observations upon the Effects of Electricity Applied to a Tetanus, or Muscular Rigidity, of Four Months Continuance. In a Letter to the Royal Society. By William Watson, MDFRS Member of the Royal Colleges of Physicians of London and Madrid, and Physician to the Foundling Hospital. **Philosophical Transactions**, v. 53, p. 10-26, 1763.

WATSON, W. A Letter from Mr. William Watson, F. R. S. to the Royal Society, Declaring That He as Well as Many Others Have Not Been Able to Make Odours Pass thro' Glass by means of Electricity; And Giving a Particular Account of Professor Bose at Wittemberg His Experiment of Beatification, or Causing a Glory to Appear Round a Man's Head by Electricity**. Philosophical Transactions Royal Society**, 1749, v.46 p. 348-356.

WISE, M. N. Science as (Historical) Narrative. **Erkenntnis.** V. 75, n.3, p. 349-376, 2011.

WILLIAMSON, H.; WALSH, J. Experiments and Observations on the Gymnotus Electricus, or Electrical Eel. By Hugh Williamson, M. D. Communicated by John Walsh, Esq. F. R. S. **Phil Trans R Soc** v.65, p.94-101, 1775.

WIVAGG, D.; ALLCHIN, D. The Dogma of “The” Scientific Method. **The American Biology Teacher**, v. 64, n. 9, 2002.

ZANETIC, J. Física e Arte – uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, v. 17, n. 1 (49) - jan./abr, 2006.